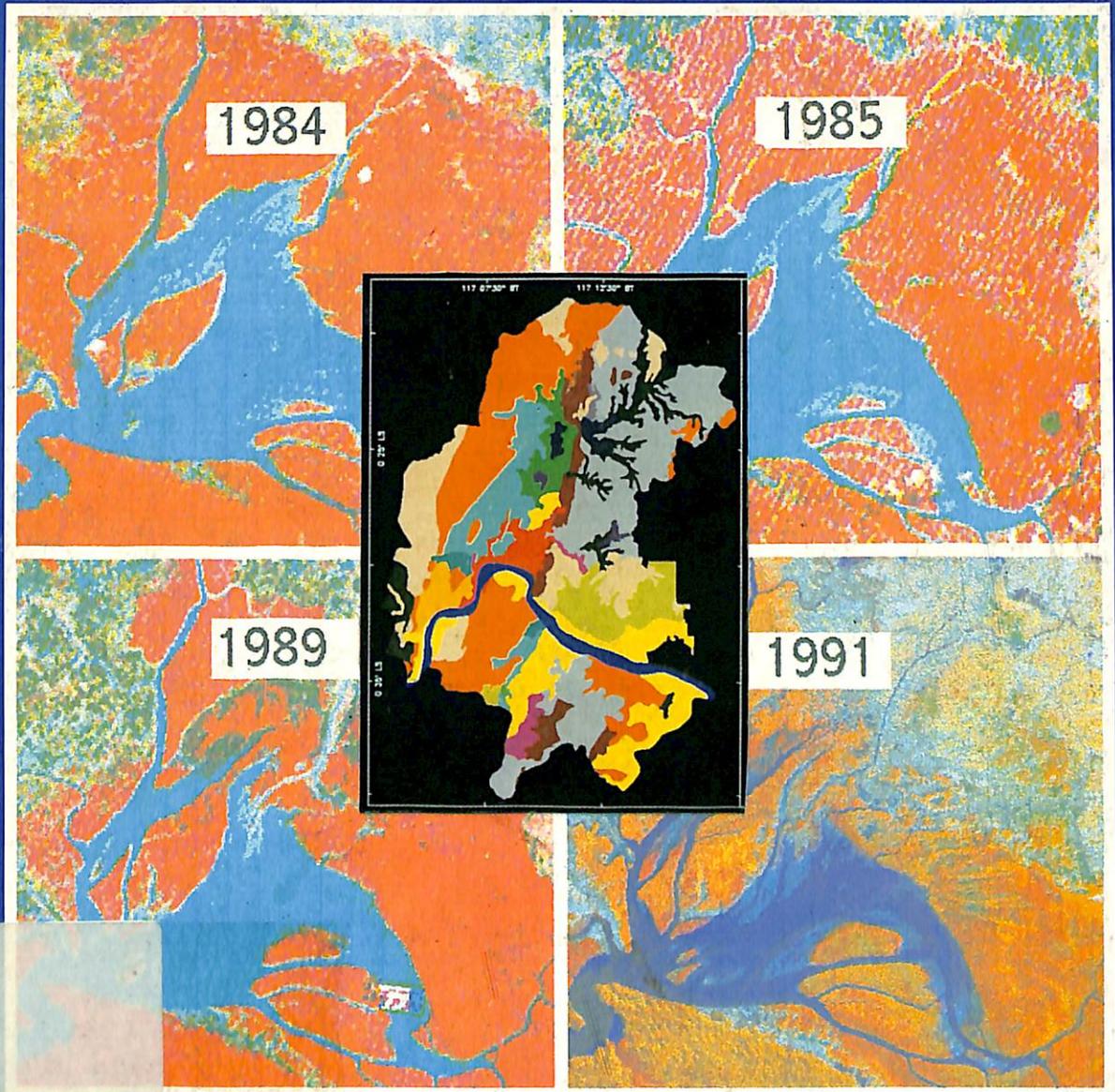


REMOTE SENSING DAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS untuk Perencanaan



RATIH DEWANTI DIMYATI
MUHAMMAD DIMYATI

unt. Perpustakaan LAPAN
Pusat



REMOTE SENSING DAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS untuk Perencanaan



Oleh :
RATIH DEWANTI DIMYATI
MUHAMMAD DIMYATI

20.6/2

Cetakan Pertama



FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
JAKARTA

Dimiyati, Ratih Dewanti

Remote sensing dan sistem informasi geografis untuk perencanaan / Ratih Dewanti Dimiyati, Muhammad Dimiyati.

-- Jakarta: Universitas Muhammadiyah Jakarta, 1997.

vii + 166.halaman; 1,2 cm.

ISBN 979-8823-03-6

I. Penginderaan jarak jauh. I. Judul.
II. Dimiyati, Muhammad.

621.367 8

REMOTE SENSING DAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS untuk Perencanaan

Oleh : Ratih Dewanti Dimiyati
Muhammad Dimiyati

@ Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang
Diterbitkan oleh : Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Jakarta
Jl. Cempaka Putih Tengah 27, Jakarta Pusat 10510
Telp. 4244016, 4256024
Fax. 4256023

Cetakan Pertama : Tahun 1998
Dicetak oleh : CV RESOTA
Gambar cover : Citra Landsat Komposit Warna Multitemporal
Daerah Segara Anakan Jawa Tengah dan
Peta Tipe Tanah Kodya Samarinda

PENGANTAR

Remote sensing (RS) dan sistem informasi geografis (SIG) merupakan suatu teknik atau sarana pengolah dan penyaji data/informasi yang sedang menjadi mode dan banyak digunakan oleh berbagai instansi pemerintah dan swasta akhir-akhir ini. Banyak seminar, workshop, training dan sejenisnya yang membicarakan dan mengkaji kelebihan dan kekurangan teknik tersebut. Banyak pula tulisan yang telah dipublikasikan, tetapi kebanyakan dalam bahasa asing, terutama bahasa Inggris. Tulisan yang berbentuk buku dan dipublikasikan dalam bahasa Indonesia masih sedikit ditemukan. Tujuan dituliskannya buku ini antara lain adalah untuk ikut berpartisipasi dalam menyebarkan pengetahuan tentang RS dan SIG serta untuk mengisi kekurangan buku bacaan bahasa Indonesia dalam bidang tersebut. Isi buku ini kebanyakan merupakan ramuan dari berbagai sumber/buku yang tercantum dalam daftar bacaannya dengan sajian atau sentuhan penulis. Ramuan berbagai sumber yang disajikan dengan sentuhan khas dalam bentuk buku kecil ini diharapkan dapat mewakili materi RS dan SIG secara menyeluruh. Dengan cara tersebut diharapkan akan lebih mempermudah pemahaman materi RS dan SIG, terutama bagi para pemula dalam bidang ini.

Dalam penyajian dan penjelasannya banyak diberikan contoh-contoh praktis dan visual. Hal ini diharapkan akan dapat mempercepat pemahaman dan mendorong ketidakbosanan dalam membacanya. Pada bagian yang terkait dengan perencanaan diberikan contoh mengenai peran RS dan SIG dalam perencanaan tahap awal dengan disertai contoh pemrograman. Program tersebut dapat diterapkan untuk personal komputer IBM dan kompatibelnya.

Buku ini disistimatisasi dalam 6 bagian penyajian. Pada bagian pertama dijelaskan mengenai komputer secara sangat umum. Hal ini dikarenakan beberapa contoh yang disajikan dalam buku ini diolah menggunakan komputer dan juga komputer merupakan komponen penting dalam RS dan SIG sehingga penjelasan tentang komputer dianggap perlu. Dasar-dasar Remote Sensing dan Sistem Pemrosesan Dijital dijelaskan secara praktis pada Bab 2 dan Bab 3. Pada Bab 4 disajikan tentang SIG. Peran RS dan SIG diterangkan dalam Bab 5. Pada bab terakhir dijelaskan beberapa contoh aplikasi RS dan SIG dalam perencanaan tahap awal. Contoh program pemrosesan citra dan cara penggunaannya untuk analisis kesesuaian lahan dalam bahasa C dicantumkan dalam lampiran.

Penulis menyadari akan kelemahan dan kurang sempurnaan buku ini. Segala saran yang bersifat memperbaiki kualitas tulisan bagi kepentingan pembaca dan penulis sangat diharapkan. Semoga tulisan ini bermanfaat.

Jakarta, 13 Februari 1998

Penulis

DAFTAR ISI

Pengantar	i
Daftar Isi	iii
Daftar Gambar	v
Daftar Tabel	vii
Bab 1. Komputer	1
1.1. Pendahuluan	1
1.2. Perangkat Keras	2
1.3. Piranti Lunak	12
1.4. Pengelola	13
Bab 2. Dasar-dasar Remote Sensing	15
2.1. Pengertian	15
2.2. Spektrum Elektromagnetik	18
2.3. Satelit dan Orbitnya	25
2.4. Sistem Sensor	29
2.5. Perekaman dan Distribusi Data	33
2.6. Resolusi Spasial dan Spektral	37
Bab 3. Pemrosesan Citra	41
3.1. Struktur Data Remote Sensing	41
3.2. Proses Awal	47
3.3. Penajaman Citra	54
3.4. Ekstraksi Informasi	67
3.5. Sistem Pemrosesan Citra	78
Bab 4. Sistem Informasi Geografis	83
4.1. Pengertian SIG	83
4.2. Faktor yang Pengaruhi Perkembangan	84
4.3. Sejarah Perkembangan SIG	85
4.4. Fungsi SIG	87
4.5. Data Masukan	89
Bab 5. RS dan SIG Kini dan Masa Mendatang	99
5.1. Sistem Remote Sensing yang Operasional	99
5.2. Kecenderungan Pengembangan	124
5.3. Pemilihan Sistem yang Tepat	126
5.4. SIG yang Operasional	128
Bab 6. Remote Sensing dan SIG dalam Perencanaan dan Pembangunan	141
6.1. Pengertian Perencanaan dan Pembangunan	141
6.2. Aplikasi dalam Studi Penggunaan Lahan	142
6.3. Aplikasi dalam Studi Kesesuaian Lahan	148
Daftar Bacaan	153
Lampiran	155

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1-1. Komponen utama komputer	4
1-2. Letak disket drive pada PC	6
1-3. Ilustrasi sebuah disket	6
1-4. Ilustrasi letak <i>hard disk</i> pada sebuah PC	8
1-5. Sebuah komputer dengan komponen input-output	14
2-1. Cakupan spektrum elektromagnetik dalam remote sensing (Sumber : Christopher Legg. 1992. dan David Lindgren. 1985)	19
2-2. Nomenklatur kanal mikrowave dalam remote sensing (Sumber : Christopher Legg. 1992 dengan modifikasi)	20
2-3. Panjang gelombang sensor infra merah termal (Sumber : Christopher Legg. 1992)	21
2-4. Reflektansi beberapa obyek (Sumber : Modifikasi dari Lillesand dan Kiefer. 1987)	24
2-5. Konfigurasi Landsat TM dan sensor opto-mekanik (Sumber : Christopher Legg. 1992)	30
2-6. Diagram skener penyapu (Sumber : Christopher Legg. 1992)	33
2-7. Stasion penerima ERS-1 (rencana dan kenyataan) (Sumber : Christopher Legg. 1992)	35
2-8. Hubungan resolusi spasial dengan frekuensi penerimaan (Sumber : Christopher Legg. 1992)	39
2-9. Hubungan resolusi spasial dengan harga per unit (Sumber : Christopher Legg. 1992)	39
3-1. Format data dari CCT EDIPS (untuk data belum koreksi geometris) (Sumber : Ishikawa, M. 1987)	42
3-2. Struktur <i>record</i> CCT standar (Sumber : Ishikawa, M. 1987)	43
3-3. Struktur File CCT (Sumber : Ishikawa, M. 1987)	45
3-4. File header DPU (Sumber : Ishikawa, M. 1987)	46
3-5. Citra MOS-1 MESSR tampak mata (kiri terdapat bising vertikal, kanan sudah di koreksi) (Sumber : NASDA)	50
3-6. Citra MSU-E tampak mata (kiri) dan infra merah dekat (kanan) (Sumber : Glavkosmos)	50
3-7. Efek perbedaan algoritma filtering (dari atas kiri ke kanan : asli, nearest neighbour, linear, $\sin x/x$, hanning, cubic convolution) (Sumber : Christopher Legg. 1992)	55
3-8. Efek kontras penajaman (kiri : asli dan kanan : ditajamkan) (Sumber : Christopher Legg. 1992)	56
3-9. Contoh efek <i>density slicing</i> (Sumber : Christopher Legg. 1992)	57
3-10. Komposit warna asli Landsat MSS 1984, 1987, 1989, 1991 daerah pantai utara Bekasi - Karawang, Jawa Barat	58
3-11. Citra NDVI Landsat MSS 1984, 1987, 1989, 1991 daerah Pantai utara Bekasi - Karawang, Jawa Barat	60
3-13. Efek penajaman batas tepi dari SPOT PAN (Sumber : Christopher Legg. 1992)	64
3-14. Efek penggunaan penajaman dekorelasi HIS (Sumber : Christopher Legg. 1992)	65
3-15. Penggunaan IHS dalam integrasi data (Sumber : Christopher Legg. 1992)	66
3-16. Skema penggunaan IHS untuk integrasi data (Sumber : Christopher Legg. 1992)	66

	Halaman
3-17. Citra hasil klasifikasi liputan lahan Yogyakarta dengan MLC tahun 1972 dan 1984 (Sumber : Muh. Dimiyati. 1994)	73
3-18. Ilustrasi analisis proximity (Sumber : Christopher Legg. 1992)	76
3-19. Beberapa contoh citra hasil penajaman (Sumber : Christopher Legg. 1992)	77
4-1. Perkembangan pemasaran SIG (Sumber : FAO. 1991)	87
4-2. Fungsi keseluruhan SIG (Sumber: FAO)	87
4-3. Ilustrasi sebuah digitizer	91
4-4. Ilustrasi sebuah skener	92
4-5. Ilustrasi layer dalam SIG (Sumber : Arc/Info. ESRI)	93
4-6. Kenampakan muka bumi dalam suatu proyeksi (Sumber : FAO. 1991)	96
5-1. Beberapa sensor yang operasional (Sumber : Christopher Legg. 1992)	101
5-2. Citra indek vegetasi dunia (Sumber : NOAA. 1988)	103
5-3. Komposit warna Landsat MSS 1972 daerah Yogyakarta (Sumber : Departemen Pekerjaan Umum)	107
5-4. MSU-E kanal 3 (infra merah dekat) (Sumber : Christopher Legg. 1992)	113
5-5. Stereopair SIR-A Pulau Kefialinia (Sumber : Christopher Legg. 1992)	119
5-6. Contoh keluaran dengan modul <i>Image</i> dalam IDRISI	138
5-7. Contoh peta indek cakupan Landsat MSS wilayah Indonesia (Sumber: LAPAN)	140
6-1. Citra perubahan land use/cover di DIY 1972, 1984, 1990	146
6-2. Citra perubahan land use/cover di DIY 1972, 1984, 1990	146
6-3. Hasil perhitungan indek loxi tahun 1972-1984 dan 1984-1990	147
6-4. Citra Kesesuaian Lahan untuk Sawah	152
6-5. Citra Kesesuaian Lahan Daerah Samarinda Hasil Survei Lapang dan Analisis Kuantifikasi II	152

DAFTAR TABEL

	Halaman
4-1. Klasifikasi Fungsi SIG	88
4-2. Kelebihan Format Vektor dan Raster	96
5-1. Sistem Sensor dari Beberapa Satelit yang Operasional	100
5-2. Karakteristik Sensor Meteosat	103
5-3. Karakteristik AVHRR	104
5-4. Karakteristik Landsat MSS	107
5-5. Karakteristik Landsat TM	108
5-6. Karakteristik Sensor HRV dan PAN pada SPOT-1 dan 2	110
5-7. Karakteristik Sistem IRS	111
5-8. Karakteristik Sensor RESOURS-O	112
5-9. Karakteristik Sensor MOS-1	116
5-10. Karakteristik Sensor JERS-1	117
5-11. Karakteristik Citra SEASAT, SIR-A dan SIR-B SAR	119
5-12. Karakteristik Sensor ERS-1	122
5-13. Karakteristik Beberapa Skener Pesawat	125
5-14. Harga Film Udara	126
5-15. Harga Foto Udara USDA 1984 (US\$)	127
5-16. Harga Citra Landsat MSS Standar 1984 (US\$)	127
5-17. Biaya Kajian Liputan Lahan 1979 (US\$)	128
5-18. Harga Beberapa Piranti Lunak SIG yang Ada di Pasaran	130
5-19. Fungsi SIG dari ARC/INFO	139
6-1. Matrik Perubahan Penggunaan Lahan	147
6-2. Koefisien Korelasi Land Use/cover dan Jaringan Jalan	148
6-3. Sekor Katagori dari Analisis Kuantifikasi II	150

PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang komputer secara umum, khususnya perangkat keras (*hardware*) dan piranti lunak (*piranti lunak*) untuk personal komputer (PC) yang dikaitkan dengan penginderaan jauh atau *remote sensing* dan sistem informasi geografis (SIG). Akhir-akhir ini PC telah menjadi bagian penting dalam kehidupan sehari-hari untuk sebagian orang, baik dalam melakukan pekerjaan kantor, di sekolah, maupun di rumah. Bahkan sebagian pemakai telah melengkapi PCnya dengan seperangkat fasilitas untuk berbagai kepentingan, seperti komunikasi maupun tujuan analisis lainnya. Keberadaan PC secara tidak langsung akan merubah pola berfikir, bekerja maupun belajar sebagian warga masyarakat. Sejak sekitar tahun 1984 PC telah memasyarakat, lebih dari 60% perkantoran di Amerika Serikat telah menggunakannya untuk berbagai keperluan (Goldstein, L.J. 1986).

Pada tahun 1981 IBM mulai memasarkan PC. PC IBM asli sangat populer serta digunakan di jutaan rumah, sekolah, dan kalangan bisnis. IBM telah sukses memperkenalkan PC dari generasi PC XT dan PC AT hingga generasi baru yaitu seri PS/2 dan Pentium. Semua model tersebut bervariasi dari aksesori, kecepatan, dan harganya. Dalam beberapa tahun belakangan ini telah banyak tipe PC bahkan lebih dari seratus macam PC, namun IBM masih merupakan standar yang dipakai dalam menilai kompatibilitasnya. PC tersebut hampir sebagian besar dapat menjalankan program atau piranti lunak IBM. Compaq, Tandy, dan Epson merupakan tiga contoh dari kelompok besar komputer yang kompatibel (*compatible*) dengan IBM. Namun banyak pula komputer yang dikembangkan dengan sistem operasi yang berbeda, seperti Apple Macintosh dan NEC Jepang. Kelompok IBM kompatibel ini kemudian bekerjasama untuk mengembangkan EISA (*Extended Industry Architecture*). Grup EISA mengusulkan untuk membuat satu standar alternatif pemilikan bersama untuk desain Komputer IBM PS/2. Grup ini dikenal sebagai kelompok sembilan, yang mencakup

Compaq Computer Corporation, Zenith Data Systems, Hewlett-Packard Company, AST Research, Inc., Tandy Corporation, NEC America, Inc., Epson America, Inc., Wyse Technology, dan Olivetti, USA.

Dalam sebuah PC terdapat rangkaian komponen elektronik yang dapat melakukan perintah sesuai dengan perintah yang kita berikan. Tiga unsur penting dalam sistem komputer adalah : perangkat keras (*hardware*), piranti lunak (*piranti lunak*), dan pengelola atau pemakainya (*brainware*).

PERANGKAT KERAS KOMPUTER

PC bukanlah mainan. Ia merupakan kumpulan peralatan elektronik dalam satu desain khusus yang manfaatnya banyak sekali. Sebagian komponen PC merupakan *saudara* dari komputer *mainframe* yang harganya masih sangat mahal yaitu jutaan bahkan puluhan juta rupiah. Sebuah PC dapat dilengkapi dengan kapasitas yang memadai untuk melakukan pekerjaan penghitungan dan inventarisasi dari aktifitas bisnis kecil. PC dapat juga membantu pekerjaan teknisi maupun ilmuwan, juga dapat digunakan untuk penghitungan neraca keuangan rumah tangga dan membantu pekerjaan pribadi. Bahkan sebuah PC dapat digunakan untuk menggambar serta mengeluarkan suara. Tidakkah memungkinkan untuk membuat daftar kemungkinan penggunaan PC secara rinci dalam buku ini karena bukan untuk itu buku ini disusun.

Yang dimaksud dengan perangkat keras komputer adalah seluruh komponen elektronik dan mekanik yang menyusun sebuah komputer. Komponen ini dapat dibedakan menurut fungsinya menjadi : sarana masukan, sarana pemroses, sarana keluaran, dan sarana penyimpan data.

Sarana masukan

Sarana masukan merupakan alat untuk mengirimkan perintah dan data ke dalam komputer. Contoh sarana masukan adalah *keyboard* dan *joystick* serta *mouse*. *Keyboard* merupakan sarana seperti alat ketik yang terdiri dari tombol fungsi, tombol ketik, dan tombol angka atau simbol.

Perangkat masukan utama dari PC adalah *keyboard*. Dengan menekan simbol

pada *keyboard* berarti anda mengirimkannya kepada komputer. Sedangkan perangkat keluaran PC dapat berupa *video monitor* atau *video display* yang digunakan untuk menayangkan teks atau grafik. Kita dapat menggunakan *printer* untuk memperoleh cetakan atau *hard copy*.

Dijitizer dan skener merupakan sarana masukan pula. Dijitizer merupakan alat untuk mengubah data analog, biasanya peta, menjadi bentuk digital dengan cara menggambar kembali menggunakan alat elektronik (*mouse*). Pemindahan format data dengan cara ini memerlukan ketrampilan khusus bagi operatornya. Ketrampilan dan kemampuan alat akan mempengaruhi tingkat ketelitian data yang dipindahkan. Penggunaan peralatan ini banyak untuk bidang pemetaan maupun desain arsitektur. Banyak macam tipe dan ukuran dijitizer yang beredar di pasaran mulai dari ukuran yang kecil seperti A3 hingga ukuran besar A1 atau A0.

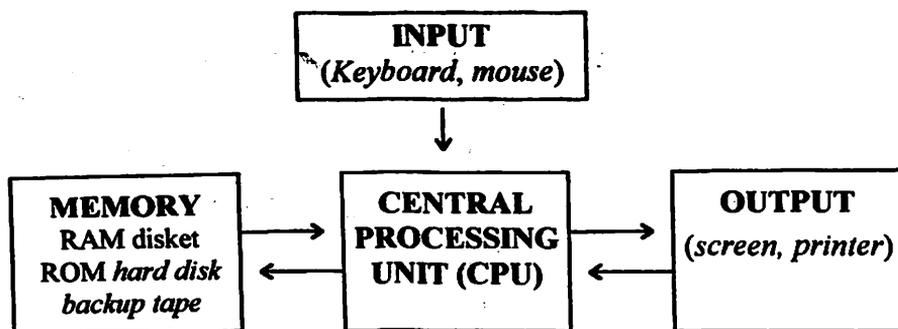
Skener merupakan alat untuk mengubah data analog menjadi bentuk digital dengan cara penyapuan (*scanning*). Peta atau gambar yang akan *discan* diletakkan di atas peralatan skener dan kemudian alat tersebut dikontrol dengan komputer untuk mulai perekaman datanya. Resolusi data tergantung tipe dan penyetelan peralatan yang digunakan. Banyak tipe dan ukuran skener dengan berbagai resolusi yang beredar di pasaran. Penggunaan alat ini akan lebih mempercepat perekaman data, dibandingkan dijitizer, tetapi proses koreksi dan format data yang dihasilkan, biasanya raster, merupakan keterbatasan yang harus dipertimbangkan pula apabila kita akan membeli atau mendesain sistem.

Sarana pemroses

Bagian utama dari sebuah komputer untuk melakukan pemrosesan adalah *central processing unit* (CPU). Bagian ini melaksanakan operasi aritmatik, operasi logika, dan sebagainya. Dengan kata lain CPU merupakan otak dari komputer yang melaksanakan perintah kepada komputer untuk melakukan sesuatu. Memori dari sebuah komputer merupakan bagian untuk mengingat atau menyimpan bilangan, kata, dan kalimat yang kita buat. *Input unit* (perangkat masukan) merupakan bagian untuk mengirim informasi ke komputer, sedangkan *output unit* (perangkat keluaran) merupakan bagian untuk mengirim informasi ke pemakai atau ke *printer*. Hubungan keempat bagian ini

digambarkan seperti pada **Gambar 1-1**.

Dalam sebuah PC, CPU merupakan *chip* semikonduktor tunggal, sekitar satu inchi panjangnya. CPU yang digunakan dalam PC IBM adalah buatan *Intel Corporation*. CPU pada PC IBM asli dan PC/XT, seperti yang terdapat pada kebanyakan komputer adalah mikroprosesor 8088. Pada PC AT IBM, PC IBM kompatibel dan beberapa komputer kelompok PS/2, CPUnya berkecepatan tinggi, *chip*nya lebih canggih, dan mikroprosesor 80286 atau 80386. Kebanyakan komputer yang beredar akhir-akhir ini, CPUnya merupakan sebuah mikroprosesor sangat canggih, yaitu mikroprosesor 80486, Pentium, bahkan Pentium II yang menyajikan komputer *desktop* dengan tenaga komputer *mainframe*.



Gambar 1-1. Komponen utama komputer

Sarana penyimpan (memori)

Terdapat berbagai macam memori yang biasa digunakan dalam PC : ROM, RAM, disket, *hard disk* atau disk fix, disk optik, CD ROM, dan DVD. Masing-masing tipe memori mempunyai kelemahan dan kelebihan. Mikro komputer berusaha membuat memori seserbaguna mungkin dengan menggunakan beberapa macam memori. ROM (*read only memory*) merupakan bagian penting pula dalam komputer. Komputer dapat membaca ROM tetapi tidak dapat menulis apapun padanya. Ini diperuntukkan bagi program yang sangat penting untuk mengoperasikan mesin. Misalnya setiap saat kita menghidupkan komputer, maka beberapa program secara otomatis dioperasikan untuk melakukan pengetesan fungsi dari beberapa komponen dalam sistem. Program diagnostik ini seperti juga program lainnya, direkam dalam ROM di pabriknya dan kita

tidak dapat merubahnya.

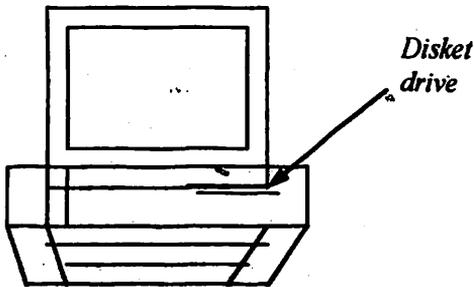
RAM (*random access memory*) merupakan media penyimpanan yang cepat hilang. Komputer membaca dari dan menulis pada RAM. Program yang dioperasikan juga *diload* pada RAM, dan juga data yang dimasukkan maupun dirubah akan disimpan di RAM. Data yang disimpan pada RAM akan hilang pada saat komputer mati atau dimatikan. Karena itu RAM tidak digunakan untuk menyimpan program maupun data secara permanen sehingga tetap memerlukan disk untuk menyimpan data dan program. Meskipun demikian RAM digunakan sebagai tempat penyimpanan utama saat kerja karena alasan kecepatannya. Kira-kira hanya diperlukan sekitar seper-sejuta detik untuk menyimpan atau merubah satu karakter ke atau dari RAM.

Sebuah lubang pembaca disket (*diskette drive*) seperti pada Gambar 1-2 dapat digunakan untuk membaca dan menulis informasi pada disket, untuk tujuan penyimpanan program dan data. Sebuah disket, yang biasa disebut *floppy diskette* bisa menyimpan 360.000 sampai 1.440.000 karakter, tergantung dari tipe kepadatannya. Disket merupakan media yang mudah dipindahkan, dan kita bisa mengganti disket satu dengan lainnya untuk menyimpan program atau pun data. Ini berarti sebuah lubang pembaca disket memungkinkan kita untuk menyimpan banyak data dan program secara beruntun. Seluruh PC hampir selalu dilengkapi dengan paling tidak satu lubang pembaca disket.

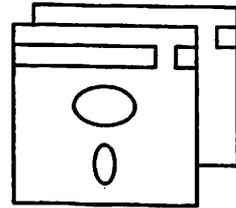
Hard disk (fixed disk) juga disebut *winchester disk* menyimpan informasi pada plat keras yang dilapisi oleh satu perangkat pembungkus plastik *cartridge* atau bahan lainnya. *Hard disk* biasanya menempel di bagian komputer, walau ada yang terpisah. *Winchester disk* lebih mahal daripada disket. Tetapi memungkinkan untuk lebih cepat mengakses data dan dapat menyimpan dari sekitar 20 juta hingga milyaran karakter.

Floppy diskettes (flopi disket) merupakan bagian yang cukup kritis dalam perangkat PC. Bagian ini memungkinkan untuk menyimpan dan memperbarui data dan program. Pada sistem PC yang mempunyai *hard disk*, flopi disket tetap penting untuk melakukan instalasi piranti lunak yang baru ke *hard disk* dan untuk *back up* isi *hard disk*. Ada dua pengelompokan dari disket, yaitu disket ukuran 5,25 inci dan disket ukuran 3,5 inci. Ada pula yang menggunakan 8,5 inci tetapi sudah jarang digunakan. Disket 3,5 inci merupakan disket yang dibuat dengan bungkus atau tutup dari bahan

campuran plastik berukuran 3,5 inci. Ada yang dengan kepadatan rendah dan tinggi. Untuk disket 5,25 inci, disket kepadatan rendah yang sering pula disebut (*double density diskette*) dapat menyimpan data sebanyak 360 kilo byte (KB).



Gambar 1-2. Letak disket drive pada PC



Gambar 1-3. Ilustrasi sebuah disket

Byte merupakan istilah dalam komputer untuk satu karakter tunggal. Satu kilo (K) sama dengan 1,024 *byte*. Jadi disket kepadatan rendah memungkinkan untuk menyimpan data sekitar 362,000 *byte*. Disket 5,25 inci kepadatan tinggi (*high density*) dapat menyimpan data sejumlah 1,2 mega *byte* (MB). Satu mega *byte* sama dengan 1024 x 1024 *byte*, atau sekitar 1 juta *byte*. Jadi disket 5,25 inci kepadatan tinggi dapat menyimpan sekitar 1,2 juta karakter data. Disket 3,5 inci kepadatan rendah menyimpan 720 KB dan disket 3,5 inci kepadatan tinggi menyimpan 1,44 MB.

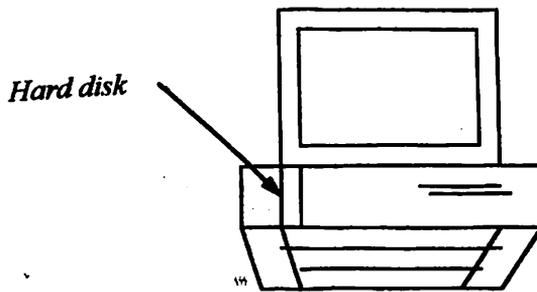
Gambar 1-3 menggambarkan komponen penting suatu disket. Disket merupakan sebuah lingkaran magnetik yang dilapisi bahan campuran plastik tipis yang berputar bebas dalam satu bungkus atau kemasan. Label pada kemasan menunjukkan isi dari disket. Lubang pembaca disket menulis dan membaca disket melalui lubang baca-tulis. Pada disket 5,25 inci lubang baca-tulis ini merupakan lubang yang memotong bagian kemasan, sedang pada 5,25 inci lubang tersebut dilapisi dengan campuran metal yang tertekan pada saat disket dimasukkan kedalam lubang pembaca disket. Usahakan jangan menyentuh lapisan pada disket karena bagian ini mudah sekali rusak. Debu dan sedikit minyak dari jari kita dapat merusak bagian ini dan mengakibatkan sama sekali tidak dapat digunakan.

Disket selalu mempunyai bagian yang disebut *write-protect* yang memungkinkan pemakai untuk melindungi data maupun program dari penulisan, penghapusan, dan penambahan secara tak sengaja. Untuk disket 5,25 inchi apabila lubang *write-protect* tidak tertutup oleh suatu penutup berarti disket tersebut tidak terlindung dari kemungkinan penulisan atau penambahan data. Sedang pada disket 3,5 inchi apabila berlubang (biasanya di bagian sudut bawah terbuka keduanya) berarti terlindung dari penulisan atau penambahan dan penghapusan data.

Karena sensitifnya disket, maka harus hati hati dalam merawatnya, cara merawat disket antara lain sebagai berikut :

- a) Selalu berada dalam amplop/*cover*nya apabila tidak sedang digunakan,
- b) Letakkan disket selalu dalam posisi vertikal (tegak),
- c) Usahakan jangan menyentuh bagian dalamnya dengan sapu tangan atau bagian pakaian lainnya,
- d) Jauhkan dari tempat panas, baik panas matahari maupun radiator atau lainnya,
- e) Jangan sekali-kali dilengkungkan,
- f) Jangan menulis tulisan dengan pensil atau pena tajam di atas disket,
- g) Jauhkan dari pengaruh magnet, seperti radio, televisi, radio-tape, telepon dan lainnya karena pengaruh magnet yang kuat akan dapat menghapus maupun merusak data,
- h) Usahakan jangan memindah atau mengambil disket dari lubang pembaca disket pada saat lampunya masih menyala.

Data direkam di disket dalam konfigurasi melingkar yang disebut *track* (trak). Masing-masing trak dibagi menjadi sejumlah sektor. Apabila data disimpan akan diberikan tempat dengan menggunakan sistem trak dan sektor. Batas elektronik dari trak dan sektor harus ditentukan pada disket dengan cara yang disebut *formatting* (memformat). Trak pertama dari disket berisi informasi tentang data pada disket. Data ini berisi daftar direktori dari bermacam *file* pada disket dan informasi tentang tiap file (tanggal, waktu terakhir file tersebut dirubah, panjang file, lokasi sektor pertama dan sebagainya). Trak awal dari disket juga berisi tabel yang disebut FAT (*file allocation table*), menunjukkan sektor yang digunakan .



Gambar 1-4. Ilustrasi letak *hard disk* pada sebuah PC

Hard disk (fixed disk) merupakan sebuah perangkat penyimpanan magnetik pada komputer yang berbentuk plat melingkar (ukurannya bervariasi) yang berputar dalam suatu lapisan yang terbatas. *Hard disk* tidak hanya dapat menyimpan lebih banyak data, tetapi juga berputar lebih cepat dari disket, sehingga memungkinkan komputer untuk dapat mengakses lebih cepat pula.

Hard disk juga terorganisir seperti disket yaitu trak dan silinder, yang ditulis pada saat memformatnya. *Hard disk* mempunyai direktori dan FAT seperti pada disket. Sebagai pemula dapatlah dibayangkan bahwa *hard disk* merupakan disket yang kapasitasnya sangat besar. Biasanya setiap *hard disk* yang dijual sudah di format, tetapi masih memungkinkan pula untuk memformatnya kembali sesuai dengan tujuan pemakai. *Optical disk* (disk optik), CD ROM, dan DVD merupakan perangkat penyimpan mirip tersebut di atas dengan kapasitas yang besar dan mudah untuk dipindahkan, seperti disket dalam menyimpan data.

Sarana Keluaran

Bagian video dari PC terdiri dari dua bagian, yaitu monitor dan *circuit board*, yang disebut *video adapter*. Alat ini mengirim sinyal yang dikirimkan komputer ke monitor. Video ini biasanya diselipkan dalam *expansion slot* yang berada di dalam komputer. Video pada beberapa PC berada menyatu dengan *circuit board*nya. Kemampuan video dalam PC tersebut termasuk resolusi atau ketajaman layar dan warna yang dapat ditayangkan oleh sistem *display*. Kemampuan ketajaman ini sangat tergantung pada video dan monitornya.

Monitor yang dapat menayangkan warna tunggal disebut *monochrome*, sedang yang dapat menayangkan beberapa warna disebut monitor warna (*color monitor*). Dengan menggunakan beberapa video adapter, beberapa tingkatan kehitaman warna dapat ditayangkan pada monitor *monochrome*. Contoh *video adapter* yang paling sederhana dan paling lama adalah *monochrome display adapter* (MDA) dan *color graphics adapter* (CGA). MDA hanya bisa menayangkan satu warna pada monitor *monochrome*, dan CGA dapat menayangkan empat warna sekaligus secara bersamaan dengan resolusi grafis 320x200 dalam empat warna atau 640x200 dalam dua warna (hitam dan putih).

Dengan komputer seri PS/2, IBM telah menciptakan adapter baru yaitu Video Graphic Array (VGA) dengan resolusi 640x480 dalam 16 warna. VGA dapat digunakan pada monitor digital yang lama, baik yang *monochrome* atau yang warna. IBM bahkan mengembangkan lagi *graphic board* (panel grafis) 8514/A dengan resolusi 1024x768. Ini hanya untuk komputer mulai generasi PS/2 80386. Compaq juga memperkenalkan *Compaq Advanced Graphic System* untuk semua PC non PS/2 80386 dengan resolusi 1024x768. Super VGA merupakan pembaruan dari VGA. Sebenarnya banyak lagi jenis video adapter beredar di pasaran yang tidak memungkinkan disebut satu per satu dalam buku ini. Namun ada beberapa pembuat adapter yang cukup dikenal yaitu *Paradise System* dan *AST Research*. Apabila kita membeli sebuah sistem, kita harus mendapatkan monitor dan video adapter yang dapat bekerja dalam satu sistem secara bersamaan. Seperti yang anda ketahui bahwa semakin tinggi resolusi grafis dan warna yang diinginkan semakin mahal harga komputer tersebut.

Teknologi *printer* telah berkembang dengan pesat pada dekade belakangan ini. Banyak sekali pilihan harga dan kualitas *printer*. Pada dasarnya terdapat 2 tipe *printer* yaitu *dot-matrix* dan laser.

1. *Printer Dot-matrix.*

Printer jenis ini mencetak karakter sebagai kumpulan titik yang dihasilkan melewati kabel pengirim yang menekan pita. Yang membedakan antar *printer* jenis ini adalah kecepatan dan jumlah titik yang membentuk satu karakter (resolusi). Kualitas cetaknya sama dengan mesin ketik .

2. *Printer Laser.*

Jenis ini cukup mahal, mengkombinasikan pencetakan kualitas tinggi dengan kecepatan yang tinggi pula. *Printer* jenis ini dapat menghasilkan 8 hingga 50 halaman standar dalam satu menit. Kualitas pencetakannya sama dengan hasil cetakan *typeset* (tergantung resolusinya). Dan jenis ini dapat digunakan untuk komputer jenis *desktop publishing*.

Beberapa *printer* dilengkapi dengan *parallel interface* yang harus dihubungkan dengan *parallel adapter* (cara paralel). Dan beberapa *printer* lainnya dilengkapi dengan *serial interface* yang harus dihubungkan dengan *serial adapter* (cara serial).

Informasi tambahan

Banyak sekali perlengkapan komputer yang dapat disambungkan ke sebuah PC, mulai dari *mouse*, *printer*, skener hingga peralatan komunikasi seperti *modem* dan *faximile*. Terdapat dua cara penyambungan peralatan tersebut, yaitu cara serial dan cara paralel. Masing-masing punya steker atau stop kontak/colokan yang memungkinkan kita untuk menyambungkan kabel dari *printer* atau lainnya. Setiap PC masa kini biasanya mempunyai satu cara penyambungan yang sering disebut *serial port* dan satu adapter paralel yang disebut *parallel port*.

Parallel port didesain khususnya untuk *printer*, karena data dapat dikirimkan melalui *parallel port* dengan 8, 16, atau 32 kelompok bit. Dan *serial port* biasanya digunakan untuk *printer* dan *modem*. *Serial port* mengirimkan data sekali satu bit atau secara berseri yang mengakibatkan lambatnya pengiriman data dibandingkan dengan *parallel port*. Akan lebih baik apabila satu PC yang digunakan untuk banyak fungsi dilengkapi dengan beberapa *parallel* dan *serial port* agar memungkinkan penggunaan beberapa peralatan tambahan dengan mudah.

Kecepatan sebuah PC diatur dengan sebuah pengatur waktu di dalam komputer yang ditunjukkan dengan getaran kristal. Detikan dari pengatur waktu menunjukkan putaran kecepatan yang dimiliki komputer saat beroperasi. Kecepatannya diukur dalam satuan *megahertz* atau jutaan putaran per detik. Satu putaran sama dengan satu detikan dari pengatur waktu. IBM PC yang pertama kali muncul

mempunyai kecepatan (*clock speed*) 4,77 megahertz. Untuk PC tipe CPU 8088 mempunyai kecepatan 6 atau 8 megahertz. PC dengan tipe CPU 80286 berkecepatan 8, 10, atau 12 megahertz, sedangkan PC 80386 berkecepatan 16, 20, atau 25 megahertz dan untuk PC 80486 berkecepatan 33 dan 66 megahertz. Semakin tinggi kecepatannya semakin besar dan cepat kemampuan beroperasinya dalam satu detik. Di samping kecepatan tersebut, yang perlu dipertimbangkan lagi adalah tingkat akses dari satu PC untuk membaca atau menulis data dari dan ke *hard disk*.

Jumlah RAM dalam komputer diukur dengan *bytes*, satu *byte* sama dengan kemampuan untuk menyimpan satu karakter. PC masa kini biasanya memiliki kapasitas RAM minimal 640K *bytes*. Kelihatannya 640 merupakan angka yang aneh, tetapi ini merupakan persyaratan untuk sebuah sistem operasi MS-DOS agar bisa dijalankan. Pada saat pertama kali dikenalkan, jumlah RAM 640KB tersebut terlihat cukup besar, tetapi sekarang dengan banyaknya program yang memerlukan RAM lebih tinggi mulai menoleh ke RAM yang lebih besar. Untuk itu sekarang banyak PC dengan RAM 1000K, 2000K, bahkan lebih. PC dengan tipe 8088 dan 80286 dapat ditambah jumlah 640 KB RAM dengan menambah *memory board* dan *software* atau piranti lunak pendukungnya.

Pada tahun 1985 Lotus, Intel, dan Microsoft mengumumkan *Expanded Memory Specification* versi 3.0 (LIM EMS 3.0). Piranti lunak yang ditulis untuk EMS 3.0 dapat menggunakan RAM hingga 8 MB, meskipun hanya 64K dari memori tambahan tersebut yang dapat diaktifkan dalam satu operasi. Dari hasil riset AST kemudian keluar yang lebih baru yaitu dengan standar *Enhanced EMS* (EEMS) yang memungkinkan untuk akses ke RAM 16 MB dan memungkinkan memori aktif 1 MB. Akhirnya pada tahun 1987 Lotus/Intel/Microsoft memperbaiki EMS hasil karyanya dengan versi 4.0 (LIM 4.0) yang memungkinkan untuk akses RAM 32 MB. Kompetisi penambahan RAM ini terus menerus terjadi hingga sekarang.

Math coprocessors merupakan perangkat mikro-prosesor untuk melakukan operasi perhitungan dan beberapa fungsi ilmiah. Ada beberapa jenis maupun tipe mikro-prosesor yang bervariasi menurut kecepatan dan kecanggihannya. Intel 8087 merupakan ko-prosesor yang paling rendah dan didesain untuk bekerja dengan mikro-prosesor 8088 dan 80286. Intel 80287 didesain untuk bekerja dengan mikro-prosesor

80386. Mikro-prosesor ini menempel atau berada pada *mother-board* PC. Pertambahan kecepatan dalam memproses perhitungan dengan menggunakan sebuah ko-prosesor dapat berlipat antara 10 sampai 100 kali lipat.

PIRANTI LUNAK KOMPUTER

Dalam uraian ini hanya akan dibicarakan MS DOS sebagai piranti lunak yang sangat mendasar untuk sebuah PC. Piranti lunak (piranti lunak) merupakan bagian penting dalam menjalankan sebuah komputer, dan dengan piranti lunak ini instruksi yang kita inginkan dapat dijalankan. Jadi piranti lunak merupakan suatu program untuk menginstruksikan komputer agar melakukan fungsi yang diperintahkan.

Pengoperasian PC disupervisi oleh serangkaian program yang disebut sistem operasi. Sistem operasi mempunyai beberapa fungsi antara lain:

- a) Pemberian perintah kepada komputer, seperti 'Run program ini'.
- b) Satu set sub-program yang mana pemakai dapat menggunakannya untuk tujuan tertentu, seperti untuk membaca atau menulis dalam disket, *hard disk*, menulis pada layar, dan membaca *keyboard*.
- c) Satu set subprogram untuk memantau peralatan dalam sistem. Apabila sistem operasi mendeteksi ada keanehan biasa maka akan menginformasikan ke program yang sedang dijalankan, tetapi kalau keanehan yang cukup besar atau fatal maka akan menghentikan jalannya komputer.
- d) Satu set subprogram *kerumahtanggaan* komputer, seperti untuk menformat disket, mengkopi file dan sebagainya.

Untuk PC IBM, sistem operasi ini disebut PC-DOS, tetapi untuk PC IBM-*Compatible* sistem operasi ini disebut MS-DOS. MS merupakan standar Microsoft, perusahaan pembuat sistem operasi. Untuk dapat mengoperasikan sebuah PC pengetahuan tentang sistem operasi sangat penting.

Selain piranti lunak sistem operasi tersebut, banyak sekali piranti lunak aplikasi yang dapat digunakan untuk menganalisis maupun memproses data untuk tujuan tertentu seperti Lotus, Exell, dBase, Foxpro, Word Star, Word Perfect, MS Word, AutoCAD dan piranti lunak pemrosesan citra dan GIS misalnya ERDAS, ILWIS,

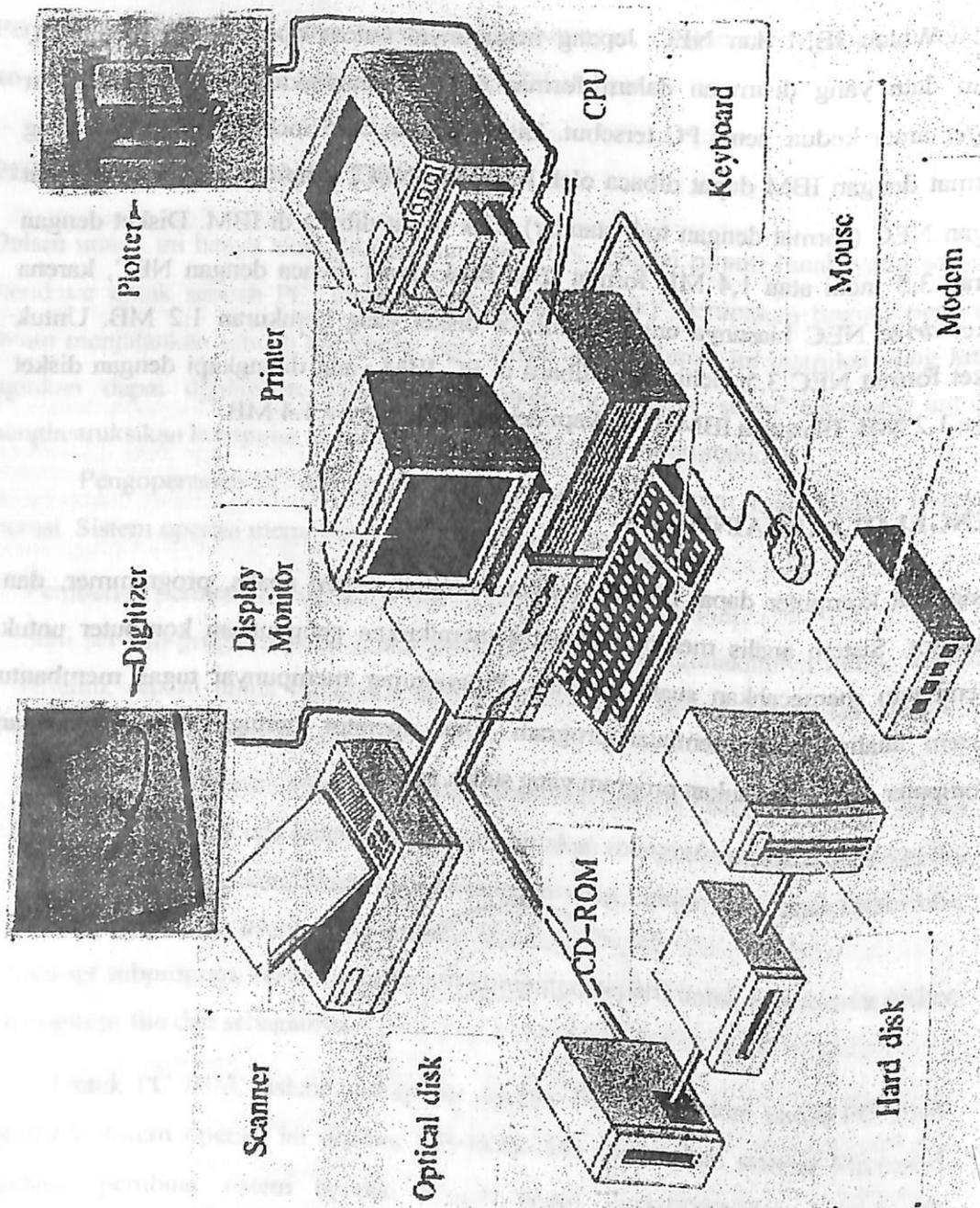
IDRISI, ARC/INFO, MAPINFO.

Walau IBM dan NEC Jepang mempunyai sistem operasi yang berlainan, namun data yang disimpan dalam format ASCII memungkinkan untuk diadakan *transfer* antar kedua jenis PC tersebut. Disket ukuran 5,25 inchi atau 1,2 MB yang diformat dengan IBM dapat dibaca oleh komputer NEC, tetapi disket yang diformat dengan NEC (format dengan trak standar) tidak dapat dibaca di IBM. Disket dengan ukuran 3,5 inchi atau 1,4 MB format IBM tidak dapat dibaca dengan NEC, karena disket *drive* NEC biasanya untuk membaca disket yang berukuran 1.2 MB. Untuk disket format NEC 3,5 inchi dapat dibaca di PC IBM yang dilengkapi dengan disket *drive* 1,2 MB. Biasanya IBM dilengkapi dengan disket *drive* 1.4 MB.

PENGELOLA (BRAINWARE)

Pengelola komputer dapat dikelompokkan menjadi sistem analis, programmer, dan operator. Sistem analis mempunyai tugas memikirkan penggunaan komputer untuk membantu memecahkan suatu masalah. Programmer mempunyai tugas membantu sistem analis untuk membuat program. Dan operator bertugas mengoperasikan komputer dan menjalankan program yang sudah ada.





Gambar 1-5. Sebuah komputer dengan komponen input-output

DASAR-DASAR REMOTE SENSING

PENGERTIAN

Untuk menghindarkan kesalah fahaman bagi pembaca, khususnya yang belum mendalami penginderaan jauh (selanjutnya disebut *remote sensing*), maka uraian berikut diharapkan akan memperjelas pemahaman dalam mempelajari remote sensing. Seperti ilmu yang lain, remote sensing mempunyai pengertian yang cukup banyak. Untuk itu pengertian tersebut perlu diuraikan secara hati hati agar mudah difahami. Hal ini mudah tetapi juga sulit. Secara literal, remote sensing dapat diartikan sebagai ilmu dan pengetahuan untuk mengetahui suatu obyek dari jarak tertentu tanpa kontak atau menyentuh langsung obyek tersebut. Tetapi pengertian ini terlalu umum sehingga tidak begitu jelas. Karena pengertian ini termasuk dalam segala aspek seperti astronomi, geofisik, foto udara, dan bahkan melihat diri sendiri dalam kaca. Dalam bahasa Perancis, remote sensing sering disebut *teledetection* dan *fernerkundung* dalam bahasa Jerman.

Secara konvensional, istilah tersebut terbatas untuk perekaman informasi, biasanya dalam bentuk citra, tentang muka bumi, baik darat maupun laut, dan atmosfer di atasnya, menggunakan wahana sensor pesawat terbang (*airborne*) atau wahana satelit (*spaceborne*). Tidak terbatas pada sensor pasif, perekaman dari pantulan atau pancaran radiasi elektromagnetik, terutama sejak remote sensing mencakup sistem RADAR dan LIDAR. Perbedaan antara remote sensing dan *airborne geophysics* menjadi tidak jelas, setelah adanya teknik geofisik pasif (seperti *gamma-ray spectrometry*, *magnetometry*) dan teknik aktif (*airborne electromagnetic*) yang secara mendasar tidak berbeda dari kegiatan yang umumnya termasuk dalam kategori famili ilmu remote sensing. Apa yang termasuk dalam famili remote sensing akan dijelaskan dalam bagian berikut dalam buku ini.

Sistem Informasi Geografis (SIG) yang diterjemahkan dari *Geographic Information Systems* (GIS) merupakan satu subyek yang banyak ditulis dan sedang

manjadi mode dalam dekade ini, yang seolah-olah merupakan sesuatu yang mengagumkan atau dapat membantu memecahkan segala persoalan. Berbagai institusi, baik pemerintah maupun swasta, percaya bahkan membuat fihak lain percaya bahwa mereka telah maju beberapa langkah dalam bidang teknologi apabila investasi dalam dan menggunakan SIG.

Beberapa institusi telah puluhan bahkan ratusan tahun menggunakan SIG. Peta Topografi standar, produksi Jawatan Topografi, Angkatan Darat maupun Bakosurtanal (Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional) merupakan sebuah SIG. SIG merupakan kumpulan dari data geografis yang disajikan dalam suatu bentuk tampilan tertentu untuk menggambarkan hubungan serta keterkaitannya. Peta topografi sekala 1:50.000 merupakan gambaran dari gabungan beberapa kenampakan geografis tentang jaringan transportasi, penggunaan lahan, jaringan pengairan, pola permukiman, dan ketinggian dengan penampilan berwarna serta komunikatif yang merupakan generalisasi dari banyak informasi dalam bentuk penyajian relatif murah.

Perbedaan antara peta topografi konvensional tersebut dengan SIG yang merupakan topik dari berbagai kelompok pertemuan, majalah, dan pemasaran prasarana komputer adalah fleksibilitasnya. Peta konvensional menyajikan data yang dipilih dan digeneralisasi secara hati hati dalam sekala dan bentuk tertentu, tetapi kurang fleksibel. SIG yang terkomputerisasi dapat menyajikan peta tertentu termasuk kenampakan yang diinginkan oleh *user* (pemakai) dari sejumlah atribut atau informasi dalam sekala yang tepat untuk tiap problem. SIG juga dapat menyajikan hubungan antar sejumlah besar data yang akan dikaji dan dikuantifikasikan. Dukungan dari komputer, mencakup fasilitas penayangan (*display*) dan pencetakan (*hard copy*), mendorong berkembangnya pengkajian data dalam jumlah besar yang semula hampir tidak mungkin dengan teknik peta konvensional sederhana. Ini merupakan ungkapan kelebihan SIG, yang merupakan bagian dari konsep dasar SIG itu sendiri. Penggunaan berbagai bentuk dan sekala peta serta citra satelit dalam pertambangan, evaluasi lahan, pemantauan hutan, dan pengembangan wilayah merupakan hal yang telah biasa dilakukan. Dalam konteks tersebut, tidak ada hal baru yang mendasar mengenai konsep SIG, tetapi hanya

sekala dan kecepatan dalam manajemen data yang berubah.

Hampir semua SIG terkomputerisasi mempunyai kemampuan untuk memanipulasi, menyajikan, dan menganalisis sejumlah data geografis dalam bentuk vektor maupun *raster (mesh)*, dan juga dapat mengakses *data base* tabular dengan titik, garis, maupun poligon dalam peta digital. Umumnya memungkinkan untuk pengolahan data masukan yang cukup bervariasi mulai dari dalam bentuk pita magnetik, *scanner (skener)*, kamera video, digitasi hingga koding secara manual. Bentuk keluarannya pun akan bervariasi mulai dari monitor warna resolusi tinggi, *laser printer, plotter* hingga fasilitas kamera *printing (pencetakan)*.

Pengertian penting lain adalah yang berkaitan dengan citra dan tata namanya. Citra digital tidak sama dengan sebuah foto, yang hanya merupakan sebuah gambar apabila sudah dikonversi dari bentuk digital ke analog pada layar monitor atau dalam bentuk cetakan foto. Citra digital merupakan refleksi dari ribuan, bahkan lebih, pantulan obyek berbeda (*pixel*) yang dapat disajikan dalam bentuk baris dan kolom teratur, dan masing-masing mempunyai nilai digital yang berhubungan dengan rata-rata pantulan dari permukaan obyek yang diwakilinya. Obyek yang diwakili tersebut biasanya disebut resolusi, atau resolusi spasial, dari sensor. Berbeda dengan IFOV (*instantaneous field of view*) yang merupakan lebar cakupan pandang dari sensor, dengan resolusi spasial tergantung pada jarak sensor dari obyeknya.

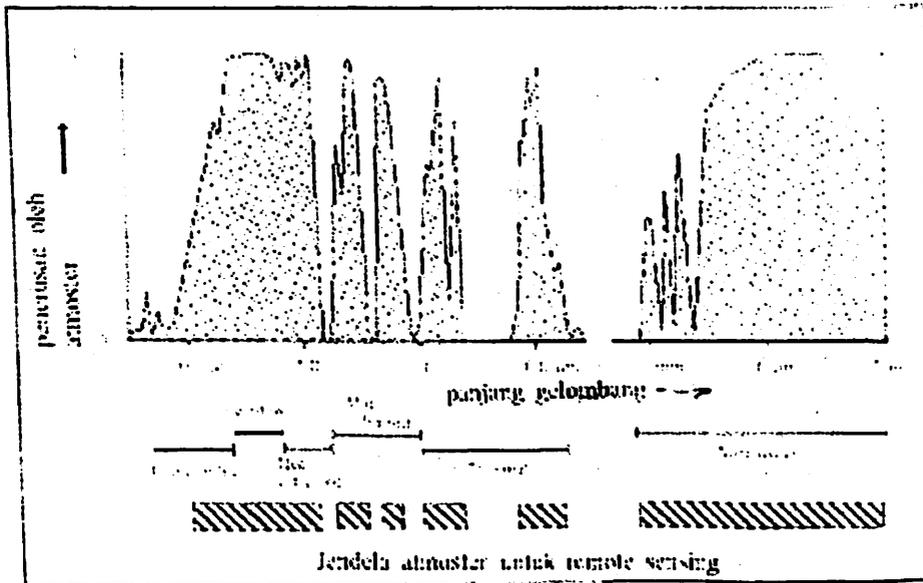
Citra digital adalah merupakan gambaran yang diperoleh dengan cara *scanning (sapuan)*, bukan dipotret seperti menggunakan kamera foto (*hand camera*). Citra kanal ganda (*multi-spectral* atau *multi band*) sebenarnya merupakan gabungan dari citra digital, yang masing-masing kenampakannya ditampilkan menurut sensitifitas sensor yang digunakan. Masing-masing *pixel* akan mempunyai nilai digital untuk tiap spektralnya, nilai digital tersebut tergantung pada desain sistem sensor yang digunakan. Radiasi elektromagnetik dari masing-masing obyek dengan unit *pixel* pada setiap satuan panjang gelombang berubah dalam detektor foto-elektrik dalam sensor. Radiasi elektromagnetik tersebut kemudian dikonversi dalam bentuk nilai digital dalam sistem sensor dan ditransfer dari satelit ke stasiun penerima di muka bumi yang kemudian direkam dalam pita magnetik. Dalam

beberapa skener satelit remote sensing, satuan kuantisasi data yang digunakan adalah delapan-bit, sehingga memungkinkan variasi tingkat penyajian dari nol hingga 255 untuk tiap panjang gelombang dan *pixel*. Beberapa satelit meteorologi menggunakan satuan sepuluh-bit untuk tujuan merekam data yang lebih teliti dalam pengukuran temperatur. Satelit milik Jepang MOS-1 dan JERS-1 menggunakan satuan enam-bit, sehingga memungkinkan variasi tingkat penyajian dari nol hingga 63. Hal ini dapat mengurangi jumlah data yang diteruskan atau disimpan, tetapi juga mengurangi besarnya isi informasinya.

SPEKTRUM ELEKTROMAGNETIK

Radiasi elektromagnetik mempunyai cakupan yang sangat luas, dari sinar X ke tampak mata hingga gelombang radio. Radiasi tersebut dapat diteruskan melalui ruang hampa udara, dan tidak memerlukan pergerakan molekul dari benda yang dilalui seperti yang terjadi pada gelombang suara. Hanya sebagian kecil dari spektrum elektromagnetik yang demikian luas dimanfaatkan untuk teknologi remote sensing hingga kini seperti pada Gambar 2-1. Radiasi diklasifikasikan menurut panjang gelombangnya, dari 0,3 mikron ($1 \text{ mikron} = 1 / 1000 \text{ mm}$) pada daerah ultra violet hingga 1 m, yang merupakan panjang gelombang terpanjang yang digunakan dalam remote sensing gelombang mikro. Banyak ahli yang bekerja dalam energi gelombang mikro mengklasifikasikan radiasi dengan frekuensi daripada dengan panjang gelombang, dan kanal gelombang yang digunakan dalam remote sensing gelombang mikro adalah pada daerah *gigahertz* (ribuan juta putaran per detik).

Batas atas dan batas bawah dari spektrum yang digunakan untuk remote sensing terbatas pada interaksi fisik antara radiasi dan benda yang menutup muka bumi. Remote sensing mengkhususkan pada kajian permukaan bumi, dan pada beberapa kasus untuk lapisan di dekatnya. Radiasi dari sumber alam seperti matahari atau sumber buatan seperti sistem aktif RADAR, dipantulkan, dipancarkan atau dihamburkan kembali ke sensor. Dalam melakukan pengamatan permukaan bumi, radiasi merupakan hal yang penting untuk diperhatikan.



Gambar 2-1. Cakupan spektrum elektromagnetik dalam remote sensing

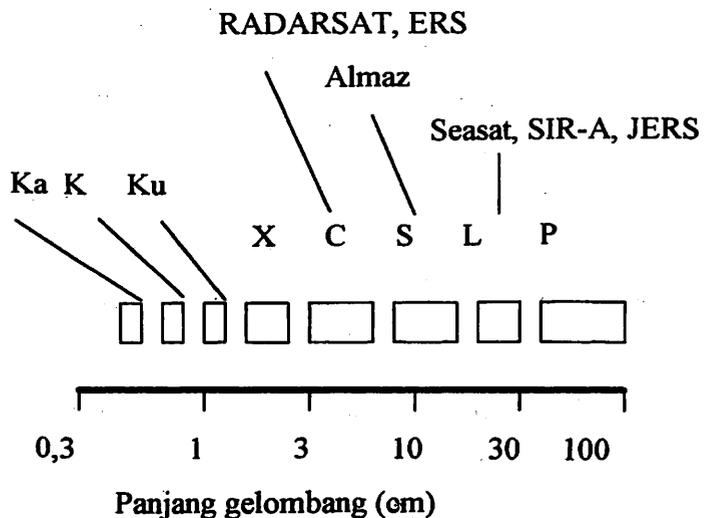
(Sumber : Christopher Legg. 1992. dan David Lindgren. 1985)

Apabila panjang gelombang dari radiasi direndahkan menjadi sama besar seperti jarak antara molekul di permukaan benda, maka radiasinya tidak dipantulkan oleh permukaannya tetapi menembusnya. Kemudian mungkin dihamburkan atau disebarkan, tetapi sebagian kecil dari radiasi akan bisa kembali ke sensor. Radiasi yang sebagian ini berguna untuk remote sensing yakni dari batas bawah cakupan *ultra violet* (meskipun dalam kenyataannya yang dimanfaatkan kebanyakan batas bawah wilayah cakupan tampak mata) hingga panjang gelombang radio.

Setelah mengetahui batas bawah dan batas atas dari cakupan panjang gelombang yang bermanfaat untuk remote sensing, perlu kiranya diketahui lebih jauh kenampakan dan karakteristik dari masing-masing bagian panjang gelombang tersebut. Panjang gelombang yang dimaksud diklasifikasikan menjadi 6 bagian seperti uraian berikut. Bagian yang dapat dimanfaatkan disebut jendela atmosfer, yaitu daerah panjang gelombang yang pada daerah atmosfer tembus cahaya. Ini termasuk daerah cakupan panjang gelombang mikro, infra merah termal, infra merah dekat, dan tampak mata.

Gelombang Mikro

Bagian panjang gelombang mikro dari spektrum dapat dikategorikan menjadi kelompok spektral seperti **Gambar 2-2**. Pengelompokan ini lebih bersifat historis dan berasal dari sistem RADAR penerbangan militer dan sipil dari pada pertimbangan jenis remote sensing yang kita bicarakan. Secara umum, panjang gelombang pendek diserap oleh bahan-bahan alami, khususnya air, sedangkan panjang gelombang yang lebih panjang menembus lebih jauh hingga ke tanah dan tidak begitu jauh apabila kering. Jumlah energi yang dihamburkan kembali ke sensor tergantung pada beberapa hal, tetapi khususnya pada konstanta material yang bersangkutan, kekasaran permukaan sebagai fungsi dari panjang gelombang yang digunakan, dan kemiringan relatif dari permukaan terhadap sinar RADAR. Faktor terakhir sering mendominasi, sehingga topografi merupakan faktor yang sangat mempengaruhi kenampakan suatu obyek yang dideteksi dengan menggunakan citra RADAR.



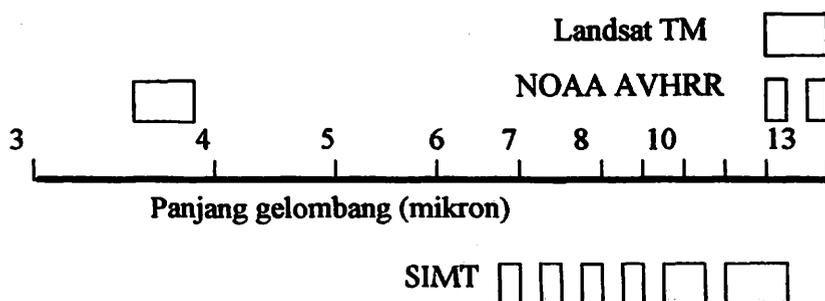
Gambar 2-2. Nomenklatur kanal microwave dalam remote sensing
(Sumber : Christopher Legg, 1992 dengan modifikasi)

Konstanta material merupakan fungsi dari litologi, tetapi juga kelembaban, dan kekasaran permukaan yang tercermin dalam karakteristik litologinya. Untuk itu *digital elevation mode* (DEM) dapat digunakan untuk membantu mengurangi

kesalahan topografis. Untuk daerah yang sering tertutup awan pada saat pemotretan, seperti Kalimantan dan Irian Jaya serta sebagian Sumatera, penggunaan panjang gelombang mikro untuk mendeteksi kenampakan lahannya akan sangat membantu, karena penginderaan dengan memanfaatkan panjang gelombang ini akan dapat menembus awan.

Infra merah termal

Beberapa sensor penginderaan yang memanfaatkan panjang gelombang ini terlihat pada Gambar 2-3. Beberapa kendala teknis dalam penginderaan seperti yang akan dijelaskan pada sub bab infra merah tengah juga ditemui di daerah panjang gelombang ini. Hal ini tidak akan ditemui apabila lebih banyak memanfaatkan peluang di daerah yang lebih tinggi dari 10 mikron. Peralatan optik konvensional tidak dapat digunakan, dan detektornya harus didinginkan agar dapat mengatasi gangguan yang ada. Pengembangan sensor penginderaan infra merah termal telah dipelopori oleh kelompok meteorologi, yang memerlukan ketelitian pengukuran temperatur permukaan laut dan permukaan awan. Sensor yang sedang operasional pada saat ini adalah AVHRR pada satelit NOAA dan ATSR pada ERS-1, yang masing-masing dengan satu kanal pada 3,5 mikron jendela atmosfer dan dua pada daerah 10 mikron. Sensor tersebut semuanya dikalibrasi secara hati-hati dan dapat menghasilkan data temperature ketelitian tinggi untuk permukaan yang homogen. Kanal termal tunggal pada Landsat TM tidak dikalibrasi secara baik, dan hanya memberikan indikasi temperatur secara kualitatif.



Gambar 2.3. Panjang gelombang sensor infra merah termal
(Sumber : Christopher Legg, 1992)

Penggunaan daerah panjang gelombang ini banyak untuk tujuan pemantauan kebakaran hutan dan pembedaan persembunyian gerilya bawah tanah, tetapi tidak banyak untuk studi struktur geologi, walaupun banyak manfaatnya. Studi geologi lebih menekankan pada pembedaan panas antara batuan dan satuan tanah. Perbedaan panas, karena perbedaan kelembaban, dapat memberikan indikasi adanya patahan, apabila dilihat dari citra termal. Perbedaan dalam pemancaran panas dapat menjadi indikasi cukup penting dalam pembedaan litologi, tetapi deteksi ini memerlukan kemampuan spektral ganda pada daerah 10 mikron. Hingga sekarang hanya ada pada sistem penginderaan SIMT (sensor infra merah termal), yang mempunyai keunggulan dalam menghasilkan citra untuk memudahkan interpretasi geologi.

Infra merah tengah

Sebenarnya daerah ini mencakup dua jendela atmosfer, yaitu sekitar 1,5 mikron dan 2,2 mikron dengan masing-masing karakteristiknya. Tingkat radiasi pada daerah ini relatif rendah. Radiasinya diserap semua, tetapi penggunaan sistem optik dengan lensa khusus yang dilengkapi dengan alat pendingin seperti yang telah disebut di atas (subbab **infra merah termal**), telah memecahkan ketidakmanfaatan daerah panjang gelombang ini dalam remote sensing. Ini merupakan daerah yang sangat penting untuk studi vegetasi dan geologi, tetapi hingga 1980an hanya Landsat TM yang dilengkapi dengan sensor untuk mengindera daerah ini. Penggunaan sensor khusus untuk daerah 2,2 mikron pada JERS-1 dan 1,5 mikron untuk SPOT, yang merupakan peningkatan dari sensor yang dipasang pada ERS-1 ATSR dan NOAA AVHRR diharapkan akan memberi banyak informasi untuk geologi dan vegetasi.

Jendela 1,5 mikron sangat berguna untuk kajian vegetasi, misalnya dapat memberikan informasi tentang pembedaan tanaman berdaun jarum dan berdaun lebar, dan juga bermanfaat untuk kajian liputan salju dan es. Daerah 2,2 mikron seperti pada **Gambar 3-4** merupakan daerah menunjukkan karakteristik puncak penyerapan untuk berbagai jenis mineral seperti mineral lempung. Penyertaan kanal atau kanal 7 (2,2 mikron) pada Landsat TM, yang banyak diminati oleh para ahli geologi, menunjukkan banyak kegunaan dalam bidang pemetaan litologi dan dalam

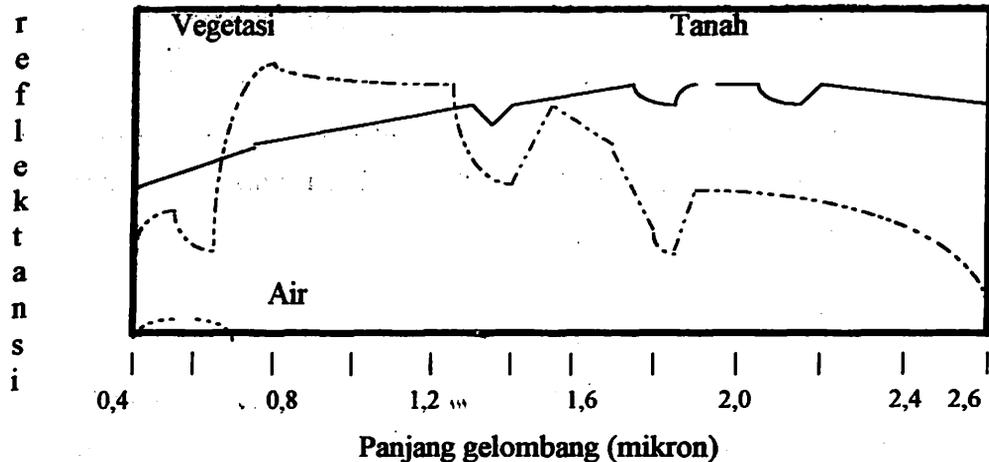
pembedaan zonasi batu lempung (tanah liat) dengan mineral pengendapan. Skener pesawat udara, khususnya *Australian Geoscan*, yang mempunyai sensor kanal ganda untuk mengindera daerah ini, telah membuktikan banyak manfaat dalam eksplorasi mineral. Sensor-sensor pada JERS-1 didesain untuk dapat mengindera informasi seperti yang diuraikan di atas.

Infra merah dekat

Daerah ini merupakan lanjutan dari daerah panjang gelombang tampak mata, dan mempunyai karakteristik yang hampir sama. Hal ini dapat diasosiasikan seperti sistem optik standar dan perekaman dengan menggunakan lapisan atau emulsi fotografi. Jumlah energi elektromagnetik di daerah ini lebih tinggi dibanding dengan daerah yang telah diuraikan, dan penyerapan serta penghamburannya kurang begitu besar. Hal ini menghasilkan cakupan yang lebih bervariasi pada daerah ini. Citra yang dihasilkan biasanya tajam dengan kontras yang bagus, dan sangat bermanfaat untuk tujuan pemetaan topografi. Informasi yang berkaitan dengan kajian struktur geologi, seperti pembedaan mineral atau litologi, tidak sebanyak pada infra merah lainnya, tetapi terkadang panjang gelombang ini juga dimanfaatkan untuk studi geologi struktur. Rasio antara infra merah dekat dengan tampak mata sangat penting untuk studi vegetasi, dan hampir keseluruhan penyerapan radiasi infra merah dekat oleh air, dibandingkan dengan penghamburan pada gelombang tampak mata, mendorong banyaknya penggunaan panjang gelombang ini untuk kajian pembedaan perairan dalam studi hidrologi.

Tampak mata

Daerah ini merupakan cakupan paling lebar dari jendela atmosfer yang banyak kita rasakan. Hal ini juga menguntungkan karena hewan pun diberi kemampuan memanfaatkan panjang gelombang yang hampir sama dengan kita, kalau tidak maka *wallohu a'lam*. Apabila terjadi penyerapan yang kuat pada daerah panjang gelombang tampak mata, maka kita bisa melihat suatu benda dengan cakupan yang agak melebar ke infra merah dekat.



Gambar 2-4. Reflektansi beberapa obyek
(Sumber : Modifikasi dari Lillesand dan Kiefer. 1987)

Dari Gambar 2-4 terlihat bahwa batuan, mineral, dan tanah tidak dapat jelas dibedakan satu dengan lainnya. Karena itu panjang gelombang ini tidak banyak digunakan untuk tujuan kajian geologi. Cahaya pada gelombang ini lebih banyak disebarkan atau dikaburkan oleh awan tipis, debu, dan polusi udara dibandingkan dengan pada infra merah dekat. Ini mengakibatkan kurangnya kontras pada citra yang dihasilkan, rendahnya pertambahan ataupun gradasi nilai digital, dan kurangnya informasi karena pengaruh hamburan oleh atmosfer.

Meskipun ada kendala tersebut, panjang gelombang ini banyak bermanfaat untuk berbagai studi. Antara lain merupakan panjang gelombang yang sistem pemotretan konvensional dapat dioperasikan, dan hampir semua sistem penginderaan pertama kali dulunya beroperasi pada panjang gelombang ini. Tiga dari empat kanal atau *band* pada Landsat MSS, dua kanal dari SPOT juga beroperasi pada panjang gelombang ini. Perbandingan (rasio) nilai radiasi antara daerah tampak mata dan infra merah dekat sangat berguna untuk kajian kadar besi dalam tanah, dan batuan karena pengaruh cuaca juga dapat dikaji dengan informasi dari porsi kanal merah pada daerah ini. Cahaya tampak mata menembus air hingga pada kedalaman tertentu yang tergantung pada kejernihannya, dan dipantulkan kembali oleh material pengendapannya. Kenyataan ini dan juga adanya kenyataan bahwa radiasi pada panjang gelombang infra merah hampir semuanya diserap oleh

air, menyebabkan daerah ini penting untuk kajian kualitas air, polusi, dan batimetri pantai dalam bidang remote sensing.

Ultra violet

Panjang gelombang ini banyak diminati oleh para ahli geologi untuk kajian mineral karena beberapa mineral menunjukkan karakteristik berpijar. Yang menjadi kendala adalah adanya penyerapan oleh atmosfer sangat besar dan cahaya ultra violet yang sampai ke muka bumi sangat kecil. Ini merupakan masalah dalam remote sensing, tetapi bermanfaat dalam praktik kehidupan sehari-hari, seperti dalam bidang kedokteran. Penginderaan dengan menggunakan sistem aktif laser pada panjang gelombang ini pernah dicoba dengan menggunakan pesawat terbang untuk kajian dalam bidang eksplorasi mineral, khususnya untuk pengkajian tambang emas, dan juga pernah dicoba untuk pemantauan lapisan minyak. Permukaan minyak di lautan dapat membantu identifikasi sebaran dan juga sumber minyak. Kendala lain dalam penggunaan sistem laser *ultra violet*, karena bahayanya apabila terkena langsung pada mata manusia.

SATELIT DAN ORBITNYA

Satelit sumber alam merupakan suatu hasil karya teknologi tinggi yang rumit dalam desainnya. Walaupun masing-masing satelit mempunyai karakteristik desain tersendiri, namun terdapat berbagai persamaan desain dasar dari komponen utamanya. Semua satelit remote sensing mempunyai '*power supply*' (tenaga pendorong), dilengkapi dengan alat untuk observasi bumi, mengirimkan informasi dari sensor ke stasiun penerima di muka bumi, dilengkapi dengan peralatan yang dapat dikendalikan dari muka bumi, dan mempunyai peralatan untuk mengontrol ketinggian dan posisinya. Semua ini tertata dalam bentuk suatu wahana, bisa seperti bus, yang bisa dikontrol. Contoh seperti ini dapat ditemui pada satelit NOAA yang dioperasikan oleh Lembaga '*National Oceanographic and Atmospheric Administration*' Amerika atau beberapa satelit Uni Soviet.

Dalam beberapa kasus tenaga pendorong untuk satelit sumber alam dibuat dengan perangkat panel untuk mengakomodasikan penggunaan tenaga matahari.

Panel tersebut dapat bergerak supaya selalu berhadapan dengan matahari. Pada saat satelit mengorbit pada sisi gelap, maka sistem tenaga baterai dapat diaktifkan. Untuk sistem sensor pasif, kebutuhan desain sensornya tidak sebesar kalau sistem sensor aktif. Pada satelit yang memanfaatkan panjang gelombang mikro, sistem RADAR aktif beroperasi sebentar saja, sisa waktunya dimanfaatkan untuk mengisi tenaga baterai. Pada satelit sistem RADAR militer Uni Soviet agak berbeda, kebutuhan untuk dapat menerima tenaga matahari lebih panjang. Beberapa satelit bahkan telah menggunakan sistem tenaga pendorong dengan nuklir.

Stabilisasi dari satelit sumber alam sangat penting. Peralatan harus berada pada arah dan posisi yang benar, dan orbitnya harus dipelihara dengan teliti sehingga akan dapat menghasilkan gambaran muka bumi dengan ketelitian yang baik secara berulang. Kebanyakan satelit berada pada orbit polar. Dalam beberapa kasus, orbit dari satelit dapat dikendalikan dari bumi secara cermat.

Kontrol temperatur merupakan hal penting dalam sistem satelit. Hal ini untuk membuat stabilisasi apabila berada pada pengaruh matahari yang panas atau pada daerah bayangannya. Dan banyak sensor yang digunakan untuk mengindera sumber alam, seperti yang telah dibahas di atas harus dipelihara dalam kondisi temperatur yang cukup dingin. Untuk itu sering suatu satelit dilapisi dengan bahan yang memantulkan cahaya di bagian luarnya, bahkan ada yang dilapisi dengan semacam kertas emas, agar sinar matahari terpantulkan sehingga dapat meminimasi penyerapan panas. Sebaliknya bagian yang tidak pernah dipanasi oleh matahari akan dipanasi oleh tenaga yang berasal dari motor yang didesain pada satelit.

Beberapa satelit dilengkapi dengan sistem perekaman yang sangat kompleks, biasanya didasarkan pada pita magnetik, untuk merekam gambaran yang diterima oleh skener yang kemudian dikirimkan kembali ke bumi. Semua satelit memerlukan semacam memori untuk menyimpan perintah dan sistem operasi yang ditentukan sebelum diluncurkan atau yang dikirimkan dari bumi. Dan harus ada satu perangkat komputer untuk mengkoordinasikan dan memantau seluruh perintah pada pesawat.

Seluruh komponen pada satelit harus dibuat sedemikian teliti. Semuanya harus beroperasi secara cermat dalam lingkungan ruang angkasa untuk waktu

beberapa tahun tanpa adanya pemeliharaan dan perbaikan. Beberapa sistem yang hampir sama dibuat untuk cadangan apabila terjadi kerusakan, tetapi keterbatasan dari berat dan ruangan tidak memungkinkan adanya kelengkapan duplikasi sistem tersebut. Ada beberapa contoh perbaikan satelit yang sudah berada di orbitnya oleh Laboratorium Ruang Angkasa (*Space Shuttle*) milik Amerika, tetapi hal ini tidak memungkinkan semuanya karena '*space shuttle*' berada di daerah yang relatif rendah sedangkan satelit remote sensing biasanya berada di tempat yang lebih tinggi. Alasan jangka waktu, peralatan elektronik mutakhir sering diuji dulu di tempat yang merupakan simulasi penempatannya dengan waktu yang cukup lama. Untuk membuat satelit diperlukan waktu yang cukup lama. Sebagai contoh satelit ERS-1 milik Eropa, yang diluncurkan pada Juli 1991, telah dibuat sebelum 1986, dan kebanyakan dari perangkat elektroniknya dari tahun 1980 an.

Ada tiga kategori orbit penempatan satelit. Pertama : *Orbit equatorial*, yang merupakan orbit satelit di atau sekitar daerah equator/ekuator. Kedua : *Orbit polar*, yaitu orbit satelit di atas atau sekitar kutub utara maupun selatan. Ketiga adalah daerah khusus *orbit Molniya*, biasanya tetapi tidak selalu dekat kutub.

Ada beberapa usulan untuk mengorbitkan satelit remote sensing di orbit bumi ekuator yang relatif rendah tetapi masih saja satelit remote sensing di tempatkan pada orbit yang sekarang, yaitu yang dikenal dengan daerah *orbit geostationer* sesuai dengan konsep fisika dasar. Periode orbit, yang merupakan waktu untuk satu satelit memutar bumi, bertambah sejalan dengan jarak orbit. Jadi semakin jauh orbit satelit semakin diperlukan waktu untuk mencapai satu orbitnya. Sehubungan dengan hal tersebut, terdapat tinggi orbit khusus dimana waktu orbit sama dengan waktu rotasi bumi, yaitu satu hari.

Pada daerah orbit geostationer ini, selain satelit remote sensing, banyak pula satelit komunikasi berada. Hal ini disebabkan oleh adanya pertimbangan kemudahan teknis, tanpa mengeluarkan biaya mahal untuk pembuatan antena yang rumit. Orbit geostationer umumnya digunakan untuk satelit meteorologi, yang tidak terlalu membutuhkan kedetailan informasi muka bumi, tetapi seringnya perekaman data.

Kebanyakan dari satelit sumber alam diletakkan di orbit polar. Alasannya

adalah, pertama, bila berada dalam rotasi bumi maka satelit akan bergerak dari kutub ke kutub. Dengan demikian berarti orbit satelit akan berjarak tetap terhadap pusat bumi, tetapi bumi itu sendiri berotasi ke arah sudut kanan dari orbit tersebut. Ini memungkinkan satelit merekam permukaan bumi dalam orbit secara berturut-turut. Alasan kedua adalah dengan membuat orbit yang agak beranjak dari kutub, dan miring ke arah garis bujur, maka waktu matahari setempat dalam jalur orbitnya akan relatif sama. Selama waktu perjalanan satelit dari satu kutub ke kutub lainnya, bumi akan mengalami rotasi, dan orbitnya dapat direncanakan untuk mengikuti satu garis yang mengikuti perhitungan waktu matahari yang sama di muka bumi. Dalam prakteknya, kebanyakan dari satelit remote sensing berada pada orbit *sun-synchronous* dan merekam muka bumi sekitar atau antara jam 09.30 dan 10.30 waktu setempat. Ini merupakan waktu yang dipertimbangkan sedikit tutupan awannya dalam segala musim. Dalam studi multi waktu menggunakan data remote sensing, hal ini merupakan kelebihan karena semua citra diperoleh pada waktu lokal yang hampir bersamaan, yang akan meminimasi perbedaan pencahayaan, meskipun perbedaan musim masih tetap harus dipertimbangkan.

Seperti diuraikan di atas, bahwa periode orbit dipengaruhi oleh tinggi orbit. Untuk itu kebanyakan dari satelit sumber alam berada pada ketinggian 700 dan 900 km, dengan memberikan periode orbit antara 98 dan 103 menit. Ketinggian ini dipilih atas pertimbangan efektifitas dan efisiensi dari berbagai peralatan satelit, dalam aplikasinya untuk mendapatkan resolusi spasial terbaik, dan mempertimbangkan agar satelit dapat beroperasi selama mungkin. Orbit yang lebih rendah, sekitar 300 km, seperti yang digunakan oleh *Space Shuttle* milik Amerika, akan menghasilkan kedetailan citra yang lebih tinggi, dan bahkan orbit lebih rendah lagi yang banyak digunakan oleh satelit militer lainnya. Dalam ketinggian lebih rendah ini pengaruh tarikan maupun gangguan dari atmosfer tipis menjadi serius. Satelit akan diperlambat oleh tarikan ini, dan akan semakin menurun ke orbit yang lebih rendah lagi. Bila stabilisasi dari orbit dipelihara, seperti yang terjadi pada satelit remote sensing, maka bahan bakar harus digunakan untuk mempercepat satelit dan ini akan membawa ke orbit yang lebih tinggi. Jumlah bahan bakar yang dapat dibawa dalam satelit terbatas oleh kapasitas dan beratnya pada saat satelit

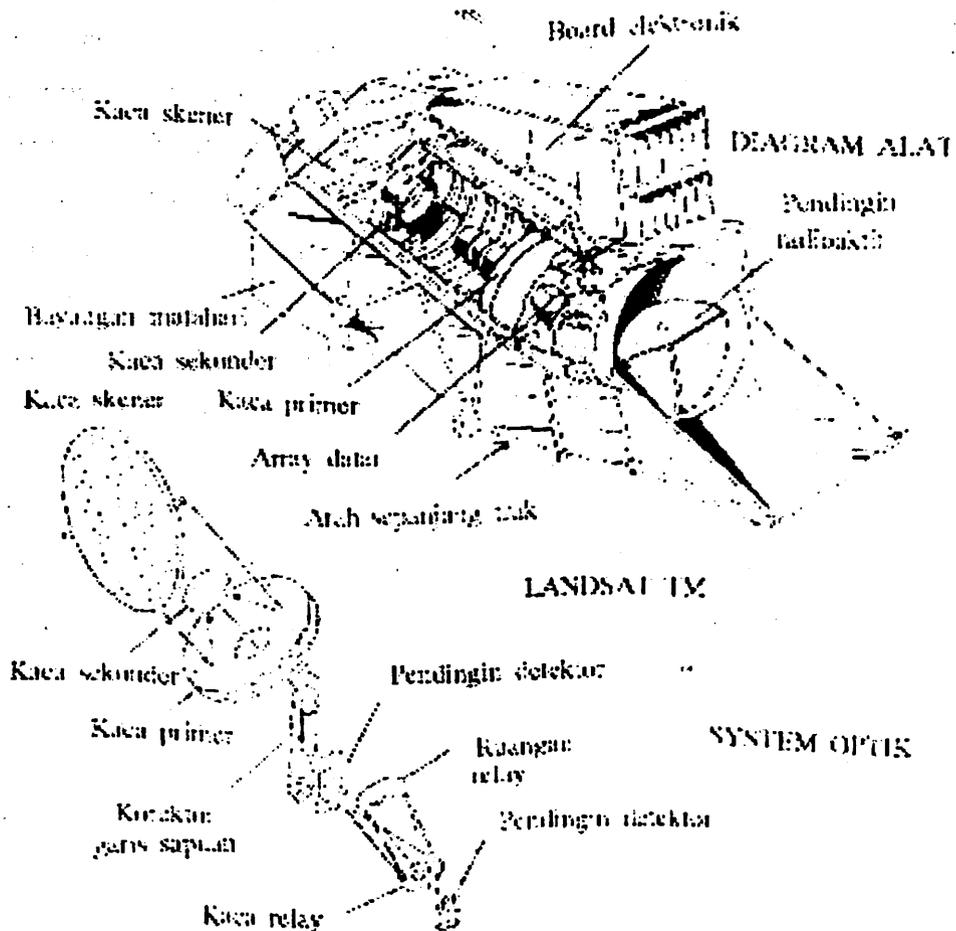
akan diluncurkan. Beberapa satelit besar Uni Soviet membawa sekitar empat ton bahan bakar pada saat diluncurkan, dan hanya dapat bertahan sekitar beberapa tahun. Dengan pertimbangan tersebut maka daerah ini kurang efektif dan efisien.

SISTEM SENSOR

Sistem sensor yang digunakan dalam remote sensing dapat dibedakan menjadi dua kelompok. Pertama, yang menggunakan sistem pasif, yaitu yang merekam pantulan atau pancaran radiasi elektromagnetik dari suatu obyek yang biasanya bersumber dari sinar matahari. Yang termasuk dalam sistem ini adalah sistem fotografi analog dan sistem skener digital. Kedua, sistem aktif yaitu perekaman dengan menggunakan sumber tenaga dari diri sendiri, seperti misalnya sistem RADAR dan LIDAR (laser). Sistem skener dapat dibedakan menjadi dua, yaitu skener opto-mekanik dan skener penyapu (*pushbroom*). Skener opto-mekanik merupakan sistem skener yang menggunakan kaca penggerak cepat untuk merekam obyek di bawahnya dengan cara yang telah ditentukan. Sedangkan skener penyapu merupakan sistem skener yang tidak mempunyai bagian yang bergerak tetapi merekam radiasi dari obyek di bawahnya dengan menggunakan semi-konduktor yang sensitif dan biasanya jumlah detektor yang digunakannya sama dengan jumlah *pixel* pada tiap baris pada citra yang dihasilkan. Skener pesawat udara dan satelit tidak begitu berbeda dalam desainnya.

Suatu contoh skener opto-mekanik adalah Landsat *Thematic Mapper* (TM). Gambaran skener ini ditunjukkan pada Gambar 2-5, yang juga hampir sama dengan skener MSS maupun skener yang digunakan pada pemotretan dengan pesawat terbang (yang biasanya *Daedalus*). Radiasi dari muka bumi diarahkan langsung ke sistem optik pada peralatan satelit oleh kaca yang berputar cepat. Radiasi tersebut kemudian difokuskan oleh sebuah teleskop (tipe *Cassegrain*) ke arah detektor. Detektor tersebut tidak didinginkan, sensitif terhadap tiga kanal tampak mata dan kanal merah infra dekat dari TM. Sebagian dari radiasi dapat diteruskan dan difokuskan kembali menggunakan pasangan kaca tambahan ke detektor lain.

Detektor ini beroperasi pada daerah infra merah tengah dan termal, dan perlu didinginkan agar tetap sensitif serta stabil. Pada TM sebenarnya ada 16 detektor untuk tiap panjang gelombang, dan merekam obyek secara bersamaan dalam satu penyiaran/penyapuan. Hal ini sangat erat kaitannya dengan desain skener serta resolusi dan kualitas sinyal yang diinginkan. Arah perekamannya sesuai dengan arah pesawat yang membawa detektor tersebut. Berarti kaca pemantul harus bergerak cepat sekali agar seluruh obyek pada penyiaran tersebut dapat direkam semua. Semakin kecil *pixel* atau semakin kecil resolusi yang diminta akan membuat semakin cepatnya gerakan kaca tersebut. Jadi wajar apabila semakin kecil *pixel* akan semakin memperpendek waktu pengukuran radiasi dari *pixel* tersebut di permukaan obyek, dan dapat menambah kesalahan dalam sistem.



Gambar 2-5. Konfigurasi Landsat TM dan sensor opto-mekanik
(Sumber : Christopher Legg, 1992)

Skener AVHRR pada satelit meteorologi NOAA hanya mempunyai detektor tunggal pada setiap panjang gelombangnya, dan kaca pemantulnya berputar hingga 360 derajat, tetapi waktu perekaman obyeknya dapat dilakukan karena resolusi atau *pixel* yang diinginkan cukup besar pula yaitu sekitar 1 kilo meter. Untuk resolusi 30 meter seperti pada TM hal ini akan tidak mungkin dilakukan. Waktu efektif untuk pengukuran radiasi dari tiap *pixel* pada obyek diperoleh dengan cara : (1) merekam 16 baris secara bersamaan, dan (2) menggunakan kaca berputar daripada kaca berrotasi, dengan penyiaman pada kedua sisi depan dan belakang. Hal ini memerlukan kompleksitas peralatan dan merupakan suatu penghargaan tersendiri untuk TM yang dapat dioperasikan terus menerus untuk beberapa tahun dalam kondisi lingkungan angkasa, dan kualitas gambar yang dihasilkan tergolong sangat baik.

Beberapa problem pada skener opto-mekanik berkurang pada skener penyapu, seperti contoh ilustrasi pada **Gambar 2-6**. Skener penyapu tidak mempunyai bagian yang bergerak, tetapi merekam seluruh baris bersamaan dengan detektor besar. Penggunaan skener penyapu pertama adalah dalam misi satelit Perancis SPOT, yang diluncurkan 1986. Skener pada MSU-E milik Uni Sovyet (Rusia), MESSR pada MOS-1 milik Jepang, LISS pada IRS-1 (India) dan skener pada pesawat *Canadian Moniteq* menggunakan alat yang prinsipnya sama dengan skener tersebut. Radiasi dari obyek difokuskan oleh lensa atau sistem kaca melalui satu celah ke satu alat yang dapat digunakan untuk memisahkan bagi keperluan tiap kanal. Tiap panjang gelombang kemudian difokuskan ke CCD yang berbeda untuk mendapatkan penyiaman silang. Penyiaman ini harus dilakukan pada saat pesawat bergerak maju satu *pixel*. Resolusi besar pun dapat diperoleh dengan cara tersebut.

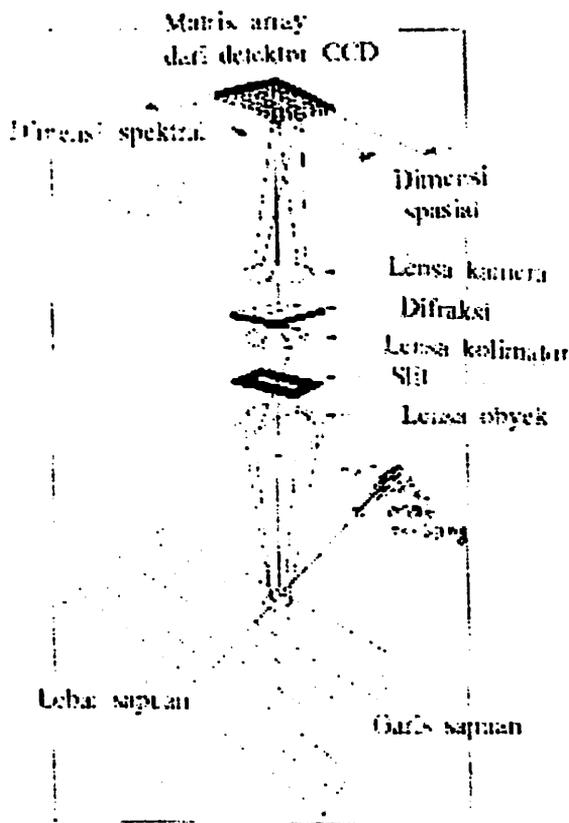
Kedua tipe skener tersebut mempunyai kesalahan sistematik disebabkan oleh perbedaan sensitifitas antar detektor pada skener penyapu maupun skener opto-mekanik. Perbedaan dalam sensitifitas detektor akan berakibat pada hasil perekaman citra. Pada skener opto-mekanik perbedaannya terjadi melintang arah kanal yang mengakibatkan perbedaan nilai rata-ratanya, sedangkan pada skener penyapu terjadi sepanjang arah perekaman.

Pada kedua skener, radiasi elektromagnetik mencapai detektor dengan

menghasilkan suatu sinyal yang proporsional dengan jumlah radiasinya. Sinyal tersebut diambil dengan interval teratur oleh skener elektronik, dan dikonversi dari analog ke sinyal bernilai digital. Interval sinyal untuk tiap sistem didesain dalam jumlah satuan tertentu. Untuk sistem Landsat dan SPOT digunakan satuan 8 bit yang menghasilkan 256 tingkat keabuan untuk tiap kanal. Skener AVHRR pada NOAA menggunakan satuan 10 bit untuk mengakomodasi pengukuran pada kanal termal, dan pada sistem MOS-1 serta JERS-1 menggunakan satuan 6 bit. Pada umumnya penyetelan satuan tersebut dilakukan sebelum diluncurkan dan sulit untuk diadakan perubahan setelah di angkasa. Setelah melewati sistem orbit polar, pada tiap orbitnya, dari daerah kutub dengan sudut ketinggian matahari kecil, melalui daerah tropis dengan sudut matahari yang tinggi, dan kembali ke daerah kutub lagi, detektor harus diatur untuk tidak mencapai atau bahkan melebihi daerah ekuator. Hal ini akan menghasilkan variasi nilai digital pada lintang tinggi menjadi lebih kecil dari seluruhnya, khususnya pada musim dingin. Beberapa sensor memiliki variasi pilihan untuk tujuan tertentu. Variasi untuk radiasi air umumnya sangat rendah, dan sensor MOS-1 MESSR mempunyai desain khusus untuk tujuan studi kelautan. Kelemahan utama dari penggunaan data dengan satuan besar, seperti 10 atau bahkan 16 bit, adalah semakin besarnya volume pengulangan data yang harus dikirim dan disimpan. Peranan teknik pemadatan data akan sangat bermanfaat.

Perekaman pada kanal mikro dilakukan dengan sensor aktif atau RADAR. Untuk menghasilkan resolusi spasial yang baik dengan menggunakan sensor aktif pada kanal mikro ukuran antena yang digunakan harus disesuaikan dengan panjang gelombang dari tenaga yang digunakannya. RADAR, dengan antena besar, memungkinkan digunakan pada sistem pesawat terbang, dan banyak digunakan untuk pemetaan, khususnya di daerah hutan tropis, selama tahun 1960-an hingga 1970-an. Sistem antena besar tersebut tidak layak untuk pesawat ruang angkasa. Pemecahannya adalah dengan menggerakkan pesawat atau satelit untuk menggantikan fungsi antena tersebut. Masalah yang terjadi dengan penggunaan RADAR lensa buatan (*synthetic aperture RADAR* atau *SAR*) adalah rumitnya prosedur pemrosesan data awal SAR hingga menjadi citra. Perkembangan dalam

teknologi komputer mendorong pengadaan citra SAR menjadi cepat. Data dari pesawat SAR pertama, pada satelit *Seasat* yang diluncurkan 1978, untuk tiap cakupan (*scene*) diproses sekitar dua hari waktu efektif komputer.



Gambar 2-6. Diagram skener penyapu
(Sumber : Christopher Legg, 1992)

PEREKAMAN DAN DISTRIBUSI DATA

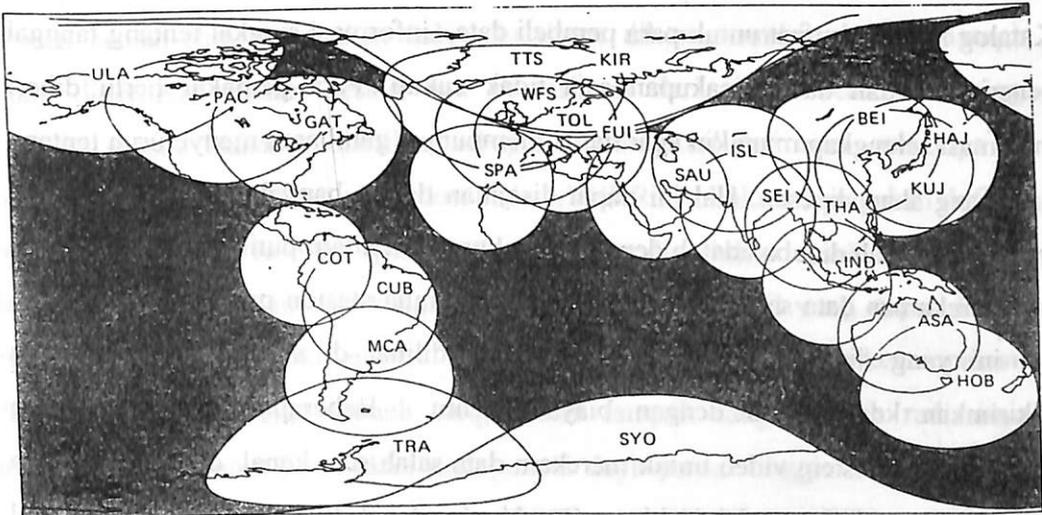
Rumit dan mahalnya stasion penerima data satelit tergantung pada jumlah data yang diterima, ini tergantung dari resolusi spasial dan jumlah kanal dari sensor. Orbit satelit juga dipengaruhi oleh penerimaan datanya, karena satelit di orbit polar (kutub) umumnya memerlukan antena khusus yang mengarahkan satelit dan mengirimkan data ke stasion penerima. Satelit geostasioner tidak memerlukan antena khusus dan datanya dapat diterima dengan lebih murah. Citra meteosat rata-rata hanya memerlukan 0.166 megabit per detik, dan dapat diterima dengan biaya

yang murah serta stasion penerima yang sederhana. Alasan tersebut mengakibatkan kebanyakan dari pemakai meteosat mempunyai peralatan penerima sendiri tanpa menggantungkan pada pusat penerima data. Sensor AVHRR pada satelit NOAA mengirimkan data dengan 4 megabit per detik, walau waktu yang diperlukan lebih lama daripada meteosat tetapi masih tergolong dapat diterima dengan relatif murah dan peralatan yang sederhana. Sebagai contoh, beberapa institusi tingkat laboratorium relatif kecil di bawah satu jurusan (dalam satu fakultas terdapat banyak laboratorium) di Fakultas Teknik, Universitas Kyoto maupun Universitas Tokyo mempunyai antena penerima data tersebut. Kelemahannya adalah bahwa satelit NOAA berada di orbit kutub, hal ini memerlukan antena yang dapat secara cermat mengendalikan dari satu daerah ke daerah cakupan lainnya. Dan ini termasuk komponen yang mahal dalam satu unit penerima AVHRR. Apabila yang diperlukan adalah data untuk sekitar daerah pemakai maka ada alternatif untuk memanfaatkan antena khusus dengan sistem penerima yang relatif murah, ini banyak dilakukan di beberapa negara oleh para pemakai. Satelit IRS-1 dan MOS-1 mengirimkan data dengan rata-rata 25 megabit per detik dan memerlukan alat penerima khusus. Antenanya harus besar agar kesalahan data yang diterima menjadi kecil, juga perekam data kepadatan tinggi harus digunakan. Rata-rata pengiriman data ini bertambah sesuai dengan resolusi dan jumlah kanal yang dikirimkan, SPOT dan Landsat TM mempunyai rata-rata 50 dan 85 megabit per detik. Hal ini menyebabkan hanya beberapa tempat saja yang memilikinya, karena mahal dalam biaya pengadaan dan operasinya.

Penyebaran stasion penerima untuk ERS-1 diilustrasikan dalam **Gambar 2-7**. Beberapa lokasi yang tergambar di sini juga menerima data TM dan SPOT tetapi ada beberapa lokasi yang hanya menerima data SPOT saja. Wilayah cakupan penerimaan tergambar pada ilustrasi tersebut, dan dari ilustrasi di atas terlihat bahwa masih cukup luas daerah muka bumi yang belum dapat dicakup oleh stasion penerima yang ada. Pada SPOT hal ini tidak menjadi masalah, karena satelit ini membawa perekam sendiri dan cakupan global dapat diperoleh melalui pengendali utama dan stasion penerima di Swedia dan Perancis. Landsat yang sekarang mengorbit tidak dilengkapi dengan perekam tersebut dan secara teoritis cakupan

global dapat dilakukan dengan memanfaatkan jaringan satelit pada orbit geostasioner secara beranting. Tidak mengunggulkannya adalah bahwa kebutuhan dari pemakai lain mengakibatkan tidak tercakupnya daerah Asia termasuk India. Di daerah ini data satelit hanya dapat diperoleh dari stasion penerima di daerah tersebut.

Subbagian ini juga membicarakan tentang penyimpanan dan pengelolaan data satelit oleh operator, distributor dan pusat data secara nasional, bukan oleh para pemakai data satelit. Hal ini dikarenakan oleh banyak dan bertumpuknya data yang harus dikelola, data yang mencakup daerah serta tanggal yang berbeda harus disimpan untuk jangka panjang. Penyimpanan data digital tidak seperti penyimpanan buku di perpustakaan. Data tersebut sebagian besar untuk dijual kepada pemakai. *Copy* data dapat dilakukan dari data master pada saat pembeli mememesannya.



Gambar 2.7 Stasion penerima ERS-1 (rencana dan kenyataan)
(Sumber : Christopher Legg, 1992)

Kebanyakan dari data yang disimpan berupa pita magnetik, baik *high-density tape* (HDDT) ataupun *computer compatible tape* (CCT). CCT merupakan bentuk yang cukup komunikatif karena banyak pemakai yang memiliki perangkat pembaca CCT. Tetapi hal ini membawa kelemahan pula. Pertama, stabilitas pita magnetik yang kurang bagus, misalnya untuk tempat yang temperatur dan kelembabannya kurang terkontrol. Pita magnetik memerlukan pemutaran kembali

untuk periode tertentu agar tidak lengket. Di samping itu pita magnetik memerlukan ruang untuk tempat penyimpanan. Meskipun membaca dari CCT relatif cepat tetapi masih lambat dibanding media lain seperti hard disk. Untuk pembacaan ulang data belum dapat secara *on-line*, artinya pengelola harus mencari kembali di ruang penyimpanan dan dibawa ke alat pembaca CCT.

Disk optik, CD ROM, DVD mempunyai beberapa kelebihan dari pita magnetik, namun penggunaan secara umum oleh pemakai kecuali CD ROM belum begitu meluas. Dan juga standarisasi struktur data dalam disk optik yang belum ada atau belum memasyarakat. Terkadang data yang ditulis dalam satu disk optik tidak dapat dibaca oleh komputer lain. Di samping itu sistem penyimpanan data dengan pita magnetik yang sudah terlalu lama memerlukan waktu dan biaya untuk *transfer* atau merubah cara penyimpanan. Disk optik dapat hemat ruang simpan, dapat dibuat sistem *on-line*, dan datanya dapat dibaca dalam waktu singkat.

Bank data satelit termasuk perpustakaan harus mempunyai katalog. Katalog ini bermanfaat untuk para pembeli data, informasi singkat tentang tanggal penerimaan dan daerah cakupan saja tidak cukup. Para pemakai perlu diberi informasi selengkap mungkin agar dapat mempunyai gambaran menyeluruh tentang data yang akan dipesan. Hal ini dapat disajikan dalam banyak cara. Yang paling lama dan pernah dicoba adalah dengan membuat citra hitam putih sekala kecil pada saat perekaman data satelit dilakukan. Hampir semua stasion penerima melakukan hal ini yang disebut *quicklooks* yang dapat dilihat di stasion penerima atau dikirimkan ke pemakai dengan biaya tertentu. Beberapa stasion penerima menggunakan sistem video untuk merekam data salah satu kanal, dan seluruh citra tersebut dapat dilihat melalui video. *Quicklooks* dapat dilakukan untuk tiga kanal panjang gelombang dan disimpan dalam bentuk digital yang memungkinkan dilihat dengan terminal komputer khusus seperti yang dilakukan oleh LAPAN. Disk optik atau teknik penyimpanan lain memungkinkan untuk melihat data dan melakukan koreksi dasar untuk memenuhi pemesanan pemakai.

Apabila pemakai memesan maka data yang disimpan tersebut harus dapat dengan cepat digandakan dan dikirim kepada pemakai untuk digunakan. Format dari data citra dalam arti struktur data, panjang blok, jumlah baris, panjang kolom

dan informasi lainnya, harus diinformasikan sedemikian rupa sehingga pemakai dapat dengan mudah membacanya dengan komputer yang dimilikinya. Sementara ini yang umum dan sering dilakukan adalah pengiriman data ke pemakai dengan menggunakan pita (CCT) yang standar. Sangat jarang didistribusikan dalam disk optik, mungkin karena masalah standarisasinya. Beberapa arsip berada dalam bentuk *cartridges tape* maupun CD ROM yang dapat dibaca dalam peralatan yang lebih murah dari peralatan untuk membaca pita magnetik. Penyediaan data satelit dalam bentuk *floppy disket* dianggap kurang praktis, kecuali untuk tujuan pendidikan. *Floppy disket* umumnya mempunyai kapasitas penyimpanan maksimal 1,4 MB, dan apabila untuk menyimpan 7 kanal Landsat TM *full-scene* memerlukan sekitar 240 MB, sehingga perlu banyak disket dan ini sama sekali tidak praktis.

RESOLUSI SPASIAL DAN RESOLUSI SPEKTRAL

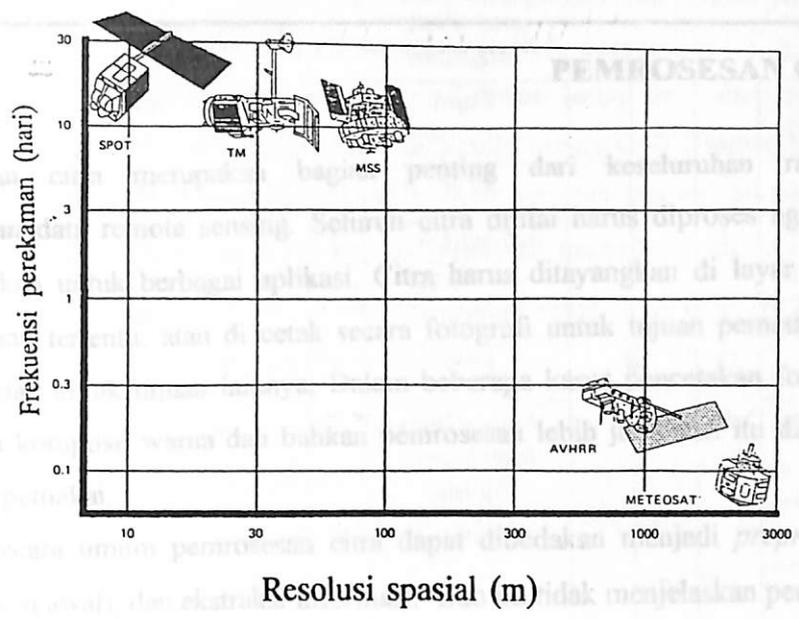
Konsep tentang resolusi spasial dan resolusi spektral sering disalah mengertikan, sebagai seolah-olah merupakan hal yang dapat dikompromikan bahwa hampir selalu diperlukan dalam desain dan operasional dari sistem remote sensing. Resolusi spasial biasanya diartikan sebagai ukuran *pixel* dari citra, misalnya 10 meter pada citra SPOT PAN dan 1 km pada AVHRR. Ini bukan merupakan definisi yang memadai dari resolusi spasial. Tenaga yang diperlukan untuk memisahkan dari suatu sistem, dalam arti kenampakan permukaan terkecil yang dapat dilihat, merupakan fungsi dari ukuran *pixel* dan karakteristik optik dari satu kenampakan. Pada infra merah dekat sebuah sungai akan tampak sangat lemah radiasinya, sementara itu rumput hijau akan mempunyai daya pantul tinggi. Sebuah sungai yang lebih kecil dari ukuran *pixel* pada SPOT masih dapat dideteksi karena akibat dari radiasi seluruh *pixel* dari sungai tersebut, meskipun lebarnya tak dapat diukur secara teliti seperti pada pantulan air dan rumput, tetapi rata-rata pantulannya dapat dideteksi. Sebaliknya kenampakan yang lebih besar dari ukuran *pixel* memungkinkan untuk tidak dapat dideteksi apabila pantulannya mendekati dengan pantulan obyek di sekitarnya.

Resolusi spektral didefinisikan sebagai sempitnya kanal spektral yang digunakan dalam sensor. Sistem resolusi spektral tinggi yang mempunyai kanal

yang sempit, merekam secara detail dari satu bagian spektrum. Dalam praktek, istilah resolusi spektral tinggi digunakan untuk sistem dengan sejumlah kanal spektral. Landsat TM dinilai lebih baik resolusi spektralnya daripada SPOT, karena 7 kanal dikanalngkan dengan 3 kanal. Seluruh perangkat remote sensing yang beroperasi sekarang ini hanya memanfaatkan daerah yang sangat sempit dari seluruh cakupan spektrum yang sangat luas. Sistem yang citranya merupakan serangkaian dari porsi spektrum, seperti tampak mata, infra merah dekat, dan infra merah tengah, dikenal sebagai spektrometer, yang mempunyai 256 kanal sempit bersebelahan dengan lainnya. Peralatan ini menyajikan informasi yang sangat berguna pada tiap spektralnya dari permukaan benda yang berbeda, yang memungkinkan desain optimal untuk sistem remote sensing masa mendatang.

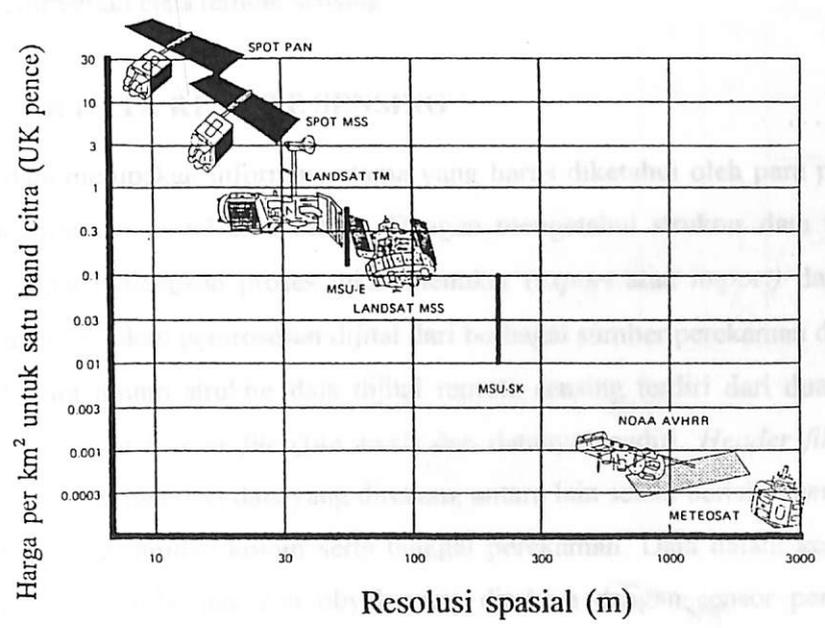
Ada hubungan erat antara resolusi spasial dengan frekuensi penerimaan, dan antara resolusi spasial dengan harga per unit citra seperti diilustrasikan pada **Gambar 2-8** dan **Gambar 2-9**. Kendalanya berada pada pengolahan dan pengiriman datanya, batasan lebar citra (lebar liputan) dalam arti jumlah *pixel* tiap barisnya.

Sistem SPOT, dengan dua skener paralelnya, merekam sekitar 120 km lebar cakupan permukaan untuk tiap orbitnya. Landsat merekam 185 km, sedangkan AVHRR merekam lebih dari 3000 km tetapi resolusi spasialnya berkurang. Apabila sistemnya dibuat untuk mendapatkan gambaran global yang berulang, seperti yang umumnya digunakan pada remote sensing, maka frekuensi pengulangannya dikontrol oleh lebar sapuan. Semakin sempit lebar sapuan semakin panjang interval antar pengulangan cakupan. Hal ini punya konsekuensi pada operasionalnya bila dibandingkan dengan sistem pemetaan sederhana. Sistem yang ada sekarang umumnya adalah sistem yang melakukan perekaman dengan frekuensi tinggi pada resolusi spasial yang kasar. Salah satu cara untuk mendapatkan citra resolusi spasial tinggi dengan tingkat pengulangan tinggi adalah dengan memperbanyak satelit setipe dengan SPOT atau Landsat, yang beroperasi pada orbit tertentu agar dapat diperoleh pengulangan citra lebih banyak.



Resolusi spasial (m)

Gambar 2-8. Hubungan resolusi spasial dengan frekuensi penerimaan (Sumber : Christopher Legg, 1992)



Resolusi spasial (m)

Gambar 2-9. Hubungan resolusi spasial dengan harga per unit (Sumber : Christopher Legg, 1992)

PEMROSESAN CITRA

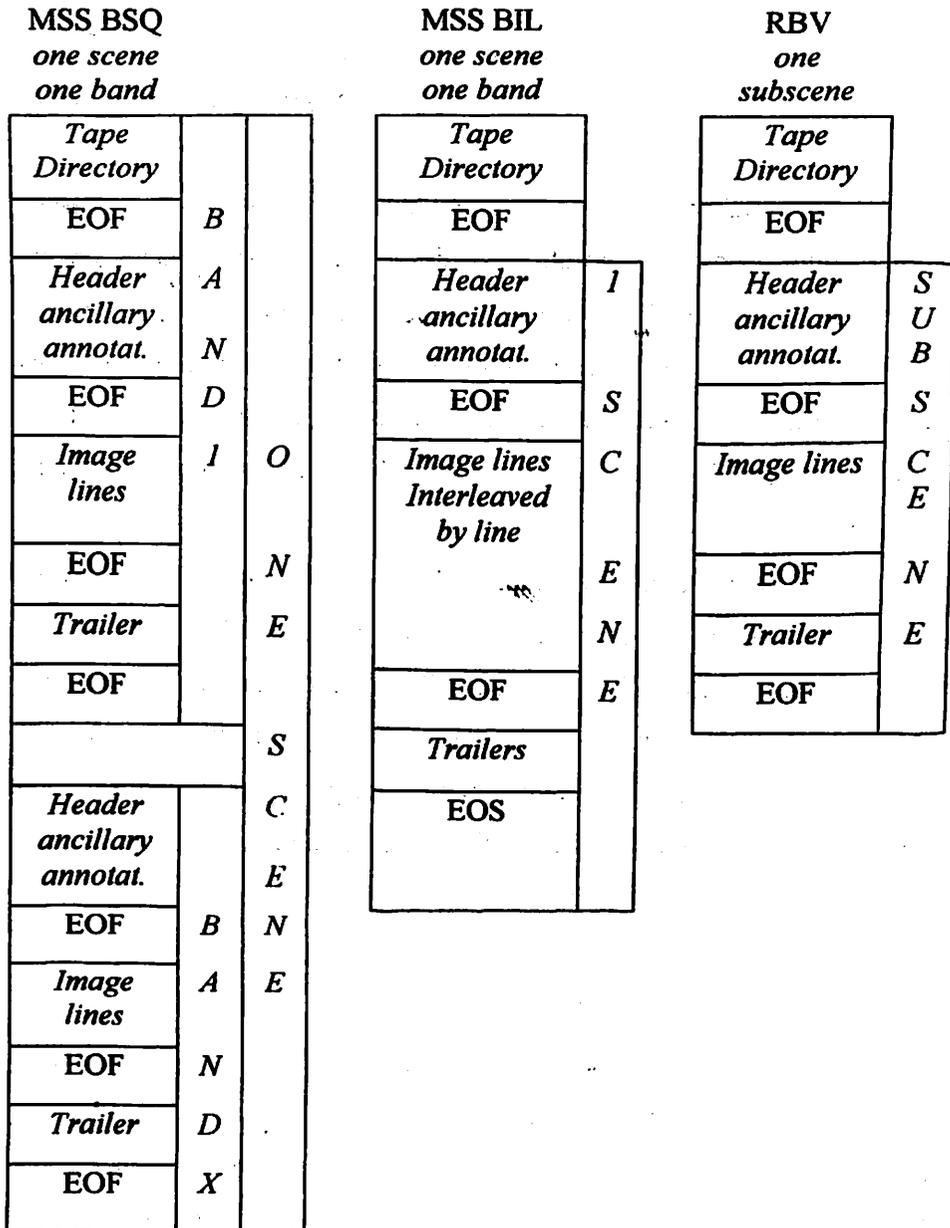
Pemrosesan citra merupakan bagian penting dari keseluruhan rangkaian penggunaan data remote sensing. Seluruh citra digital harus diproses agar dapat dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi. Citra harus ditayangkan di layar monitor untuk tujuan tertentu, atau di cetak secara fotografi untuk tujuan pemetaan, atau perlu dicetak untuk tujuan lainnya. Dalam beberapa kasus pencetakan foto hitam putih atau komposit warna dan bahkan pemrosesan lebih jauh dari itu diperlukan oleh para pemakai.

Secara umum pemrosesan citra dapat dibedakan menjadi *preprocessing* (pemrosesan awal), dan ekstraksi informasi. Bab ini tidak menjelaskan pemrosesan citra secara rinci karena banyak buku yang telah ditulis untuk itu. Namun bab ini akan menjelaskan secara umum unsur-unsur penting yang perlu diketahui dalam pemrosesan citra. Hal ini dimaksudkan untuk membantu para pemula pemrosesan citra atau para ilmuwan yang ingin mengetahui dan memahamai secara umum tentang pemrosesan citra remote sensing.

STRUKTUR DATA REMOTE SENSING

Struktur data merupakan informasi utama yang harus diketahui oleh para pemakai sistem pemrosesan digital citra satelit. Dengan mengetahui struktur data tersebut pemakai dapat melakukan proses tukar menukar (*export* atau *import*) data yang akan digunakan dalam pemrosesan digital dari berbagai sumber perekaman data.

Secara umum struktur data digital remote sensing terdiri dari dua bagian yaitu yang disebut *header file* (file awal) dan datanya sendiri. *Header file* berisi informasi tentang identitas data yang direkam, antara lain selalu berisi *format data*, jumlah baris, dan jumlah kolom serta tanggal perekaman. Data dalam konteks ini adalah gambaran nilai pantulan obyek yang direkam dengan sensor pengindra disajikan dalam angka dengan interval dari 0 hingga 255 (8 bit). Berikut ini diberikan contoh struktur data yang sering dan banyak digunakan di Indonesia.



Gambar 3-1. Format data dari CCT EDIPS
(untuk data belum koreksi geometris)
(Sumber : Ishikawa, M. 1987)

Data EROS

Pertama, struktur data CCT (*Computer Compatible Tape*) berasal dari EROS (*Earth Resource Observation System*). Struktur datanya terdiri dari *tape directory*, *header*, *ancillaries*, *annotation*, *image* dan *trailer record* seperti yang

diilustrasikan pada **Gambar 3-1**. EROS data mempunyai dua format yaitu BSQ (*Band Sequential Format*) dan BIL (*Band Interleaved by Line*).

Tape directory (direktori pita) muncul dalam setiap awal dari *tape* yang memberikan informasi tentang isi, dokumentasi, dan format CCT. Bagian ini terdiri dari 1 *record* dengan panjang 360 *byte*. *Header records* (*record* awal) tampak dalam tiap kanal dari format BSQ dan hanya sekali tampak dalam format BIL. Isinya meliputi penjelasan tentang isi data dan format perekaman data. *Header data* (*data* awal) dibedakan menjadi 6 kelompok yaitu :

- (1) Identifikasi cakupan data (*byte* 1 - 36),
- (2) Deskripsi pesawat yang digunakan (*byte* 37 - 62),
- (3) Waktu perekaman dan informasi letak cakupan (*byte* 63 - 92),
- (4) Karakteristik data yang mencakup
 - a. *header* (*byte* 93 - 98),
 - b. anotasi (*byte* 99 - 102),
 - c. data tambahan (*byte* 103 - 110),
 - d. data citra (*byte* 111 - 141),
 - e. *trailer data* (*byte* 142 - 150)
- (5) Tujuan khusus (*byte* 151 - 236),
- (6) Informasi pemrosesan EDIPS untuk MSS (*byte* 3583 - 3596) dan untuk RBV (*byte* 5375 - 5377).

Ancillary record (*record* tambahan) hanya dicantumkan pada CCT yang belum dikoreksi secara geometris. Isinya berupa catatan yang memberi informasi sehingga pemakai dapat melakukan koreksi geometris. *Annotation record* (*record* keterangan) terdiri dari informasi alfanumerik yang biasanya dicetak pada bagian bawah dan samping dari film standard dari citra satelit. *Image data file* (*file* data citra) terdiri dari informasi tentang citra seperti pada **Gambar 3-2**. Masing-masing terdiri dari jenis sensor yang digunakan, kualitas datanya, termasuk jumlah *pixel* tiap barisnya. *Trailer file* berisi tentang informasi nilai yang digunakan untuk koreksi apabila teknik penajaman citra telah dilakukan pada citra tersebut. Dalam

BSQ masing masing file data diikuti *trailer*, sedang pada BIL diikuti satu *trailer* terdiri dari 4 (Landsat 1 dan 2) atau 5 (Landsat 3) *record*.

General Record Number	Untuk MSS : 3596 bytes				
	4 bytes	1 byte	1 byte		X bytes
	Record number	Zero fill	Record type code	Data	Zero fill
Non-image data record structure	Record number	Zero fill	Record type code	Alpha- numeric data	Zero fill
Image data record structure	Record number	Zero fill	Record type code	Scane Line Identification	Image data
				6 bytes	

Gambar 3-2. Struktur record CCT standar

(Sumber : Ishikawa, M. 1987)

Data CCRS

Kedua, struktur data CCT dari CCRS (*Canadian Center for Remote Sensing*) merupakan format yang juga pernah digunakan oleh LAPAN (Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional). Struktur data dalam CCT seperti diilustrasikan pada **Gambar 3-3**. *Universal header file* (file awal universal) digunakan untuk mengidentifikasi jumlah parameter yang digunakan, terdiri dari *record* tunggal yang berisi informasi tentang misi, parameter sensor, identifikasi cakupan, dan keterangan tentang data video. *Landsat header file* (file awal Landsat) terdiri dari 7 *record*, yaitu satu *record* tentang Landsat, satu *record* keterangan tentang proses geometris, dan lima keterangan tentang transformasi radiometris. Terdapat 6 detektor pada tiap bagian awal dari empat kanal, dan ada 64 kemungkinan nilai data untuk tiap detektor. Data tersebut disimpan setelah

ditransformasi berdasar LUT (*look-up table*). Pada data radiometris, tabel untuk tiap detektor tersebut berisi angka 0 sampai 63, yang menunjukkan bahwa data tersebut telah dibiarkan dalam bentuk aslinya.

FILE				
		No.	NAME	SIZE (bytes)
Universal Header	EBCDIC and BINARY	1	Universal Header	3060
LANDSAT Header	EBCDIC or ASCII	1	LANDSAT Header	1440
		2	Geometric transform.	2700
		3	Radiometric trans. kanal 4	1620
		4	Radiometric trans. kanal 5	1620
		5	Radiometric trans. kanal 6	1620
		6	Radiometric trans. kanal 7	1620
		7	Radiometric trans. kanal 8	1620
VIDEO	BINARY	1	Scan line 1 kanal 4	3780
		2	Scan line 1 kanal 5	3780
		3	Scan line 1 kanal 6	3780
		4	Scan line 1 kanal 7	3780
		5	Scan line 2 kanal 4	3780
		6	Scan line 2 kanal 5	3780
		7	Scan line 2 kanal 6	3780
		8	Scan line 2 kanal 7	3780
		23	Scan line 6 kanal 6	3780
		24	Scan line 6 kanal 7	3780
		9143	Scan line 2286 kanal 6	3780
9144	Scan line 2286 kanal 7	3780		

Gambar 3-3. Struktur File CCT

(Sumber : Ishikawa, M. 1987)

Video data file (file data video) merupakan format BIL. Untuk produk standard Landsat MSS 1, 2, dan 3 strukturnya terdiri dari empat *record* fisik, yaitu *record* data video, *record* jumlah, *record* blok data tambahan, dan *record* blok data video. Sejumlah paling banyak 3600 kolom dari tiap cakupan dapat disimpan dalam satu CCT ukuran standar, satu *pixel* tiap *byte*, dan dalam bentuk data radiometris belum dikalibrasi (dengan penyajian angka 0 sampai 63) atau radiometris yang sudah dikalibrasi (dengan penyajian angka 0 sampai 255).

Data DPU

Ketiga, struktur yang disebut format *DPU*. Proyek kerjasama antara Pemerintah Indonesia dan Jepang melalui PUSDATA, Departemen Pekerjaan Umum dan JICA (*Japan International Cooperation Agency*), yang dimulai dari tahun 1980 mengembangkan struktur data seperti pada ilustrasi **Gambar 3-4**. Data dengan format EROS, CCRS maupun lainnya dapat dikonversi menjadi format DPU.

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑬	⑭
	1234567890123456	CCRS		23	4	3780	3600	705300	6758				
	1234567890000000	IAAAA		B	4	3780	3600	705300	6758				
	1234567890000000	ITAPEILS		7	LAPAN	-	JAKARTA		850825/1				HSS
(	1234567890000000	HEAD		000	CLS	LANDSAT							
(	1234567890000000	HEAD		5	LANDSAT								
(	1234567890000000	HEAD		545	JAY	NUMBER	SINCE	LAUNCH					
(	1234567890000000	HEAD		7920	ORBIT	NUMBER							
(	1234567890000000	HEAD		02295	FRAME	ID							
(	1234567890000000	HEAD		-714	CENTRE	LATITUDE	(DDMMH)						
(	1234567890000000	HEAD		10857	CENTRE	LONGITUDE	(DDMMH)						
(	1234567890000000	HEAD		48	UTM	ZONE	NUMBER						
(	1234567890000000	HEAD		122	PATH	NUMBER							
(	1234567890000000	HEAD		65	ROW	NUMBER							
(	1234567890000000	HEAD		33	CYCLE	NUMBER							
(	1234567890000000	HEAD		280885	FRAME	IMAGED	28AUG85						
(	1234567890000000	HEAD		280885	MASTER	GENERATED	12840685						
(	1234567890000000	HEAD		280885	COPY	PRODUCED	28AUG85						
(	1234567890000000	HEAD		18816	SATELLITE	HEADING							
(	1234567890000000	HEAD		1	SEQUENTIAL	NUMBER	OF	TAPE					
(	1234567890000000	HEAD		0	TAPE	START	TIME						
(	1234567890000000	HEAD		1111011	PROCESS	FLAGS							
(	1234567890000000	ITANDG											
(	1234567890123456	END											

Gambar 3-4. File header DPU

(Sumber : Ishikawa, M. 1987)

Header tersebut mencakup asal format aslinya yang ditunjukkan dengan nomor 3 pada gambar tersebut, jumlah kanal (nomor 7), jumlah kolom (nomor 8), jumlah baris (nomor 9), tempat perekaman atau stasion penerima (nomor 12), tanggal perekaman (nomor 13), jenis sensor (nomor 14), dan sebagainya. Pada prinsipnya program ini mengkonversi data binary ke interger dan mengkonversi kode ASCII ke EBCDIC.

Untuk mengkonversi ke format interger, informasi berikut penting artinya.

A). Struktur data citra dari EROS dapat disistimatisasi sebagai berikut :

Data citra dimulai pada *byte* ke $13 + \text{offset}$.

Offset adalah 75, 73, 71, 69 *byte* untuk masing-masing kanal 4, 5, 6, 7.

Jadi data *pixel* pertama untuk kanal 4 mulai pada *byte* ke 88,

data *pixel* pertama untuk kanal 5 mulai pada *byte* ke 86,

data *pixel* pertama untuk kanal 6 mulai pada *byte* ke 84,

data *pixel* pertama untuk kanal 7 mulai pada *byte* ke 82.

B). Sedangkan struktur data citra CCRS dapat digambarkan sebagai berikut :

Data citra dimulai pada *byte* ke $n+1$, dimana n adalah jumlah *record* + data tambahan (pada kanal 4 saja) + *offset*.

Jumlah *record* = 2,

Data tambahan = 178,

Offset = 250, 248, 246, 244 untuk kanal 4, 5, 6, 7.

Jadi data *pixel* pertama untuk kanal 4 mulai pada *byte* ke 431,

data *pixel* pertama untuk kanal 5 mulai pada *byte* ke 251,

data *pixel* pertama untuk kanal 6 mulai pada *byte* ke 249,

data *pixel* pertama untuk kanal 7 mulai pada *byte* ke 247.

Stasiun penerima dapat menyajikan data dalam berbagai bentuk dari yang format belum dikoreksi sama sekali hingga sudah dilakukan koreksi kesalahan sistematis, geometris dan lainnya. BULK merupakan proses koreksi kesalahan sistematis dari data satelit, yang biasanya dilakukan oleh stasiun penerima. Koreksi yang dimaksud antara lain meliputi koreksi *offset* antar kanal, panjang baris, koreksi kecepatan kaca pemantul, koreksi rotasi bumi, dan reduksi kesalahan baris.

PROSES AWAL

Proses awal merupakan terjemahan dari istilah *preprocessing*. Sesuai dengan namanya, proses awal merupakan langkah pertama yang dilakukan dalam pemrosesan citra digital. Disebut proses awal karena masih ada langkah lanjutannya dalam seluruh rangkaian pemrosesan digital. Pemrosesan awal sangat tergantung pada jenis citra yang digunakan, kualitas data, serta tujuan utama pemrosesan.

Koreksi rotasi bumi

Untuk mendapatkan gambaran obyek muka bumi dengan baik pada waktu lokal yang relatif sama, maka orbit satelit diletakkan di tempat tertentu, sehingga posisi citra yang direkam tidak berada pada arah utara-selatan yang tepat. Jadi tiap baris dari citra mengandung kesalahan dari pengaruh rotasi bumi. Langkah awal koreksi

rotasi ini, yang merubah bentuk citra segi empat menjadi jajaran genjang, akan meminimalisasi ketelitian posisi relatif dari obyek pada citra. Perubahan bentuk citra segi empat menjadi jajaran genjang merupakan hasil transformasi dengan bantuan komputer penuh. Koreksi ini dilakukan dengan menggeser setiap baris ke n , dalam hal ini n tergantung pada sudut kemiringan dari orbit satelit, sepanjang satu *pixel*. Hal ini tidak merubah nilai *pixel* asli, dan mempunyai pengaruh kecil saja terhadap kenampakan citra secara visual.

Pengurangan Noise (bising)

Kebanyakan dari citra digital mempunyai kesalahan atau bising. Kesalahan yang bisa timbul dari berbagai tahapan penggunaan alat elektronik yang merekam sinyal pada sensor hingga alat elektronik yang digunakan oleh pemakai. Kesalahan karena sensor tersebut tidak dapat dihilangkan, tetapi bisa dikurangi dengan menggunakan atau memelihara sensor supaya tetap sensitif sehingga bising tersebut relatif kecil. Kesalahan seperti dijelaskan di atas disebut kesalahan *acak (random)*.

Selain itu juga ditemukan kesalahan sistematis, yang dapat dihilangkan dalam proses awal. Misalnya kesalahan karena tidak jelasnya beberapa *pixel* dalam satu baris citra atau semua *pixel* dalam baris tersebut menjadi 0 atau 255 semua. Hal ini disebabkan oleh bising pengiriman sinyal dari satelit ke stasion penerima atau bising di stasion penerima sehingga menyebabkan tidak lengkapnya sinyal yang diterima. Biasanya dalam mengatasi kesalahan ini maka nilai *pixel* tersebut digantikan dengan nilai *pixel* rata-rata antar baris di atas dan di bawahnya.

Kesalahan sistematis pada umumnya tergantung pada karakteristik sensor yang digunakan. Kesalahan menggaris pada citra (*image striping*) timbul karena adanya perbedaan sensitifitas dan juga ditambah perbedaan antar elemen yang digunakan pada sistem sensor. Kebanyakan dari skener opto-mekanik, seperti MSS dan TM, menggunakan lebih dari satu sensor sehingga citra dari obyek direkam tidak dalam satu waktu yang bersamaan, tetapi perekamannya dilakukan tiap enam, tujuh, bahkan enam belas baris sekali. Tiap baris pada sensor biasanya tidak mempunyai tingkat sensitifitas (ketajaman) yang sama meskipun selalu disesuaikan oleh operator satelit. Hal ini menimbulkan kesalahan menggaris horisontal pada

citra berulang setiap tujuh baris untuk MSS Landsat dan delapan baris pada TM. Lebar kesalahan ini tidak besar dan tidak begitu terlihat untuk satu citra yang mencakup daerah yang cukup bervariasi. Contoh kesalahan ini dapat ditunjukkan pada **Gambar 3-5**, yaitu citra MSU-SK milik Rusia (Uni Sovyet), sebelum dan sesudah dikoreksi. Kesalahan menggaris horisontal ini biasanya dikoreksi dengan teknik statistik yang disebut *destriping*, yaitu dengan merata-ratakan *pixel* tiap baris dalam putaran orbit, untuk tiap tujuh atau delapan baris sekali, tergantung dari sensor, menjadi nilai yang sama untuk mengkoreksi nilai *pixel* tersebut. Hal ini dilakukan sebelum proses koreksi geometris, karena proses geometris akan memutar citra asli dan kesalahan horisontal akan menjadi diagonal. Apabila ini terjadi maka akan menyebabkan lebih sulit untuk dikoreksi.

Skener penyapu, seperti pada SPOT, MOS-1 dan MSU-E, menggunakan satuan sensor tunggal sangat besar, dan secara individu masing-masing peralatan ini tidak mempunyai tingkat ketajaman yang sama. Hal ini menimbulkan kesalahan menggaris vertikal pada citra. Kesalahan ini jarang ditemukan pada citra yang menggunakan sensor opto-mekanik. Pada umumnya sebagian besar sistem pemrosesan citra mempunyai fungsi untuk menghilangkan kesalahan ini. Contoh kesalahan tersebut sebelum dan sesudah dihilangkan diilustrasikan pada **Gambar 3-6**. Seperti pada skener opto-mekanik, kesalahan ini sering dijumpai untuk daerah yang homogen dengan tingkat refleksi yang relatif rendah. Kesalahan ini juga sering ditemui pada citra musim dingin. Kesalahan ini lebih sering ditemukan pada citra tampak mata dari pada citra infra merah. Cara lain untuk menghilangkannya adalah dengan teknik transformasi Fourier, dan ini akan menghasilkan citra lebih bagus, tetapi memerlukan penghitungan yang lebih rumit.

Koreksi Radiometris

Setelah cacat atau kesalahan atau bising karena sensor dan transmisi telah dihilangkan dari citra atau dikurangi sebanyak mungkin, tahapan proses awal lebih lanjut sering dilakukan sebelum proses penajaman citra dimulai. Koreksi atmosferis dan radiometris dilakukan, dan kemudian baru dikoreksi geometris. Dua citra untuk daerah yang sama tetapi tanggal berbeda memungkinkan untuk berbeda nilai

pantulan radiasinya. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan dalam ketinggian matahari, yang tergantung dari tahun, berbeda dalam jumlah hamburan dan penyerapan atmosfer, dan juga karena perubahan liputan lahan di daerah tersebut. Faktor yang terakhir adalah yang hampir selalu menjadi bahan kajian yang menarik dalam penggunaan citra beda tanggal perekaman, meskipun terkadang dalam kondisi yang berbeda pemakai ingin menggunakan data remote sensing untuk tujuan pemantauan polusi di atmosfer sehingga koreksi ini tidak perlu dihilangkan.



Gambar 3-5. Citra MOS-1 MESSR tampak mata
(kiri terdapat bising vertikal, kanan sudah di koreksi)
(Sumber : NASDA)



Gambar 3-6. Citra MSU-E tampak mata (kiri) dan infra merah dekat (kanan)
(Sumber : Glavkosmos)

Koreksi radiometris untuk menghilangkan perbedaan ketinggian matahari antar citra berbeda tanggal dan untuk perbedaan kalibrasi sensor adalah permulaan yang penting dalam pengamatan perubahan lahan dengan pemkanalingan nilai reflektansi, dan ini merupakan proses yang tidak sulit. Karena hampir keseluruhan satelit observasi bumi merekam data pada suatu tempat dengan waktu lokal yang hampir sama, maka variasi dari cahaya matahari tergantung dari musim. Ketinggian matahari dan sudutnya pada saat perekaman obyek umumnya tercatat pada *header* dari citra digital.

Rasio dari dua kanal panjang gelombang dapat mengurangi pengaruh ketinggian matahari. Koreksi radiometris pada citra yang direkam dengan menggunakan skener pesawat udara atau satelit meteorologi lebih sulit. Koreksi radiometris dapat menghilangkan perbedaan karena pengaruh ketinggian matahari dan pengaruh posisi relatif *pixel* dalam tiap baris perekaman, tetapi tidak dapat mengganti perbedaan cahaya karena pengaruh topografi. Penggunaan DEM (*digital elevation model*) yang berakurasi tinggi, dengan resolusi seperti citra satelit, memungkinkan untuk menghasilkan citra terkoreksi, yang tiap *pixel*nya mempunyai nilai yang berhubungan dengan cahaya matahari relatif pada titik tersebut. Citra ini dapat digunakan untuk mengoreksi nilai digital dari citra satelit yang mempunyai koordinat sama untuk menghilangkan pengaruh topografi.

Koreksi atmosfer

Pengaruh atmosfer biasanya lebih kecil dibandingkan dengan pengaruh ketinggian matahari. Menghilangkan koreksi atmosfer dari data pada panjang gelombang tampak mata untuk liputan air sangat penting artinya. Karena sekitar 80% dari total radiasi air yang mencapai sensor dipengaruhi oleh atmosfer, baik pengaruh hamburan atau penyerapan oleh campuran gas maupun zat atau komponen lain yang berada antara obyek dan sensor. Pendekatan yang sering dan umum digunakan adalah metode *darkest pixel* (*nilai pixel terendah*). Cahaya yang meninggalkan air pada wilayah infra merah dekat diasumsikan nol dan sinyal yang diterima di satelit berarti tergantung dari pada pengaruh atmosfer. Pengaruh penghamburan molekul

di udara dapat dihitung. Kemudian dapat dihitung rasio dari pengaruh penghamburan *aerosol* di infra merah dekat terhadap penghamburan *aerosol* pada panjang gelombang lainnya untuk menghilangkan pengaruh atmosfer dari data pada panjang gelombang tampak mata. Nilai radiasi terkoreksi dapat dihubungkan dengan karakteristik fisik seperti konsentrasi klorofil dan sedimentasi di dalam air.

Model empiris yang lain untuk koreksi atmosfer adalah RIM (*regression intesection method*). Ini tergantung pada kenyataan bahwa untuk liputan lahan yang seragam, misal tanaman atau hutan berdaun jarum, perbedaan dalam nilai digital antar *pixel* dalam satu cakupan citra dipengaruhi oleh variasi topografi. Apabila nilai digital dari dua panjang gelombang untuk dua liputan lahan yang berbeda di plot kan pada suatu grafik, maka perpotongan antar dua garis regresi akan berarti ukuran untuk kontribusi atmosfer pada tiap panjang gelombang. Ada dua kendala untuk menerapkan teknik ini. Pertama, sangat jarang ditemukan liputan lahan yang sangat homogen. Kedua, jarang ditemui variasi kemiringan lahan untuk dua liputan lahan yang representatif pada daerah studi dalam satu cakupan citra untuk memperoleh garis regresi tersebut. Contoh lain dari pendekatan yang lebih kompleks untuk mengestimasi pengaruh atmosfer adalah pendekatan LOWTRAN dan TANRE yang tidak dijelaskan pada buku ini.

Koreksi geometris

Tahapan akhir dari proses awal citra remote sensing, dan yang biasanya dilakukan oleh hampir seluruh pemrosesan data satelit adalah koreksi geometris. Hal ini dikarenakan bahwa koreksi geometris melibatkan modifikasi yang tidak dapat diubah lagi dari nilai *pixel* aslinya setelah dilakukan proses *resampling*. Proses ini akan melengkungkan *pixel* berdasar koordinat yang disesuaikan, misal UTM guna mendapatkan sistem koordinat yang baru. Koreksi kesalahan relatif geometri dari skener maupun kesalahan karena cahaya matahari harus dilakukan sebelum proses koreksi geometris. Namun kesalahan karena tinggi matahari atau kesalahan karena pengaruh atmosfer untuk daerah yang tidak terlalu luas pada muka bumi dapat dilakukan setelah atau sebelum proses *resampling*.

Ada dua cara yang sering digunakan dalam praktek koreksi geometris. Pertama, tergantung dari ketelitian pengetahuan tentang orbit satelit dan posisi citra pada saat merekam obyek. Apabila ketelitian lokasi, ketinggian, dan arah perekaman dari satelit diketahui maka tiga dimensi trigonometri dapat digunakan untuk menghitung lintang bujur tiap *pixel* dari citra. Informasi ini digunakan untuk mentransfer citra ke proyeksi peta yang digunakan. Satelit masa kini biasanya mengirimkan informasi tersebut ke stasiun penerima, sehingga memungkinkan penghitungan koreksi geometris untuk dilakukan dengan berbagai piranti lunak yang tersedia.

Cara kedua adalah yang sering dilakukan pada dekade awal perkembangan remote sensing, yaitu pada saat informasi yang diperlukan untuk koreksi geometris diperoleh kurang tinggi akurasi, yaitu penghitungannya didasarkan pada titik yang koordinat lintang bujurnya sudah diketahui (yang dikenal dengan *ground control point* atau GCP) dalam satu citra. Matrik transformasi digunakan untuk mengkonversi koordinat citra menjadi koordinat geografis. Dengan GCP yang cukup akan memberikan ketelitian yang lebih baik, tetapi perlu perhitungan yang rumit dan lama serta memerlukan peran operator atau pemakai lebih cermat dan serius. Transformasi yang paling baik adalah dengan mengkombinasikan dua teknik tersebut, yaitu dengan menggunakan data empiris dan GCP secukupnya untuk mengecek kebenaran dari data empiris yang digunakan. Kedua teknik tersebut dilakukan berdasar asumsi bahwa daerahnya adalah datar, tidak begitu bervariasi dalam topografi. Hal ini baik untuk sensor dengan cakupan lebar, seperti SPOT atau SAR yang dapat mengambil gambar dari sudut miring. Koreksi geometris yang teliti dalam kasus tersebut memerlukan DEM atau citra stereoskopis untuk mendapatkan variasi ketinggian yang benar.

Apabila transformasi matrik telah dilakukan dengan salah satu dari teknik di atas, maka *resampling* citra baru dilakukan. Ini berarti bahwa tiap nilai digital dari citra asli harus dipindahkan ke posisi baru dalam citra yang sudah dikoreksi. Apabila perpindahan tersebut untuk seluruh *pixel*, maka prosesnya akan lebih sederhana, dan nilai digital dalam citra yang di *resample* tidak berubah. Tetapi dalam kenyataannya beberapa *pixel* mewakili daerah yang homogen, dan

kebanyakan mempunyai nilai digital dari campuran obyek yang berbeda dalam satu cakupan *pixel*. Dan juga *pixel* yang ditransformasikan tidak selalu dalam nilai integer yang mewakili. Apabila sebuah citra di *resample* dengan proses yang sederhana ini, seperti yang dikenal dengan teknik tetangga terdekat (*nearest neighbour*), citra *resample* akan mempunyai kenampakan bergerigi di pinggirnya dan berkotak-kotak.

Banyak cara telah dikembangkan untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti dan mendekati nilai asli dari *pixel* aslinya. Misalnya teknik interpolasi *bilinear* akan menghasilkan citra yang tidak begitu berkotak-kotak, tetapi sering tidak memungkinkan untuk memodifikasi nilai digital dalam jumlah besar. Teknik *cubic convolution* merupakan satu proses yang lebih memerlukan waktu, tetapi menghasilkan citra yang lebih baik secara spasial maupun spektral. Contoh hasil proses dari ketiga teknik interpolasi tersebut ditunjukkan pada Gambar 3-7.

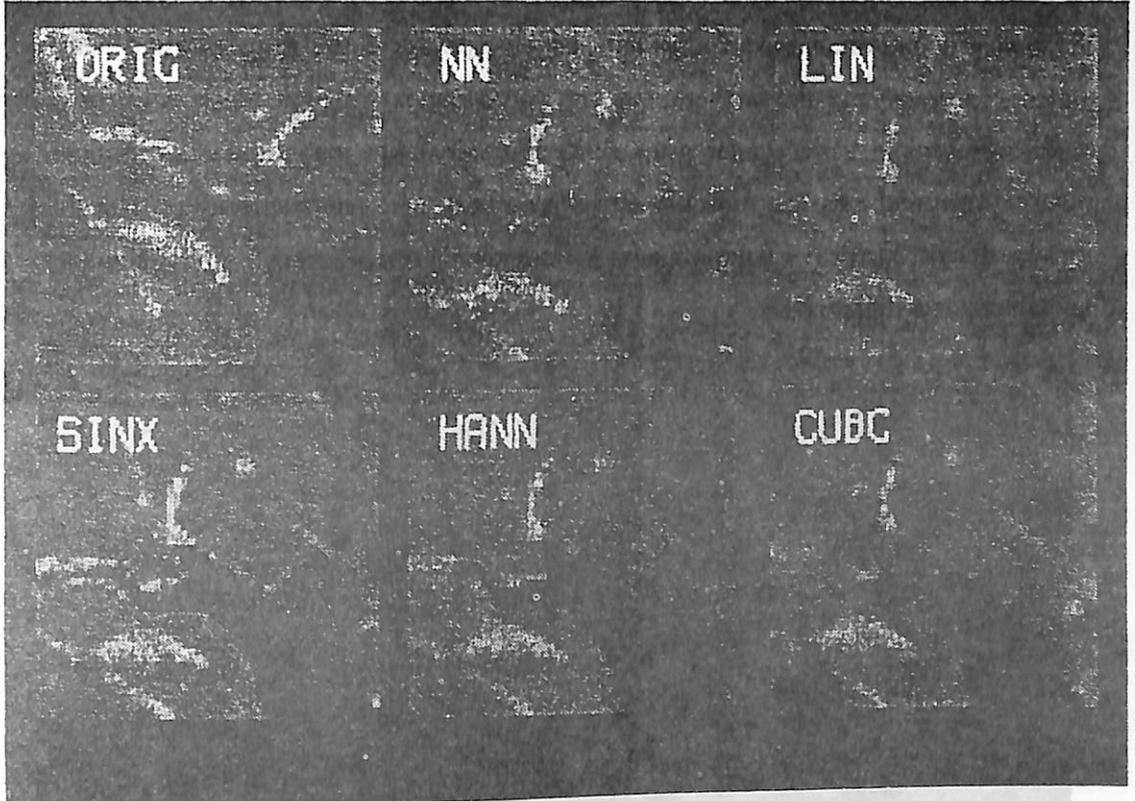
PENAJAMAN CITRA

Tahap kedua dari pemrosesan citra dapat dibedakan menjadi dua, yaitu penajaman citra dan ekstraksi informasi. Penajaman citra mencakup berbagai teknik untuk memperbaiki penampilan citra dan kemudahan menginterpretasinya. Hal ini lebih banyak ditujukan untuk interpretasi secara visual. Sedangkan ekstraksi informasi merupakan cara untuk mengartikan informasi dari citra digital asli dengan bantuan proses komputer, baik dalam bentuk citra, peta, maupun tabel serta data lainnya yang diperlukan oleh pemakai tanpa memerlukan keahlian pemakai. Delapan teknik penajaman citra akan diuraikan dalam bab ini.

Contrast stretching (rentang ketajaman)

Kebanyakan dari sistem pemrosesan citra menggunakan sistem 8 bit per kanal panjang gelombang, dengan tingkat keabuan bervariasi dari hitam = 0 hingga putih = 255. Citra satelit, terutama panjang gelombang tampak mata, sering tidak begitu bervariasi khususnya pada saat sinar matahari rendah. Untuk maksud lebih mempermudah dalam menginterpretasi secara visual, baik pada monitor maupun dalam bentuk kertas cetak, data digital asli perlu ditransformasi agar memenuhi

seluruh rentang sistem. Proses ini sering disebut sebagai rentang ketajaman. Sebuah contoh citra sebelum dan sesudah proses rentang ketajaman dengan perubahan distribusi histogramnya ditayangkan pada **Gambar 3-8**.



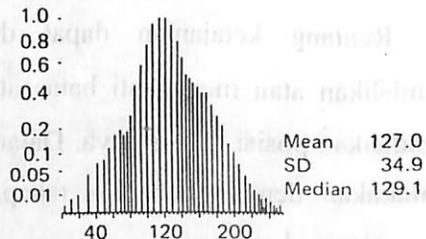
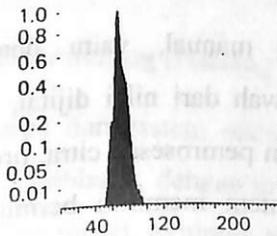
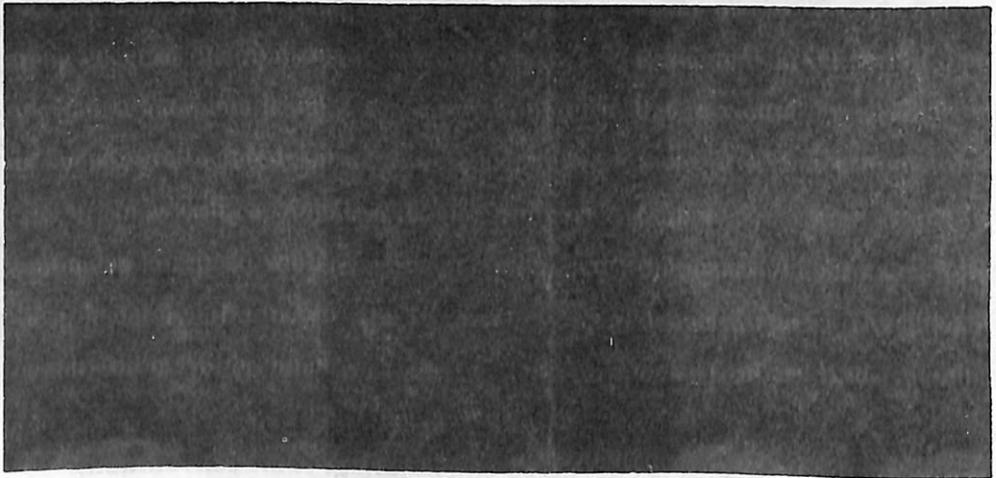
Gambar 3-7. Efek perbedaan algoritma filtering (dari atas kiri ke kanan : asli, nearest neighbour, linear, sinx/x, hanning, cubic convolution)

(Sumber : Christopher Legg. 1992)

Rentang ketajaman dapat dilakukan secara manual, yaitu dengan memindahkan atau mengganti batas atas dan batas bawah dari nilai digital, dan memindahkan posisi rata-ratanya. Dalam beberapa sistem pemrosesan citra, proses ini dilakukan dengan beberapa tahapan. Beberapa sistem memiliki bermacam proses rentang ketajaman secara otomatis, berdasar metode *gaussian*, penyamarataan, atau standar penyebaran. Proses ini biasanya dilakukan berdasar suatu tabel, data aslinya tidak dirubah, tetapi datanya ditayangkan berdasar perhitungan yang disimpan dalam tabel.

Density slicing

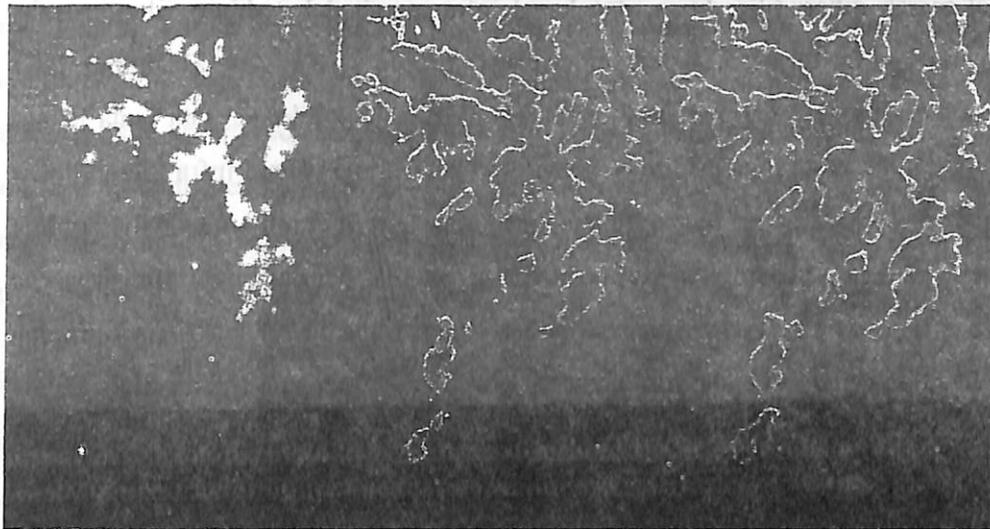
Mata manusia dapat mudah membedakan warna daripada gradasi tingkat keabuan. Untuk mempertajam perbedaan dalam kanal tunggal, penayangan warna dalam satu kelompok gradasi keabuan atau kelompok nilai digital sering banyak gunanya. Proses ini disebut dengan *density slicing*. Sebuah proses *density slicing* secara sederhana dapat dicontohkan dengan pengelompokan nilai digital dalam satu rentang tertentu yang dapat mempertajam perbedaan ketajaman antar kelompok tetapi mengurangi variasi antar grup. Prosedur ini dapat juga dilakukan dengan memberikan nilai atas dan nilai bawah serta rentang nilai antar kelompok. Hal ini masih dalam rangka mempertajam kenampakan tetapi masih mengabaikan kedetailan data dalam citra.



Gambar 3-8. Efek kontras penajaman (kiri : asli dan kanan : ditajamkan)

(Sumber : Christopher Legg. 1992)

Perbedaan tersebut dapat ditunjukkan seperti pada contoh **Gambar 3-9**. Gambar 3-9a lebih merupakan *digital elevation model (DEM)* daripada citra satelit, karena mempunyai rentang keabuan yang cukup lebar dengan variasi spasial yang halus dalam nilai dijitalnya. Citra ini sulit diinterpretasikan, misal sulit untuk menginterpretasikan mana dari dua puncak yang mempunyai ketinggian yang sama. Gambar 3-9 b memberikan contoh *density slicing* yang sederhana dan menunjukkan adanya perbedaan warna dengan interval ketinggian tertentu tetapi tidak menunjukkan konsistensi interval. Sedangkan Gambar 3-9 c merupakan contoh *density slicing* yang lebih kompleks. Gambaran ini lebih memberikan kedetailan informasi dan kejelasan warna menurut ketinggian. Kenampakan air dapat dipisahkan dengan teknik ini pada kanal infra merah, karena air memiliki reflektansi rendah daripada liputan lainnya pada kanal ini.



a

b

c

Gambar 3-9. Contoh efek *density slicing*

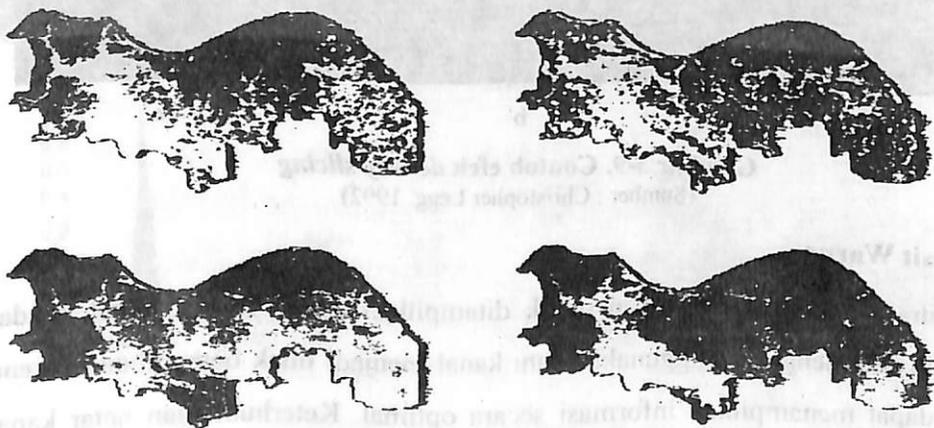
(Sumber : Christopher Legg, 1992)

Komposit Warna

Sejak citra satelit memungkinkan untuk ditampilkan dalam format kanal ganda, pengujian data dengan menggunakan satu kanal menjadi tidak berkembang karena kurang dapat menampilkan informasi secara optimal. Keterhubungan antar kanal yang berbeda sangat penting maknanya dalam mengenali suatu kenampakan atau liputan obyek. Banyak sekali manfaat penayangan kanal ganda dalam satu bentuk

cetakan warna. Hal ini sering ditampilkan dalam bentuk citra komposit warna, yang menampilkan tiga kanal panjang gelombang dalam satu bentuk citra. Biasanya tiga kanal tersebut ditampilkan dalam campuran filter warna biru, hijau dan merah. Banyak cara dalam menampilkan kombinasi dari tiga kanal ini untuk menghasilkan komposit warna. Untuk tiga kanal data pada SPOT-XS, terdapat enam kemungkinan kombinasi, dan untuk tujuh kanal TM memungkinkan 840 kemungkinan kombinasi.

Agar para pemakai dapat mengenali kenampakan suatu obyek dari citra yang diproses oleh orang lain, maka kombinasi tertentu yang distandarisasi perlu dikenalkan. Tiga kombinasi kanal dari panjang gelombang tampak mata hijau, merah, dan infra merah dekat (Landsat MSS, SPOT-XS, MSU-E, MOS-1, IRS-1) akan menampilkan citra komposit warna apabila kanal hijau diberikan filter biru, kanal merah diberi filter hijau, dan kanal infra merah dekat diberi filter merah. Kenampakan ini sering disebut komposit warna semu karena vegetasi ditampilkan dalam warna merah dan perairan dalam warna biru. Untuk kajian tata guna lahan, Landsat TM mempunyai informasi yang lebih berarti pada kanal infra merah dekat (kanal 5), yang akan menampilkan informasi yang lebih mewakili apabila digunakan dalam penampilan komposit warna. Standar pembuatan komposit warna dengan Landsat TM adalah kanal 3 (merah) diberi filter biru, kanal 4 (infra merah dekat) diberi filter merah, dan kanal 5 (infra merah tengah) diberi filter hijau.



Gambar 3-10. Komposit warna asli Landsat MSS 1984, 1987, 1989, 1991 daerah pantai utara Bekasi - Karawang, Jawa Barat

Beberapa pemakai lebih cenderung menggunakan komposit warna asli, yaitu pada kanal 3 diberi filter merah, kanal 4 diberi filter biru, dan kanal 5 diberi filter hijau. Contoh dari komposit warna ditayangkan pada **Gambar 3-10**. Untuk kajian geologis, pembuatan komposit warna dengan menampilkan kanal 7 akan lebih bermanfaat, karena sensitifitasnya terhadap mineral lempung. Kombinasi antara kanal 7 dan kanal 5 dengan satu kanal tampak mata, yang biasanya kanal 3, sering digunakan untuk penampilan dalam rangka tujuan kajian geologi.

Dalam kebanyakan citra satelit korelasi antar kanal yang berbeda dari sensor yang berlainan sangat tinggi. *Albedo* (reflektansi yang digeneralisasi) dari suatu permukaan, khususnya batuan dan tanah, tidak begitu jelas berbeda reflektansinya pada kanal-kanal yang digunakan. Apabila korelasi antar kanal dapat diminimalkan, maka kenampakan suatu obyek akan lebih jelas dan ini berarti akan menambah kemudahan dalam menafsirkannya. Proses ini disebut dengan *decorrelation stretching*. Dalam beberapa kasus, gradasi dari salah satu kanal tidak dimunculkan secara merata tetapi ditekankan pada kenampakan tertentu dan bagian ini ditonjolkan penampilannya. Dua tipe *decorrelation stretching* yang sering digunakan adalah berdasar pada *principal component analysis* (PCA) dan pada transformasi *intensity-hue-saturation* (IHS).

Ratio Citra

Hubungan antar data dari kanal yang berbeda sering tidak begitu jelas, dan teknik ratio citra atau komposit warna perlu dilakukan untuk mengatasi hal tersebut. Juga memungkinkan untuk mengurangi beberapa pengaruh yang umum terjadi pada seluruh kanal citra seperti cahaya matahari karena topografi atau ketinggian matahari. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan informasi yang lebih optimal dari perbedaan antar kanal. Kombinasi lebih dari tiga kanal tidak dapat disajikan dalam bentuk komposit warna, dan penonjolan beberapa kenampakan justru sering diperlukan.

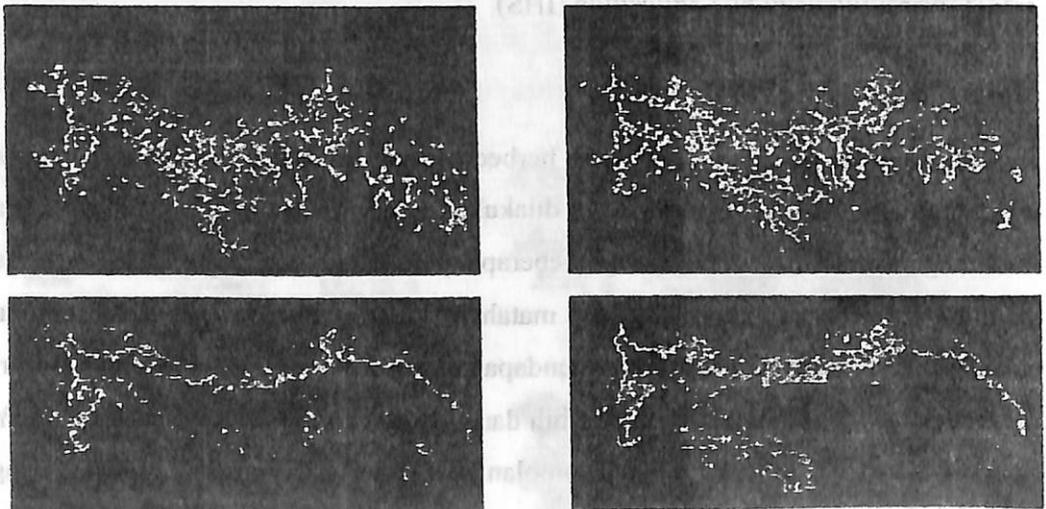
Kombinasi beberapa kanal untuk mendapatkan komposit warna sering memanfaatkan hasil ratio antar kanal, dan hal ini dikenal dengan citra ratio kolektif. Hal ini dapat bervariasi dari ratio sederhana, yaitu satu kanal dibagi dengan kanal

lainnya, hingga ratio yang disebut *normalized ratio*, yaitu pengurangan satu kanal dengan kanal lainnya yang dibagi dengan penjumlahan dari kanal yang sama. Dan bahkan meliputi ratio sangat kompleks yang melibatkan banyak kanal. Tujuan utamanya adalah untuk mendapatkan informasi secara optimal dari kombinasi kanal tersebut.

Dalam studi vegetasi atau liputan lahan, ratio antar kanal yang sering digunakan adalah disebut *Normalized Different Vegetation Index* (NDVI) dengan rumusan :

$$NDVI = \{(R_{nir} - R_{red}) / (R_{nir} + R_{red})\} * K$$

R_{nir} dan R_{red} masing-masing adalah nilai digital dari kanal infra merah dekat dan merah, sedangkan K adalah konstanta yang biasanya 128, untuk mendapatkan gradasi citra yang cukup luas. NDVI digunakan sebagai media pengukur semi-kuantitatif dari kepadatan vegetasi dan kegiatan klorofil, dan dapat dihasilkan dari semua sensor, mulai dari AVHRR hingga SPOT. Perbandingan citra komposit warna dengan citra NDVI yang menunjukkan perbedaan pola penyebaran vegetasi ditunjukkan pada Gambar 3.11.



Gambar 3-11. Citra NDVI Landsat MSS 1984, 1987, 1989, 1991 daerah Pantai utara Bekasi - Karawang, Jawa Barat

Principal Component

Proses ini cukup kompleks rumusan matematisnya, tetapi prinsipnya merupakan penyederhanaan arti dari banyaknya komponen yang digunakan ke dalam komponen tertentu, yang dikenal dengan analisis PCA. Sejumlah n kanal dari data asli dikonversi ke sejumlah n kanal, komponen pertama berisi informasi yang paling tinggi korelasinya dari kanal asli yang digunakan, sedangkan komponen kedua berisi yang mempunyai korelasi lebih rendah dan seterusnya. Komponen pertama selalu berisi kenampakan utama dari suatu citra. Sedang komponen lainnya berisi informasi tergantung pada signifikansinya.

Convolution Filtering

Prinsip ini perlu dijelaskan untuk menghindarkan kesalahan pemahaman dengan cara pemberian filter (*filtering*) yang lainnya, seperti *smoothing* citra (penghalusan kontras), *edge-enhancement* (penajaman batas tepi), dan *linear filtering* (penajaman kenampakan kelurusan).

Penajaman dengan *filtering* dapat dilakukan dengan berbagai cara dan ukuran, dan proses penajaman tersebut dapat diilustrasikan dengan gambaran 3×3 *pixel* sebagai berikut. Hal ini sebenarnya teknik *smoothing* atau penghalusan kontras. Angka pada matrik menunjukkan skor yang diberikan pada tiap *pixel*. Proses penghalusan kontras tersebut dilakukan untuk seluruh citra dan akhirnya diperoleh suatu citra hasil proses. Dari tiap matrik 3×3 diperoleh nilai *pixel* baru dari pusat matrik tersebut, berdasar pada penjumlahan nilai *pixel* tiap matrik dalam citra lama dibagi dengan jumlah total *pixel*, dalam hal ini 9 *pixel*. Ukuran citra baru akan lebih kecil satu *pixel* (kolom) dari yang seharusnya diperoleh dengan penghalusan kontras 3×3 karena dengan cara tersebut tidak dapat dilakukan perhitungan pada *pixel* (kolom) terakhir (paling kanan) dari citra.

Smoothing Filter

1	1	1
1	1	1
1	1	1

Kedua contoh tersebut menjelaskan prinsip *convolution filtering*. Teknik ini sederhana tetapi memerlukan banyak pengulangan, sehingga perlu sekali bantuan komputer. Pada umumnya sistem pemrosesan citra menyediakan pilihan kemampuan hingga matrik 7x7.

Edge enhancement dan linear filtering

Apabila citra dibuat untuk tujuan interpretasi visual, maka akan lebih memberi informasi secara optimal apabila ditampilkan dalam bentuk yang kontras, kenampakan kelurusannya tegas dan perbedaan antar liputan lahan pun mudah diidentifikasi. Proses ini disebut *edge enhancement* (penajaman batas tepi) dengan menerapkan *high-pass filter*. Hasilnya akan merupakan intensifikasi batas kenampakan dan kenampakan kelurusan lebih jelas, meskipun dapat menyebabkan penyimpangan nilai *pixel* di akhir baris dari citra. Contoh dari kanal tunggal sebelum dan sesudah dilakukan proses penajaman ditunjukkan pada Gambar 3-13.

Citra Asli								Hasil Smoothing							
100	100	100	255	100	100	100	50	50	100	152	100	48	95	83	89
100	100	100	255	100	100	100	50	50	100	152	100	48	89	83	95
100	100	100	255	100	100	50	50	50	100	152	100	43	83	89	100
100	100	100	255	100	100	50	50	50	100	152	100	37	83	95	100
100	100	100	255	100	50	50	50	50	100	152	95	32	89	100	100
100	100	100	255	100	50	50	50	50	100	152	89	32	95	100	100
100	100	100	255	50	50	50	50	50							
100	100	100	255	50	50	50	50	50							

Linear Gradient Filter

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

Hasil Linear Gradient Filter						
100	152	100	48	95	83	89
100	152	100	48	89	83	95
100	152	100	43	83	89	100
100	152	100	37	83	95	100
100	152	95	32	89	100	100
100	152	89	32	95	100	100

Sumber : Christopher Legg. 1992.

Dalam studi geologi struktur, penajaman citra sering dilakukan dengan *low-pass filter* yang mengabaikan kenampakan detail dari permukaan obyek dan waktu yang bersamaan sekaligus mempertajam kenampakan kelurusan. Dalam piranti lunak pemrosesan citra biasanya tersedia berbagai pilihan teknik penajaman citra. Namun kebanyakan melakukan penajaman citra dengan cara (tergantung tujuan) satu dari tiga pilihan di bawah:

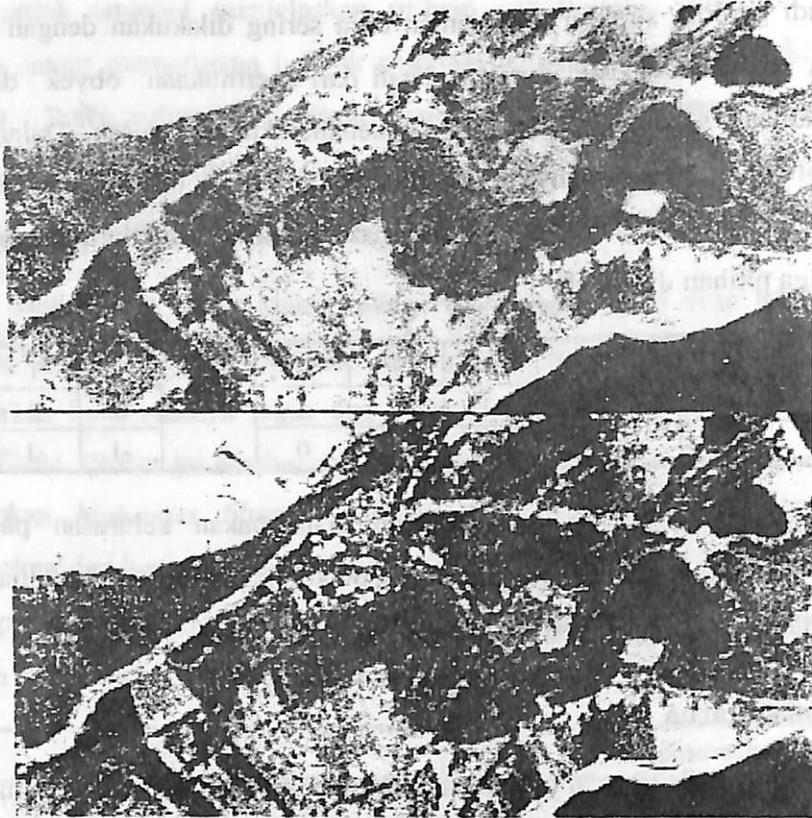
-1	0	1		0	1	2		1	1	1
-1	0	1		-1	0	1		0	0	0
-1	0	1		-1	-1	0		-1	-1	-1

Citra yang dihasilkan akan mempertajam kenampakan kelurusan pada arah ortogonal, dan dapat dikombinasikan menjadi komposit warna atau ditampilkan dalam bentuk kanal tunggal dengan gradasi warna.

Transformasi warna

Citra berwarna, baik yang ditayangkan dalam layar monitor atau dalam bentuk cetak kertas, biasanya merupakan gabungan dari tiga kanal yang berbeda. Masing-masing kanal ditampilkan dengan warna merah, hijau, dan biru pada layar monitor atau warna laser pada alat pencetak film. Ini bukan satu-satunya cara dalam menyajikan citra. Citra berwarna dapat diuraikan berdasar *intensity*, *hue*, dan *saturation* (IHS) sebagai ganti dari merah, hijau, dan biru. Intensitas (*intensity*) merupakan pengukur dari terangnya tiap *pixel*, *hue* (corak) merupakan pengukur dari warna, dan *saturation* (kejenuhan) merupakan indikator dari ke dalam atau kemurnian warna. Pada umumnya sistem pemrosesan citra mempunyai kemampuan untuk mengkonversi merah (R), hijau (G), dan biru (B) ke I, H, dan S. Transformasi warna ini digunakan untuk dua tujuan. Pertama, merupakan alternatif dari *decorrelation stretching* (perentangan korelasi).

Apabila sebuah citra RGB yang korelasi antar kanalnya tinggi dikonversi ke IHS, dan unsur H direntangkan untuk mengisi seluruh variasi sebelum ditransformasi kembali ke RGB lagi, perbedaan spektral antar permukaan obyek akan dipertajam, meskipun warna citra akan tidak seperti aslinya. Contoh dari citra hasil proses IHS ditunjukkan dalam **Gambar 3-14**.

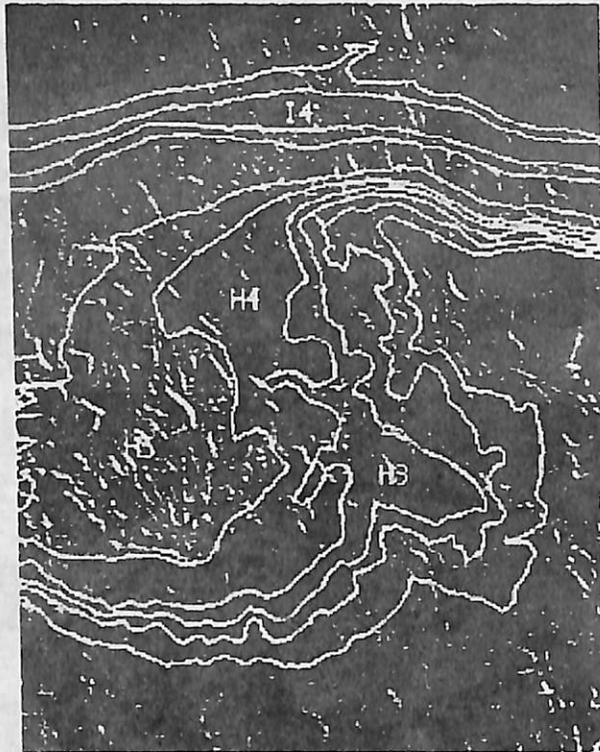


Gambar 3-13. Efek penajaman batas tepi dari SPOT PAN
(Sumber : Christopher Legg, 1992)

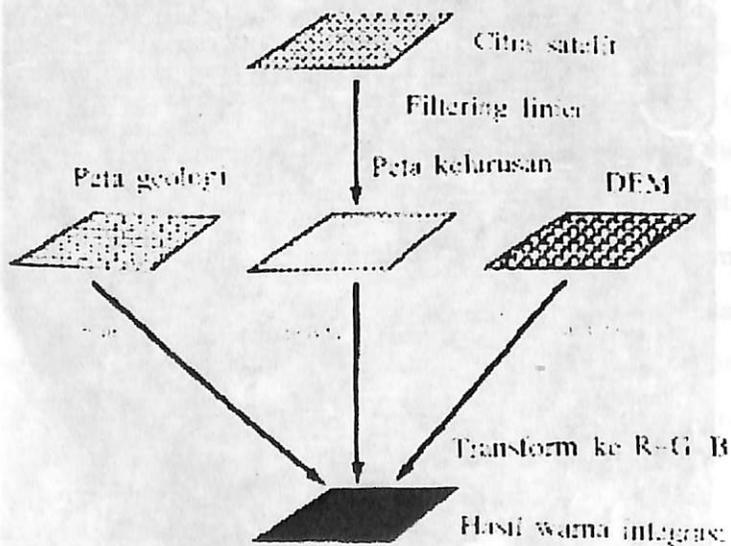
Tujuan kedua, adalah merupakan kombinasi dari data yang berbeda seperti ditunjukkan pada **Gambar 3-15**. Meskipun berbeda, tetapi pasangan data yang berbeda dapat dikombinasikan dalam satu bentuk citra tunggal yang mempunyai kandungan informasi tambahan dan akan mempermudah dalam interpretasi visual dari citra tersebut. Contohnya adalah seperti dalam **Gambar 3-16** yang merupakan kombinasi citra satelit yang dipertajam dengan I, peta geologi (H), dan sebuah DEM (S) sebagai informasi tambahan untuk tujuan analisis hidrogeologi. Sebagai pedoman, data yang memiliki informasi spasial (kenampakan kelurusan dan tekstur) dipakai sebagai I, dan yang variasinya tinggi dipakai untuk H, dan yang lain sebagai S.



Gambar 3-14. Efek penggunaan penajaman dekorelasi IHS
(Sumber : Christopher Legg, 1992)



Gambar 3-15. Penggunaan IHS dalam integrasi data
 (Sumber : Christopher Legg, 1992)



Gambar 3-16. Skema penggunaan IHS untuk integrasi data
 (Sumber : Christopher Legg, 1992)

EKTRAKSI INFORMASI

Interpretasi visual

Mata manusia sangat baik dalam membedakan tekstur benda dan mengenali karakteristik bentuk, pola, dan asosiasi suatu obyek. Teknik klasifikasi secara otomatis tidak selalu dapat melakukan pembedaan tekstur, konteks, pola, dan bayangan dari obyek yang merupakan kunci pokok dalam pengenalan dan pembedaan suatu kenampakan. Pembedaan tekstur yang sederhana dapat diperoleh dari kombinasi citra dan informasi spektral yang kemudian diklasifikasi, tetapi dalam beberapa kasus ketelitian klasifikasi secara otomatis ini terlalu rendah daripada ketelitian interpretasi secara visual. Ini khususnya benar bagi klasifikasi citra untuk tujuan pemetaan geologis.

Interpretasi visual dapat dilakukan pada kertas transparan yang dilakukan *overlay* atau tumpang susun dengan citra hasil pencetakan, atau dengan cara langsung pada citra digitalnya dengan bantuan perangkat khusus. Penggambaran batas digital menggunakan peralatan pemrosesan citra untuk cakupan yang lebih besar dari ukuran monitor akan memerlukan waktu dan anotasinya mungkin diletakkan di luar daerah cakupan tersebut. Apabila interpretasinya diperlukan dalam bentuk digital, penggambaran tumpang susun batas tersebut dapat dilakukan dengan mendigitnya menggunakan peralatan kartografis. Interpretasi selalu lebih baik apabila dilakukan oleh yang sudah berpengalaman dan mengetahui daerah yang akan diinterpretasi dalam arti kondisi fisik, dan karakteristik lingkungan lainnya.

Klasifikasi

Pada prinsipnya, teknik klasifikasi adalah penggunaan informasi spektral atau menggunakan informasi spasial dari suatu citra dalam rangka membagi citra menjadi beberapa kelas yang berbeda dan mempunyai arti terhadap obyeknya. Klasifikasi cenderung meniru kegiatan manusia dalam menginterpretasi, yang membedakan suatu citra ke dalam beberapa kategori berdasar ketentuan ataupun keperluan dari suatu pekerjaan atau proyek. Manusia menginterpretasi dengan menggunakan warna, tekstur, dan konteks dalam mengidentifikasi kenampakan

tertentu. Secara teoritis, teknik klasifikasi otomatis dapat menguji probabilitas suatu obyek terhadap kanal yang digunakan, obyek tersebut akan tergolongkan ke dalam satu kelas tertentu pada saat yang bersamaan, dengan kecepatan yang lebih tinggi dibanding kemampuan manusia dalam menginterpretasi. Dalam prakteknya, belum ada sistem komputer yang dapat menghasilkan citra dengan ketelitian yang melebihi hasil interpretasi manusia, karena unsur warna, tekstur, dan konteks tidak dapat dievaluasi secara baik sepadan dengan interpretasi manusia pada sistem komputer yang ada sekarang, dan juga disebabkan karena komputer melakukan perhitungan berdasarkan aturan yang kaku dan tidak dapat belajar dari kesalahan yang pernah diperbuatnya. Namun kendala waktu yang diperlukan untuk interpretasi daerah yang luas telah mendorong manusia untuk menggunakan bantuan komputer dalam mengidentifikasi obyek.

Kebanyakan dari sistem klasifikasi dilakukan dengan dasar warna saja, dalam arti berdasar pada nilai *pixel* pada tiap kanal panjang gelombang. Tiap *pixel* dikategorikan dalam satu kelas atau kenampakan berdasar pada karakteristik spektralnya, tanpa mempertimbangkan *pixel* di sekitarnya. Sistem klasifikasi per-*pixel* ini dapat dikategorikan menjadi teknik terbimbing (*supervised*) dan teknik tak terbimbing (*unsupervised*).

Klasifikasi tak terbimbing tidak memerlukan pengetahuan tentang *pixel* pada citra, tetapi hanya didasarkan pada nilai digital tiap *pixel* secara mutlak. Pada prinsipnya, nilai digital untuk tiap *pixel* pada tiap panjang gelombang diuji, dan citra tersebut kemudian dibagi menjadi sejumlah kelas. Beberapa sistem memberikan pilihan kepada pemakai untuk menentukan jumlah kelas, atau jarak antar nilai spektral yang harus dikelompokkan. Dalam prakteknya, proses *clustering* (pengelompokan) pada sistem pemrosesan citra hanya didasarkan pada sampel beberapa *pixel* untuk menghemat waktu. Apabila nilai statistiknya telah dihitung, maka pemakai dapat memilih jumlah kelas yang akan merupakan hasil proses, berdasar tabel atau kadang-kadang grafik dari penyebaran tiap kelompok. Kemudian dilakukan klasifikasi untuk seluruh citra, biasanya menggunakan teknik *maximum likelihood* (kemungkinan kemiripan maksimum) agar tiap *pixel* termasuk ke dalam kelompok yang lebih mewakili. Proses klasifikasi tak terbimbing relatif

cepat, dan ini lebih baik dilakukan untuk mendapatkan gambaran yang lebih obyektif sebelum dilakukan klasifikasi terbimbing. Untuk kenampakan liputan lahan yang sangat kompleks penyertaan klasifikasi tak terbimbing dalam seluruh rangkaian klasifikasi sering lebih baik, karena sulitnya untuk mendapatkan sampel untuk proses klasifikasi terbimbing.

Klasifikasi terbimbing tergantung atau banyak dipengaruhi oleh pengetahuan akan daerah yang dianalisis. Operator memberikan informasi kepada komputer bahwa satu kelompok *pixel* pada citra mewakili satu kelompok liputan lahan di lapang, dan kemudian komputer mencari *pixel* yang mempunyai karakteristik spektral yang sama. Daerah yang diinformasikan kepada komputer tersebut dikenal dengan nama '*training areas*' (*training sample*). Banyak tulisan telah dipublikasikan membahas tentang pemilihan sampel yang baik, dan juga tentang jumlah dan kualitas data lapangan yang diperlukan untuk klasifikasi yang baik. Yang penting dalam melakukan klasifikasi terbimbing adalah pemilihan sampel tersebut harus sedapat mungkin homogen, dan mewakili kelompok kelas yang kita tentukan. Apabila kelompok sampel tersebut telah dipilih maka proses klasifikasi dapat dilakukan.

Pada umumnya sistem klasifikasi citra minimal mencantumkan dua metode. Pertama yang disebut pengklasifikasi *parallelepiped* yang mengelompokkan *pixel* berdasar nilai *mean* (rata-rata) dan *range* (julat) dari tiap kelas pada tiap panjang gelombang, berdasar pada sampel, dan kemudian mengklasifikasikan seluruh *pixel* ke dalam kelompok ini sesuai dengan kelasnya. Kedua adalah metode klasifikasi yang lebih kompleks, yaitu menggunakan pendekatan statistik untuk mengelompokkan *pixel*nya ke dalam suatu kelas. Metode *minimum distance* (jarak minimum) dan *maximum likelihood* (kemungkinan kemiripan maksimum) menggunakan pendekatan tersebut dan biasanya dapat mengolah sampel dalam jumlah banyak pada waktu bersamaan. Beberapa sistem pemrosesan citra memberikan pilihan persentase tingkat probabilitas untuk mendapatkan hasil yang lebih bisa diterima.

Pelaksanaan klasifikasi terbimbing memerlukan tiga tahapan yaitu (i) pembuatan koordinat sampel, (ii) pembuatan *signature file* (file pola spektral) nilai

statistik tiap sampel dari kanal yang digunakan untuk kunci interpretasi, dan (iii) penerapan prosedur klasifikasi dengan menggunakan kanal panjang gelombang yang dipilih dan menggunakan file pola spektral dari sampel. Sampel merupakan contoh *pixel* yang dikenali pada citra, misalnya hutan, permukiman, air, dan sebagainya. Berdasar file pola spektral dari sampel maka proses klasifikasi untuk seluruh citra dilakukan. File pola spektral dapat dimodifikasi dan diuji kebenaran penyebarannya, misalnya apakah sudah menyerupai distribusi normal atau belum. Dan nilai ini dapat digunakan untuk mengklasifikasi citra lain, yang mempunyai koordinat dan cakupan sama, seperti mengklasifikasi citra untuk tahun yang berbeda. Hasilnya akan sangat tergantung lokasi pengambilan sampelnya. Apabila pada citra tahun yang berbeda tersebut lokasi sampelnya sama persis, maka hasilnya akan dapat digunakan sebagai bahan analisis perubahan lahan atau lainnya.

Teknik klasifikasi digunakan secara luas untuk studi pemetaan liputan lahan, tetapi tidak begitu luas dalam studi pemetaan geologi. Ketelitian klasifikasi dalam studi litologi biasanya rendah, kecuali bila vegetasinya jarang dan topografinya datar. Interpretasi geologis secara baik dapat diperoleh dari pemakai berpengalaman, dengan menafsirkan citra yang telah ditajamkan. Klasifikasi otomatis kurang dapat berperan besar dalam interpretasi ini. Manusia sangat menggantungkan informasi tekstur dan konteks dalam interpretasi tersebut, dan juga menerapkan pengetahuan geologi seperti arah kelurusan, kemungkinan patahan, dan sebagainya yang bisa membantu interpretasi. Dalam bidang industri mineral, klasifikasi spektral otomatis ini lebih banyak untuk perencanaan liputan lahan, analisis pengaruh lingkungan, dan bukan untuk membuat peta geologi.

Berdasar pengalaman dari Pusat Remote Sensing Nasional Inggris selama lima tahun bergerak dalam bidang aplikasi, disimpulkan bahwa ketelitian klasifikasi untuk spektral ganda berkisar dari 60 sampai 80% tergantung pada tipe liputan dan sensor yang digunakan. Ketelitian Landsat TM sering lebih tinggi dari SPOT, meskipun resolusi spasialnya lebih rendah karena kelebihan dalam jumlah spektral yang digunakan pada TM. Ketelitian untuk suatu daerah yang liputan lahannya homogen akan lebih tinggi. Untuk memperoleh hasil klasifikasi dengan lebih baik

dapat dianalisis menggunakan citra multi waktu, tetapi sering terbentur pada kendala liputan awan untuk daerah tropis, seperti Kalimantan, Irian.

Klasifikasi tak terbimbing lebih mewakili untuk daerah yang vegetasinya sangat kompleks, tetapi data lapang yang bagus diperlukan untuk menginterpretasikannya. Ketelitiannya dapat diperbaiki dengan membaginya menjadi ruas-ruas atau bagian-bagian untuk mengeluarkan daerah yang tidak diinginkan. Citra dapat dibagi menjadi ruas-ruas dengan bantuan data ketinggian, dengan DEM atau data kontur, atau dengan menggunakan nilai reflektansi asli dari citra satelit.

Analisis perubahan lahan

Analisis perubahan lahan merupakan satu kegiatan yang dapat dilakukan secara efektif dengan menggunakan citra remote sensing. Hal ini akan relatif lebih mudah apabila dilakukan dengan menggunakan citra satelit berbeda hari, tanggal, atau tahun, dan citranya dapat di registrasi atau disamakan posisi koordinatnya satu dengan lainnya. Kombinasi atau pemkanalingan secara kuantitatif, seperti pengurangan nilai *pixel* dari obyek yang berbeda pada kanal panjang gelombang beda perekaman dapat menghasilkan citra perubahan secara otomatis.

Studi mengenai perubahan ini sangat bervariasi. Sebagai contoh, institusi internasional atau pemerintah banyak yang ingin memantau perubahan hutan yang menyebabkan kekeringan. Pengusaha hutan ingin memantau wilayah Hak Pengusahaan Hutan (HPH) yang dimilikinya, apakah ada penebangan liar, kebakaran, atau kejadian lain yang tidak bisa dideteksi dari kantornya. Perencana kota atau perencana wilayah ingin memantau daerah studi yang akan dikaji dan direncanakannya, dan masih banyak lagi kepentingan yang lebih cenderung kepada bidang garap masing-masing.

Perubahan dari nilai digital antar dua citra dari daerah yang sama dapat dihasilkan dari perubahan sebenarnya di permukaan obyek, atau dari pengaruh perbedaan atmosfer atau ketinggian matahari. Untuk studi perubahan yang sebenarnya, pengaruh unsur-unsur tersebut harus benar-benar dikaji dan dipertimbangkan serta dikoreksi. Studi perubahan biasanya bisa menggunakan ratio

dari panjang gelombang yang berbeda. Penggunaan ratio ini dapat memperkecil kesalahan karena atmosfer dan ketinggian matahari, bila dibandingkan dengan penggunaan panjang gelombang tunggal. NDVI, atau penggunaan ratio antara kanal infra merah dan merah yang sering digunakan untuk studi perubahan vegetasi, yakni perubahan ke non-vegetasi. NDVI yang tinggi merupakan indikasi penyebaran vegetasi yang tinggi pula.

Kajian perubahan yang dapat disebut khusus, adalah perubahan perairan. Karena rendahnya nilai reflektansi pada panjang gelombang infra merah dibanding pada panjang gelombang tampak mata, maka akan mempermudah untuk mendeteksi perubahan pada liputan tersebut dari yang lainnya. Apabila perubahan telah dideteksi pada citra terkoreksi atau pada citra hasil ratio, perubahan yang tidak dianalisis perlu di kategorisasikan kembali untuk mempermudah analisis.

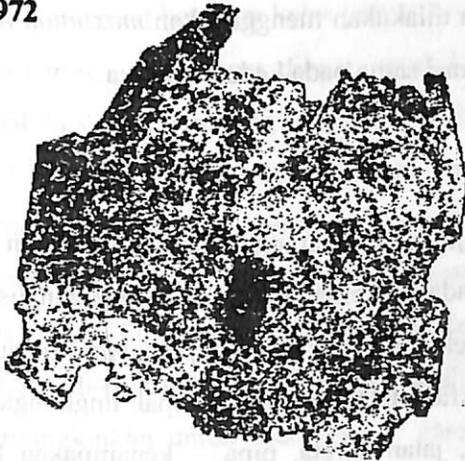
Di sebagian besar daerah hutan tropis, kajian perubahan dengan menggunakan citra satelit dapat dideteksi secara jelas. Pada beberapa bagian dunia, perbedaan vegetasi pada musim kering dan musim hujan sangat tajam, dan untuk beberapa daerah lain perubahan pola tanam dan bervariasinya jumlah tanaman serta musim tanam dan musim panen untuk tiap tanaman yang biasanya berbeda, sering menyebabkan kesulitan dalam analisis perubahan. Untuk daerah seperti ini kesalahan interpretasi untuk kajian perubahan akan dapat ditekan kalau diperoleh suatu citra dari bulan yang sama, tetapi berbeda tahun, digunakan. Problem dari penggunaan citra beda tahun ini adalah citra yang satu belum tentu sebaik citra yang lain dari segi pola penanaman karena adanya perubahan temperatur dan curah hujan, lebih khusus lagi untuk daerah yang beriklim maritim, sangat sulit untuk mendapatkan citra pada kondisi yang sama.

Dalam beberapa kasus, pendekatan yang baik untuk kajian perubahan antar tahun, seperti untuk studi pertumbuhan perkotaan, adalah dengan menggunakan musim yang sama. Perbandingan citra NDVI, dengan mengurangkan yang satu dengan lainnya, dapat menunjukkan daerah yang telah berubah. Untuk daerah studi yang relatif kecil, maka interpretasi visual dapat dilakukan untuk meyakinkan tipe perubahannya. Tetapi untuk studi yang daerah kajiannya cukup luas, dalam hal interpretasi visual tidak mungkin dilakukan, beberapa citra ratio berseri dari

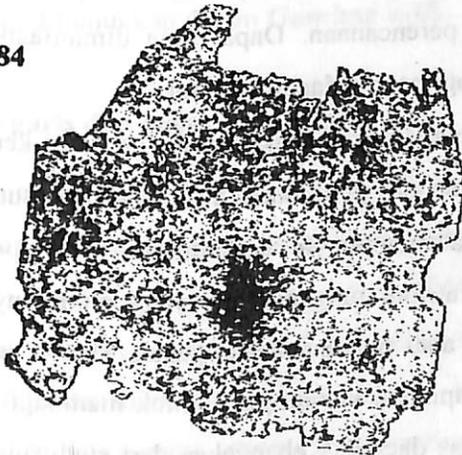
panjang gelombang infra merah untuk daerah yang sudah diketahui kondisi lapangnya, dapat digunakan untuk mendeskripsi lebih jauh di daerah yang berubah.

Teknik alternatif lainnya adalah dengan mengklasifikasi menjadi citra liputan lahan, dengan teknik klasifikasi yang ada. Hasil klasifikasi dari masing-masing tahun kemudian dilakukan tumpangsusun secara digital, sehingga diperoleh persentase perubahan dari satu citra ke citra yang lain. Problem yang dijumpai apabila menggunakan teknik ini adalah bervariasinya kesalahan klasifikasi untuk tiap kategori dapat menjadi penyebab lain yang cenderung menambah kesalahan analisis. Kesalahan tiap kelas atau kategori untuk tiap tahun pemotretan juga akan semakin menambah besarnya kesalahan analisis perubahan secara menyeluruh.

1972



1984



LEGEND:

- Dense Settlement** ■
- Sparse Settlement** ▒
- Mixed Vegetation** ●
- Paddy Field** □
- Barren Land** □

Gambar 3-17. Citra hasil klasifikasi liputan lahan Yogyakarta dengan MLC tahun 1972 dan 1984

(Sumber : Muh. Dimiyati. 1994)

Pada analisis kenampakan yang obyeknya dapat dipetakan dengan tegas dan jelas seperti air maupun hutan, teknik ini mempunyai kelebihan, yakni dapat memberikan nilai kuantitatif perubahan secara cepat, tetapi ketelitian klasifikasi tersebut tidak berlaku untuk kelas atau kategori yang ketelitiannya kurang dari 85%.

Sebuah contoh dari citra hasil analisis perubahan lahan yang sudah digeneralisasi ditunjukkan pada **Gambar 3-17**. Daerah tersebut adalah sebagian dari Daerah Istimewa Yogyakarta, yang terdiri dari 33 kecamatan, mencakup seluruh wilayah Kodya Yogyakarta, dan sebagian dari Kabupaten Sleman dan Kabupaten Bantul. Citra yang digunakan untuk analisis tersebut adalah Landsat tahun 1972 dan 1984. Klasifikasinya dilakukan menggunakan *maximum likelihood* dengan sampel yang mempunyai lokasi sama pada kedua citranya.

Analisis pola dan *proximity*

Suatu pemrosesan citra yang menjanjikan, dan kurang mendapat perhatian dari para pembuat sistem pemrosesan citra, adalah kemampuan untuk menganalisis secara kuantitatif dari pola penyebaran obyek dan kedekatannya (*proximity*) dengan obyek yang lain. Analisis ini sangat bermanfaat dalam analisis dampak lingkungan, seperti untuk memilih alternatif rute jalan, jalan kereta, pipa, kenampakan kelurusan sejenis, dan aspek lainnya dalam perencanaan. Dapat juga dimanfaatkan untuk pembuatan model dalam studi geologi pengendapan mineral.

Dalam bentuk sederhana, analisis pola berkaitan dengan satu kenampakan atau daerah dengan atribut tunggal, seperti permukaan air, danau, dan sungai. Pada umumnya sistem pemrosesan citra mempunyai kemampuan untuk pengukuran obyek secara menyeluruh, bukan atribut tunggal. Ada yang mempunyai fungsi untuk menghitung panjang sungai atau panjang kenampakan. Hanya sedikit dari sistem pemrosesan citra yang mempunyai kemampuan untuk membagi satu kelas menjadi sejumlah grup menurut luas daerah. Kebanyakan dari studi ini dilakukan dalam bidang metalurgi.

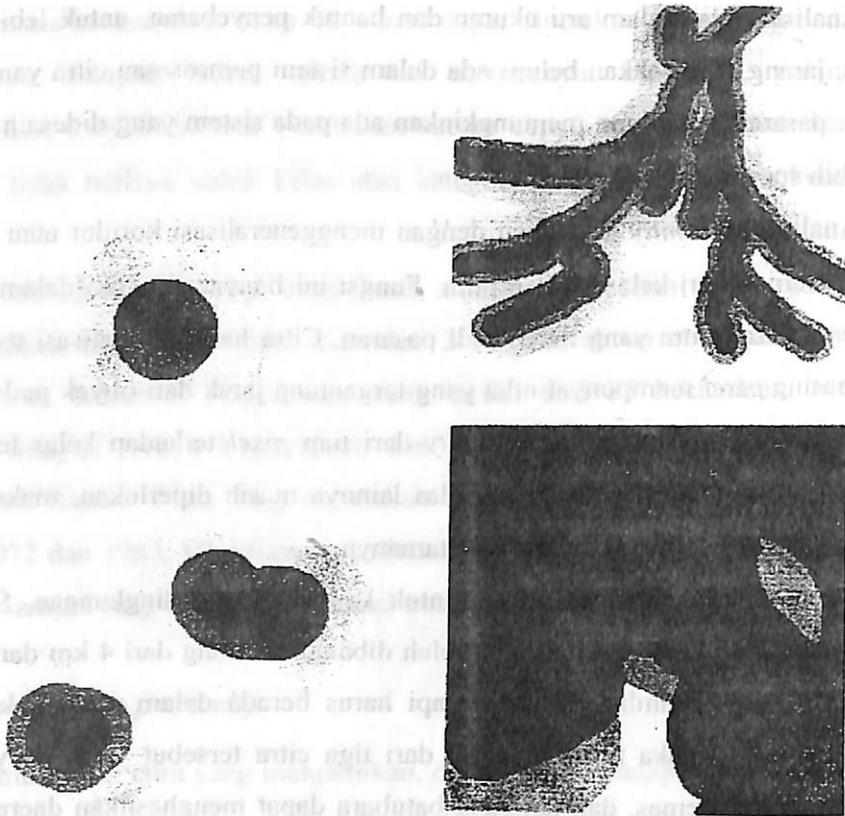
Analisis pola, dalam arti ukuran dan bentuk penyebaran, untuk lebih dari satu kelas, jarang atau bahkan belum ada dalam sistem pemrosesan citra yang kini beredar di pasaran, meskipun memungkinkan ada pada sistem yang didesain untuk tujuan lebih spesifik.

Analisis *proximity* dilakukan dengan menggeneralisasi koridor atau *buffer* dari suatu elemen dari kelas yang dipilih. Fungsi ini banyak dimiliki dalam paket sistem pemrosesan citra yang beredar di pasaran. Citra hasil generalisasi tersebut, masing-masing *pixel* mempunyai nilai yang tergantung jarak dari obyek pada kelas tertentu. Nilai ini menunjukkan *proximity* dari tiap *pixel* terhadap kelas tertentu. Apabila *proximity* dari satu kelas ke kelas lainnya masih diperlukan, maka kelas keduanya dapat dibuat berdasar kelas pertamanya.

Proximity ganda dapat dibuat untuk kajian dampak lingkungan. Sebagai contoh, apabila sebuah bendung tidak boleh dibangun kurang dari 4 km dari hutan jati, atau 2 km dari tambang emas, tetapi harus berada dalam jarak 5 km dari tambang batubara, maka tumpangsusun dari tiga citra tersebut yaitu penyebaran hutan jati, tambang emas, dan tambang batubara dapat menghasilkan daerah yang diinginkan. Lokasi hutan jati dapat dideteksi dari udara, dan posisi kedua tambang tersebut dapat di-plot-kan dari peta yang didigitasi. Analisis ini sangat sederhana tetapi memungkinkan untuk memberikan gambaran analisis spasial secara jelas, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3-18.

Ekstraksi garis dan batas tepi (*edge*)

Perbedaan antara garis (*line*) dan batas tepi (*edge*) dalam pemrosesan citra adalah bahwa garis merupakan kenampakan kelurusan yang relatif sempit, sekitar dua atau tiga *pixel*, yang dapat dibedakan berdasar reflektansi dari obyek pada kedua sisinya. Sedangkan batas tepi merupakan batas antara dua daerah yang relatif besar yang berbeda reflektansinya. Meskipun begitu, kebanyakan dari analisis struktur menggunakan data remote sensing dengan interpretasi secara visual dari citra yang sudah dipertajam kenampakannya. Cara ini merupakan cara yang sangat subyektif, dan tergantung pada ketrampilan dan pengalaman interpreter.



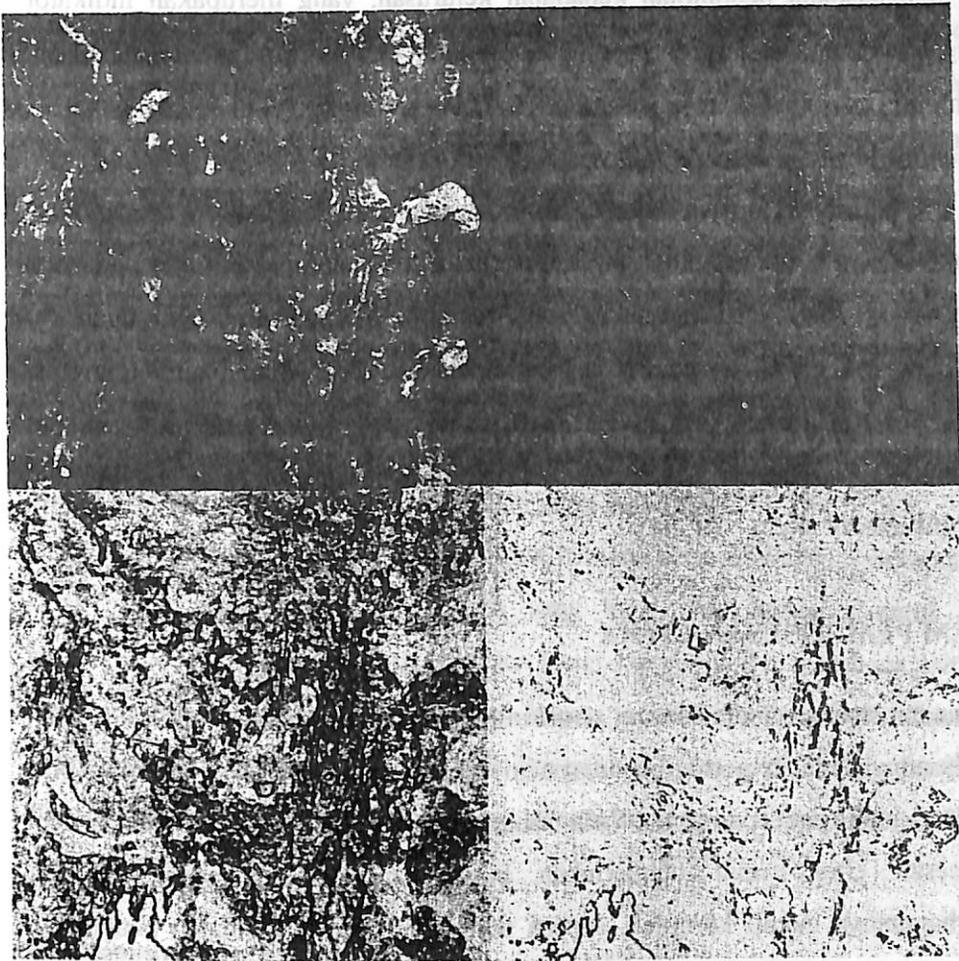
Gambar 3-18. Ilustrasi analisis proximity

(Sumber : Christopher Legg, 1992)

Hasil interpretasi visual merupakan citra analog, yang masih memerlukan proses digitasi apabila ingin dilakukan analisis kuantitatif atau apabila akan dilakukan proses tumpangsusun dengan data lainnya. Dalam beberapa segi analisis visual akan lebih baik apabila dilakukan analisis kuantitatif dari suatu citra, dalam arti mengekstraksi kenampakan kelurusan dari citra. Interpreter cenderung untuk mengabaikan kelurusan yang dibangun oleh manusia seperti jalan kereta, kanal atau yang lainnya.

Detektor garis dan batas tepi yang paling efektif akan menghasilkan dua citra mirip yang berdimensi jarak dan arah, dari tiap citra asli. Tiap *pixel* dalam citra yang merekam dimensi jarak mempunyai nilai digital yang menunjukkan penajaman dari garis atau batas tepi, dalam arti kontras reflektansi, dalam citra asli. Tiap *pixel* dalam citra yang merekam dimensi arah secara numerik diberi kode searah dengan arah dari garis atau batas tepi yang dideteksi pada *pixel*, dengan

delapan atau enam belas kemungkinan arah. Kedua citra arah dan citra jarak itu akan bernilai nol apabila tidak ada batas tepi atau garis yang dideteksi pada *pixel* tersebut.



Gambar 3-19. Beberapa contoh citra hasil penajaman
(Sumber : Christopher Legg, 1992)

Pendeteksi garis dan batas tepi sebenarnya merupakan proses pelilitan (*convolution filter*). Ada beberapa macam proses *filtering* dalam sistem pemrosesan citra standar. **Gambar 3-19** merupakan contoh citra asli, dan beberapa citra hasil proses *filtering* untuk tujuan interpretasi visual. Citra ini kemudian dapat diproses lebih jauh untuk mendapatkan informasi yang lebih berguna, dari satu bidang studi, misalnya untuk tujuan analisis struktur.

Apabila informasi geologi dilakukan tumpang-susun dengan citra yang dilakukan *filtering* ini, maka masing-masing elemen struktur yang terlihat pada citra tersebut dapat dikaji untuk studi stratigrafi atau litologi. Pemrosesan lebih lanjut dapat menghasilkan penonjolan kepadatan kelurusan, yang merupakan indikator penting dalam kepadatan patahan dan penting untuk eksplorasi mineral hidrokarbon. Di samping itu juga dapat menonjolkan panjang kelurusan dengan menganalisis keterhubungan antara *pixel* dan kelompok *pixel*.

Kepadatan kelurusan dapat diperoleh dengan cara penghalusan (*smoothing*) kenampakan citra, dalam kaitan untuk menghaluskan kenampakan garis pada tiap ukuran kotak matrik yang digunakan, yang mengikuti kepadatan pemotongan. Ini merupakan satu teknik tersendiri dari pada sekedar peruntukan bagi interpretasi visual sebuah kelurusan, dan analisis hasil proses penonjolan kelurusan tersebut harus diinterpretasikan oleh ahli geologi struktur dengan pengetahuan geologi dan fisiografis daerah studi.

SISTEM PEMROSESAN CITRA

Penggunaan sistem remote sensing semakin meluas dalam berbagai aplikasi. Salah satu alasannya adalah pertumbuhan sistem pemrosesan citra yang semakin bisa dijangkau oleh para pemakai. Pada tahun 1980an pengadaan sebuah sistem pemrosesan citra masih memerlukan biaya sangat besar. Di samping itu, pemeliharaannya cukup kompleks, seperti temperatur udara, peralatan pengontrol kelembaban, dan sebagainya harus diperhatikan betul agar tidak terjadi kerusakan atau keausan peralatan. Dan juga diperlukan satu perangkat seperti mainframe atau komputer mini yang sangat mahal, dengan dukungan tenaga profesional. Namun pada tahun 1990an, pelaksanaan pemrosesan citra dapat dilakukan pada sebuah super PC atau PC, yang dioperasikan dengan lingkungan yang relatif lebih murah tanpa memerlukan tenaga profesional, dan biaya pengadaan serta pemeliharaan pun relatif murah, misalnya sekitar dua puluh lima ribu *pounds* (1 *pound* = sekitar Rp5.000,-). Meskipun ukuran dan harga sistem pemrosesan citra telah menurun, struktur utamanya relatif tetap yaitu input data, CPU, perangkat penayangan, perangkat penyimpanan data, printer dan piranti lunak.

Input data

Untuk pemrosesan citra, penyimpanan datanya sampai sekarang masih didominasi oleh bentuk CCT (*computer compatible tape*). Karena berkaitan dengan sejarahnya bahwa pengadaan dari stasion penerima dalam pendistribusian data kepada pemakai disajikan dalam bentuk CCT, dan hingga kini media tersebut masih tetap membuktikan keunggulannya sehingga masih tetap dipakai sebagai sarana yang cukup efektif dan efisien.

Secara ideal disk optik lebih memungkinkan, disk optik bisa ditulis sekali dan dibaca berkali-kali tanpa merubah citra aslinya. Tetapi hingga kini belum ada standarisasi secara internasional dan belum merupakan sarana yang praktis untuk pengadaan data. Kebanyakan dari sistem yang masih ada menggunakan pembaca pita magnetik 6250 bpi (bit per inchi), yang bisa lebih cepat dan memerlukan pita magnetik relatif sedikit dibanding dengan yang 1600 bpi.

Flopi disket juga digunakan untuk penyimpanan data dalam cakupan kecil serta untuk sistem pemrosesan citra yang kecil, dan biasanya untuk tujuan pendidikan. Pita kaset, seperti pembaca kaset Bernuolli dan pembaca lain yang berkecepatan tinggi telah dicoba tetapi belum juga menjadi standar. Skener juga merupakan alat input data untuk peta maupun citra fotografi. Selain itu digitizer juga merupakan alat input data visual, seperti peta, yang dapat mentransfer data menjadi bentuk digital.

Penyimpanan data

Hampir semua sistem pemrosesan citra menggunakan *hard disk* untuk menyimpan citra yang sedang diproses, meskipun ada kecenderungan untuk menggunakan disk optik untuk penyimpanan yang sifatnya *on-line* walau kecepatannya lebih rendah dibanding dengan *hard disk*. Beberapa sistem memungkinkan untuk transfer data cepat sekali dari dan ke *hard disk*. Penyimpanan data hasil proses ataupun yang sedang diproses dapat dilakukan pada *hard disk*, disket, disk optik, CD-ROM atau sarana lain yang memungkinkan.

CPU

Secara sederhana dapat digambarkan bahwa CPU merupakan otak atau pusat dari seluruh kegiatan pemrosesan citra. Ini sangat bervariasi dari satu jenis komputer ke jenis yang lain, dan sangat tergantung pada mikroprosesor yang digunakan. Ia mempunyai konfigurasi yang sangat rumit. Sistem pemrosesan dengan *workstation*, misalnya, mempunyai dua pusat pemroses (CPU), satu di *workstation* dan satu lagi di *host* komputernya. Sebuah PC generasi 80486 dengan RAM 8 MB dan *hard disk* 250 MB cukup menunjukkan kebolehnya untuk pemrosesan citra dengan ukuran relatif kecil, sekitar 1000 baris x 1000 kolom dengan piranti lunak IDRISI.

Memori

RAM yang cukup harus disediakan untuk menyimpan citra yang akan ditayangkan melalui pemroses citra. Banyak sistem penayangan yang masih dibatasi oleh kemampuan untuk menayangkan 1024x786 *pixel*, meskipun sistem yang dapat menayangkan lebih besar dari itu semakin banyak di pasaran. Untuk menayangkan dalam bentuk warna yang optimal dari tiga kombinasi kanal panjang gelombang, dan untuk dapat menunjukkan hasil tumpangsusun, media penyimpan paling sedikit harus 28 bit, dan lebih baik bila 32 bit RAM yang memungkinkan tiga pasang 8-bit citra ditambah dengan hasil tumpangsusun. Untuk sistem yang sederhana bisa diperlukan paling tidak 1 MB RAM. Dalam kebanyakan sistem, hal ini dipisahkan dalam papan grafik (*graphic board*) untuk PC, yang tidak hanya menyimpan citra yang ditayangkan tetapi juga termasuk beberapa fungsi dari pemrosesan citra.

Sarana penayangan

Pada umumnya sistem yang sekarang beredar di pasaran menggunakan monitor warna resolusi tinggi. Ukurannya sangat tergantung dari pilihan dan kesenangan pemakai, meskipun ukuran fisik dari *display* monitor harus sesuai dengan ketentuan dalam sistem. Layar monitor yang relatif stabil digunakan oleh kebanyakan sistem untuk mengurangi banyaknya kedipan layar yang dapat menyebabkan kelelahan mata pemakai. Monitor datar digunakan untuk mengurangi distorsi dari citra.

Kontras dan ketajaman pada monitor harus dikonversi sedemikian sehingga dapat memberikan warna yang logis mendekati warna yang dikehendaki oleh pemakai.

Fasilitas keluaran

Bagian ini termasuk yang cukup mahal dalam keseluruhan sistem pemrosesan citra, apabila diperlukan hasil cetak yang berkualitas tinggi. Keluaran fotografi dari cakupan citra satelit, lebih dari sekedar yang ditayangkan pada layar monitor, harus dicetak dengan menggunakan film khusus dengan alat khusus pula. Alat ini mempunyai ketelitian yang cukup tinggi dan dapat menulis data dari CCT atau *hard disk* ke film negatif atau positif.

Kebanyakan dari sistem pemrosesan yang beredar akhir-akhir ini memungkinkan untuk mencetak hasil dengan peralatan printer laser berwarna dalam satu bentuk yang mempunyai resolusi cukup baik, meskipun cara yang lama dengan mencetak per kanal panjang gelombang dengan warna hitam putih juga masih banyak digunakan. Pencetakan dengan menggunakan film khusus tersebut memerlukan bantuan operator yang ahli dalam bidang fotografi. Banyak dari pemakai sistem yang mengirimkan hasil filmnya ke laboratorium fotografi untuk dicetak dari pada mencetak di tempat atau kantor sendiri karena alasan mahal dan rumitnya proses.

Ada alternatif lain yaitu dengan membeli sarana pencetakan yang bisa menghasilkan film lebih besar dari film *hand* kamera walau resolusinya tidak sebaik alat penulis film di atas yang sering disebut dengan foto printer. Cara pengambilan gambar dengan kamera, baik secara manual yaitu dari depan layar monitor ataupun dengan cara otomatis yaitu meletakkan kamera dalam rangkaian sistem pengambilan gambar, akan lebih murah dan mudah pengadaannya. Tentu jelas bahwa resolusi yang didapatkan relatif lebih rendah.

Piranti lunak

Ini merupakan kunci dari keunggulan dan *performance* dari suatu sistem pemrosesan citra. Meskipun komputer paling canggih yang dilengkapi dengan seluruh komponen pemroses citra, akan kurang banyak manfaatnya kalau sekedar

diinstall piranti lunak yang tidak mempunyai kemampuan yang sebanding dengan kecanggihannya. Apalagi piranti lunak tersebut susah difahami dan dimengerti oleh pemakai.

Pemrosesan citra digunakan untuk aplikasi yang sangat luas, dari remote sensing untuk mendeteksi sumber alam hingga bidang kedokteran untuk studi kanker payudara misalnya. Pemilihan piranti lunak perlu disesuaikan dengan tujuan pemakai apakah untuk survei sumber alam atau untuk studi kedokteran, hal tersebut agak jarang untuk kedua tujuan sekaligus. Sistem yang didesain untuk memproses citra kanal tunggal 8-bit dan kemudian dimodifikasi untuk mengolah citra kanal ganda jarang menghasilkan satu produk yang bagus dibanding dengan sistem yang memang dari semula didesain untuk tujuan remote sensing. Untuk alasan itu maka desain penggunaan piranti lunak perlu disesuaikan dengan perangkat keras yang tersedia maupun tujuan penggunaannya.

SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (SIG)**PENGERTIAN SIG**

Sistem informasi geografis, yang selanjutnya disebut SIG, merupakan satu cabang pengetahuan yang belum lama berkembang. Berbagai pengertian SIG diperkenalkan oleh para ahli. Salah satu pengertian yang diperkenalkan oleh ESRI dalam buku manual *'Understanding GIS, PC ARC/Info system'* adalah : *'an organized collection of computer hardware, software, geographic data, and personnel designed to efficiently capture, store, update, manipulate, analyze, and display all forms of geographically referenced information'* (ESRI.1990). Banyak lagi pengertian SIG yang lain, namun pada prinsipnya mempunyai kesamaan unsur yang berupa komponen perangkat keras, piranti lunak, data geografis, dan personel yang saling berkaitan dalam suatu sistem yang memungkinkan untuk perekaman, penyimpanan, analisis/pengolahan, dan penayangan dari data/informasi geografis secara optimal. Jadi dengan SIG kita dapat menjawab berbagai pertanyaan yang berkaitan dengan lokasi, kondisi, kecenderungan, pola, dan *modeling*. Pertanyaan yang berkaitan dengan lokasi akan menjawab apa yang ada pada satu lokasi tertentu. Lokasi dapat didiskripsi dengan nama tempat, kode pos, lintang bujur, referensi geografis dan sebagainya.

Pertanyaan yang berkaitan dengan kondisi digunakan untuk mengidentifikasi apa yang ada dalam lokasi tertentu, atau ingin menemukan satu lokasi dengan kondisi yang kita perlukan. Misalnya kita memerlukan daerah yang berupa lahan kosong berada pada radius 500 m dari jalan raya dan cocok untuk membangun perumahan. Yang berkaitan dengan kecenderungan akan menyangkut perubahan dari waktu ke waktu.

Di samping itu pola penyebaran obyek juga dapat digambarkan. Yang lebih menarik adalah adanya kemampuan SIG dalam menjawab hal-hal yang berkaitan dengan *modeling*, seperti misalnya perubahan maupun kecenderungan apa yang akan terjadi apabila jalan baru dibangun dalam satu jaringan yang sudah tertata. Bahkan

modeling yang menggunakan rumusan atau formula matematis pun dapat dituangkan untuk mendapatkan gambaran spasial dengan menerapkan SIG.

FAKTOR YANG PENGARUHI PERKEMBANGAN SIG

Beberapa faktor yang mempengaruhi SIG berkembang cepat antara lain : perkembangan biakan data, turunnya harga komputer, integrasi dari pengembangan sistem informasi, dan bertambahnya kesempatan dalam menerapkan SIG.

Dalam dua dekade belakangan terdapat perkembangan yang luar biasa besarnya dalam jumlah dan volume data, yang sebagian dalam format digital, seperti data dari remote sensing, data sensus, dan beberapa data dari berbagai institusi. Hal ini merupakan pengaruh dari keinginan untuk mempunyai bank data atau informasi dalam bentuk yang mudah dimanipulasi untuk tujuan pemanfaatan semaksimal mungkin penggunaan data yang cukup mahal dalam pengumpulannya tersebut. Sebagian dari data ini telah dapat dihubungkan dengan berbagai fasilitas jaringan komputer dan telekomunikasi.

Perkembangan teknologi perangkat keras, terutama dalam bidang mikro-prosesor meningkat secara dramatis. Hal ini berpengaruh terhadap harga komputer yang semakin menurun dari waktu ke waktu. Di samping itu juga mempengaruhi perbaikan kualitas penampilan dan kemampuan komputer. Perkembangan penampilan komputer kini cenderung pada satu tahap yang membuat tidak jelasnya batas antara kemampuan *mainframe*, komputer mini, dan komputer mikro/PC. Sebuah komputer mini sekarang seolah-olah merupakan satu perangkat yang dapat melaksanakan tugas *mainframe* lima tahun lalu. Yang cukup menarik adalah bahwa ukuran perangkat keras pun telah berkembang menyesuaikan dengan semakin sempitnya ruang perkantoran.

Perkembangan perangkat keras tersebut sekaligus diikuti pula oleh perkembangan piranti lunak secara bersamaan. Hal ini termasuk semakin lengkapnya fungsi CAD (*computer aided desain*), remote sensing (RS), analisis spasial, kartografi digital, survei dan geodesi, dan sebagainya. Semua bidang tersebut mempunyai dimensi spasial dan dapat dipadukan melalui, misalnya, pemrosesan citra dan komputer grafis. SIG mempunyai peluang secara metodologis untuk memadukannya dalam rangka menambah efisiensi dan efektifitas kemampuan masing-masing. Dengan demikian SIG

merupakan hasil integrasi dari berbagai disiplin yang berkaitan dengan pemrosesan data spasial.

Peta yang secara tradisional disajikan diatas lembaran kertas merupakan cikal bakal dari SIG. Penyajiannya dalam berbagai skala membutuhkan tempat, dan juga mudah rusak karena pengaruh cuaca ataupun kecerobohan penggunaan. Di samping itu untuk memilih sebagian data dari peta diperlukan waktu, apalagi apabila pemakai ingin melakukan tumpangsusun peta untuk mendapatkan informasi baru. Dengan adanya SIG yang terkomputerisasi dapat merubah pola tersebut. Institusi swasta maupun pemerintah telah secara cepat memanfaatkan perkembangan sistem informasi ini untuk berbagai tujuan aplikasi, seperti analisis lokasi pasar, alokasi sumber alam, dan analisis lingkungan.

Konsekuensi dari perkembangan SIG adalah semakin berkembangbiaknya dalam berbagai penelitian dan pengembangan. SIG memberikan peluang kepada para pembuat kebijaksanaan untuk menggali berbagai kemungkinan skenario sebelum suatu investasi besar diterapkan atau sebelum perencanaan atau suatu proyek dilaksanakan. Walaupun terlihat berkemampuan luar biasa, namun pemakai baru perlu berhati-hati dan memahami dengan benar sebelum menggunakan SIG. Hal ini dimaksudkan agar tidak terjadi kesalah fahaman dalam penggunaannya.

SEJARAH PERKEMBANGAN SIG

Ada ahli yang berpendapat bahwa SIG mulai diperkenalkan sejak awal abad 11. Tetapi yang dikenal oleh masyarakat pemakai SIG, generasi awalnya berasal dari Kanada pada tahun 1964. Hal ini didukung oleh adanya identifikasi tentang perkembangan awal penggunaan komputer dalam mengolah data numerik dengan hasil yang dapat dipercaya. Pengembangan SIG diduga dimulai akhir 1960an atau awal 1970an karena kendala harga dan teknis, dimana dalam periode ini perkembangan penggunaan komputer mikro dianggap merupakan hal yang penting dalam paket sistem pembuatan peta seperti SYMAP, GRID, dan GEOMAP.

Dalam periode awal 1970an tercatat adanya perkembangan pemrosesan data spasial yang cukup besar. Di samping itu juga tercatat perkembangan dalam penggunaan data antar hasil produksi dari berbagai piranti lunak dalam kondisi yang

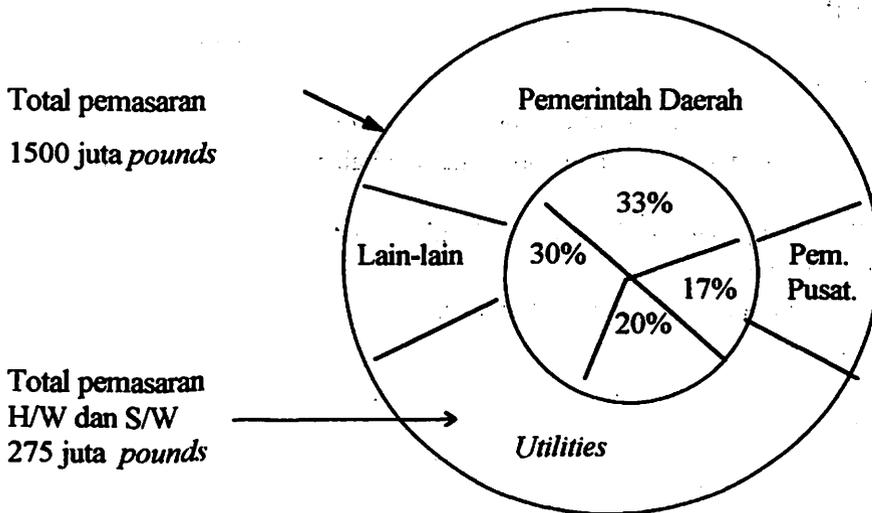
menggembirakan. Perkembangan peralatan perangkat keras yang mendukungnya menunjukkan kecenderungan yang menjanjikan. Pada awal periode itu tampak pula perkembangan penggunaan peralatan tersebut di kalangan perguruan tinggi, lembaga riset, dan beberapa perusahaan kecil. Tak lama kemudian, pada akhir 1970an perkembangan pemetaan dengan komputer berkembang luar biasa cepatnya. Banyak atau ratusan sistem pemetaan komputer untuk berbagai aplikasi mulai beredar di pasaran. Gejala itu diikuti oleh adanya peningkatan kualitas hasil proses dengan resolusi yang berangsur-angsur membaik, baik yang berupa penampilan di layar monitor maupun pada kertas cetak.

Pada dekade 1980an, khususnya akhir 1980an, SIG benar-benar *take off* (lepas landas) dan kini tumbuh serta berkembang menjadi dominan. Beberapa tahapan perkembangannya, yang diidentifikasi oleh FAO (1991), dapat diuraikan berikut:

- (a) Perkembangan dalam ujud yang komunikatif dan pemrosesan grafis,
- (b) Menjamurnya piranti lunak yang murah yang cocok untuk PC. Semakin praktis dan mudahnya buku manual menyebabkan SIG cepat berkembang di kalangan non-spesialis SIG,
- (c) Adanya jaringan komputer yang mendorong penyimpanan data secara menyebar, tidak terpusat pada satu tempat dengan kapasitas ruang yang besar,
- (d) Adanya sistem SIG yang hanya tinggal 'pencet menu',
- (e) Perkembangan mikroprosesor yang memungkinkan untuk penyimpanan data besar dalam bentuk yang kompak/padat dengan harga yang lebih murah,
- (f) Adanya kecenderungan dalam penggunaan data digitasi dalam bank data kartografis yang memungkinkan penyajian kembali dalam bentuk yang diinginkan,
- (g) Semakin banyak dan menjamurnya sarana pendukung perkembangan SIG, seperti jurnal, kursus, pendidikan, simposium dan sebagainya,
- (h) Adanya kecenderungan dari Institusi pemerintah maupun swasta untuk selalu mencari cara paling efektif dalam penyimpanan maupun pengelolaan data.

Dalam periode tersebut terdapat loncatan perkembangan pada bidang-bidang tertentu seperti dalam bidang aplikasi maupun teknik pengelolaan. Dan ini banyak terjadi di Amerika Utara maupun Eropa dalam berbagai bidang seperti kehutanan,

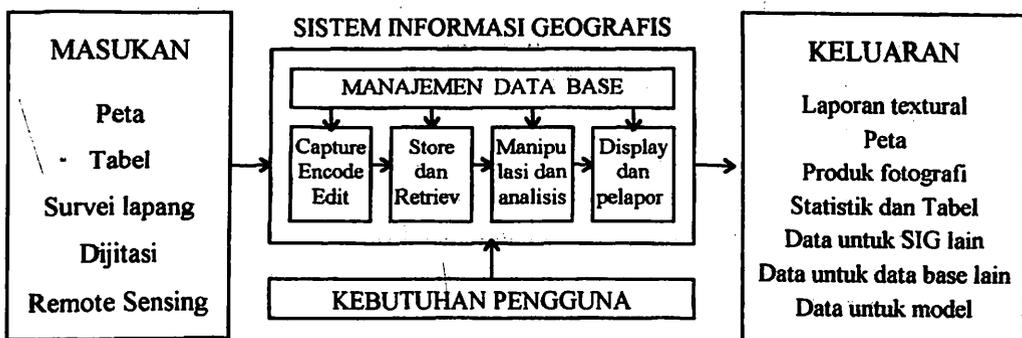
perencanaan lahan, sumber daya alam, dan lingkungan. Pada tahun 1990, peredaran penggunaan SIG dan datanya diperkirakan mencapai \$ 4 billion, dengan rata-rata pertumbuhan 20% per tahun (Tomlinson, 1989) seperti ditunjukkan dalam salah satu contoh di United Kingdom pada Gambar 4-1.



Gambar 4-1. Perkembangan pemasaran SIG
(Sumber : FAO, 1991)

FUNGSI SIG

Gambar 4-2 memberikan ilustrasi fungsi keseluruhan dari SIG dalam bentuk penyajian yang sederhana. Pada bagian ini akan diuraikan fungsi yang tertuang pada kotak SIG (tengah), dan menjelaskan bagaimana integrasinya untuk mendukung sukses fungsi dari suatu sistem. Banyak fungsi dapat dilakukan oleh SIG, tetapi fungsi penting dalam praktek antara lain seperti ditunjukkan dalam Tabel 4-1.



Gambar 4-2. Fungsi keseluruhan SIG
(Sumber: FAO)

Tabel 4-1. Klasifikasi Fungsi SIG

<p>A i ii iii</p>	<p>INPUT DATA Perekaman data, seperti dijitasi dan integrasi data dari luar Validasi dan mengedit data, seperti pengecekan dan koreksi Strukturisasi dan penyimpanan data, seperti pembuatan warna atau kelas yang berbeda</p>
<p>B i ii iii iv v vi</p>	<p>MANIPULASI DATA Konversi struktur, seperti konversi dari vektor ke raster Konversi geometris, seperti registrasi peta, perubahan skala, perubahan proyeksi Klasifikasi dan generalisasi, seperti reklasifikasi data, agregasi atau disagregasi data Integrasi, seperti penggabungan antar layer Penajaman, seperti penajaman citra Abstraksi, seperti pembuatan polygon Thiessen, penghitungan titik pusat dari suatu poligon</p>
<p>C i</p>	<p>PEMBARUAN DATA Pembaruan informasi berdasar ketentuan pemakai</p>
<p>D i ii iii</p>	<p>ANALISIS DATA Analisis spasial, seperti alokasi rute, penghitungan kemiringan Analisis statistik, seperti histogram, frekuensi Pengukuran, seperti panjang garis, luas daerah, jarak, arah, volume</p>
<p>E i ii</p>	<p>PENAYANGAN DATA Penayangan grafis, seperti peta, grafik Penayangan teks, seperti penulisan laporan, tabel</p>
<p>F i ii iii iv v vi vii</p>	<p>PENGELOLAAN DATA BASE Dukungan dan pemantauan pemakai yang mengakses data base Perekaman apabila ada kesalahan sistem Komunikasi dengan sistem lain Pembaruan data base Pengorganisasian data base agar mudah diperbarui Pemeliharaan data base dari segi keamanan dan integritas Penyajian data base dalam tayangan tersendiri</p>

Sumber : FAO. 1991.

DATA MASUKAN

Seluruh data yang akan dimasukkan dalam SIG harus dalam format digital, baik berbentuk numerik maupun alfa-numerik. Data tersebut dapat dimasukkan melalui berbagai media seperti CCT, disket, optik disk, CD-ROM. Adalah wajar kalau data yang berasal dari berbagai media tersebut mempunyai sumber yang berbeda, dan memungkinkan pula untuk berbeda dalam struktur data. Pembuatan data yang benar-benar siap pakai merupakan proses penting dan merupakan pekerjaan yang kompleks.

Dari sudut pandang SIG, data ideal adalah yang memenuhi kriteria berikut :

- a) kompatibel, artinya dapat diakses dan dipindahkan ke berbagai media,
- b) tidak teragregasi, sehingga memungkinkan pemakai untuk memilih satuan, memanipulasi maupun menganalisisnya,
- c) berreferensi lokasi, seperti grid nasional, atau lintang bujur, atau sistem referensi lain yang mudah dikenali,
- d) berakurasi tinggi sehingga memungkinkan untuk menggunakan data tersebut meskipun untuk daerah yang kecil.

Cara memperoleh data dan perangkat yang digunakan

Pilihan mengenai cara memperoleh data tergantung pada ketersediaan dana dan tipe data yang diinginkan. Cara tersebut antara lain adalah :

A. Data tabular dan survei lapang

Data ini dapat diperoleh dengan cara manual, dengan *keyboard* atau lainnya, untuk membuat data base atau file, seperti memasukkan data hasil kuesioner dari lapang. Data tersebut dapat disimpan dalam berbagai media seperti pada standar *spreadsheet* atau sistem *data entry* lainnya, misalnya SPSS atau Minitab, paket sistem kartografis MICROMAP atau paket analisis survei seperti SNAP. Paket yang digunakan tersebut memungkinkan pengeditan dan koreksi maupun manipulasi data numerik.

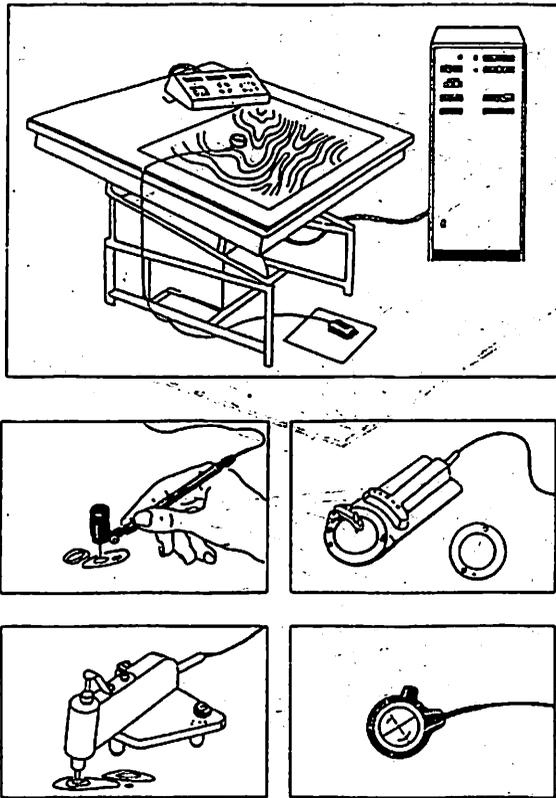
Terdapat beberapa perangkat khusus yang dapat merekam data langsung di lapang. Perangkat tersebut bisa otomatis tetapi bisa pula semi-otomatis. Perangkat tersebut terbatas untuk merekam dengan variasi tertentu seperti merekam kelembaban tanah, aliran air, ukuran sedimen, faktor iklim dan sebagainya. Untuk perangkat yang

menghasilkan data analog, maka perlu dilakukan digitasi data tersebut.

B. Data peta

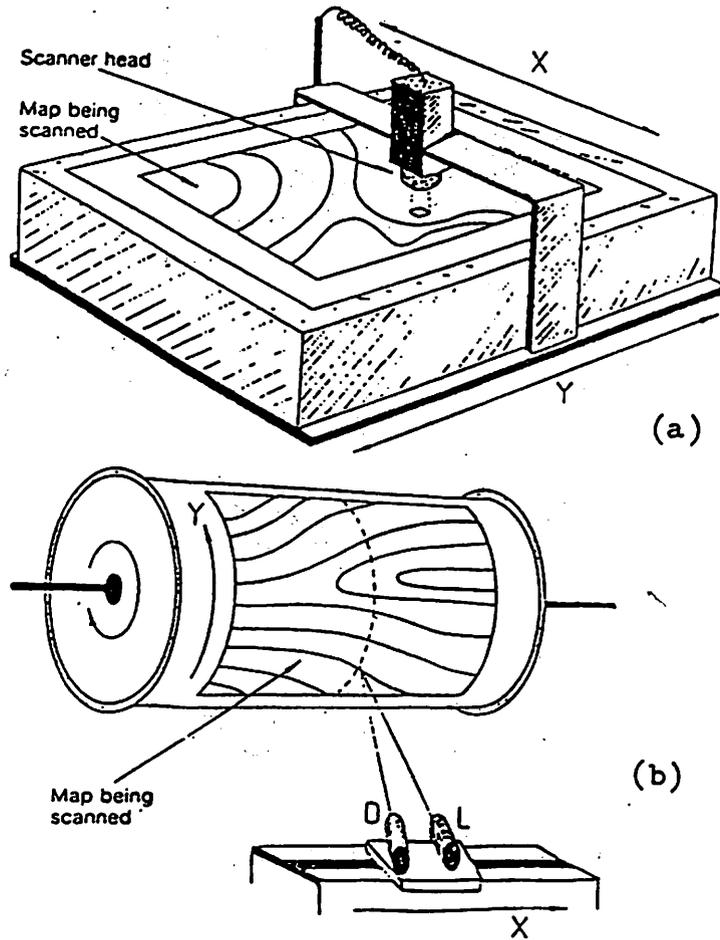
Data peta dapat diperoleh dengan penggunaan berbagai digitasi maupun skener seperti :

- a) Digitasi elektromekanik menggunakan tablet, dimana petanya ditempelkan/diletakkan di atasnya, dengan permukaan datar bisa untuk merekam data dengan resolusi 0,01 mm. Alat ini dilengkapi dengan mouse atau cursor yang dapat digerakkan sepanjang garis atau titik dan dapat memasukkan data dengan ketelitian yang dapat diatur oleh pemakai. Kursornya dapat dilengkapi dengan tipe 16 tombol yang digunakan untuk pengontrol program tambahan, seperti untuk menghapus kesalahan, untuk pindah dari titik ke garis dan sebagainya. Sinyal dideteksi oleh komputer dan kemudian dikonversi kedalam bentuk koordinat X,Y yang diukur dari titik referensi yang ditentukan oleh pemakai. Beberapa digitasi langsung dihubungkan dengan layar monitor dan sarana penyimpanan data untuk memantau proses digitasi dan menyimpan data dengan cepat. **Gambar 4-3** adalah ilustrasi dari sebuah digitizer.
- b) Pada skener berbentuk datar, alat perekam bergerak sepanjang koordinat X,Y. Untuk yang berbentuk *drum*, skener tersebut dilengkapi dengan densitometer. Peta dilekatkan pada *drum* tersebut dan alat elektronik perekamnya maju mundur sepanjang sumbu X untuk merekam, kedalam format digital, dan hasilnya berupa matrik dari *pixel*. Nilai *pixel* akan bervariasi menurut perbedaan intensitas cahayanya. Untuk skener modern dapat menghasilkan resolusi lebih bagus pada arah X dan Y. Akhir-akhir ini terdapat skener yang dapat menghasilkan data dalam format vektor, alat elektronik ini dipandu oleh pemakai bisa mengikuti garis yang direkam dan kemudian pindah ke garis lain setelah diperintahkan oleh pemakai. Dengan skener ini dapat diperoleh ketelitian data cukup tinggi, tetapi diperlukan waktu cukup lama untuk merekamnya. Problem dalam merekam data berwarna dapat di atasi dengan melakukan perekaman dari cetak master warna. Resolusi dari skener dapat mencapai hingga 0,012 mm dan dapat merekam data dengan kecepatan 30.000 *pixel* per detik. **Gambar 4-4** adalah ilustrasi sebuah skener.



Gambar 4-3. Ilustrasi sebuah digitizer

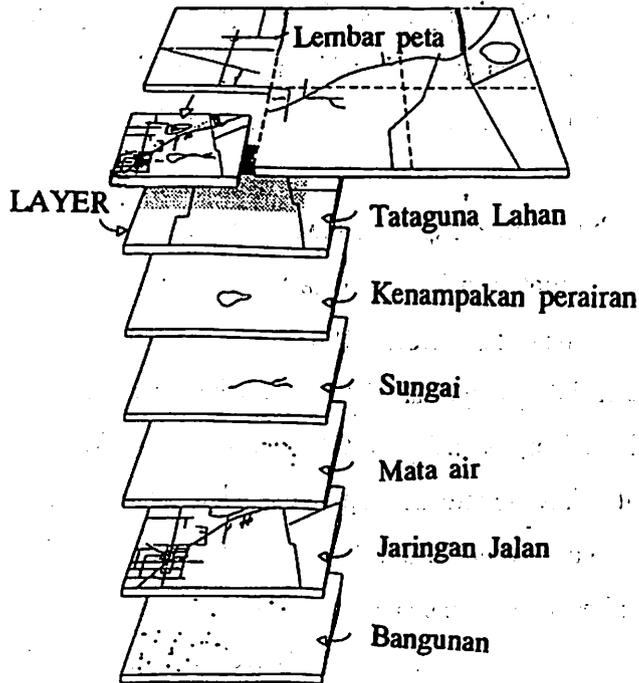
- c) Pada perekaman data dengan menggunakan *electronic video digitizing* (dijitasi video elektronik), proses perekamannya dilakukan oleh kamera video. Perekamannya menggunakan ukuran 512×512 *pixel* dengan tingkat ketajaman berbeda untuk tiap *pixel*-nya. Alat ini sangat bermanfaat untuk merekam garis batas kenampakan dari citra remote sensing maupun foto udara dan memanfaatkannya untuk pemrosesan citra. Ini lebih murah dan termurah dalam perekaman dibandingkan cara di atas, tetapi resolusinya rendah sekali. Data diperoleh dari peta biasanya disajikan dalam masing-masing layer, tiap layer menunjukkan tema berbeda (Gambar 4-5). Perekaman data dalam bentuk ini akan mempermudah pembaruan data dan juga dalam analisisnya. Dengan digitizer kita dapat memasukkan data dalam format vektor maupun raster, dan ditambah dengan label atau simbol tertentu. Kebanyakan dijitasi dilakukan dengan komputer lain secara terpisah. Atribut data biasanya dimasukkan dari *keyboard*.



Gambar 4-4. Ilustrasi sebuah skener

Problem umum yang ditemui dalam menggunakan digitasi adalah :

- a) Apabila dilakukan dengan ketelitian tinggi maka diperlukan waktu cukup lama, seperti misalnya diperlukan sekitar 30 orang/jam untuk mendigitasi peta tanah ukuran 60x40 cm skala 1:50.000. Ongkos digitasi dapat mendominasi keseluruhan pembiayaan dalam penggunaan SIG, dan skener merupakan alternatif lain yang cukup mahal pula;
- b) Dari satu peta bisa diperlukan banyak file dalam bentuk digitalnya;
- c) Skener otomatis sering tidak memungkinkan terutama untuk merekam data yang kepadatan garisnya cukup tinggi;
- d) Rata-rata jam efektif kerja bagi operator untuk mendapatkan ketelitian yang cukup tinggi per hari adalah hanya sekitar 4 jam.



Gambar 4-5. Ilustrasi layer dalam SIG
(Sumber : Arc/Info. ESRI)

C. Integrasi remote sensing dan SIG

Data remote sensing biasanya dilakukan proses awal (dikoreksi) sesuai dengan pesanan pemakai dan kemudian disimpan dalam CCT. Data ini dapat diintegrasikan dengan SIG menggunakan berbagai piranti lunak yang ada, seperti ERDAS, GEMS atau lainnya yang mempunyai kemampuan untuk itu. Beberapa piranti lunak SIG mempunyai program remote sensing sendiri-sendiri. Hal penting dalam mengintegrasikan data tersebut adalah bahwa data remote sensing sudah dikoreksi dan mempunyai referensi koordinat geografis sehingga memungkinkan untuk diintegrasikan dengan data SIG. Untuk itu, informasi tingkat koreksi dari data remote sensing sangat diperlukan karena kekeliruan dalam mengintegrasikan data akan membawa akibat berkepanjangan dalam langkah berikutnya.

Integrasi data akan membawa kesulitan tersendiri. Data remote sensing hanya dikategorikan hingga 256 tingkatan, sedangkan data SIG dapat lebih dari itu. Sehingga sering ditemui kesulitan dalam *matching* atau menyamakan informasi dari kedua sumber data tersebut. Ada hal yang tidak bisa dihindarkan dalam *matching* atau

penyesuaian data remote sensing dengan data dari peta tematik yang diperoleh dari peta topografi atau lainnya, terutama untuk daerah yang topografinya bervariasi. Problem lain yang ditemui antara lain adalah dalam perbedaan bentuk daerah atau cakupan dan juga ukuran obyek.

Beberapa ahli berpendapat bahwa sangat sedikit yang berhasil mengintegrasikan data remote sensing dan data SIG dengan ketelitian tinggi. Hal ini disebabkan karena (Young dan Green. 1987 dan Wilkinson dan Fisher. 1987) perbedaan antara potensi dan kenyataan, dalam arti bahwa terlalu banyak data remote sensing yang tersedia dalam resolusi yang tidak sesuai dengan kenyataan operasional SIG. Di samping itu data remote sensing kebanyakan dalam format grid (raster) sedangkan data SIG dalam format vektor. Hal ini penting untuk disebut, tidak sekedar untuk mengingatkan kepada para pemakai, tetapi masih memungkinkannya riset yang cukup mendalam dalam mengintegrasikan data tersebut, dan dapat dikatakan bahwa masa depan data remote sensing dipengaruhi oleh suksesnya teknologi integrasi ini.

Struktur data spasial

Apabila kenampakan muka bumi diproyeksikan dalam bentuk peta, maka akan terdapat tiga kemungkinan kenampakan yaitu titik, garis, dan wilayah atau poligon. Jadi dalam ilustrasi pada Gambar 4-6 jalan akan tampak sebagai garis, rumah kecil akan tampak sebagai titik, dan kebun sebagai poligon. Dalam menayangkan data, komputer akan melakukannya dengan salah satu dari format vektor atau raster.

A. Format vektor.

Di sini sebuah peta akan terdiri dari kumpulan titik-titik yang mempunyai koordinat geografis X,Y. Sebuah titik mungkin bisa menunjukkan sebuah lokasi pos satpam, atau kantor lurah, tergantung skala peta yang digunakan. Kumpulan dari titik-titik dapat digabungkan dan akan membentuk sebuah garis, yang mungkin menunjukkan jalan, batas RT, sungai atau lainnya. Garis yang memanjang dan bertemu membentuk poligon dapat merupakan perwujudan dari sebuah kompleks perumahan dukun, atau kompleks perumahan menteri.

- Data skener Landsat/pesawat
- Foto udara
- Topografi
- Kehutanan
- DAS
- Vegetasi
- Tataguna lahan dan zoning
- Perumahan
- Batas pemilikan
- Batas administrasi
- Jaringan jalan
- Kualitas air
- Stasiun cuaca



Raster

Poligon

Titik

Gambar 4-6. Kenampakan muka bumi dalam suatu proyeksi
(Sumber : FAO. 1991)

Dijitisi dalam format vektor akan lebih teliti, seperti dalam menayangkan kenampakan yang bukan garis lurus, kenampakan menyerupai kurve bisa direkam dibandingkan dengan cara perekaman dengan format raster. Format vektor biasanya digunakan apabila diperlukan adanya integrasi antar data dan banyak anotasi dalam penayangannya. Karena format vektor memerlukan struktur data yang lebih kompleks, dan teknologinya cukup mahal apalagi bila diperlukan kualitas keluaran dengan resolusi tinggi dan berwarna.

B. Format raster.

Di sini seluruh cakupan peta ditunjukkan sebagai kumpulan grid dalam bentuk matrik kolom-baris. Ukuran tiap grid merupakan resolusi atau detail dari kenampakan yang dipetakan. Grid terkecilnya disebut *pixel*, dan tiap *pixel* ditunjukkan dengan perbedaan koding digital atau koding warna untuk obyek yang berbeda pada peta akhir. Format raster biasanya digunakan apabila diperlukan adanya integrasi antara data topografi atau data tematik dengan data remote sensing. Problem utamanya adalah bahwa dengan penggunaan grid berarti dapat mengurangi kedetailan informasi. Kedua format ini saling mempunyai kekurangan dan kelebihan seperti diuraikan pada Tabel 4-2 maka akan lebih baik perlu dipandang untuk saling melengkapi dari pada sebagai saingan.

Meskipun dalam beberapa aplikasi, struktur data merupakan hal yang

mendasar, karena begitu sudah ditentukan maka sulit untuk dirubah. SIG yang semakin berkembang memungkinkan untuk dapat mengelola kedua format data vektor dan raster sejak adanya konversi antar kedua format tersebut.

Table 4-2. Kelebihan Format Vektor dan Raster

FORMAT VEKTOR :	FORMAT RASTER :
<ul style="list-style-type: none"> a) Obyek dapat digambarkan lebih teliti; b) Kenampakan obyek sangat kecil dapat ditunjukkan; c) Bentuk asli dan benar dari suatu obyek dapat ditunjukkan; d) Kurang memerlukan sarana penyimpanan; e) Kemudahan dalam pembaruan, perbaikan, dan pemberian anotasi data. 	<ul style="list-style-type: none"> a) Kemudahan untuk membandingkan antar layer/tema; b) Kemudahan dalam pengukuran luas dan penghitungan secara kuantitatif; c) Integrasi dengan data remote sensing atau data format grid/raster lain dapat lebih efisien; d) Struktur datanya lebih sederhana; e) Teknologinya lebih murah, karenanya mempunyai pasaran yang lebih luas; f) Kemudahan dalam menulis dan membuat program pengolahan; g) Data grid lebih kompatibel dengan perangkat keluaran untuk raster.

Hubungan data spasial dan non-spasial

Untuk mendapatkan gambaran yang lengkap tentang suatu data, maka proses mendijitasi dari suatu peta atau sumber sejenis lainnya tidaklah cukup. Informasi yang lain juga perlu dicantumkan sebagai kelengkapan data tersebut seperti :

- a) lokasi dari titik referensi yang digunakan,
- b) kode tiap poligon, label, attribute dan sebagainya,
- c) referensi yang digunakan untuk mengidentifikasi keterkaitan antar garis, titik, dan poligon pada peta.

Data atau informasi tersebut harus pula dicantumkan dalam satu format tersendiri yang merupakan rangkaian dari data yang telah didijit. Titik referensi biasanya akan dicantumkan secara otomatis apabila kita menggunakan sistem digitasi dengan tablet. Data seperti lebar sungai, kualitas air, nama ketua RT, jumlah anggota partai dan sebagainya, perlu disimpan dalam bagian lain yang merupakan rangkaian dari data tersebut, biasanya dalam data base tabular. Hal ini biasanya merupakan satu rangkaian pada satu paket perekaman data. **Gambar 4-7** mengilustrasikan struktur data topologi.

SISTEM REMOTE SENSING YANG OPERASIONAL

Pemilihan penggunaan sensor dalam suatu pekerjaan tidak selalu mudah, dan jarang satu sensor dapat digunakan untuk banyak tujuan aplikasi. Beberapa sensor dan jenis satelit yang operasional disajikan dalam **Gambar 5-1** dan **Tabel 5-1**. Sensor biasanya didesain menurut kebutuhan pemakai dan keterbatasan operasional pada satelit pembawanya, seperti transmisi data, maksimal muatan pesawat, prinsip optik-elektronik, dan pengaruh atmosfer.

Faktor utama yang digunakan dalam pemilihan jenis sensor adalah resolusi spektral dan spasial, kebutuhan untuk pembaruan citra, dan biaya. Pada umumnya semakin besar resolusi yang diperlukan semakin mahal biaya yang harus dikeluarkan per kilometer persegi. Seperti diilustrasikan dalam **Gambar 5-2**, yaitu apabila diperlukan informasi secara global untuk daerah luas, maka tidaklah ekonomis kalau digunakan citra resolusi tinggi.

Apabila resolusi spektral tidak begitu penting untuk suatu aplikasi, maka penggunaan citra dengan kanal tunggal akan lebih menguntungkan daripada kanal ganda. Untuk kasus tertentu, misalnya daerah yang sering tertutup awan, maka kriteria asal ada citra akan lebih diutamakan daripada citra dengan tanggal tertentu atau sensor tertentu. Dalam aplikasi di bidang industri mineral, penggunaan citra perekaman paling baru tidak begitu penting apabila dibanding dengan citra yang ada memang sudah dan pengadaannya relatif murah.

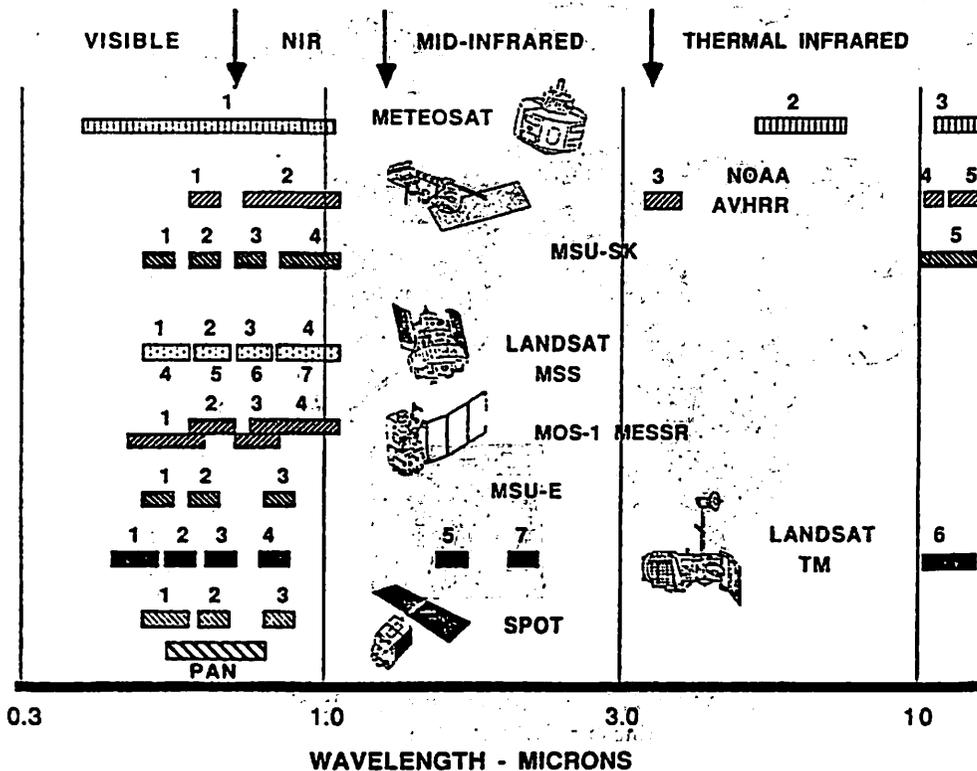
Satelit Meteorologi

Seperti namanya, satelit ini didesain untuk tujuan utama kajian meteorologi. Penggunaannya menjadi populer untuk pemantauan dan prakiraan cuaca. Penggunaan satelit meteorologi telah cukup lama dan cukup besar kontribusinya dalam bidang produktifitas ekonomi, keamanan, dan bidang kehidupan lainnya.

Tabel 5-1. Sistem sensor dari beberapa satelit yang operasional

No	Sensor	Tahun Operasional	Catatan
1	Meteosat	1984-sekarang	Satelit meteorologi, orbit geostationer, resolusi temporal tinggi (perekaman sering), resolusi spasial rendah.
2	AVHRR	1975-sekarang	Satelit meteorologi, orbit polar, resolusi temporal tinggi, resolusi spasial rendah, mempunyai sensor termal.
3	MSU-SK	1988-sekarang	Perekaman medium, resolusi spasial medium - rendah, ada sensor termal.
4	Landsat MSS	1973-1991	Resolusi temporal rendah (perekaman jarang), resolusi spasial sedang, spektral ganda.
5	MOS-1	1988-1992	Resolusi temporal rendah, resolusi spasial sedang, spektral ganda.
6	IRS LISS-1	1988-sekarang	Resolusi temporal rendah, resolusi spasial sedang, spektral ganda.
7	MSU-E	1988-sekarang	Resolusi temporal rendah, resolusi spasial sedang - tinggi, spektral ganda.
8	IRS LISS-2	1988-sekarang	Resolusi temporal rendah, resolusi spasial tinggi, spektral ganda.
9	Landsat TM	1983-sekarang	Resolusi temporal rendah, resolusi spasial tinggi, spektral ganda, mempunyai sensor termal.
10	SPOT XS	1986-sekarang	Resolusi temporal rendah, resolusi spasial tinggi, spektral ganda.
11	SPOT PAN	1986-sekarang	Resolusi temporal rendah, resolusi tinggi. sensor pankromatik, stereoskopis.
12	SEASAT	1978	Perekaman global, citra SAR digital.
13	SIR-A	1983	perekaman global, citra SAR .
14	ERS	1991-sekarang	Perekaman global, ada sensor SAR kanal C, untuk studi kelautan.
15	JERS	1994-sekarang	Perekaman jarang, resolusi spasial tinggi, spektral ganda, ada sensor SAR kanal L
16	Adeos	1996	Perekaman global, resolusi spasial rendah - tinggi, spektral ganda untuk studi lingkungan
17	Radarsat	1995	SAR kanal L, resolusi spasial medium - tinggi, <i>beam modes</i> ganda

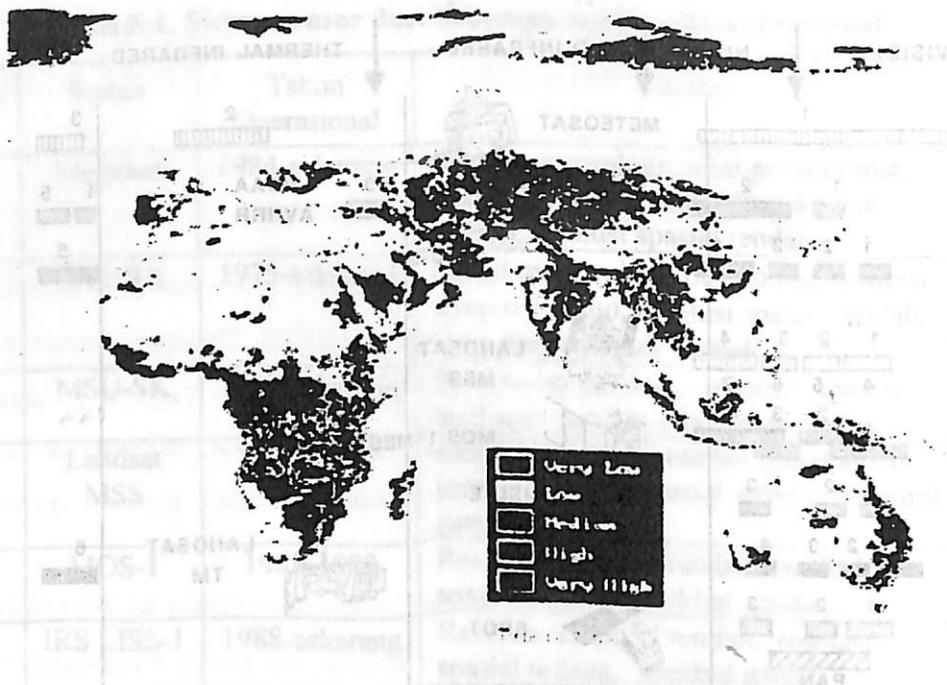
Sumber : Christopher Legg, 1992 (dengan modifikasi)



Gambar 5-1. Beberapa sensor yang operasional
(Sumber : Christopher Legg. 1992)

Satelit geostasioner

Satelit meteorologi yang operasional dapat dibedakan menurut orbitnya menjadi dua kelompok, yaitu polar dan geostasioner. Satelit geostasioner berada di orbit dengan posisi relatif tetap dari permukaan bumi. Posisi orbit tunggal di atas katulistiwa sekitar 34.000 km ini, mempunyai dua pengaruh terhadap remote sensing. Pertama, sensor berada relatif jauh dari muka bumi, sehingga membatasi resolusi spasialnya. Kedua, karena jarak pandang terhadap daerah katulistiwa mendekati vertikal, maka sudut pandang menjadi bertambah miring atau menyudut pada ketinggian lebih tinggi, dan daerah kutub relatif tak terlihat. Permukaan bumi sekitar 60 derajat lintang utara dan lintang selatan dapat dicakup oleh empat satelit disekitar katulistiwa, meskipun dalam prakteknya diperlukan lebih lagi untuk mendapatkan informasi yang lebih baik. Jaringan antar satelit meteorologi geostasioner merupakan contoh yang baik dalam kerjasama internasional, satelit-satelit tersebut dibuat dan dikelola oleh Amerika, Eropa, India, dan Jepang.



Gambar 5-2. Citra indeks vegetasi dunia
(Sumber : NOAA. 1988)

Pada umumnya satelit-satelit meteorologi mempunyai karakteristik hampir sama, yaitu merekam bumi dengan cakupan panjang gelombang tampak mata dan termal. Dari berbagai satelit meteorologi, ada yang mempunyai kemampuan untuk memantau penguapan air di atmosfer. Resolusi spasial pada titik nadir bervariasi antara 1,5 km hingga 10 km. Frekuensi perekamannya bervariasi dari setiap 30 menit hingga harian untuk satelit dengan resolusi kasar. Satelit ini jarang dimanfaatkan untuk kajian studi lahan karena keterbatasan resolusi dan spektralnya. Faktor luas cakupan dan tingginya frekuensi perekaman memungkinkan penggunaan citra satelit tersebut untuk aplikasi yang bersifat regional, seperti pemantauan banjir dalam cakupan besar. Di samping itu, satelit ini cukup penting untuk informasi cuaca, seperti prakiraan badai dan sejenisnya guna kepentingan pelayaran maupun kegiatan industri kelautan.

Datanya dikirimkan dari satelit dalam dua bentuk, yaitu citra analog dalam resolusi kasar (rendah) yang dapat diterima dengan perangkat sangat sederhana, seperti APT (*automatic picture transmission*). Kedua, dalam bentuk digital dengan resolusi lebih baik, yang memerlukan peralatan penerima lebih kompleks, seperti

PDUS (*primary data user station*). Data hasil perekaman satelit meteorologi dapat diperoleh cuma-cuma bagi siapa saja yang ingin merekamnya. Di daerah terpencil yang dilengkapi dengan fasilitas penerima dan pengolah data dapat memperoleh informasi cuaca dengan baik. Data tersebut biasanya sudah dikoreksi geometris oleh stasion pengontrol sebelum disebarkan kepada pemakai, sehingga proses lanjutannya dapat dilakukan dengan mudah. Satelit Meteosat yang dioperasikan oleh Eumetsat sebagai wakil dari Lembaga Angkasa Eropa, merupakan satelit yang tipikal dalam kelasnya. Karakteristik sensornya adalah seperti diuraikan pada **Tabel 5-2** berikut.

Meskipun resolusi spasialnya kasar dan resolusi spektral tidak begitu bervariasi, citra satelit geostasioner dapat digunakan untuk membuat mosaik suatu kontinen atau benua dengan kanal tunggal. Citra disajikan dalam satu proyeksi stereografis, sehingga mudah untuk dimosaik. Karena datanya digital, maka mosaik tersebut dapat diproses untuk menonjolkan suatu ketajaman tertentu.

Kemampuan satelit meteorologi geostasioner terus ditingkatkan seiring dengan peningkatan kebutuhan pemakai, sehingga diharapkan seperti pada Meteosat yang meningkat banyak digunakan untuk kajian pada bidang industri mineral dari pada satelit generasi sebelumnya. Resolusi spasial pun akan ditingkatkan menjadi 1 km pada titik nadir, dan akan ditambah kanal infra merah dekat dan kanal termal, yang dapat lebih baik dalam membedakan tipe awan, sebagai komponen penting dalam satelit meteorologi. Disamping itu juga memungkinkan peningkatan untuk studi vegetasi dan juga memungkinkan untuk pemetaan litologi sekala benua.

Tabel 5-2. Karakteristik sensor Meteosat

Kanal	Panjang gelombang (mikron)	Resolusi (km)	Catatan
1	0,5 - 0,9	2,5/5	Tampak mata
2	5,7 - 7,1	5	Kanal sensitif penguapan air
3	10,5 - 12,5	5	Termal

Sumber : Christopher Legg. 1992.

Satelit Meteorologi orbit polar

Disebut orbit polar karena melewati daerah kutub utara dan selatan, meskipun tidak persis di kutubnya. Orbit ini agak kearah kanan dari arah rotasi bumi agar dapat mencakup keseluruhan muka bumi dalam orbit pengulangannya. Orbit satelit agak miring, untuk mendapatkan kesamaan waktu lokal di bagian utara dan selatan selama perekaman. Satelit yang beroperasi di orbit polar antara lain dikelola oleh Amerika, Rusia, dan Cina.

Seluruh satelit mengirimkan data dalam resolusi kasar yang dapat direkam dengan alat relatif sederhana dan murah, yang biasa disebut bentuk APT. Sebagian besar dari bumi direkam sedikitnya sekitar empat kali sehari oleh satelit yang ada. Citra APT lebih detil di lintang tinggi daripada satelit geostationer. Dalam kajian eksplorasi mineral satelit ini sering dimanfaatkan untuk sumber informasi cuaca, tetapi dalam beberapa kajian yang lain rendahnya resolusi citra tersebut sering menjadi kendala penggunaannya.

Data dalam bentuk digital dengan resolusi yang lebih baik akan lebih disukai, dan hal ini bisa diperoleh dari sensor AVHRR pada satelit TIROS-N yang dioperasikan oleh NOAA Amerika, meskipun satelit FY-1B milik Cina dapat menghasilkan citra yang hampir sama untuk sebagian bumi. Peralatan ATSR pada ERS-1 menghasilkan citra termal yang hampir sama, meskipun relatif kurang bila dibandingkan dengan informasi tampak mata dan infra merah pada AVHRR.

Sensor AVHRR-2, yang beroperasi pada satelit orbit polar NOAA 9 dan NOAA 10, mempunyai ukuran *pixel* minimum pada titik nadir yaitu 1,1 km, dengan lebar cakupan 2000 km, dan merekam dengan 5 panjang gelombang, seperti diilustrasikan pada Tabel 5-3.

Tabel 5-3. Karakteristik AVHRR

Kanal	Panjang gelombang (mikron)	Catatan
1	0,58 - 0,68	Tampak mata. Kenampakan permukaan.
2	0,73 - 1,10	Infra merah dekat. Air dan vegetasi
3	3,55 - 3,93	Termal. Panas, vulkan.
4	10,5 - 11,3	Termal. Litologi dengan kanal 5
5	11,5 - 12,5	Termal

Sumber : Christopher Legg. 1992.

Kanal 1 kira-kira dekat ke kanal merah untuk tampak mata, sedang kanal 2 adalah pada infra merah dekat, dekat ke MSS kanal 7 atau TM kanal 4. Kanal 3 tidak begitu umum, panjang gelombang ini sebagian mencerminkan radiasi matahari dan memancarkan energi panas, dan khususnya sensitif untuk daerah sumber tenaga panas tinggi. Kanal 4 dan 5 keduanya pada daerah infra merah termal, dekat dengan kanal 5 dan 6 SIMT.

Satelit NOAA khususnya beroperasi untuk tujuan meteorologi, dan kanal tampak mata serta infra merah dekat ditujukan untuk identifikasi dan klasifikasi awan. Tiga kanal termal didesain untuk memungkinkan adanya koreksi temperatur permukaan awan dan permukaan laut, dan juga untuk membantu karakterisasi awan. Kanal 1 dan 2 banyak digunakan untuk studi vegetasi, khususnya di daerah berlingkungan semi-arid, indek vegetasi yang dihasilkan dari ratio kanal infra merah dekat dengan merah mempunyai korelasi dengan produktifitas tanaman. Tingginya pengulangan perekaman dengan AVHRR (perekaman dua kali 24 jam setiap lokasi) memungkinkan sensor ini untuk pemantauan kerusakan seperti yang disebabkan oleh kebakaran hutan atau gunung berapi.

Di samping itu, kemampuannya untuk menyediakan citra termal pada siang dan malam hari pada periode yang sama dalam 24 jam mendorong penggunaannya untuk studi batuan sebagai tambahan informasi dalam kajian eksplorasi geologi dan mineral. Citra AVHRR telah juga digunakan untuk menyiapkan mosaik untuk daerah luas yang sering terliput awan.

Kebutuhan umum dalam eksplorasi, baik untuk hidro karbon maupun mineral metal, adalah untuk mendapatkan gambaran daerah luas, sebagai contoh adalah kenampakan geologi untuk suatu negara atau provinsi. Citra Landsat telah digunakan dalam eksplorasi lebih dari satu setengah dekade, dan mosaik dapat diperoleh dari gambaran tersebut. Biaya untuk membuat mosaik dalam jumlah besar menggunakan Landsat sangat mahal. Hal ini jarang dilakukan secara digital karena memerlukan tempat dan waktu. Mosaik yang dihasilkan tidak dapat di proses secara digital untuk mendapatkan kenampakan struktur dan litologi.

Sensor AVHRR dapat menggantikan mahalnya Landsat dan SPOT dalam pembuatan mosaik, tetapi resolusinya rendah. Kenyataan bahwa AVHRR merekam

dengan tiga kanal termal, berarti bahwa dalam kondisi udara tertentu dapat menyajikan informasi lahan dari tinjauan termal. Perbedaan panas tinggi dari vegetasi dapat dipantau menggunakan citra ini dengan menggunakan perbedaan waktu rekam pagi dan malam harinya.

Landsat MSS

Meskipun citra ini mempunyai resolusi yang agak kasar dan spektralnya pun terbatas, tetapi sensor ini masih merupakan yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk dalam kajian mineral. Untuk kajian bidang industri mineral, sejak Landsat-1 (ERTS-1) diluncurkan 1972 hingga Landsat-5, dengan TMnya yang diluncurkan 1983, MSS merupakan satu-satunya data satelit digital yang bisa dan populer dimanfaatkan. Bisa dibayangkan bahwa begitu besarnya arsip data digital maupun foto yang disimpan di lembaga pengelola data tersebut hingga kini. MSS merupakan data yang bernilai historis dan berguna sekali untuk kajian perubahan lahan skala regional, dan lebih murah dibandingkan dengan TM maupun SPOT. Untuk alasan itu maka data tersebut perlu dipelihara dan diamankan. Penggunaan MSS dalam berbagai aplikasi, baik visual maupun digital, sering dimulai dengan menganalisis komposit warna. Contoh komposit warna ditunjukkan dalam **Gambar 5-3**. Karakteristik Landsat MSS dijelaskan dalam **Tabel 5-4**.

Landsat TM

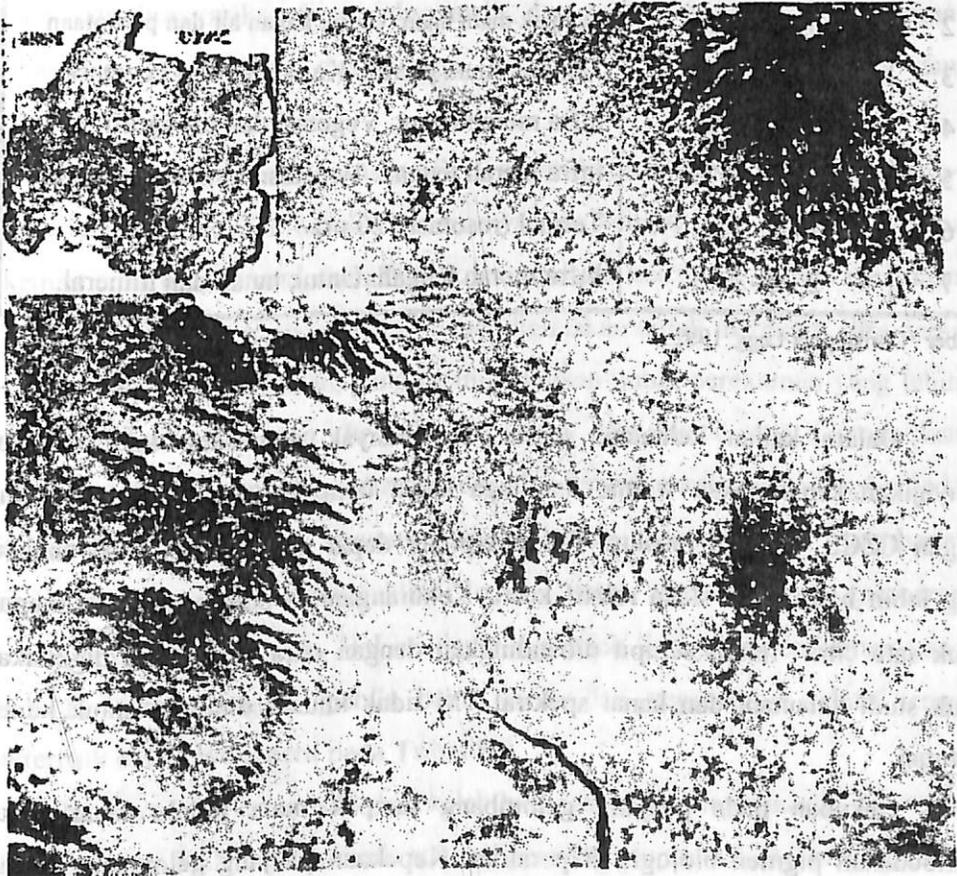
TM mempunyai resolusi spasial cukup baik untuk berbagai studi. Sensor ini mempunyai kanal bekerja pada gelombang tampak mata, infra merah dekat, tengah dan termal.

Panjang gelombang pada TM mempunyai keunggulan untuk kajian perbedaan vegetasi serta mempunyai cakupan yang lebih luas dari pada MSS dan SPOT-XS. Panjang gelombang infra merah tengah, khususnya kanal 5, sangat berguna untuk perbedaan antara tipe tanaman tahunan, tanaman biji-bijian, tebu, kentang, dan rerumputan. Kanal infra merah tengah tidak terdapat pada MSS maupun SPOT-XS dan hal ini merupakan kekurangan pada kajian dengan menggunakan kedua sensor tersebut.

Tabel 5-4. Karakteristik Landsat MSS

Kanal	Panjang gelombang (mikron)	Catatan
4 (1 mulai Landsat 4)	0,50 - 0,60	Tampak mata hijau. Berguna untuk kajian air.
5 (2 mulai Landsat 4)	0,60 - 0,70	Tampak mata merah. Untuk analisis NDVI, air, tanah
6 (3 mulai Landsat 4)	0,70 - 0,80	Merah hingga infra merah dekat. Tak banyak digunakan
7 (4 mulai Landsat 4)	0,80 - 1,10	Infra merah dekat. Penting untuk analisis NDVI, pemetaan topografi

Sumber : Christopher Legg, 1992.



Gambar 5-3. Komposit warna asli Landsat MSS 1972 daerah Yogyakarta
(Sumber : Departemen Pekerjaan Umum)

Resolusi TM yang 30 m relatif cukup untuk berbagai kajian klasifikasi liputan atau tataguna lahan, karena hasilnya memungkinkan untuk memberikan gambaran relatif baik dalam membedakan kenampakan lahan seperti persawahan, tanaman tahunan, perkotaan dan juga kenampakan kelurusan seperti jalan dan sungai. Untuk aplikasi dalam kajian detail mineral diperlukan resolusi yang lebih baik. Hasil TM tidak efektif untuk diperbesar lebih dari skala 1:25.000. Kombinasi citra TM dan SPOT-PAN sangat berguna, karena mengkombinasikan resolusi besar dari SPOT-PAN dengan resolusi spektral dari TM.

Tabel 5-5. Karakteristik Landsat TM

Kanal	Panjang gelombang (mikron)	Catatan
1	0,45 - 0,52	Tampak mata biru. Untuk kajian air dan perkotaan
2	0,52 - 0,60	Tampak mata hijau. Untuk kajian air dan perkotaan
3	0,63 - 0,69	Tampak mata merah. Kajian air dan vegetasi
4	0,76 - 0,90	Infra merah dekat. Vegetasi dan topografi
5	1,55 - 1,75	Infra merah tengah. Vegetasi, khususnya hutan
6	10,4 - 12,5	Termal (resolusi 120 m)
7	2,08 - 2,35	Infra merah tengah. Untuk tanah dan mineral.

Sumber : Christopher Legg, 1992.

Dalam kajian kelautan, sensor TM banyak digunakan karena dapat menyajikan kenampakan warna, dan juga kanal tampak matanya hampir sama dengan CZCS. Dengan resolusi TM interpreter dapat memberikan hasil analisis yang lebih baik untuk skala relatif kecil. Kekurangannya adalah daerah cakupan untuk satu citra relatif sempit dibandingkan dengan citra yang biasa digunakan untuk studi kelautan, dan kanal spektral TM tidak khusus didesain untuk kajian kelautan.

Cakupan pada panjang gelombang tampak mata terlalu lebar untuk membedakan pigmen biologis di perairan. Kepekaan panjang gelombang termal terlalu rendah untuk berbagai tujuan aplikasi kelautan, meskipun hal ini merupakan resolusi yang relatif paling baik untuk pemetaan dari sensor termal yang ada hingga

kini. Untuk mendapatkan data yang akurat dari hasil interpretasi citra termal maka perlu dilakukan kalibrasi dari citra tersebut berdasar nilai panas pada permukaan obyek yang dikaji.

TM banyak digunakan dalam kajian geologi, khususnya kanal 5 dan 7. Kanal 7 merupakan panjang gelombang di mana mineral lempung menunjukkan puncak penyerapan cahaya. Penggunaan kombinasi kanal 5 dengan kanal 3 dapat menunjukkan daerah yang kaya akan bahan kandungan besi.

SPOT-HRV dan PAN

Satelit milik Perancis, pertama kali diluncurkan 1986, memungkinkan untuk menghasilkan citra resolusi digital yang baik dan sekarang cukup mendominasi pasaran. Satelit SPOT-1 dan SPOT-2 masing-masing membawa dua sistem skener penyapu, satu dioperasikan di sisi jalur satelit, dan masing-masing memungkinkan menghasilkan citra dalam dua bentuk berbeda, yaitu spektral ganda dan pankromatik.

Tidak seperti Landsat, sensor SPOT dapat dikendalikan dengan memiringkan kaca/lensanya. Kondisi tersebut mempunyai dua konsekuensi, pertama : waktu perekaman citra untuk suatu daerah tidak mempunyai ketepatan dalam kesamaan waktu lokal. Sensor yang dikendalikan dapat digunakan untuk merekam citra nadir dari rute perekaman berdekatan, yang memungkinkan untuk perekaman yang lebih fleksibel dari Landsat. Kedua : konsekuensi umum dari sensor yang dikendalikan adalah bahwa daerah sama dapat diambil dari dua tempat perekaman yang berbeda sudut pandang, sehingga memungkinkan untuk mendapatkan gambaran stereoskopis. Kenyataan menunjukkan bahwa untuk mendapatkan gambaran stereoskopis diperlukan waktu. Hal ini dapat diperoleh dari jalur perekaman yang berbeda hari atau minggu, apabila bebas awan dan vegetasinya relatif tetap. Karakteristik sensornya seperti pada Tabel 5-6.

Besarnya resolusi spasial dan kelebihan gambaran stereoskopis dari citra SPOT, khususnya PAN, cocok untuk aplikasi pemetaan topografi. Beberapa daerah di muka bumi yang belum memiliki peta topografi telah dipetakan dengan bantuan SPOT-PAN, karena piranti lunak untuk mendapatkan informasi DEM pun telah

dikembangkan dan banyak dipakai secara komersial. Kelebihan ini juga mendorong penggunaannya dalam bidang geologi. Di samping itu dapat dikendalikannya sensor SPOT dari muka bumi akan memungkinkan untuk mendapatkan informasi daerah yang dianggap sangat penting, misal karena alasan bencana kebakaran besar.

Tabel 5-6. Karakteristik sensor HRV dan PAN pada SPOT-1 dan 2

Item	Spektral XS	Spektral PAN
Panjang gelombang (mikron)	0,50 - 0,59	0,51 - 0,73
	0,61 - 0,68	
	0,79 - 0,89	
Ukuran <i>pixel</i> (meter)	20	10
Lebar cakupan (km)	60	60

Sumber : Christopher Legg, 1992.

Pada umumnya ada dua kendala dalam penggunaan citra SPOT, bila dibandingkan dengan citra lain, yaitu keterbatasan spektral hanya memiliki tiga kanal. Kedua adalah mahalnya pengadaan citra SPOT. Akan tetapi kalau daerah cakupan untuk studi berada dalam cakupan SPOT, kurang dari 60x60 km, maka biaya tersebut tidak terlalu kentara sebagai pembatas atau kendala, tetapi biasanya kajian geologi atau topografi mencakup daerah yang sangat luas dan lebih luas dari itu. Namun kelebihan lain yang menarik adalah memungkinkannya untuk diperbesar menjadi skala 1:20.000, dan kemungkinannya untuk mendapatkan gambaran DEM dan peta kontur. Kemungkinan untuk mengkombinasikan SPOT PAN dengan Landsat-TM untuk penyajian komposit warna dengan resolusi spektral TM dan resolusi spasial PAN juga mendorong banyaknya pemakaian citra tersebut. Perusahaan pengelola SPOT yaitu SPOT IMAGE siap memasarkan produksi digital kombinasi antara SPOT-PAN dan SPOT-XS dengan resolusi spasial PAN. Citra ini disebut dengan SPOT-PXS.

IRS-1

India merupakan salah satu negara pemakai terbesar citra remote sensing di dunia, dan kini telah mengembangkan satu satelit. Satelit remote sensing milik India IRS-1A dan IRS-1B (Indian Remote Sensing Satellite) didesain untuk tujuan pertanian dan tataguna lahan, dan tidak mencakup seluruh muka bumi. Tujuan utamanya adalah untuk mendapatkan gambaran wilayah India, dan stasiun penerimanya hanya di Hyderabad India. Hal ini berarti hanya mencakup wilayah sekitar India, Pakistan, Sri Langka, Afganistan, Birma, Tailand, daerah Himalaya, bagian selatan dari bekas Uni Soviet, Cina bagian barat agak selatan, bagian timur Iran, dan sebagian Malaysia yang direkam dengan pengulangan dua satelit sekitar 11 hari. Bagian dunia lain belum dapat direkam oleh satelit ini. Dua satelit yang beroperasi (1991) masing-masing membawa sistem skener penyapu, yang disebut *Linear Imaging Self-Scanning Sensors* (LISS), yang merekam dengan dua resolusi spasial yaitu 80 meter dan 40 meter, seperti pada Tabel 5-7.

Tabel 5-7. Karakteristik sistem IRS

Item	LISS-1	LISS-2
Resolusi spasial (m)	72,5	36,25
Panjang Gelombang (mikron)	0,45 - 0,52	0,45 - 0,52
	0,52 - 0,59	0,52 - 0,59
	0,62 - 0,68	0,62 - 0,68
	0,77 - 0,86	0,77 - 0,86
Ukuran cakupan (km)	148x148	74x74
Pengulangan (hari)	22	22

Sumber : Christopher Legg. 1992.

Panjang gelombang yang digunakan hampir sama dengan Landsat MSS, sehingga dapat menjadi alternatif substitusi data MSS untuk daerah tersebut di atas. Kurang atau tidak adanya cakupan pada panjang gelombang infra merah tengah dibandingkan dengan yang diperoleh dari kanal 5 dan 7 Landsat TM akan menjadi kurang unggul untuk pemetaan vegetasi dan kajian geologi. Hal ini juga terjadi

pada SPOT generasi pertama.

Beaya pengadaan per satuan lebih murah dibanding dengan Landsat dan SPOT. Untuk itu kajian mineral di daerah yang direkam di atas disarankan untuk memanfaatkan citra ini. Untuk kajian vegetasi atau geologi, citra LISS-1, khususnya LISS-2 yang mempunyai resolusi lebih tinggi dapat berguna sebagai sumber data yang diandalkan.

Citra Optik digital dari satelit Uni Soviet

Pada sekitar 1991 ada beberapa citra hasil perekaman satelit Uni Soviet yang telah dipasarkan, khususnya di negara Barat, oleh Glavkosmos dan seksi lain dari program angkasa Uni Soviet. Citra ini direkam dari sensor Resours-O pada satelit Kosmos 1939. Karakteristiknya seperti pada Tabel 5-8.

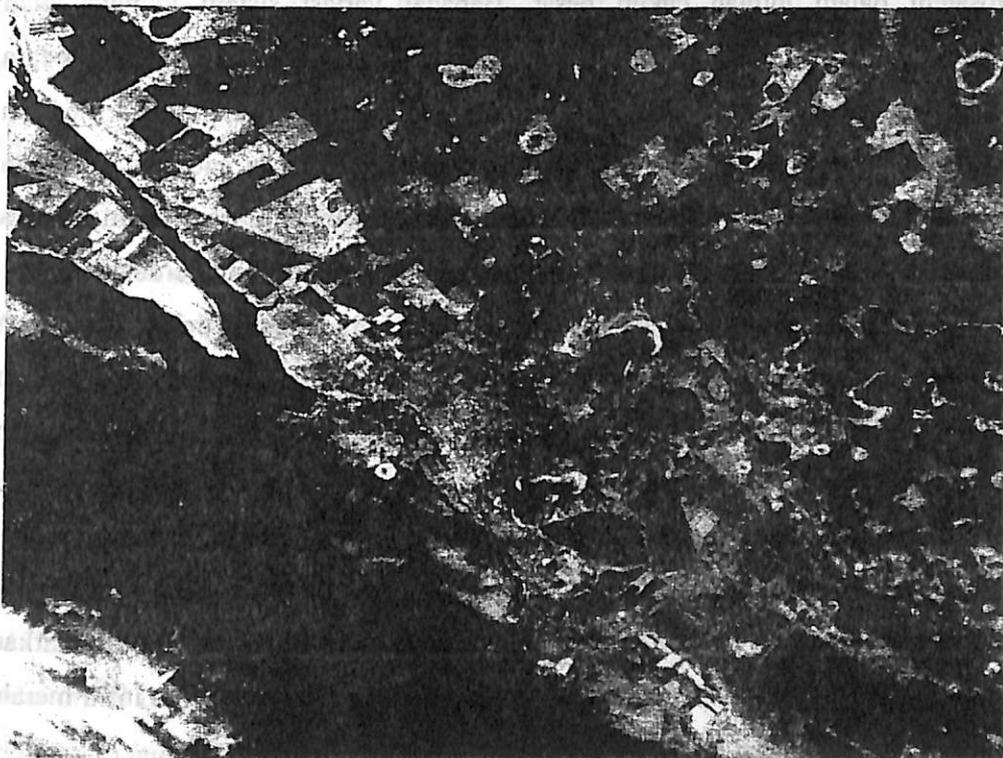
Tabel 5-8. Karakteristik sensor RESOURS-O

Item	MSU-E	MSU-SK
Lebar cakupan (km)	45	600
Ukuran <i>pixel</i> di titik nadir (m)	45	170 (600 untuk kanal 5)
Panjang gelombang sensor (mikron)	0,5 - 0,6	0,5 - 0,6
	0,6 - 0,7	0,6 - 0,7
	0,8 - 0,9	0,7 - 0,8
		0,8 - 1,1
		10,4 - 12,6

Sumber : Christopher Legg. 1992.

MSU-SK didesain untuk tujuan pemantauan secara regional, dengan cakupan lebar, resolusi spasial medium, dengan 5 kanal spektral. Panjang gelombang untuk sensor MSU-SK hampir sama dengan Landsat-MSS, dengan tambahan kanal termal resolusi 600 m. Kanal tunggal termal ini akan mempunyai problem kalibrasi dan koreksi seperti pada Landsat TM kanal 6, dan tidak dapat digunakan untuk analisis termal secara kuantitatif.

Sensor MSU-E dengan resolusi yang lebih baik dan dapat dikendalikannya hingga sekitar 350 km pada daerah nadir memungkinkan untuk memilih gambaran tertentu untuk melengkapi informasi dari sensor MSU-SK. Panjang gelombang MSU-E hampir sama dengan Landsat TM kanal 2,3, dan 4 atau SPOT XS. Satelit berada pada orbit *sun-synchronous* polar, pada ketinggian antara 630 dan 830 km, dengan pengulangan perekaman resolusi kasar setiap 5 hari dan overlap 17%. Pengulangan dengan sensor resolusi besar (MSU-E) dilakukan sekali dalam 56 hari. Jadi terlihat bahwa satelit tersebut normalnya untuk perekaman dengan resolusi MSU-SK, dan hanya pada saat tertentu yaitu pada saat untuk mendapatkan gambaran detail digunakan MSU-E. Contoh citra infra merah MSU-E daerah Ukraine seperti pada Gambar 5-4.



Gambar 5-4. MSU-E kanal 3 (infra merah dekat)

(Sumber : Christopher Legg, 1992)

Untuk kanal infra merah dekat (kanal 3 MSU-E dan kanal 4 MSU-SK) terlihat cukup bagus, dengan variasi cukup luas tanpa *noise* (gangguan). Tetapi untuk kanal 1 dan 2 sering terdapat kesalahan menggaris vertikal karena sensor

penyapu yang digunakan. Citra MSU-SK mempunyai resolusi spasial yang mengisi kekosongan antar resolusi satelit meteorologi dan resolusi yang lebih baik dari kebanyakan resolusi satelit sumber alam. Citra MSU-SK sangat berguna untuk kajian pemantauan vegetasi apabila data tersebut tersedia secara reguler, dan juga untuk kajian geologi struktur skala benua.

Fotografi Soyuzkarta

Uni Soviet (Rusia), meskipun tertinggal dalam mengkomersialkan hasil citra satelit, telah lebih unggul dalam penggunaan fotografi satelit, untuk membedakan dengan foto udara yang biasa dipotret dari pesawat. Pengolahan film dari satelit telah berkembang pesat, dan satelit yang berumur relatif pendek telah merekam fotosatelit dalam jumlah cukup besar. Berbagai variasi sistem kamera telah dikembangkan, dan yang terbaru sedang dikembangkan dan diuji, tetapi secara umum dapat dikategorikan menjadi sistem kamera multi-spektral resolusi medium dan sistem resolusi cukup bagus dengan berbagai keterbatasan spektral. Kamera multi spektral mempunyai hingga 6 kanal panjang gelombang, jadi enam kamera dengan enam filter yang sensitif terhadap panjang gelombang yang berdekatan.

Panjang gelombang tampak mata dan infra merah dekat umumnya direkam, dan komposit warna dapat diperoleh dengan mengkombinasi film pada panjang gelombang yang berbeda. Ketelitian cakupan (hampir sama dengan resolusi spasial) tidak lebih dari 40 m, dan daerah cakupannya bisa luas. Contoh sistem resolusi yang cukup baik dan direkam dengan sistem kamera tunggal menggunakan film pankromatik atau dua lapisan emulsi khusus, yang satu sensitif terhadap infra merah dekat dan yang lain terhadap tampak mata, dan dipasarkan antara lain KFA-1000. Gambaran ini merupakan tipe komposit warna infra merah. Resolusi ekuivalen dari KFA-1000 adalah antara 5 dan 7 meter.

Fotografi udara ini kurang dimanfaatkan karena alasan antara lain, terlambatnya pemasaran yang baru dimulai sekitar 1987. Dan susahny mendapatkan data, disamping juga karena alasan lambatnya pengiriman data. Faktor penyebab utamanya lebih bersifat teknis daripada komersial. Bentuk gambaran analog juga menyebabkan kurangnya informasi yang dapat diolah. Citra

spektral gandanya tidak mencantumkan kanal infra merah tengah, dan informasi yang diberikan lebih bersifat optik daripada digital.

Kelebihan fotografi KFA-1000 adalah resolusi spasialnya, yang dapat dikatakan paling baik dari seluruh wahana udara yang ada hingga kini, dan juga kemungkinannya untuk menyajikan liputan stereoskopis. Citra ini dapat digunakan untuk tujuan kartografis di negara berkembang, atau untuk pembaruan peta di negara maju, meskipun harus dengan cara analog yang lebih cenderung merupakan bidang garap fotogrametris dari pada remote sensing.

Dari tinjauan ekonomis, dan juga kelangkaan peralatan pemrosesan citranya, maka penggunaannya secara luas hanya berkembang di daerah Uni Soviet. Beberapa proyek eksplorasi mineral di negara berkembang oleh institusi yang dikenal dengan nama Eastern Bloc, menggunakan fotografi ini, walaupun biaya pengadaan citranya hampir sama dengan SPOT.

MOS-1

MOS (*Marine Observation Satellite*) pertama milik Jepang membawa dua sensor perekam, yaitu MESSR dan VTIR. Daerah panjang gelombang yang digunakan pada MESSR sama dengan panjang gelombang Landsat MSS, sehingga dapat dimanfaatkan untuk substitusi MSS dalam berbagai aplikasi. Tidak adanya cakupan global, sempitnya variasi julat data, menyebabkan lambatnya penggunaan untuk kajian pada analisis lahan.

Citra Landsat-MSS, seperti TM dan SPOT, mempunyai julat data 8-bit, yang berarti bahwa nilai digital pada citra bisa bervariasi antara 0 dan 255. Citra MOS-1 MESSR dikuantifikasi hanya dengan 6-bit, sehingga hanya mempunyai julat digital dari 0 sampai 63. Sempitnya julat dan juga perekaman dengan sensor penyapu, yang biasanya banyak *noise* (bising), berarti bahwa citra, khususnya pada panjang gelombang tampak mata, sangat banyak gangguan. MOS-1 memang tidak didesain untuk observasi lahan, tetapi untuk kajian kelautan.

Citra ini potensial untuk kajian bidang perminyakan untuk mendeteksi dan memantau lapisan minyak, yang kebanyakan mempunyai kontras yang rendah pada citra konvensional. Juga potensial untuk studi polusi daerah pantai yang berkaitan

dengan kajian mineral. Karakteristik MOS-1 disajikan dalam Tabel 5-9.

Tabel 5-9. Karakteristik sensor MOS-1

Kanal	Panjang Gelombang MESSR (mikron)	Catatan (spektrum)	Panjang Gelombang VTIR (mikron)	Catatan (spektrum)
1	0,51 - 0,59	Hijau	0,50 - 0,70	Tampak
2	0,61 - 0,69	Merah	6,0 - 7,0	Termal
3	0,72 - 0,80	Merah - infra merah dekat	10,5 - 11,5	Termal
4	0,80 - 1,10	Merah - infra merah dekat	11,5 - 12,5	Termal
Ukuran <i>pixel</i>	50 m	-	3 km	-
Lebar cakupan	100 km	-	1500 km	-

Sumber : Christopher Legg, 1992.

JERS-1

Satelit ke-dua milik Jepang, JERS-1, didesain untuk kajian eksplorasi mineral, meskipun citranya dapat digunakan untuk berbagai tujuan pula. JERS-1 membawa dua instrument remote sensing, yaitu kanal L SAR dengan resolusi 18 m dan sensor optik OPS yang mengkombinasikan, seperti SPOT, kanal tampak mata dan infra merah dekat, sebuah kanal infra merah dekat sepanjang jalur dengan kemampuan stereoskopis, dan empat kanal pada panjang gelombang infra merah tengah, di mana tiga dari empat kanal tersebut untuk kajian geologi. Karakteristik sensornya dijelaskan pada Tabel 5-10.

Satelit ini akan menghasilkan citra yang sangat berguna untuk tujuan eksplorasi mineral. Kanal tampak mata dan infra merah dekat akan memungkinkan pemetaan yang lebih detail dari SPOT-XS, dan kemampuan untuk menghasilkan gambaran stereoskopis sangat signifikan terhadap perbaikan penafsiran, seperti yang dihasilkan oleh SPOT. Ekstraksi secara otomatis untuk DEM dapat dilakukan,

dan bahkan juga dapat dilakukan dengan interpretasi visual, apabila tidak ada perbedaan waktu, awan, dan perubahan vegetasi, antar dua citra yang berkenampakan stereoskopis. Kanal 1,6 mikron akan menyajikan fungsi yang sama dengan kanal 5 dari Landsat TM, memberikan perbaikan dalam pemetaan vegetasi.

Kemampuan kanal ganda pada bagain 2,2 mikron dari spektrum akan memberikan kenampakan detail untuk interpretasi kajian mineral, khususnya di daerah beriklim arid, dan akan memperbaiki kemampuan pemetaan geologi. Dua problem yang mungkin timbul dalam JERS-1, adalah tingkat kuantifikasi dari julat dan aksesibilitas datanya. Untuk tujuan ekonomis dalam penyimpanan dan pengiriman data, maka data delapan kanal OPS dikuantifikasikan dalam 6-bit (64 tingkat keabuan) dibandingkan dengan 8-bit (256 tingkat keabuan) yang digunakan pada satelit SPOT dan Landsat. Pengalaman dengan data MOS-1, yang juga dalam 6-bit kuantifikasi, menunjukkan bahwa sinyal terhadap gangguannya rendah, dan kanal 2,2 mikron dapat gangguan tinggi dapat dikurangi kalau julatnya diperbesar.

Tabel 5-10. Karakteristik sensor JERS-1

Item	SAR	OPS
Resolusi (m)	18	18
Panjang gelombang (mikron)	kanal L	0,52 - 0,60 0,63 - 0,69 0,76 - 0,86 (stereo) 0,76 - 0,86 1,60 - 1,71 2,01 - 2,12 2,13 - 2,25 2,27 - 2,40
Lebar cakupan (km)	75	75
Sudut perekaman (derajat)	35	15,3 (stereo)
Pengulangan (hari)	44	44

Sumber : Christopher Legg, 1992.

Sensor mikrowave, SEASAT, SIR-A, SIR-B

Tiga misi relatif pendek, yang dilakukan sekitar 1970an dan awal 1980an adalah untuk menguji kemungkinan penginderaan dengan gelombang pendek. Hingga sekarang, untuk daerah panjang gelombang pendek ini, baru citra hasil satelit tersebut yang dapat dimanfaatkan. Citra ini banyak dimanfaatkan untuk kajian geologi. Kendala utamanya adalah bahwa dari ketiga sensor tersebut tidak diperoleh gambaran global.

SEASAT tidak mempunyai sistem perekaman terpasang untuk data SAR, karena kendala volume data, dan cakupannya terbatas pada sedikitnya stasion penerima bumi yang mendukung program SEASAT. Cakupan dari citra juga dibatasi oleh kendala logistik pemrosesan data SAR yang cukup besar dengan sistem komputer yang ada sekarang, dan kebanyakan data SAR disimpan tanpa dikonversi dalam bentuk citra. Kedua misi SIR-A dan SIR-B merekam cakupan yang terbatas pada orbitnya, sekitar 45 derajat utara dan selatan katulistiwa, sependek usia penerbangan kedua misi tersebut. Karakteristik sensor dari ketiga sistem tersebut adalah seperti pada Tabel 5-11.

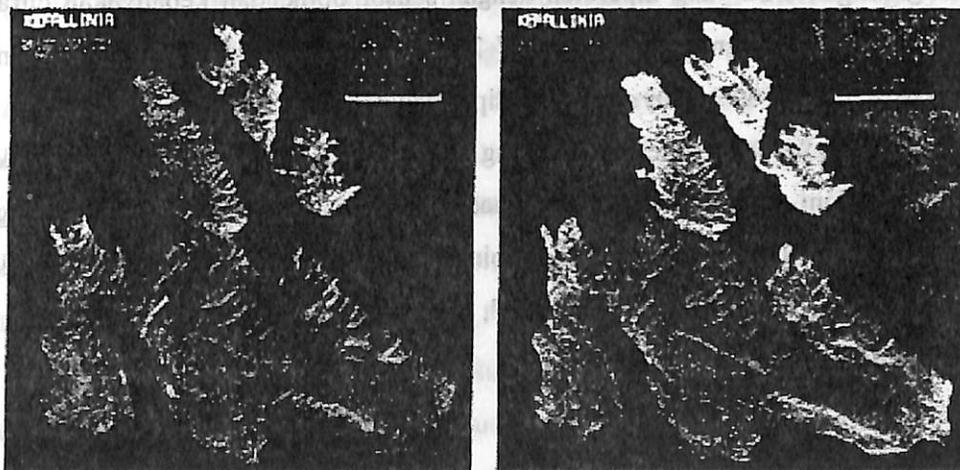
Seperti kanal tunggal lainnya, citra SAR polarisasi tunggal, citra dari SEASAT dan SIR-A mempunyai keterbatasan dalam pemetaan liputan lahan, meskipun interpreter yang berpengalaman dapat menafsirkan beberapa informasi secara visual berdasar perbedaan kekasaran permukaan. Citra SIR-B direkam pada sudut cakupan berbeda, tetapi hanya untuk daerah yang sangat terbatas. Ini digunakan untuk menguji kemungkinan penggunaan sistem SAR yang kompleks, terutama untuk tujuan industri eksplorasi.

Tabel 5-11. Karakteristik citra SEASAT, SIR-A dan SIR-B SAR

Item	Panjang gelombang	Sudut perekaman (derajat)	Ukuran <i>pixel</i> (m)	Lebar cakupan (km)	Polarisasi
Seasat	kanal L (23,5 cm)	20 - 26	25	100	HH
SIR-A	kanal L (23,5 cm)	47 - 53	40	50	HH
SIR-B	kanal L (23,5 cm)	15 - 60	25	bervariasi	HH

Sumber : Christopher Legg, 1992.

Gambar 5-5 menunjukkan kemungkinan stereoskopis dari citra SAR. Orbitnya terkadang melintasi sudut hingga 35 derajat, hingga memungkinkan pandangan satu obyek dari arah yang berbeda. Dari data SIR-A yang disimpan, ada tiga tempat seperti tersebut diatas, selama misi SIR-A. Dua dari tiga titik tersebut pada daerah yang tidak datar, satu di bagian utara Andes dan yang lain di Kalimantan, tetapi satu kali terjadi di atas wilayah kepulauan Keffalinia di pantai Greece. Pulau ini bergunung, tetapi tidak begitu bergelombang, dan merupakan daerah yang dikelilingi oleh permukaan yang datar dengan ketinggian yang diketahui. Karena itu memungkinkan untuk merekam dua citra optik dari Keffalinia, dan memungkinkan untuk menyamakan posisi geografis dua citra tersebut dengan menggunakan daerah sekitar pantai. Jadi citra tersebut tidak mempunyai perbedaan relatif dengan muka laut, dan tidak ada perbedaan relatif dari dan di atas muka laut yang disebabkan oleh ketinggian topografi. Kemudian gambaran stereoskopis dapat diperoleh dan dapat dilihat dengan perangkat stereoskop saku. Pengaruh stereoskopis yang dihasilkan tidak begitu tegas, karena perbedaan arah sudut pandang, tetapi pengaruh reliefnya sangat mengesankan.



Gambar 5-5. Stereopair SIR-A Pulau Keffalinia

(Sumber : Christopher Legg, 1992)

Penggunaan citra SAR sangat berguna untuk daerah sekitar katulistiwa karena liputan awan yang berkepanjangan di daerah tersebut, dan citra SAR dapat menembus awan. Citra ini sangat bermanfaat dalam memperbaiki kenampakan

untuk interpretasi struktural. Ada dua kendala yang berkaitan dengan penajaman relief. Pertama adalah adanya bias arah yang sangat besar. Kenampakan yang agak paralel dengan jalur satelit terlihat jelas, tetapi pada sudut kanan jalur hampir tidak kelihatan. Kedua, citra SAR mempunyai distorsi relief cukup besar. Di daerah pegunungan distorsinya besar, sehingga sulit untuk membedakannya dengan kondisi yang tidak bergelombang, hal ini membuat tidak banyaknya penggunaan citra tersebut untuk kajian pemetaan topografi. Koreksi geometriknya pun memerlukan waktu lama dan mahal.

Beberapa sistem SAR pesawat merekam citra secara bersamaan pada sudut pandang yang berbeda, sehingga memungkinkan pemrosesan stereoskopis, ekstraksi DEM dan koreksi otomatis citra, dan kelihatannya ini merupakan kemungkinan yang menjanjikan untuk sistem SAR satelit di masa datang. Kendala lain dalam penerapan SAR untuk pemetaan adalah tingginya gangguan. Gangguan semi-acak merupakan karakteristik dari hampir semua sistem SAR. Kondisi ini akan mengurangi efektifitas resolusi spasial citra kecuali untuk daerah yang sangat kontras dengan sekitarnya. Resolusi spasial citra SAR tidak dapat dibandingkan langsung dengan citra yang diperoleh dengan sensor optik, dan kebanyakan citra SAR yang diproses dengan ukuran *pixel* 20 m dapat paling baik dibandingkan dengan ukuran *pixel* 60 m dari citra yang diperoleh dengan sensor optik.

Dengan berbagai keterbatasan yang ada, citra SEASAT dan SIR-A banyak digunakan dalam studi mineral. Penggunaan ini akan terus terlihat berkembang dengan adanya kemungkinan dikombinasikan dengan citra optik untuk mendapatkan informasi struktur yang lebih berguna, dan juga tambahan informasi litologi di daerah yang bervegetasi.

ERS-1

Satelit gelombang pendek milik sipil yang pertama kali ini, diluncurkan Juli 1991. Satelit ini didesain untuk tujuan kelautan, dan membawa peralatan remote sensing yang digunakan untuk kajian kelautan. Hal ini membawa perbaikan dalam prakiraan cuaca, rute kapal, perkiraan bencana, dan pemantauan eksplorasi minyak tengah laut oleh adanya ERS-1, membawa manfaat tidak langsung bagi industri.

mineral, tetapi juga banyak membawa manfaat yang lebih relefan. Perangkat AMI (*active microwave instrument*) terpasang akan mengijinkan perekaman SAR untuk bagian bumi, dan citra ini, apabila digabungkan dengan citra dari sensor lain akan bermanfaat besar dalam eksplorasi mineral, khususnya dalam kajian struktur. Tidak adanya perekam terpasang, serta kendala sumber tenaga dan pemrograman, mengakibatkan tidak dapat diperolehnya citra cakupan global. Stasiun penerimaanya lebih banyak dibanding SEASAT, dan daerah Amerika Selatan, Asia, sebagian Afrika, direkam beberapa kali selama masa kerja satelit SAR. Perkembangan pemrosesan data SAR ke format citra pun berkembang cepat sehingga memungkinkan adanya perbaikan dalam pengolahannya.

ERS-1 juga membawa sensor yang khusus untuk kajian industri mineral. Radar altimeter memungkinkan untuk pengukuran tinggi air di danau yang luas atau sungai besar dengan ketelitian tinggi. Hal ini dapat membantu dalam memperkirakan banjir atau kajian mineral lain. Pengukuran kelembaban tanah dengan *scatterometer* menggunakan resolusi kasar dapat dilakukan pula. Hal ini dapat menjadi informasi tambahan dalam memperkirakan hujan tanpa observasi langsung seperti yang juga dimiliki oleh kebanyakan satelit meteorologi yang beroperasi di daerah panjang gelombang ini. ATSR (*along track scanning radiometer*) memungkinkan pengukuran tempertaur muka laut dengan ketelitian tinggi. Kemampuan spektral ganda termal sama seperti pada AVHRR pada satelit NOAA. Kanal 3,7 mikron pada ATSR memungkinkan untuk pemantauan kebakaran hutan dan erupsi gunung api, seperti pada AVHRR. Karakteristik sensornya dijelaskan pada Tabel 5-12.

ERS-1 masih merupakan satelit eksperimen sehingga orbitnya diganti-ganti untuk berbagai observasi. Karena itu frekuensi pengulangannya pun berubah-ubah. Bila satelit diatur untuk merekam tiga hari sekali, maka *scatterometer*, *altimeter*, dan ATSR didapatkan dalam pengulangan tiga harian. Hal ini hanya memungkinkan untuk memperoleh gambaran radar dari sebagian sisi, sebab sisi lainnya yaitu sisi antar jalur tidak akan merekam selama putaran tiga hari tersebut. Pada putaran yang 35 hari sekali akan mendapatkan gambaran citra SAR lengkap. Pada akhir masa kerja satelit ini resolusi temporalnya akan menjadi 176 hari.

Skener pesawat

Skener pesawat digunakan untuk tiga tujuan utama. Pertama, kebanyakan untuk eksperimen, dengan menggunakan sensor yang dipasang pada pesawat untuk mendapatkan informasi tentang reaksi spektral dari permukaan dan material, dan untuk menguji sistem scanning yang akan diperbarui, atau kadang-kadang untuk digunakan di pesawat. Skener spektral ganda Daedalus 11 banyak digunakan untuk pengujian citra yang akhirnya digunakan dalam Landsat-4 TM. Citra ini digunakan untuk mengevaluasi kemungkinan penggunaan TM, dan untuk mengembangkan teknik pemrosesan yang tepat pada citra multi kanal ini. Skener termal spektral ganda TIMS digunakan untuk mengevaluasi aplikasi citra termal multi kanal, khususnya bagi tujuan pemetaan geologi dan eksplorasi mineral. Berbagai spektrometer, seperti AIS, AVIRIS, GER, telah diterbangkan dalam serangkaian penelitian kemungkinan penggunaan resolusi spektral sempit spektral ganda dari remote sensing.

Tabel 5-12. Karakteristik sensor ERS-1

1) AMI					
Item	Frekuensi	Polarisasi	Sudut perekaman	Resolusi spasial	Lebar cakupan
<i>Image mode</i>	5,3 ghz (C)	VV	23	30 m	100 km
<i>Wave mode</i>	5,3 ghz (C)	VV	23	5 km	
<i>Wind scatt</i>	5,3 ghz (C)	VV	variasi	50 km	500 km
2) Radar altimeter					
Frekuensi		resolusi spasial		ketelitian	
13,8 ghz (Ku)		6,3 km		10 cm	
3) ATSR					
Spektral		Resolusi spasial		Lebar cakupan	
1,6 mikron 3,7 mikron 11 mikron 12 mikron		1 km		500 km	

Sumber : Christopher Legg. 1992.

Kedua, untuk merekam citra pada waktu tertentu sesuai kebutuhan. Kendala operasionalnya adalah bahwa hasilnya tidak selalu sesuai untuk kebanyakan aplikasi, dan sistem sensor tidak siap untuk merekam dalam situasi mendadak, khususnya bagi citra termal. Panas khusus dan pemancaran termal dari batuan merupakan contoh diagnostik yang baik, kondisi ini berbeda pada siang dan malam karena pengaruh panas matahari. Citra yang direkam saat sebelum terbenam matahari akan berguna, tetapi tidak ada resolusi optimal dari suatu sensor yang dapat dimanfaatkan pada saat seperti itu. Skener termal pesawat dapat mengatasi kondisi semacam itu. Seperti misalnya untuk merekam keberadaan suatu pengotoran dari kapal atau pabrik yang biasanya sangat sebentar dan sangat lokal, dan dapat dideteksi pada saat tertentu saja di mana pada saat itu tidak ada satelit yang merekam, karena bukan saat perekaman satelit. Skener pesawat dapat dilakukan untuk itu.

Di daerah yang selalu berawan, perekaman dengan skener pesawat dengan sedikit peluang waktu tanpa awan, misalnya untuk pemantauan tanaman merupakan suatu kesempatan yang memungkinkan untuk masa datang.

Ketiga, perbaikan resolusi yang memungkinkan dari pesawat. Resolusi spasial dari perekaman dengan pesawat tidak tetap, dan tergantung dari ketinggian pesawat di atas muka bumi. Tiap skener mempunyai IFOV (*instantaneous field of view*) dan sudut perekaman. IFOV merupakan sudut pada skener terhadap satu *pixel* di bumi. Karena sudutnya tetap, maka ukuran *pixel* akan bertambah bila pesawatnya meninggi. Sudut perekaman merupakan sudut akhir dari satu baris perekaman ke baris perekaman berikutnya. Luas cakupan citra akan bertambah sesuai dengan tinggi pesawat. Dalam beberapa skener pesawat ada ketentuan antara perbandingan resolusi spasial dengan luas cakupan. Semakin baik resolusi spasial, semakin sempit cakupan pada tiap penerbangan, maka akan semakin tinggi biaya per kilo meter persegi.

Skener pesawat umumnya mempunyai konfigurasi dasar yang sama, yaitu adanya opto mekanik (misal pada Daedalus) dan penyapu (misal pada Moniteq). Detektor, khusus yang untuk merekam termal, harus didinginkan sampai suhu tertentu dan biasanya perekaman dilakukan dalam pita magnetik. Skener sangat

bervariasi dari sistem merah infra tunggal (Perekam garis merah infra) hingga ratusan kanal (AVIRIS). Karena perekaman dengan pesawat banyak kendala, maka skener didesain dengan mengantisipasi kesalahan tersebut, seperti kesalahan karena posisi pesawat, tinggi pesawat, topografi dan sebagainya. Lebar sudut perekaman biasanya lebih dari 80 derajat, berbeda dengan lebar sudut perekaman skener satelit yang biasanya kurang dari 20 derajat.

Dari hasil studi banding penggunaan skener Daedalus dengan pesawat dan Landsat-TM di daerah bagian barat Amerika dan Saudi Arabia menunjukkan bahwa untuk eksplorasi mineral TM dapat meletakkan target yang sama dengan biaya yang lebih murah. Biaya penggunaan skener pesawat sangat tergantung daerahnya yaitu, daerah yang harus di gunakan untuk terbang, dan kondisi cuaca. Biaya survei dengan pesawat bisa lebih mahal beratus kali lipat bila dibandingkan dengan penggunaan citra satelit untuk satu kilo meter persegi.

KECENDERUNGAN PENGEMBANGAN

Kecenderungan pengembangan sensor dalam sepuluh tahun belakangan dapat dikelompokkan menjadi empat kategori. Pertama, adanya penambahan dalam jumlah panjang gelombang yang digunakan dalam pengadaaan data. Empat kanal Landsat telah dikembangkan menjadi 7 kanal TM, dengan tambahan informasi pada infra merah tengah dan termal. Kemampuan merekam dengan sarana termal multi kanal ada pada sensor AVHRR dan ATSR. Sistem radar telah merekam pada porsu panjang gelombang pendek.

Kedua, adanya kecenderungan perbaikan resolusi spasial. Resolusi 80 meter dari MSS telah diperbaiki menjadi 30 meter dalam TM dan 10 meter dalam SPOT-PAN. Ketiga adalah adanya kecenderungan untuk menambahkan sensor yang dapat dikendalikan dari stasion bumi, seperti pada SPOT, yang memungkinkan untuk mendapatkan citra stereoskopis dan perekaman pada saat tertentu. Keempat, adanya penambahan jumlah satelit yang beroperasi dari satu satelit non meteorologi pada tahun 1970an hingga 12 pada tahun 1991 dan lebih dari itu pada tahun 1994.

Tabel 5-13. Karakteristik beberapa skener pesawat

Skener	IFOV	Sudut Perekaman (derajat)	Panjang gelombang (mikron)	Catatan
1. Daedalus AADS 268	2,5 mrad	86	0,42 - 0,45 0,45 - 0,52 0,52 - 0,60 0,61 - 0,63 0,63 - 0,69 0,70 - 0,75 0,76 - 0,90 0,91 - 1,05 1,55 - 1,75 2,08 - 2,35 8,50 - 13,0	tampak mata tampak mata tampak mata tampak mata tampak mata tampak mata infra merah dekat infra merah dekat infra merah tengah infra merah tengah termal.
2. Moniteq Spektral mode lebar cakupan 40 <i>pixel</i> Spasial mode lebar cakupan 1925 <i>pixel</i>	variasi	70	128 kanal antara 0,40 - 0,80 8 kanal terpilih antara 0,40 - 0,80	hanya pada kanal tampak mata dan infra merah dekat (CCD's)
3. TIMS	2,5 mrad	80	8,2 - 8,6 8,6 - 9,0 9,0 - 9,4 9,4 - 10,2 10,2 - 11,2 11,2 - 12,2	6 kanal dalam wilayah termal

Sumber : Christopher Legg. 1992.

Kelihatannya kecenderungan ini akan terus melaju untuk masa datang, meskipun tidak setiap aplikasi memerlukan perbaikan resolusi spektral maupun spasial, dan banyak yang dapat dilakukan dengan citra yang sudah ada. Nantinya satelit SPOT akan memiliki paling tidak tambahan kemampuan untuk merekam

daerah 1,5 mikron. Landsat mungkin juga akan ada tambahan panjang gelombang yang direkam dan menambah resolusi spasial maupun kemampuan untuk perekaman citra stereoskopis. Sensor khusus pada JERS-1 dan ADEOS akan memperbaiki kemampuan kajian dalam bidang geologi. Perbaikan dalam bidang peralatan yang dibawa dan jumlah satelit akan terus cenderung berkembang dalam memperbaiki kualitas perekaman yang akhirnya dapat memperbaiki analisis.

PEMILIHAN SISTEM YANG TEPAT

Pemula dalam bidang pemrosesan citra sering terbentur pada pilihan mana yang paling baik untuk melakukan satu pekerjaan dengan menggunakan citra. Kesalahan dalam memilih akan berakibat berkepanjangan dalam pekerjaan, ketelitian, biaya dan sebagainya.

Pemilihan penggunaan kanal atau sensor untuk satu pekerjaan tertentu tergantung banyak faktor, termasuk biaya, resolusi, dan frekuensi perekaman. Sebagai bahan banding di bawah diberikan contoh penggunaan beberapa sensor dan wahana dari pertimbangan harga.

Dari berbagai contoh perbandingan harga, walaupun untuk harga beberapa tahun lalu, dapat disimpulkan bahwa pemetaan dengan menggunakan sarana citra satelit jauh lebih murah daripada sensor pesawat. Misalnya untuk pemetaan seluas 1786 mil persegi diperlukan waktu 8 tahun dengan pengukuran lapang, dan hanya 18 bulan dengan foto udara, bahkan hanya 6 bulan dengan Landsat.

Tabel 5-14. Harga film udara

Tipe film	Ukuran (feet)	Harga tahun 1984 (\$)	Estimasi Biaya pemrosesan (\$)
Hitam putih / BW	9,5 x 250	260 - 285	0,4 per feet
Infra merah BW	9,5 x 250	520 - 540	0,4 per feet
Negatif warna	9,5 x 200	740 - 760	1 per feet
Positif warna	9,5 x 200	700 - 715	1 per feet
Infra merah warna	9,5 x 200	825 - 840	1 per feet

Sumber : David Lindgren. 1985.

Tabel 5-15. Harga Foto Udara USDA 1984 (\$)

Jenis dan ukuran	Hitam putih			Berwarna		
	kertas	film	kertas	film sesuai pesanan	kertas warna diapositif	film positif
Indek foto 20x24 inchi	5	15	-	-	-	-
Kontak print 10x10 inchi	2	3	5	12	7	12
Perbesaran (inchi)						
12x12	6	10	15	bervariasi	-	20
17x17	7	12	-		-	-
20x20	-	-	20		35	35
24x24	8	15	25		35	35
38x38	25	30	40		45	60

Sumber : David Lindgren. 1985.

Penggunaan Landsat dapat mempercepat hingga 16 kali dibanding dengan pengukuran di lapang dan sekitar 60 kali lebih murah dengan Landsat. Memang tingkat kedetailannya berbeda, tetapi untuk tujuan tertentu hal ini dapat digunakan. Dengan demikian pertimbangan sebelum melakukan suatu pekerjaan sangat menentukan ketelitian dan ketepatan hasil analisis serta kecepatan waktu.

Tabel 5-16. Harga citra Landsat MSS standar 1984 (\$)

Ukuran (cm)	Skala	Bentuk	Hitam putih	Berwarna
18,5	1:1 juta	kertas	30	45
18,5	1:1 juta	film diapos.	30	74
18,5	1:1 juta	film neg.	35	-
37,1	1: 500000	kertas	58	90
74,2	1:250000	kertas	95	175

Sumber : David Lindgren. 1985.

Tabel 5-17. Biaya kajian liputan lahan 1979* (\$)

Item	Survei lapang**	Interpretasi foto udara #	Landsat @
peta, foto, CCT	130,9	4.161,38	400
perjalanan	570,9	minimal	700
pengumpulan	55.000	17.056	3.792
pengukuran dan tabulasi	30.000	8.528	3.700
pengecekan	20.000	5.969	750
lainnya	500	135	5.615
Total	106.201,8	36.049,38	15.957
per mil persegi	59,46	20,18	4,2
Catatan : * A Legislator's Guide to Landsat, Denver: The National Conference of State Legislatures, 1979 ** 8 tahun, 40 kategori, 3 country, 1786 mil persegi # 18 bulan, 5 kategori, 3 country, 1786 mil persegi @ 6 bulan, 16 kategori, 7 country, 3792 mil persegi			

Sumber : David Lindgren. 1985.

SIG YANG OPERASIONAL

Pada dasarnya program komputer yang kemudian juga disebut piranti lunak merupakan kumpulan perintah untuk melakukan suatu fungsi. Program dapat ditulis dalam berbagai bahasa komputer dan ditulis untuk mengakses berbagai media.

Piranti lunak dapat dikelompokkan secara umum menjadi :

- a) Sistem operasi (sistem piranti lunak) yang mengendalikan fungsi otomatis dari suatu komputer, seperti MS-DOS, UNIX dan sebagainya.
- b) Program assembler, compiler, dan interpreter digunakan untuk menterjemahkan bahasa komputer kedalam kode mesin.
- c) Program yang ditulis khusus (program aplikasi), dapat ditulis oleh siapa saja yang punya kemampuan untuk itu.
- d) Program aplikasi persiapan komersial yang memungkinkan untuk mengolah berbagai data atau untuk tujuan permainan (*game*).
- e) Program besar multi fungsi, disebut paket, yang biasanya mempunyai banyak fungsi dalam satu rangkaian.

Piranti lunak SIG akan berada dalam kelompok (e), meskipun untuk menjalankan fungsinya, sistem operasi sangat penting, dan piranti lunak dalam kelompok (b), (c), dan (d) biasanya digunakan sesudah itu. Pemakai biasanya dapat berinteraksi dengan piranti lunak melalui cara memilih menu atau memanggil suatu fungsi.

Piranti lunak SIG umumnya didesain untuk mengelola beberapa atau seluruh fungsi yang ada pada Tabel T-1 di atas. Program SIG pertama yang dibuat di Amerika Utara pada tahun 1970-an diperuntukkan bagi kepentingan swasta dan pemerintah. Dan evolusinya menjadikan piranti lunak SIG kini berkembang lebih dari 50 paket yang beredar di pasaran. Perkembangan piranti lunak ini sangat cepat, dan harganya berkecenderungan menurun. Hampir separuh dari piranti lunak tersebut dapat digunakan di PC, dan ada yang berharga kurang dari \$100 dengan kemampuan cukup bagus. Tabel 5-18 berikut (Dennison Parker, 1989) menggambarkan secara rinci piranti lunak yang ada di pasaran.

Karakteristik piranti lunak SIG

Dalam beberapa kasus, sering tidak praktis untuk memilih jenis piranti lunak tanpa mempertimbangkan macam perangkat kerasnya, karena sebenarnya keduanya berkaitan. Banyak dari piranti lunak yang ditulis untuk perangkat tertentu dan distributor SIG banyak yang mendistribusikan lengkap dengan sistem interaktif sesuai fungsi perangkat. Dengan kata lain dapat diungkapkan bahwa piranti lunak SIG sangat bervariasi.

Apa yang sekarang sering disebut dengan piranti lunak SIG komplit merupakan perkembangan dan penggabungan dari sistem sangat sederhana. Perkembangan yang diawali dari CAD telah menjadi canggih dengan berbagai perkembangan piranti lunak yang didukung oleh fasilitas grafis. Industri remote sensing telah memberikan andil dalam piranti lunak pemrosesan citra, yang kini terintegrasi penuh dengan SIG. Beberapa paket piranti lunak statistik dan DBMS juga bisa diintegrasikan dengan SIG. Dan kini banyak piranti lunak yang dikembangkan berdasar kebutuhan analisis spasial.

Tabel. 5-18. Harga beberapa Piranti Lunak SIG yang ada di pasaran

System Name	Computing Environment	System Type	First Installed	Number of Users	Pricing in US\$	Data Structures	DBMS interfaces
AGIS	PCs/DOS	GIS	1986	12	15000+	Vector, Raster	na
ARC/INFO	DEC, PRIME, DG, IBM, etc.	GIS	1981	nr	nr	Vector	Info, Oracle, Ingres
Aries	DEC VAX/VMS	IP	1978	2004	65000	Raster	na
ATLAS Graphics	PCs/DOS	DM	1984	1000	450-1200	Vector	DIF, Dbase Lotus,,,src.
Axis Mapping Info	PCs/DOS, Sun Apollo, VAX IBM/UNIX	GIS	1978	25+	7500-15000	Vector, Raster	na
CRIES-GIS	PCs/DOS	GIS	1978	60+	1500	Raster	Dbase III
DeltaMap	HP9000, SUN, APOLLO,SGI/UNIX	GIS	1986	100+	8000-80000	Vector, Raster	Oracle, Ingres, Informix
Earth One	PCs/DOS	GIS	1987	40	12000-28000	TIN	na
EPPL7	PCs, PS-2/DOS	GIS	1987	335	500-1000	Raster	Rbase, Dbase III r
ERDAS	PCs/DOS, SUN/UNIX, VAX/VMS	GIS, IP	1979	900+	2000	Raster	Info
Filevision IV	Macintosh	FM,DM	1984	40.000	495	Raster	na
FMS/AC	PCs/DOS, SUN/UNIX, Macintosh	GIS, FM	1987	500	2500-7500	Vector	Dbase, etc.
Gas, Electric, Water & Municipal FM	IBM 370/MVS,VM	GIS, AM, FM	1984-89	22	nr	Vector	IMS, DN-2
Geo Sight	PCs/DOS	GIS, AM	1987	65+	4450	Vector, quadtree	Dbase
Geo-graphics	PCs/DOS	FM	1985	nr	2400	Vector	na
GeoSpread-Sheet	PCs/DOS	GIS	1989	19	595-2490	Vector	na
Geo/SQL, MumMap	PCs/DOS, SUN/UNIX	GIS	1987	240	9500	Vector	Rbase, Oracle, Ingres
Geo Vision	VAX/VMS, ULTRIX, SUN, IBM-RT/AIX	GIS, FM	1976	47	nr	Vector, Raster, quadtree	Oracle
Geo Vision "Geo Pro"	PCs/DOS, Macintosh	AM	1988	2	1995-4995	Vector	SQL & DBF supported
Geovision WOW	PCs/DOS	GIS	1985	1200+	595	Vector	nr
GFIS	IBM S/370 architecture systems	GIS	1977	180+	var	Vector	IMS/DLI, SQL/DB2
Gimms	Mainframes, Minis (inclu, UNIX), PCs/DOS, Macintosh	GIS, DM	1970	300	1500-3000	Vector, Raster	Oracle, SAS, SPSS
GISIN	PCs, PS-2/DOS	FM	1986	5	nr	Vector	Condor
GDS	VAX/VMS, DEC station/Unix	GIS, AM	1980	800+	10000	Object (Vector)	Oracle, etc
GRASS	Sun, MASSCOMP, etc./UNIX	GIS	1985	500-1000	1000	Vector, Raster	nr
IDRISI	PCs/DOS	GIS	1987	700	50-300	Raster	Lotus, Quattro, etc.
IGDS/DMRS	DEC VAX/VMS	CAD-CAE, FM-GIS	1973	137100+	7500-110000	Vector	Informix
IMAGE	PCs/DOS	GIS, IP	1989	100+	995+	Vector	Lotus, Dbase, etc.
Infocam	VAX/VMS	GIS	NR	23	40000-65000	Raster, quadtree	Oracle
Informap	VAX/VMS	GIS	1975	nr	nr	Vector	SQL-based
Land Trek	PCs/DOS	GIS	1983	230	3000-20000	Vector	na
Laser-Scan	DEC VAX/VMS	GIS	1985	150	10000-100000	Vector, Raster	RDB
Mac GIS (Cornell U.)	Macintosh	GIS, AM,FM	1988	nr	150	Vector, Raster	na

System Name	Computing Environment	System Type	First Installed	Number of Users	Pricing in US\$	Data Structures	DBMS interfaces
MacAtlas, PCAAtlas	Macintosh, PCs/DOS	GIS	1985	5000+	79-199	Vector, Raster	na
MacGIS(U.Oregon)	Macintosh	GIS	1987	30	100-300	Raster	Hypercard, etc.
Manatron GIS	Unisys/DOS, UNIX	GIS	1983	60+	nr	Vector, Raster	Oracle, Faspport, Adept, Request, etc.
Map Grafix	Macintosh	GIS, AM	1987	nr	58500	Vector	4 th Dimension, Oracle, Double Helix, Omnis, etc.
Map II	Macintosh	GIS	1989	nr	100	Raster	no
MapInfo	PCs/DOS	GIS	1986	nr	750	Vector	Dbase
MatchMaker/GDT	PCs/DOS	DM	1987	10	5995-8995	Vector	na
Micropips	PCs, PS-2/DOS	AM	1981	250	745-1490	Vector, Raster	
MicroStation GIS	Intergraph/UNIX	GIS	1989	11	8300	Vector, Raster	Oracle, Ingres, Informix
MIPS	PCs/DOS	GIS	1987	nr	2-5000	Vector, Raster	Dbase
MOSS	DG, Prime	GIS, IP	1977	100+	(public)	Vector, Raster	DG/SQL, Oracle
Nucor GIS	PCs/DOS	GIS	1988	10	500-4500	Vector, Raster	ZIM
Pamap GIS	Var./VMS, DOS, UNIX, ACS, CS/2	GIS	1983	200	7500-80000	Vector, Raster	RDB, Oracle, Dbase
Panacea	PCs/DOS	GIS	1986	500	500-2000	Raster	na
PC ARC/INFO	PCs, PS-2/DOS	GIS	1987	nr	nr	Vector	Info
PMAP	PCs/DOS	GIS	1987	180	895-1800	Raster	Dbase
SICAD	Siemens/UNIX	GIS	1978	250	20000	Vector, Raster, quadtree	DB2, Informix, etc.
SPANS	PCs/DOS, OS2	GIS	1985	400	8000+	Vector, Raster, quadtree	nr
Strata GIS	Tektronix/UNIX, IBM, PCs/DOS	GIS	1988	20	7-25000	Vector, Raster	Unity
STRINGS	PCs/DOS	GIS/FM	1979	150	3500-5000	Vector	Ingres, Sybase, Britton Lee
System 600	VAX/VMS, SUN/UNIX	GIS	1984	200	10000-50000	Vector	Ingres
System 9	SUN/UNIX	GIS/IP	1987	25	40000	Vector, Raster	Empress
Territory Mgt.Sys.	PCs/DOS	GIS	1988	25	2950-3950	Vector	Dbase
TigerTools	PCs/DOS	GIS	1989	2	nr	Vector, quadtree	nr
TIGRIS	Intergraph/UNIX Workstations	GIS	1988	18	10000	Vector	na
Topologic	PCs/DOS, OS-2, VAX/VMS	GIS	1987	18	2-7000	Vector, Raster, quadtree	Dbase, RDB
URMap	Apollo, AEGIS Operating System	GIS, AM	1974	40	18000-50000	Vector, Raster	Oracle, Informix, Ingress, IMS, etc.
USEMAP	PCs/DOS	GIS, AM, FM, CADD	1973	3	1500-5000	Vector, Raster	Dbase III
VANGO	VAX/VMS	GIS	1981	98	12000-17000	Vector	UserBase
Zone Ranger/GDT	PCs/DOS	AM	1987	3	5985-8995	Vector	na

(Sumber: FAO. 1991)

Di Amerika dan juga beberapa negara maju lainnya, pemilikan piranti lunak dapat dikategorikan menjadi bersifat pribadi (oleh seseorang atau institusi) dan bersifat umum (*public domain*), dan ada juga yang berada pada kategori di

antara keduanya. Hal ini bisa menjadi masalah karena piranti lunak milik umum dapat dijual dan bisa dikopi dengan harga lebih murah. Bagi kelompok tertentu bisa mengkombinasikannya menjadi paket yang mahal dan komersial.

Kecenderungan dari desain piranti lunak dipengaruhi pula oleh dari mana piranti lunak itu berasal. Dari kalangan universitas akan sering menghasilkan kecenderungan yang berbeda dengan dari kelompok institusi pemerintah maupun swasta. Untuk itu mereka sering memasarkan sesuai dengan versi masing-masing. Pemilihan berdasar kecenderungan ini pun perlu diperhatikan oleh pemakai dalam merencanakan SIG.

Pembuatan paket piranti lunak sangat sulit dan pemberian harganya pun tidak mudah. Hal ini antara lain disebabkan oleh :

- a) Adanya persaingan antara kepentingan swasta dan non swasta dalam pemilikannya,
- b) Banyaknya piranti lunak yang berbeda dengan fungsi yang hampir sama,
- c) Piranti lunak dibuat untuk bermacam tipe komputer,
- d) Tidak adanya standar dalam pemberian harga,
- e) Sering adanya perbedaan harga untuk pelajar, peneliti, atau perusahaan swasta.

Piranti lunak bervariasi dari yang program tunggal hingga per modul, yang memungkinkan untuk dihubungkan dengan SIG untuk memperoleh fungsi khusus hingga diintegrasikan pada seluruh fungsi SIG. Beberapa paket khusus didesain untuk mainframe maupun PC, atau komputer mini. Banyak paket yang disesuaikan dengan keperluan pemakai. Karena itu susah sekali membandingkan antara satu piranti lunak dengan yang lainnya.

Beberapa variasi dalam piranti lunak SIG antara lain dalam :

- a) Kepraktisan (*user friendliness*), dalam arti komunikatifnya antara pemakai dengan piranti lunak seperti sistem menu,
- b) Cara mengintegrasikan grafik dengan atribut,
- c) Struktur DBMS-nya,
- d) Struktur topologi yang digunakan,
- e) Kualitas, kuantitas dan variasi dari penayangan hasil
- f) Kemampuan paket piranti lunak untuk melayani bervariasinya perangkat keras

Kemampuan beberapa piranti lunak SIG

Beberapa paket program SIG akan diuraikan untuk memberikan gambaran tentang fungsi yang ada pada kebanyakan paket SIG.

ILWIS

ILWIS (*The Integrated Land and Water Information System*) merupakan salah satu piranti lunak hasil karya dari ITC (*The International Institute for Aerospace Survey and Earth Science*) Belanda. Pembuatan piranti lunak yang dimulai sekitar tahun 1985 ini, bermula dari keteguhan ITC dalam melaksanakan riset pada bidang SIG untuk zoning tata guna lahan dan manajemen daerah aliran sungai. Pengembangan ini diawali dari pelaksanaan proyek yang disebut '*the Sumatra project*'.

Piranti lunak yang dapat mengolah data raster maupun vektor serta tabular ini mempunyai kemampuan cukup untuk kajian aplikasi remote sensing dan SIG. Konfigurasi perangkat keras yang diperlukan untuk mengoperasikan piranti lunak ILWIS antara lain.

- a) PC dengan prosesor 80286, 80386, 80486 atau lebih dengan sistem operasi MS-DOS versi 3.2 atau lebih,
- b) Matematik co-processor 80287 atau 80387,
- c) Board hitam putih MDA atau Herculer atau setaraf,
- d) Board grafis VESA, atau extended VGA dan Matrox,
- e) Dijitasi yang bisa untuk ASCII dan serial,
- f) Plotter, misal HP-GL,
- g) Printer, seperti Epson 8 dan 24 pin, HP-Paintjet, HP-Laserjet dan setaraf.

Piranti lunaknya yang telah beredar secara komersial, misalnya versi 1.3, dapat diinstall secara otomatis, dengan prosedur sederhana. Disajikan dalam bentuk menu dengan struktur menu yang dapat dibuat oleh pemakai. Terdapat perintah berurutan (*command line execution*) dan juga batch file. Terdapat sarana *password*, dan perintah DOS dapat dioperasikan tanpa keluar dari sistem. Dengan paket ini dapat dilakukan konversi data vektor ke dan dari Arc/Info, Auto-CAD-DXF, Integraph-SIF, HPGL, Syscan, dan sebagainya. Juga data raster ke dan dari Erdas, Geosoft, GIF, LIP, Windows bitmap, dan sebagainya. Data tabel ke dan dari

dBase-DBF, Lotus-DIF juga dapat dikonversi. Beberapa fungsi paket ini antara lain seperti uraian berikut.

A. Vektor

- a) Dijitasi, dapat mendijit berbagai ukuran peta, dengan geo-referensi otomatis. Dijitasi titik dan segment, data reduksi, pemotongan dan perbesaran, serta kemampuan mengedit.
- b) Kopi, adanya fasilitas pemilihan kode, merubah kode, seleksi daerah tertentu, integrasi peta, menghilangkan atau memindah titik dan sebagainya.
- c) Poligon, terdapat fungsi pembuatan poligon otomatis, deteksi kesalahan poligon, kodifikasi, perhitungan luas dan perimeter, seleksi dengan kursor dan pengkodean kembali.
- d) Rasterisasi, dapat dengan unit peta atau poligon, segment, titik, atau grid, dan bahkan daerah yang ditentukan oleh pemakai.
- e) Lainnya, konversi otomatis dari raster ke vektor, pemberian kode label ke poligon, pembuatan label, transformasi proyeksi, tumpang tindih raster dan vektor, penyusunan order Strahler dan sebagainya.

B. Raster

- a) Visualisasi, perbesaran menurut keinginan pemakai, perentangan citra, edit tabel, tumpang tindih, penayangan nilai *pixel*, dan penayangan tiga dimensi.
- b) Modeling spasial, penerapan fungsi matematis, aritmatik, dan logika. Manipulasi peta dengan atribut dan tabel, *cross-table*, agregasi, fungsi statistik, jarak, dan pembuatan poligon Thiessen.
- c) Interpolasi, antar *isoline*, pembuatan kemiringan, pembuatan isoline dari titik maupun grid.
- d) Georeferensi, dengan lintang bujur, pembesaran sekitar titik kontrol, transformasi proyeksi, *resampling*, dan juga *merging*.
- e) Pemrosesan citra, manipulasi data, perentangan histogram, histogram *equalization*, komposit warna, filter 3x3 dan 5x5 dan sebagainya
- f) Statistik, penghitungan histogram, statistik kanal ganda, penghitungan nilai minimum hingga korelasi, dan juga PCA.

- g) Klasifikasi, sampling, penayangan obyek saat sampling, *clustering*, klasifikasi *parallelepiped*, *nearest neighbour*, *maximum likelihood*, dan *density slicing*.

C. Tabel

- a) Atribut tabel, manipulasi dengan aritmatik, logika, matematik dan juga menurut ketentuan pemakai. Pengeditan, penggabungan, penayangan grafik, penghitungan korelasi dan juga *least square fit*.
- b) Tabel lain, penampilan tabel dua dimensi dan tabel klasifikasi serta kemudahan mengedit.

D. Keluaran

- a) Anotasi, pemberian legenda atau simbolisasi sesuai dengan desain peta secara kartografis
- b) *Plotting*, pencetakan ke file, printer, maupun ploter dengan teks, simbol, titik, garis, dan sebagainya dalam penampilan hitam putih atau warna dalam kombinasi peta vektor
- c) *Printing*, pencetakan ke file, printer, maupun ploter dengan teks, simbol, titik, garis, dan sebagainya dalam penampilan hitam putih atau warna dalam kombinasi peta vektor dan raster.

Piranti lunak ILWIS dapat dibeli dengan variasi harga untuk pembelian pertama antara 900.000 yen (untuk lembaga *non-profit*) hingga 1.600.00 yen (untuk lembaga *profit*). Harga tersebut dibeli di Jepang pada tahun 1993 (1 yen=Rp. 20,-). Pembelian seharga tersebut akan mendapatkan *piranti lunak* dalam bentuk disket 3,5 inchi atau 5,25 inchi sebanyak 5 buah, *hard-key* 1 buah, manual bahasa Inggris 1 buah, Tutorial 1 buah, dan demonstrasi 2 buah. Pembelian ini dapat dialamatkan misalnya ke agen di negara setempat atau langsung ke : ITC-ILWIS Marketing Group 350, Boulevard 1945, PO Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands. Fax. 31-53-874-436.

IDRISI

Piranti lunak tanpa *hard-key* ini, merupakan salah satu yang termurah dari piranti lunak SIG, merupakan *raster-based* SIG yang dapat mengoperasikan fungsi cukup banyak. Piranti ini dikembangkan di Universitas Clark Amerika Serikat, dan

diperuntukkan buat PC. Piranti ini didesain untuk riset yang tidak mahal dan sarana pengajaran yang dapat menjadi sarana pertukaran dan pengembangan program. Pemakai dapat membuat program sendiri dan dapat menghubungkannya dengan piranti lunak tersebut. Pemakai dapat bertukar informasi melalui buletin elektronik IDRISI.

Dengan IDRISI pemakai dapat mengakses beberapa data dari berbagai piranti lunak seperti ERDAS, ARC/Info, NWA Statpack, Map Analysis Package, pMap, Microchips Ega, Odessey, Autocad, Landsat data files, USGS DLG files, USGS CTG files, Spreadsheet files, Quatro, Professional file 2.0, BIL image file, dan citra tanpa header. Dalam paket ini juga terdapat batch file dan meta program. Piranti lunak ini dapat beroperasi pada sistem komputer tipe 80286 atau lebih dengan PC-DOS atau MS-DOS versi 2.11 atau lebih, dengan menggunakan disket 5,25 atau 3,5 inci. Diperlukan memori internal minimal 128 KB dan dua *drive* pembaca flopi disket, meskipun akan lebih optimal kalau mempunyai hard disk, monitor warna dan printer dot matrik. Dengan konfigurasi memori 640 KM, sistem ini secara teoritis dapat memproses citra seluas 10.000 kolom x 32.767 baris.

Gambar 5-6 merupakan salah satu contoh dari keluaran menggunakan modul '*Image*' yang menunjukkan hasil klasifikasi liputan lahan sebagian Daerah Yogyakarta, Indonesia dengan citra Landsat 1984. Sejumlah 32 tingkat ketajaman dapat dicetak dengan perangkat ini. Versi yang sekarang beredar Idrisiwin Ver 2.0 (1997) seharga sekitar \$ 800 US untuk pembelian dari instansi pemerintah, \$ 500 US untuk perguruan tinggi. Pembelian dengan harga tersebut memperoleh satu set CD ROM atau disket program dan data demo, manual dan tutorial.

Pembelian atau komunikasi selengkapnya dapat dialamatkan ke 'The IDRISI Project, The Graduate School of Geography, Clark University, 950 Main Street, Worcester, MA 01610, USA'.

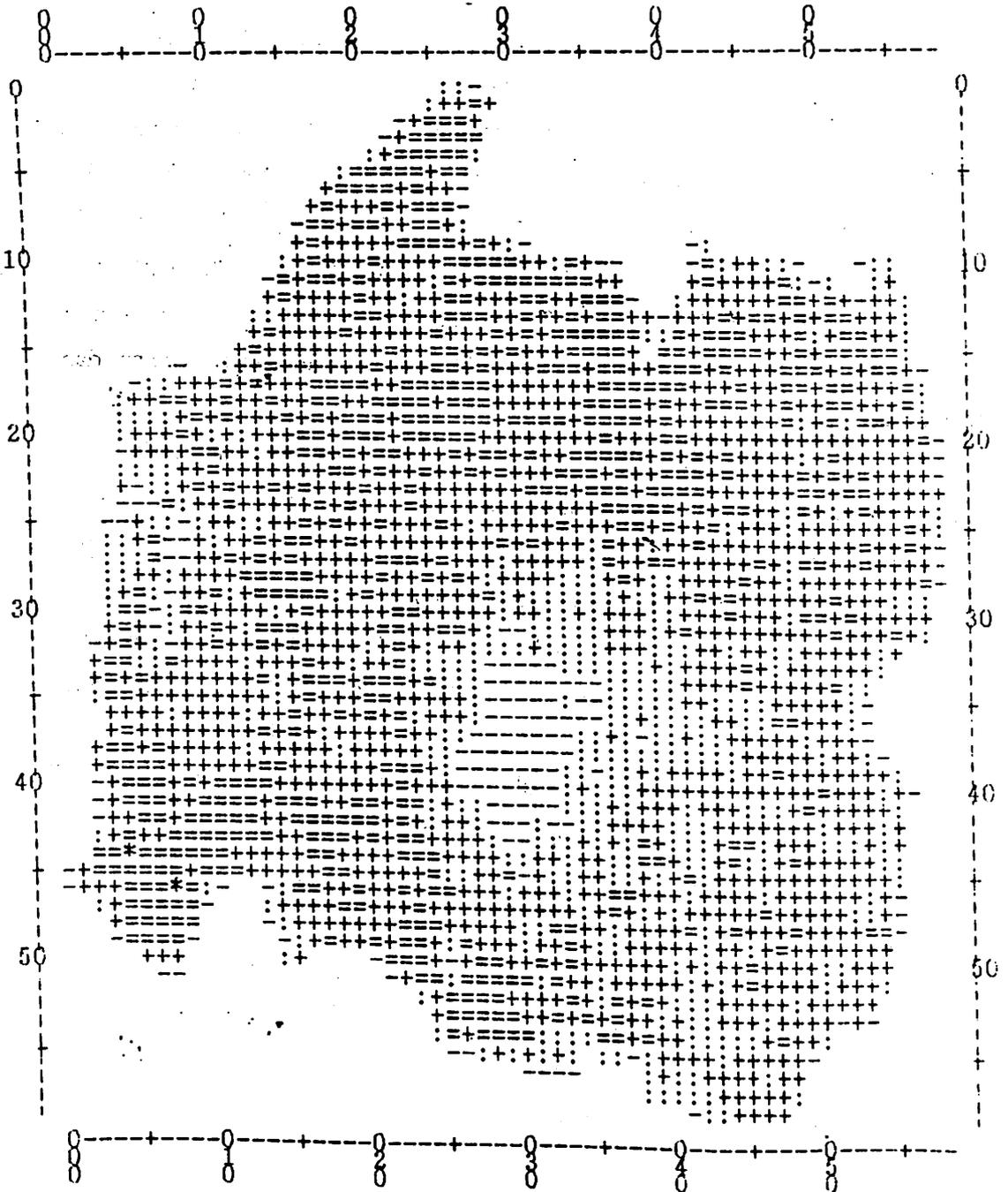
ARC/INFO

Piranti lunak ini disupply oleh ESRI (*Environmental System Research Institute*) California. ESRI mengklaim bahwa produk ini merupakan salah satu dari SIG yang paling laris di dunia. ARC/INFO didesain untuk dioperasikan pada komputer mini

32-bit atau mainframe, dan juga IBM PC/AT dan kompatibelnya, serta workstations 32-bit. Sistem ini menyajikan banyak fungsi dari SIG (Tabel 5-15), dan khususnya pada model data relasional serta topologi untuk tujuan entry, analisis, dan manajemen data serta komunikatif dengan pemakai. ARC/INFO menggunakan sebuah cara integrasi Henco INFO RDBMS, tetapi juga memungkinkan pemakai untuk mengintegrasikan RDBMS lain seperti ORACLE, INGRESS dan dBASE III. Penggunaan data spreadsheet, seperti Lotus juga dapat dikonversi ke ARC/Info. Integrasi ini akan menambah fungsi termasuk manajemen transaksi data, multi user access, data dictionary, dan penggunaan editor layar untuk memasukkan dan memperbarui atribut.

ARC/INFO merupakan gabungan dua komponen piranti lunak : ARC yang digunakan untuk mengelola data kartografi, dan INFO yang digunakan untuk mengelola data tabular yang berkaitan dengan atribut tersebut. Sistem ini dapat beroperasi pada lima sistem komputer yang berlainan : Prime, DEC VAX, Data General, IBM (VM/CMS), dan Sun serta IBM PC/AT dengan kompatibelnya. Ini mempunyai sejumlah driver grafis dan berisi *Tektronix IGL Library* yang memungkinkan pemakai untuk menulis driver yang dimilikinya. ARC/INFO menyediakan kemampuan untuk mencetak dalam ploter, baik yang biasa maupun resolusi tinggi, seperti elektrostatis warna. Harga piranti lunak pada komputer mini dan mainframe berkisar antara \$20,000 dan \$90,000, tergantung ukuran mesin, jumlah paket dan lokasi. Versi PC dijual dengan harga per module sekitar \$1,000 hingga \$2,500. Untuk instalasi PC ARC/INFO lengkap dengan hardware (perangkat keras) sederhana bisa diperlukan modal awal sekitar \$50,000.

Piranti ini, khususnya untuk PC, terdiri dari paling tidak 5 modul, yaitu Starter Kit, Arc Plot, Arc Edit, Overlay, Data Conversion, Network. Untuk dapat mengoperasikan pada PC paling tidak tiga module yang disebut pertama harus diinstal. Piranti yang memerlukan hard-key ini dapat dibeli di agen distribusi di negara setempat atau langsung ke ESRI, Environmental Systems Research Institute, Inc., 380 New York Street, Redlands, California 92373-8100 USA. Fax. (714) 793-5953.



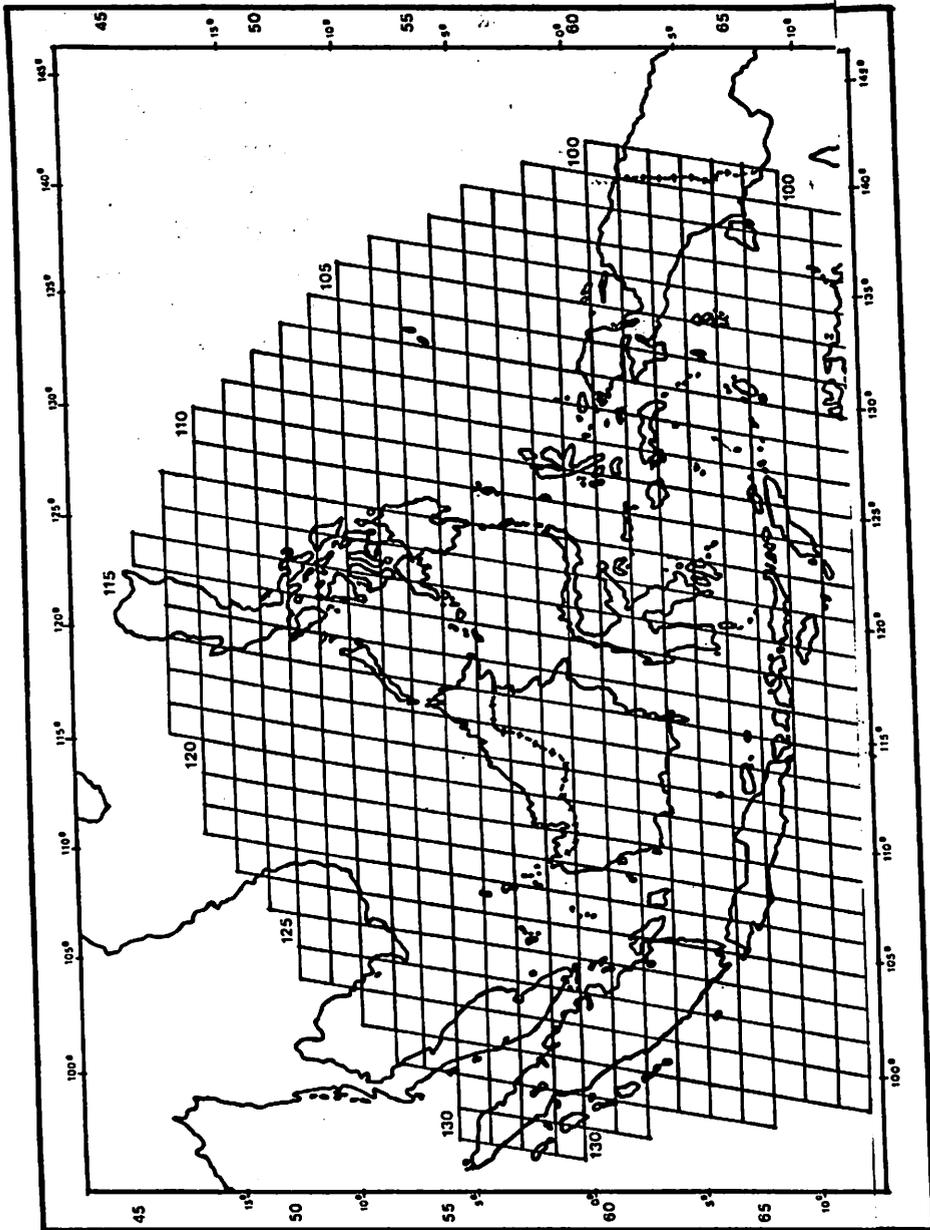
---	0	1107	cells	=	31.80 %
:::	1	154	cells	=	4.42 %
+++	2	375	cells	=	10.77 %
===	3	1217	cells	=	34.96 %
***	4	626	cells	=	17.98 %
	5	2	cells	=	0.06 %

Gambar 5-6. Contoh keluaran dengan modul *Image* dalam IDRISI

Tabel 5-15. Fungsi SIG dari ARC/INFO

A. Data Tabular		
Entry Data	Dijitasi grafik	Analisis perkiraan
Pembaruan	COGO (entri data survei)	Penghitungan jarak
Manajemen File	Pengeditan grafik	Penghitungan luasan
Manipulasi	Penggabungan peta	Agregasi spasial
Analisis statistik	Overlai poligon	Analisis contiguity
Query	Konversi raster/vektor	Analisis jaringan
Pelaporan	Generalisasi poligon	Query spasial
	Baris/Titik ke poligon	Tayangan grafis
	Transformasi	Pemetaan titik, garis, dan poligon
	Buffer	Simbolisasi
	Window	Anotasi
	Filter	

Sumber : FAO. 1991, ESRI. 1990



Gambar 5.7. Contoh peta index cakupan Landsat MSS wilayah Indonesia
 ; sumber : Lapran;

REMOTE SENSING DAN SIG DALAM PERENCANAAN DAN PEMBANGUNAN

PENGERTIAN PERENCANAAN DAN PEMBANGUNAN

Perencanaan berasal dari kata rencana. Dalam bahasa Inggrisnya adalah *plan*. *Plan* bisa berarti rencana dan denah. Dua pengertian ini sangat berbeda. Dalam buku ini yang dimaksud dengan *plan* adalah yang berarti rencana. Rencana merupakan kehendak atau keinginan, atau kebijakan. Seperti *Master Plan* yang merupakan rencana induk yang berisi kebijaksanaan-kebijaksanaan dan rencana kegiatan. Rencana induk kota merupakan kebijaksanaan dan rencana kegiatan yang mencakup jangka waktu panjang, yang menjadi induk daripada rencana-rencana kota untuk kurun waktu yang lebih pendek. Menurut I Made Sandy, rencana induk kota bukanlah peta yang menggambarkan zone peruntukan tanah, dalam jangka waktu panjang.

Tiga unsur pokok dalam suatu rencana adalah : a). tujuan atau sasaran, b). arah, dan c). titik awal. Tujuan atau sasaran adalah kondisi atau tingkat keadaan yang ingin dicapai dalam jangka waktu tertentu. Arah merupakan hal-hal yang diperkenankan dan yang tidak diperkenankan dalam usaha untuk mencapai tujuan, disamping hal-hal yang harus diperhitungkan. Sedangkan titik awal adalah kondisi fakta yang didapati pada saat kegiatan pembangunan akan dilaksanakan.

Pembangunan adalah kegiatan membangun. Membangun merupakan usaha yang bertujuan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat, baik lahir maupun batin. Pembangunan nasional Indonesia bertumpu pada trilogi yaitu pemerataan, pertumbuhan dan stabilitas nasional. Tiga hal ini merupakan tumpuan utama untuk melaksanakan sistem pembangunan yang diamanatkan dalam Garis-Garis Besar Haluan Negara (GBHN) yang berisi :

- A. Pola Dasar Pembangunan Nasional
- B. Pola Umum Pembangunan Jangka Panjang, untuk 25-30 tahunan
- C. Pola Umum Pelita, untuk kurun waktu lima tahunan.

Dalam prakteknya ketiga pola tersebut dilaksanakan dalam bentuk jabaran bidang. Satu bidang terdiri dari beberapa sektor. Satu sektor terdiri dari beberapa program. Dan satu program terdiri dari beberapa proyek. Proyek merupakan ujung tombak dari seluruh rangkaian kegiatan pembangunan di Indonesia. Dalam pelaksanaan kebanyakan proyek, peta sangat diperlukan untuk memperlancar pencapaian tujuan.

Peta merupakan alat yang paling baik untuk membantu perencanaan dan pelaksanaan pembangunan. Penggunaan peta akan baik kalau disesuaikan dengan kebutuhan tujuan. Seperti peta untuk perumusan kebijaksanaan umum selayaknya mempunyai skala lebih kecil daripada peta untuk operasional. Peta dapat diperoleh dengan cara pengukuran langsung di lapangan atau dengan menggunakan interpretasi dari foto udara maupun citra satelit. Dengan peta akan didapatkan informasi penyebaran obyek dan keterkaitannya secara spasial (keruangan). Penumpang-tindihan (tumpangsusun) beberapa peta dengan skenario tertentu akan dihasilkan informasi yang lebih bermanfaat daripada sekedar informasi dari satu peta. Dalam kaitan itu di bawah ini akan disajikan beberapa contoh penerapan metode tumpangsusun tersebut dengan satu skenario analisis perubahan penggunaan lahan dan kesesuaian lahan yang analisisnya dilaksanakan dengan bantuan komputer.

APLIKASI DALAM STUDI PENGGUNAAN LAHAN

Pertumbuhan penduduk khususnya di kota besar mengalami pertumbuhan sangat cepat akhir-akhir ini. Menurut Hans de Brower, di negara berkembang pertumbuhannya dapat mencapai 6% per tahun. Hal ini akan membawa dampak yang kurang baik terhadap penyiapan prasarana yang diperlukan dan juga terhadap penyerobotan lahan pertanian, yang biasanya berlokasi di perbatasan daerah suburban. Kecenderungan penyerobotan lahan produktif tersebut telah diungkapkan oleh Departemen Pertanian Indonesia, bahwa pada tahun 2000 nanti berkurangnya lahan pertanian akan mencapai sekitar 2,2 million hektar. Dan bahkan perluasan lahan pertanian di luar Jawa tidak dapat mengganti jumlah lahan produktif yang

hilang tersebut (Soetatwo Hadiwigeno. 1988 pada Hadi Sabari. 1990).

Pada bagian ini akan diuraikan kemungkinan penggunaan kombinasi data remote sensing dan peta tematik untuk mengkaji kecenderungan perubahan lahan di suburban Yogyakarta. Tujuan utama studi adalah untuk mengetahui pola kecenderungan perubahan lahan di daerah tersebut, untuk mengetahui jumlah perubahan serta lokasi penyebarannya. Data utama yang digunakan dalam analisis adalah citra MSS Landsat bulan Mei 1972 dan Oktober 1984 serta peta tematik jaringan jalan skala 1:100.000. Kedua MSS tersebut telah dikoreksi kesalahan radiometris dan geometrisnya. Peta/citra tersebut telah di-registrasi dan dilakukan *resampling* dengan ukuran pixel 100x100 m.

Peta jaringan jalan yang terdiri dari tiga kategori, yaitu a) jalan aspal/jalan utama, b) jalan batu-diperkeras/sekonder, dan c) jalan setapak, didijitasi dengan ARC/Info. Hasil dijitasi yang berformat vektor kemudian dikonversi ke format raster dengan ukuran pixel 100x100 m. Pixel ukuran ini yang digunakan sebagai dasar dalam *resampling* dan penyamaan koordinat geografis kedua citra MSS tersebut. Kemudian peta jalan yang telah dikonversi dianalisis untuk mendapatkan kategori sebagai berikut : a) kurang 200 m jarak sepanjang jalan utama, b) 200-400 m sepanjang jalan utama dan kurang 200 m sepanjang jalan sekonder, c) 400-600 m sepanjang jalan utama, d) 200-400 m sepanjang jalan sekonder, dan e) kategori lainnya. Kelima kategori jalan ini digunakan untuk mengevaluasi kecenderungan pertumbuhan permukiman di daerah studi. Dengan asumsi bahwa pertumbuhan permukiman di daerah ini cenderung lebih mengikuti arah paralel atau sejajar dengan jalan.

Daerah yang dikaji seluas 578,14 km², terdiri dari 33 kecamatan, meliputi 14 kecamatan seluruh Kodya Yogyakarta (kode 101-114), 13 kecamatan bagian dari Kabupaten Sleman (kode 201-214 tidak berurutan), dan 6 kecamatan bagian dari Kabupaten Bantul (kode 301-314 tidak berurutan). Penomoran tersebut sesuai dengan kode penomoran kecamatan yang tercantum dalam publikasi Biro Pusat Statistik.

Citra MSS diklasifikasi dengan menggunakan metode *maximum likelihood classification* (MLC) dalam piranti lunak IDRISI. Lokasi 464 pixel sampel yang

terdiri dari 14 subkategori tersebut sama untuk kedua citra. Dengan ketelitian sampel sekitar 70% kedua MSS tersebut dikategorikan menjadi 4 kelas, yaitu : a) permukiman, b) kebun campur, c) lahan persawahan, dan d) lahan terbuka.

Nilai indek untuk memperkirakan kecenderungan perubahan lahan dihitung dari tumpang-susun kedua hasil analisis MLC tersebut dengan rumus berikut :

$$S_{n\alpha i} = S_{\alpha i t} - S_{\alpha i 0} \quad (6-1)$$

$$I_{n\alpha i} = S_{n\alpha i} / A_{ki} \quad (6-2)$$

$$I_{o\alpha i} = L_{o\alpha i} / A_{ki} \quad (6-3)$$

$$I_{g\alpha i} = \{((I_{n\alpha i t}) / (I_{n\alpha i 0})) * 100\% - 100\%\} \quad (6-4)$$

$$M_{g\alpha} = \{\sum I_{g\alpha i} / k\} / \{T_t - T_0\} \quad (6-5)$$

dalam hal ini:

$S_{n\alpha i}$: luas permukiman baru yang berasal dari tiap kategori *land use/cover* sebelumnya di kecamatan i;

I : nomor kecamatan;

t : tahun belakangan (misal 1984);

0 : tahun sebelumnya (misal 1972);

$\alpha = p$ (lahan persawahan), m (kebun campur), b (lahan terbuka);

$I_{n\alpha i}$: indek dari permukiman baru yang berasal dari tiap kategori *land use/cover* sebelumnya di kecamatan i;

A_k : luas dari setiap kecamatan;

$I_{o\alpha i}$: indek dari tiap kategori *land use/cover* sebelumnya di kecamatan i;

$L_{o\alpha i}$: luas tiap kategori *land use/cover* tahun sebelumnya di kecamatan i;

$I_{g\alpha i}$: persentase pertumbuhan $I_{n\alpha i}$ di kecamatan i;

$I_{n\alpha i t}$: $I_{n\alpha i}$ untuk periode berikutnya di kecamatan i (misal 1984-1990);

$I_{n\alpha i 0}$: $I_{n\alpha i}$ pada periode awal di kecamatan i (misal periode 1972-1984);

$M_{g\alpha}$: rata-rata pertumbuhan permukiman per tahun;

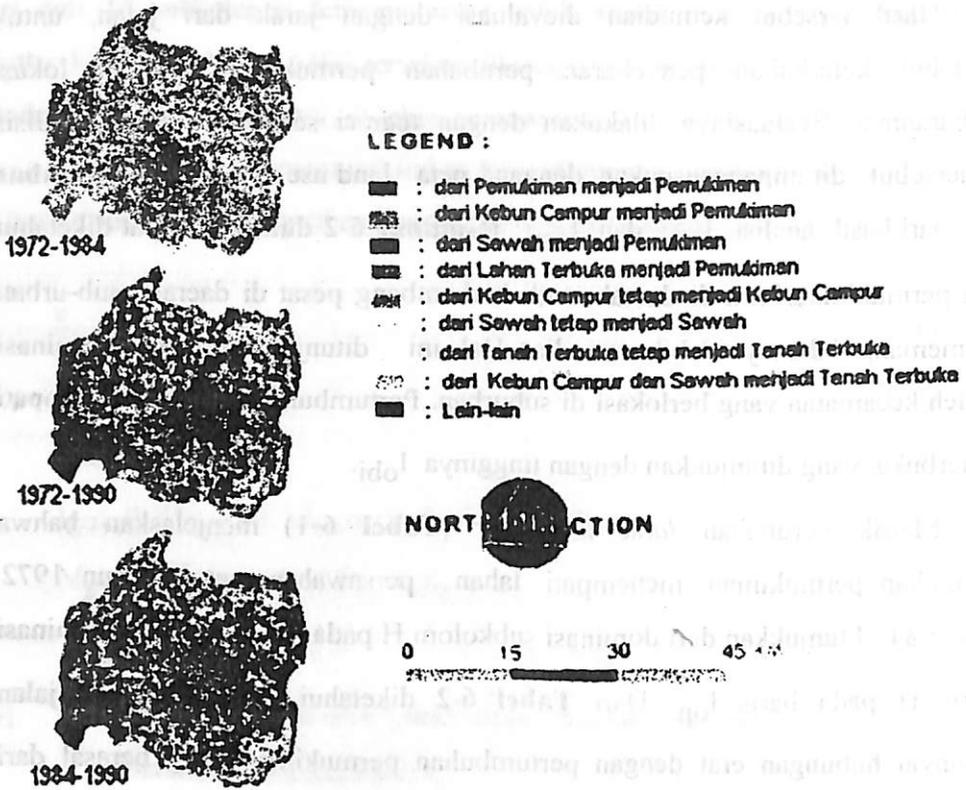
$\sum k$: jumlah kecamatan;

$T_t - T_0$: periode perubahan (misal 1990-1984= 6 tahun).

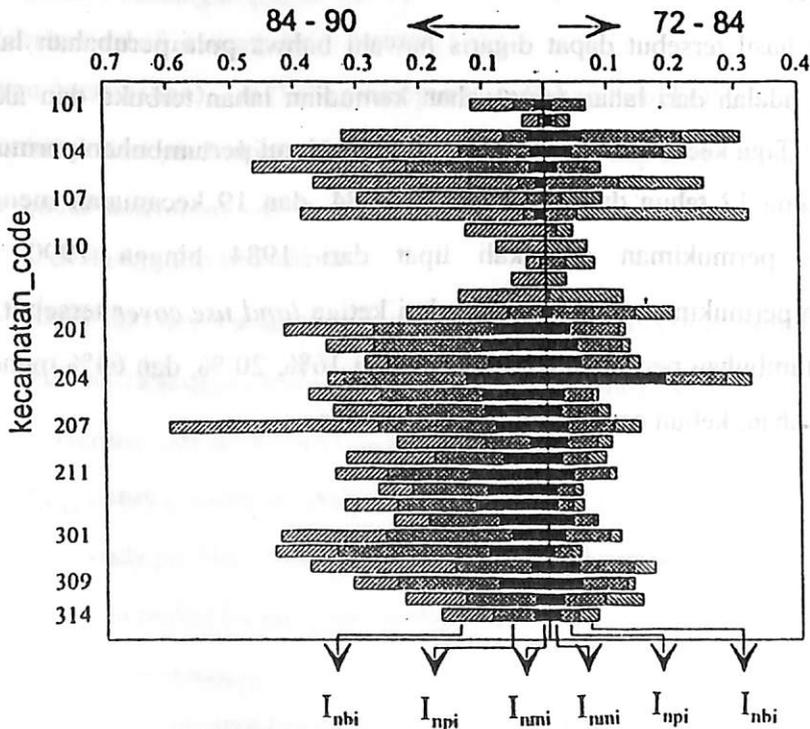
Hasil tersebut kemudian dievaluasi dengan jarak dari jalan, untuk mengetahui keterkaitan penyebaran perubahan permukiman dengan lokasi penyebarannya. Evaluasinya dilakukan dengan regresi sederhana. Hasil analisis MLC tersebut ditumpangsusunkan dengan peta land use tahun 1990 (Gambar 6-1). Dari hasil analisis I_{nci} dan I_{oci} (Gambar 6-2 dan 6-3) dapat diketahui bahwa permukiman baru di daerah studi berkembang pesat di daerah sub-urban yang memang lahannya lebih tersedia. Hal ini ditunjukkan dengan dominasi I_{nci} oleh kecamatan yang berlokasi di suburban. Pertumbuhan tersebut menempati lahan terbuka, yang ditunjukkan dengan tingginya I_{obi} .

Matrik perubahan *land use/cover* (Tabel 6-1) menjelaskan bahwa pertumbuhan permukiman menempati lahan persawahan untuk tahun 1972 hingga 1984, ditunjukkan dari dominasi subkolom H pada kolom I_{np} dan dominasi subbaris H pada baris I_{op} . Dari Tabel 6-2 diketahui bahwa jaringan jalan mempunyai hubungan erat dengan pertumbuhan permukiman yang berasal dari lahan persawahan, dan r terbesar berada pada daerah antara 200 - 400 m sepanjang jalan sekunder.

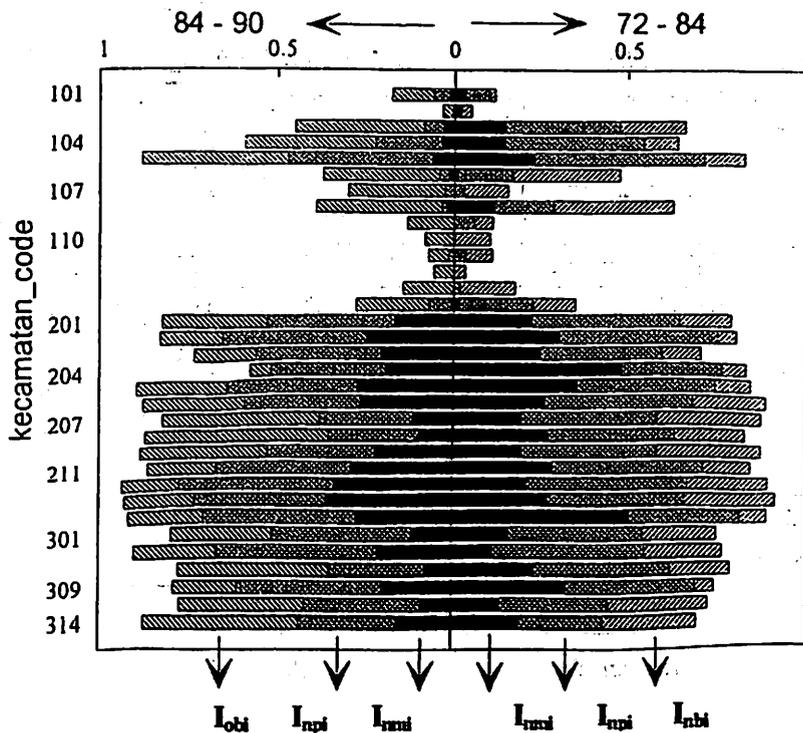
Dari hasil tersebut dapat digaris bawahi bahwa pola perubahan lahan di daerah studi adalah dari lahan persawahan kemudian lahan terbuka dan akhirnya permukiman. Tiga kecamatan di daerah studi mengalami pertumbuhan permukiman > 100% selama 12 tahun dari 1972 hingga 1984, dan 19 kecamatan mengalami pertumbuhan permukiman dua kali lipat dari 1984 hingga 1990. Kalau pertumbuhan permukiman hanya berasal dari ketiga *land use/cover* tersebut, maka rata-rata pertumbuhan per tahunnya berkisar dari 16%, 20 %, dan 64% menempati lahan persawahan, kebun campur, dan lahan terbuka.



Gambar. 6-1. Citra perubahan land use/cover di DIY 1972, 1984, 1990



Gambar 6-2. Hasil perhitungan indeks Inci tahun 1972-1984 dan 1984-1990



Gambar 6-3. Hasil perhitungan indeks loci tahun 1972-1984 dan 1984-1990

Tabel 6-1. Matrik Perubahan Penggunaan Lahan

	1972 - 1984			1972 - 1990			1984 - 1990			
	I_{npi}	I_{nmi}	I_{nbi}	I_{npi}	I_{nmi}	I_{nbi}	I_{npi}	I_{nmi}	I_{nbi}	
	TSR	TSR	TSR	TSR	TSR	TSR	TSR	TSR	TSR	
I_{opi}	T	21 1 0	0 14 8	1 7 14	19 4 1	2 16 6	3 5 16	13 1 0	0 8 6	1 5 8
	S	0 10 0	2 2 6	8 0 2	3 0 0	0 1 2	0 2 1	1 18 0	0 5 14	18 1 0
	R	0 0 1	0 1 0	1 0 0	1 5 0	0 1 5	5 1 0	0 0 0	0 0 0	0 0 8
I_{omi}	T	0 2 0	2 0 0	0 0 2	1 0 0	0 0 1	0 1 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0
	S	13 2 1	0 15 1	3 1 12	15 4 1	2 13 5	3 4 13	9 6 0	0 13 2	6 1 8
	R	8 7 0	0 2 13	7 6 2	0 5 7	0 5 7	5 3 4	5 13 0	0 0 18	13 5 0
I_{obi}	T	0 8 1	0 3 6	9 0 0	2 0 0	0 1 1	0 1 1	1 19 0	0 5 15	19 1 0
	S	8 1 0	0 2 7	1 6 2	17 2 1	0 14 6	3 5 12	4 0 0	0 0 4	0 4 0
	R	13 2 0	2 12 1	0 1 14	4 7 0	2 3 6	5 2 4	9 0 0	0 8 2	0 1 8

Catatan : I_{npi} , I_{npi} dan I_{nbi} adalah pemukiman baru masing-masing berasal dari sawah, kebun campuran, tanah kosong; I_{opi} , I_{omi} dan I_{obi} adalah indeks land use/cover sebelumnya masing-masing untuk sawah, kebun campuran, dan tanah terbuka; T: tinggi, S: sedang, dan R: rendah; Sebagai contoh nilai 21 berarti ada 21 kecamatan yang mempunyai situasi yang sama tingginya pada kedua I_{npi} dan I_{opi} .

Tabel 6-2. Koefisien Korelasi Land use/cover dan Jaringan Jalan

Periode Perubahan	Kategori Pemukiman yang berasal dari	Jarak dari Jalan-1 <200 U	Jarak dari Jalan-2 <400 U <200 S	Jarak dari Jalan-3 <400 S	Jarak dari Jalan-4 <600 U	Jarak dari Jalan-5 Lain-lain
1972 sampai 1984	Kebun campuran	0,67	0,57	0,52	0,65	0,57
	Sawah	0,81	0,83	0,92	0,74	0,78
	Tanah Terbuka	0,68	0,66	0,76	0,67	0,61
1984 sampai 1990	Kebun campuran	0,91	0,88	0,85	0,82	0,69
	Sawah	0,92	0,93	0,94	0,89	0,73
	Tanah Terbuka	0,72	0,69	0,79	0,72	0,86
1972 sampai 1990	Kebun campuran	0,92	0,83	0,81	0,75	0,72
	Sawah	0,89	0,89	0,93	0,88	0,74
	Tanah Terbuka	0,71	0,72	0,76	0,72	0,73

Catatan : U adalah jarak dari jalan utama (m), S adalah jarak dari jalan sekunder (m)

APLIKASI DALAM STUDI KESESUAIAN LAHAN

Kesesuaian lahan atau *land suitability* dibedakan menjadi *potential land suitability* dan *actual current land suitability* (FAO. 1976. Vink, APA. 1975). Semuanya mengandung pengertian kecocokan lahan untuk satu penggunaan tertentu, bedanya kalau *current land suitability* memberikan indikasi untuk menggunakan lahan tersebut tanpa adanya satu *land improvement* dengan modal/beaya besar selama jangka waktu sekitar 10 tahun, sedangkan *potential land suitability* memerlukan *land improvement*, biasanya dengan modal/beaya besar.

Banyak metode yang dapat diterapkan untuk mengestimasi kesesuaian lahan tersebut. Antara lain metode PATTERN (*Planning Assistance Through Technical Evaluation of Relevance Numbers*) oleh M. Nasu (1983), metode Ranking oleh S. Sakai (1984) dan T. Akiyama dan K. Miyama (1983), *Principal Component Analysis* (PCA) oleh M. Ishikawa serta *Multiple Regression* oleh Y. Matsuo (1983). Pendekatan tersebut didasarkan pada penggunaan data kuantitatif, padahal data asli masukannya kebanyakan kualitatif. Metode kuantifikasi data kualitatif, sejauh ini belum diperkenalkan. Untuk itu, pada contoh ini akan diperkenalkan penggunaan metode kuantifikasi dengan menggunakan teori kuantifikasi.

Berikut ini contoh penggunaan perpaduan data remote sensing dengan peta tematik untuk estimasi *current land suitability* untuk daerah Yogyakarta dan *potential land suitability* untuk Samarinda. Sampel untuk analisis diperoleh dari peta tataguna lahan (BPN) dan peta kesesuaian lahan hasil pengukuran lapang (IPB). Estimasi kesesuaian lahan tersebut dilakukan dengan menggunakan teori kuantifikasi II sebagai berikut :

dalam hal ini:

$$Y_{i\alpha} = \sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^{C_j} \delta_{i\alpha(jk)} a_{jk}$$

$Y_{i\alpha}$: nilai yang diestimasi,

i : sebuah elemen dari total elemen pada *objective variable*,

α : harga numerik untuk elemen ke i ,

R : kategori dalam total item j ,

C_j : kategori ke k dalam item ke j ,

a_{jk} : koefisien evaluasi,

$\delta_{i\alpha(jk)} = 1$ kalau item j ada respon terhadap kategori k ,

$\delta_{i\alpha(jk)} = 0$ kalau item j tidak ada respon terhadap kategori k .

Beberapa kombinasi peta tematik dan data remote sensing disimulasikan untuk mendapatkan *correlation ratio* (η^2) terbesar serta urutan nilai η^2 yang rasional. Data tersebut sebelumnya telah dilakukan pemrosesan awal seperlunya untuk tujuan analisis ini. Hasil analisis menggunakan program yang ditulis dalam bahasa C (terlampir) berupa skor kategori (*category scores*), *correlation ratio* dan citra hasil analisis asli. Berdasar nilai skor kategori tersebut, yang mencerminkan urutan tingkat kesesuaian lahan, citra hasil analisis asli dikonversi ke dalam citra yang mempunyai julat 0 hingga 225. Citra ini menunjukkan urutan kesesuaian lahan yang tercermin dari kategori paling rendah ke paling tinggi kesesuaiannya. Citra ini kemudian diklasifikasi ulang (*reclass*) sesuai dengan keperluan penampilan dan dianalisis.

Contoh hasil nilai skor kategori untuk analisis daerah Yogyakarta seperti

pada Tabel 6-3. Citra hasil konversi untuk kedua daerah tersebut yaitu citra kesesuaian lahan ditunjukkan pada Gambar 6-4. Citra hasil survei kesesuaian lahan daerah Samarinda disajikan pada Gambar 6-5.

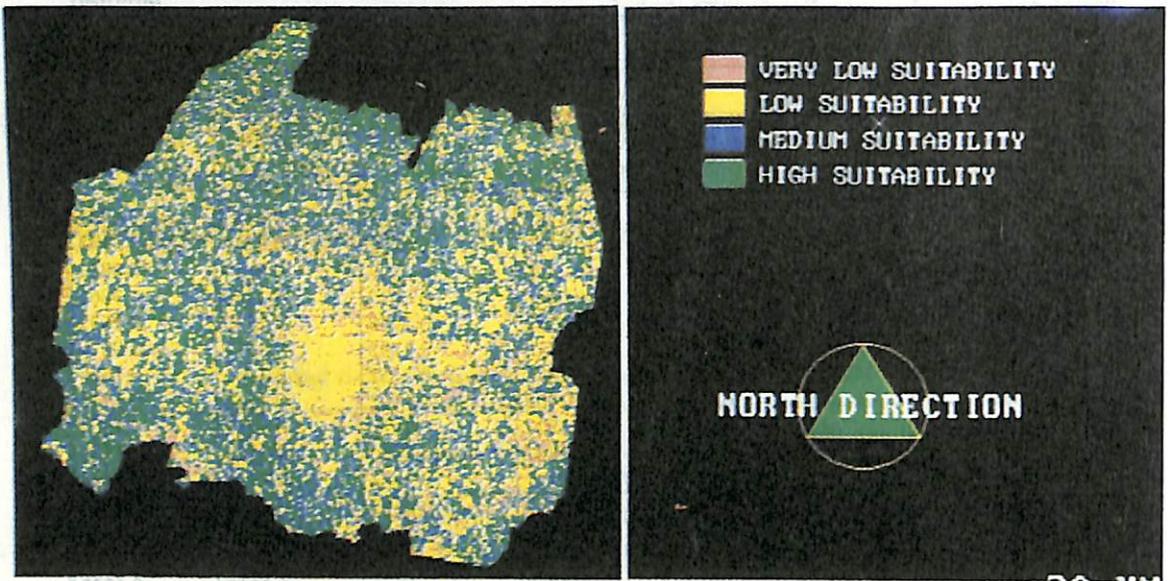
Dari uraian tersebut dapat ditunjukkan adanya kemungkinan penggunaan kombinasi data remote sensing dan peta tematik untuk estimasi kesesuaian lahan menggunakan pendekatan kuantifikasi dengan hasil yang cukup rasional.

Tabel 6-3. Sekor Katagori dari Analisis Kuantifikasi II

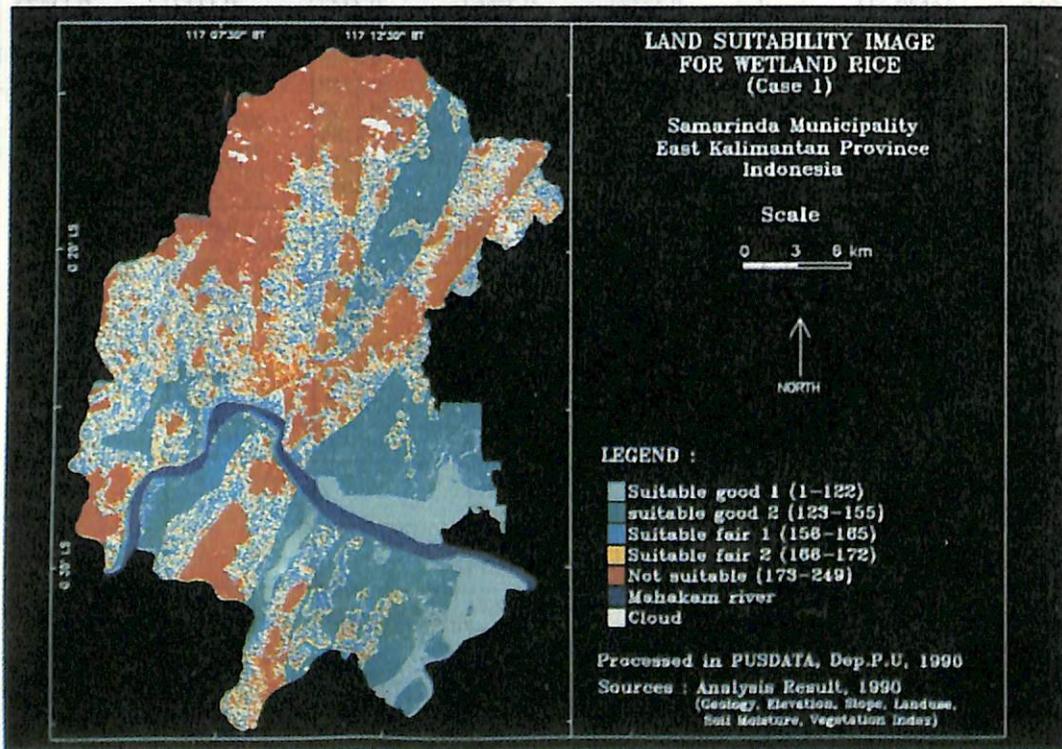
Item		Sekor Katagori (1)				
		Sawah			Pemukiman	
Explanatory variables	Kategori	Kasus-P1	Kasus-P2	Kasus-P3	Kasus-S1	Kasus-S2
		$\eta^2:0.6426$	$\eta^2:0.5768$	$\eta^2:0.6423$	$\eta^2:0.6961$	$\eta^2:0.6959$
Kanal-4	1. 1-39	-0.0981	-0.0645	-0.1107	0.0238	0.0238
	2. 40	-0.1808	-0.1262	-0.1874	0.0193	0.0193
	3. 41	-0.2126	-0.1607	-0.2178	0.0357	0.0357
	4. 42	-0.2188	-0.1608	-0.226	0.0438	0.0438
	5. 43	-0.1443	-0.1049	-0.1463	0.0397	0.0397
	6. 44	-0.0342	-0.0074	-0.0348	0.0359	0.0359
	7. 45	0.1158	0.1188	0.1161	0.0207	0.0207
	8. 46	0.1372	0.1325	0.1389	-0.0066	-0.0066
	9. 47	0.0262	0.0188	0.0293	-0.0148	-0.0147
	10. 48	0.0501	0.0167	0.0538	-0.0394	-0.0394
	11. 49	0.0903	0.0426	0.0948	-0.0828	-0.0828
	12. 50	0.1161	0.0555	0.1214	-0.0904	-0.0904
	13. 51	0.1486	0.0628	0.1540	-0.1072	-0.1072
	14. 52	0.1604	0.0561	0.1663	-0.1106	-0.1107
	15. 53-94	0.1953	0.0667	0.2007	-0.0276	-0.0277
	<i>ranges</i>	0.4141	0.2933	0.4234	0.1544	0.1545
Kanal-5	1. 1-29	0.4216	0.3946	0.4234	-0.0171	-0.0170
	2. 30	0.3837	0.3980	0.3869	-0.0381	-0.0382
	3. 31	0.3261	0.3529	0.3282	-0.0556	-0.0556
	4. 32	0.2361	0.2623	0.2378	-0.0207	-0.0207
	5. 33	0.1336	0.1575	0.1347	0.0254	0.0254
	6. 34	0.0578	0.0720	0.0580	0.0462	0.0462
	7. 35	-0.1290	-0.1155	-0.1295	0.0642	0.0642
	8. 36	-0.2284	-0.2233	-0.2292	0.0898	0.0898
	9. 37	-0.3189	-0.3182	-0.3203	0.1061	0.1060
	10. 38	-0.3643	-0.3734	-0.3659	0.1075	0.1075
	11. 39-41	-0.3792	-0.3993	-0.3812	0.0545	0.0546
	12. 42-87	-0.3756	-0.4061	-0.3788	-0.1185	-0.1184
	<i>ranges</i>	0.8027	0.8041	0.8047	0.2260	0.2260

Item		Sekor Kategori				
		Sawah			Pemukiman	
Explanatory variables	Kategori	Kasus-P1 $\eta^2:0.6426$	Kasus-P2 $\eta^2:0.5768$	Kasus-P3 $\eta^2:0.6423$	Kasus-S1 $\eta^2:0.6961$	Kasus-S2 $\eta^2:0.6959$
Kanal-7	1. 1-54	0.0900	-0.1183	0.0909	0.4731	0.4731
	2. 55	0.0842	-0.1466	0.0842	0.3144	0.3144
	3. 56	0.0516	-0.1576	0.0522	0.3840	0.3841
	4. 57	0.0858	-0.0949	0.0857	0.3860	0.3861
	5. 58	0.1952	0.0484	0.1928	0.2639	0.2639
	6. 59	0.3787	0.2417	0.3792	-0.0071	-0.0070
	7. 60	0.3750	0.2872	0.3752	-0.1646	-0.1646
	8. 61	0.3191	0.2905	0.3192	-0.1744	-0.1743
	9. 62	0.3106	0.2927	0.3110	-0.1737	-0.1737
	10. 63	0.2595	0.2857	0.2600	-0.1522	-0.1522
	11. 64	0.2440	0.3081	0.2443	-0.1456	-0.1456
	12. 65	0.2218	0.3097	0.2222	-0.1338	-0.1338
	13. 66	0.2021	0.2923	0.2023	-0.1335	-0.1335
	14. 67	0.0364	0.1456	0.0363	-0.1268	-0.1268
	15. 68	-0.0689	0.0520	-0.0690	-0.1232	-0.1232
	16. 69	-0.1077	0.0196	-0.1085	-0.1164	-0.1164
	17. 70	-0.2002	-0.0863	-0.2006	-0.1161	-0.1161
	18. 71	-0.2834	-0.1586	-0.2842	-0.1155	-0.1155
	19. 72	-0.3250	-0.2034	-0.3260	-0.1141	-0.1141
	20. 73	-0.3337	-0.2266	-0.3347	-0.1117	-0.1117
	21. 74	-0.3725	-0.2622	-0.3738	-0.1089	-0.1089
	22. 75	-0.3710	-0.2733	-0.3720	-0.1113	-0.1113
	23. 76	-0.3771	-0.2836	-0.3789	-0.1090	-0.1090
	24. 77	-0.3789	-0.3081	-0.3790	-0.1072	-0.1072
	25. 78	-0.4241	-0.3431	-0.4255	-0.1061	-0.1062
	26. 79	-0.4205	-0.3800	-0.4217	-0.1068	-0.1069
	27. 80-99	-0.4104	-0.4384	-0.4094	-0.1022	-0.1023
	<i>ranges</i>	0.8008	0.7481	0.8046	0.6476	0.6477
Indek vegetasi	1. sangat rendah	-0.2204	-	-0.2195	0.2801	0.2803
	2. rendah	-0.3089	-	-0.3087	0.1343	0.1343
	3. sedang	-0.2047	-	-0.2044	0.0784	0.0784
	4. agak tinggi	0.1920	-	0.1923	-0.0773	-0.0773
	5. tinggi	0.1275	-	0.1268	-0.0871	-0.0871
	6. sangat tinggi	-0.1207	-	-0.1221	-0.0855	-0.0855
	<i>ranges</i>	0.5009	-	0.5010	0.6475	0.6475
Elevasi	1. 7- 50 m	0.0140	0.0229	-	-	-
	2. 50-100 m	0.0071	0.0077	-	-	-
	3. 100-200 m	0.0010	0.0016	-	-	-
	4. 200-500 m	-0.0196	-0.0241	-	-	-
	<i>ranges</i>	0.0336	0.0469	-	-	-
Aksesibilitas (jarak dari jalan)	1. <200 m U	-	-	-	0.0012	-
	2. 200-400 m U & <200 m S	-	-	-	-0.0007	-
	3. 200-400 m S	-	-	-	0.0013	-
	4. 400-600 m U	-	-	-	0.0005	-
	5. Lain-lain	-	-	-	-0.0006	-
	<i>ranges</i>	-	-	-	0.0021	-

Catatan: Kasus-P : Kasus untuk estimasi Sawah; Kasus-S : Kasus untuk estimasi Pemukiman; U : Jalan Utama; S : Jalan Sekonder.



Gambar 6-4. Citra Kesesuaian Lahan untuk Sawah



Gambar 6-5. Citra Kesesuaian Lahan Daerah Samarinda Hasil Survey Lapang dan Analisis dengan Kuantifikasi II

DAFTAR BACAAN

- Beek, K. J. 1978. *Land Evaluation for Agricultural Development*. ILRI Publication No. 23. The Netherlands.
- Burrough, PA. 1986. *Principles of GIS for Land Resources Assessment. Monograph of Soil and Resources Survey*. No. 12. Clarendon Press. Oxford.
- Christopher A. Legg. 1992. *Remote Sensing and GIS : Geological Mapping, Mineral Exploitation and Mining*. Ellis Horwood. New York. 1992.
- Dennison Parker, H. 1989. *GIS Software : A Survey and Commentary. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol. 55. No. 11.
- Eastman, J. Ronald. 1990 and 1992. *IDRISI A Grid-Based Geographic Analysis System*. Clark University. Graduate School of Geography. USA.
- Dangermond, J. 1983. *A Classification of the Software Components Commonly Used in GIS. Proceeding of the US/Australia Workshop on the Design and Implementation of Computer-Based GIS*. IGUC on Geographic Data Sensing and Processing. New York.
- David T. Lindgren. 1985. *Land Use Planning and Remote Sensing*. Martinus Nijhoff Publishers. USA.
- ESRI. 1990. *Understanding GIS : The ARC/INFO Method*. Environmental Systems Research Institute, Inc. Redlands. California.
- FAO series edited by Geoffery J. Meaden dan James M. Kapetsky. 1991. *GIS and Remote Sensing in Inland Fisheries and Aquaculture*. FAO. Roma.
- FAO UN. 1976. *A Framework for Land Evaluation*. FAO Soils Bulletin No. 32.
- Hadi Sabari Yunus. 1990. *Searching New Strategies for Managing and Controlling Urban Land Growth: A Preliminary Outlook on Indonesia*. The Indonesian Journal of Geography Vol. 20. No. 60. pp. 1-10. Gadjah Mada University. Yogyakarta.
- I Made Sandy, dkk. 1989. *Esensi Pembangunan Wilayah dan Penggunaan Tanah Berencana*. FMIPA-UI. Jakarta
- Ishikawa, Mamoru. 1987. *Final Report on Remote Sensing Engineering Project*. JICA-PUSDATA, Ministry of Public Works. Jakarta.
- ITC. 1992. *ILWIS Version 1.3 User's Manual*. Computer Department ITC. The Netherlands.
- Jackson, MJ and Mason, DC. 1986. *The Development of Integrated Geo-Information Systems*. International Journal of Remote Sensing. Vol.7. No.6
- Jensen, JR. 1986. *Introductory Digital Image Processing - A Remote Sensing Perspective*. Prentice-Hall. Englewood Cliffs, New Jersey. USA.
- JICA. 1983. *Technical Report on Site Selection System for Agricultural Development*. Jakarta.
- Larry J. Goldstein. 1989. *IBM PC and Compatibles*. Brady. New York.

- Less: Worral. 1990. *GIS: Developments and Applications*. Belhaven Press. New York.
- Lillesand, TM. and Kiefer, RW. 1979. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley and sons, Inc. USA.
- Matsuo, Y. 1983. *On The Evaluation Factors of Suitable Land for the Development of Agricultural Infrastructure*. Report on the Remote Sensing Engineering Project (RTA-58), JICA-Ministry of Public Works Indonesia. Jakarta.
- Miyama, K and Akiyama, T. 1983. *Establishment of Land Evaluation System for Agricultural Development Using Landsat Data*. JICA Report. Jakarta.
- Muh. Dimiyati, et al. 1991. *Land Evaluation Analysis for Agricultural Purposes Using RS and GIS in the Application of RS in Asia and Oceania*. edited by Shunji Murai. Tokyo.
- Muh. Dimiyati, et al. 1996. *Study on Land Use/Cover Changes Using RS and GIS for the Case Study in Yogyakarta*. International Journal of Remote Sensing. England.
- Muh. Dimiyati, et al. 1997. *A Current Macroscopic Land Suitability Estimation Using RS and GIS for the Case Study in Yogyakarta*. Indonesian Journal Of Geography. Yogyakarta.
- Nasu, M. 1983. *Spatial Data Analysis System for Development on Agricultural Infrastructure using Remote Sensing and Map Data*. JICA Report. Jakarta.
- Robinson Barker, G. 1988. *Remote Sensing : The Unheralded Component of GIS. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol.54. No.2.
- Robinson, GM et al. 1989. *Developing GIS for Agricultural Development in Belize, Central America. Applied Geography*. Vol. 9.
- Sakai, S. 1984. *Final Report on the Remote Sensing Engineering Project for the Development of Agricultural Infrastructure in the Republic Indonesia Phase I*. JICA. Jakarta.
- Tanaka, Y., et al. 1988. *Handbook of Statistical Analysis by Personal Computer II*. Kyoritsu-shuppan. (bahasa Jepang).
- Tomlinson, RF. 1989. *Presidential Address : GIS and Geographers in the 1990's. The Canadian Geographer*. Canada.
- Vink, A.P.A. 1975. *Land Use in Advancing Agriculture*. Springer-Verlag. Berlin.
- Wilkinson, GG and Fisher, PF. 1987. *Recent Development and Future Trends in GIS*. The Cartographic Journal. Vol. 24.
- Wrigley, N. 1985. *Categorical Data Analysis for Geographers and Scientists*. Longman.
- Young, JAP and Green, DR. 1987. *Is The Really A Role for RS in GIS ?*. Advance Digital Image Processing. Proceedings of the Thirteenth Annual Conference of the RS Society. University of Nottingham, England.

LAMPIRAN

1. Program Quantification II dalam bahasa C

Program ini ditulis dalam bahasa C untuk pemrosesan citra (atau data digital yang formatnya raster). Program ini terdiri dari empat bagian utama, yakni:

- 1). *Batch file* (QUANT-2. BAT),
- 2). *Connector/link file* (QUANT-2.TAB),
- 3). *Source program* (QUANT-2.C),
- 4). *Execution program* (QUANT-2.EXE).

Untuk menjalankan program tersebut piranti lunak TURBO-C harus *diinstall* dalam *hard disk*. Program *source* tersebut kemudian dikompilasi untuk mendapatkan program eksekusi (*EXE*) Untuk melakukan kompilasi program *source* yang namanya QUANT-2. BAT adalah sebagai berikut:

ketik **TCC QUANT-2.C enter**

Kita akan mendapatkan tiga file dengan nama belakang C, OBJ, dan EXE. Dengan demikian program ini dapat dijalankan. *Batch file* QUANT-2. BAT dan *link file* QUANT-2.TAB kemudian dibuat dengan piranti lunak editor seperti Mifex atau WS.

QUANT-2.BAT

Isi *batch file* adalah : **QUANT-2 QUANT-2.TAB QUANT-2.img**

Catatan : QUANT-2 adalah program eksekusi,

QUANT-2.TAB adalah program *connector/link*, dan

QUANT-2.img adalah nama keluaran citra.

QUANT-2.TAB

Program ini berisi:

296

299

8

1

ExPADDY.img 2

dkslopa.img 3

dktinpa.img 4

dksotpa.img 3

dksodpa.img 2

dkraipa.img 3

dkmss4.img 15
 dkmss5.img 12
 dkmss7.img 27
 QuPADDY.dat

Catatan : 296 adalah jumlah kolom dari citra yang akan dianalisis,
 299 adalah jumlah baris citra yang akan dianalisis,
 8 jumlah *objective fuction* yang digunakan (namanya dimulai dengan 'dk')

1 adalah sampel yang digunakan dikategorikan dalam kelas 1 pada citra ExPADDY sebagai objective variable untuk estimasi kesesuaian, ExPADDY.img 2 citra sebagai objective fuction yang terdiri dari dua kategori dkslopa.img 3 citra lain yang dengan awalan dk adalah explanatory variable, dan angka 3 berarti jumlah kategori pada citra tersebut
 QuPADDY.dat nama keluaran untuk indek quantifikasi II (Tabel)

Program *source* tersebut adalah seperti yang tertulis berikut ini (QUANT-2,C):

```

/*  QUANTIFICATION II PROGRAM for Image Processing */
/*      in C language                               */
/* Typed and modified by : Muh. Dimiyati and S. Ochi */
/*      1992 - 1994                                 */
/* Note: Cross-table is listed in display monitor only */
/*      Output - Table and image                    */
/*      Input - any image in interger-binary format  */

#include "matutil.c" /* */
#include <stdio.h>
/* #include "xopen.h" */
#include "math.h"
#define TRUE      (0 == 0)
#define FALSE    (!TRUE)
/* */

/* =====Bismillahirrohmaanirrohimi===== */
vector      catescore;
FILE        *fpr[20];
int         buf[10],dummy[2], plus[20];
unsigned char  flag;
long       num, num_y, num_n;
int        pixels, lines, bands, target;
/* =====*/
/* */

double lu(int n, matrix a, int *ip)

```

```

int i, j, k, ii, ik;
double t, u, det;
vector weight;

```

```

weight = new_vector(n); /* weight[0..n-1] */
det = 0; /* */
for (k = 0; k < n; k++) { /* */
    ip[k] = k; /* */
    u = 0; /* */
    for (j = 0; j < n; j++) {
        t = fabs(a[k][j]); if (t > u) u = t;
    }
    if (u == 0) goto EXIT; /* */
    weight[k] = 1 / u; /* */
}

```

```

det = 1; /* */
for (k = 0; k < n; k++) { /* */
    u = -1;
    for (i = k; i < n; i++) { /* */
        ii = ip[i]; /* */
        t = fabs(a[ii][k]) * weight[ii];
        if (t > u) { u = t; j = i; }
    }
    ik = ip[j];
    if (j != k) {
        ip[j] = ip[k]; ip[k] = ik; /* */
        det = -det; /* */
    }
    u = a[ik][k]; det *= u; /* */
    if (u == 0) goto EXIT; /* */
    for (i = k + 1; i < n; i++) { /* Gauss */
        ii = ip[i];
        t = (a[ii][k] / u);
        for (j = k + 1; j < n; j++)
            a[ii][j] -= t * a[ik][j];
    }
}

```

EXIT:

```

free_vector(weight); /* */
return det; /* */

```

```

void solve(int n, matrix a, vector b, int *ip, vector x)
{
    int i, j, ii;
    double t;

    for (i = 0; i < n; i++) { /* Gauss */
        ii = ip[i]; t = b[ii];
        for (j = 0; j < i; j++) t -= a[ii][j] * x[j];
        x[i] = t;
    }
    for (i = n - 1; i >= 0; i--) { /* */
        t = x[i]; ii = ip[i];
        for (j = i + 1; j < n; j++) t -= a[ii][j] * x[j];
        x[i] = t / a[ii][i];
    }
}

```

```

double gauss(int n, matrix a, vector b, vector x)
{
    double det; /* */
    int *ip; /* */

    ip = malloc(sizeof(int) * n); /* */
    if (ip == NULL) error("chek please");
    det = lu(n, a, ip); /* */
    if (det != 0) solve(n, a, b, ip, x); /* */
    free(ip); /* */
    return det; /* */
}

```

/*******/

```

usage()
{
    fputs("Usage: sc [tablefile]\n\n", stderr);
    fputs(" Options will be set with [tablefile].\n", stderr);
}

```

```

double correlation( void )
{
    double zz, z, z1, z2, sigma, sigma_b;
    int i, j, k, p;

    z1 = 0.0;
    z2 = 0.0;
    zz = 0.0;
}

```

```

for(i=0;i<lines;i=i+1){
    fprintf(stderr,"%d\n",i);
    for(j=0;j<pixels;j=j+1){
        for(k=0;k<bands+1;k=k+1){
            fread(dummy,sizeof(int),1,fpr[k]);
            /* fscanf(fpr[k],"%d\n",&dummy); */
            buf[k] = dummy[0];
        }
    }

    flag = 1;
    for(k=0;k<bands+1;k=k+1){
        if(buf[k] == 0) flag = 0;
    }
    if( flag == 1){ /* 0 DATA IGNORE */

        /* ----- */

        z = 0.0;

        for(k=1;k<bands+1;k=k+1){
            p = buf[k] + plus[k];
            z = z + catescore[p];
        }
        zz = zz + z*z;

        if(buf[0] == target){
            z1 = z1 + z;
        }
        else{
            z2 = z2 + z;
        }
        z = (z + 10.0)*1000;
        buf[0]=(int)z;
        fwrite(buf,sizeof(int),1, fpr[bands+2]);
    }
    else{
        buf[0]=0;
        fwrite(buf,sizeof(int),1, fpr[bands+2]);
    }
}

fprintf(stderr, "%g %g \n", z, zz);

```

```

fprintf(stderr, "%g %g \n", z1, z2);
z = (z1 + z2) / (double)num;
zz = zz / (double)num - z*z;
z1 = z1 / (double)num_y;
z2 = z2 / (double)num_n;
sigma_b = ((double)num_y*(z1-z)*(z1-z) +
(double)num_n*(z2-z)*(z2-z))/(double)num;
fprintf(stderr, "%f %f \n", sigma_b, zz);

z = sigma_b / zz;

return z;
}

```

```
int main(argc, argv)
```

```

int      argc;
char     *argv[];
{
    typedef struct {
        char      filename[30];

        matrix    a,b;
        vector    h,hh,v;

        vector    mm, nn;
        int       class[20];
        int       i, j, k;
        int       m, n, kk, p, q, l;
        FILE      *fptable;
        double     dd, weiave[20], max, min;

        t_datafile datafile[20];

        if (3 != argc) {
            usage();
            return (FALSE);
            /*NOTREACHED*/
        }

        if ((fptable = fopen (argv[1], "r")) == NULL) {
            fprintf(stderr, "Can not open %s\n", argv[1]);
            exit(1);
        }
    }
}

```

```

/* fptable = fopen(argv[1], "r"); */

fscanf(fptable, "%d", &pixels); fprintf(stderr, "%d\n", pixels);
fscanf(fptable, "%d", &lines); fprintf(stderr, "%d\n", lines);
fscanf(fptable, "%d", &bands); fprintf(stderr, "%d\n", bands);
fscanf(fptable, "%d", &target); fprintf(stderr, "%d\n", target);
for(i=0; i<bands+1; i++){
    fscanf(fptable, "%s %d\n", datafile[i].filename, &class[i]);
    if ((fpr[i] = fopen (datafile[i].filename, "rb")) == NULL ) {
        fprintf(stderr, "Can not open %s\n", datafile[i].filename);
        exit(1);
    }
    /* fpr[i] = fopen(datafile[i].filename, "r"); */
    fprintf(stderr, "%2d Opened %s %5d\n", i,
datafile[i].filename, class[i]);
}
i = bands + 1;
fscanf(fptable, "%s\n", datafile[i].filename);
if ((fpr[i] = fopen (datafile[i].filename, "w")) == NULL ) {
    fprintf(stderr, "Can not open %s\n", datafile[i].filename);
    exit(1);
}
/* fpr[i] = fopen(datafile[i].filename, "w"); */
fprintf(stderr, "Opened %s\n", datafile[i].filename);

{
    fprintf(fpr[bands + 1], "HASIL ANALISIS KUANTIFIKASI II (Y dan X
    kualitatif)\n");
    fprintf(fpr[bands + 1], " [LAB. REG. PLAN. KYODAI, Oct-93]\n");
}
{
    fprintf(fpr[bands + 1], "\n");
    fprintf(fpr[bands + 1], "\n");
}

fprintf(fpr[bands + 1], "kolom=%3d baris=%3d\n",
    pixels, lines);
fprintf(fpr[bands + 1], "The number of explanatory variables :%3d\n",
    bands);

fclose(fptable);
if ((fpr[bands+2] = fopen (argv[2], "wb")) == NULL ) {
    fprintf(stderr, "Can not open %s\n", argv[2]);
}

```

```

}
{
    fprintf(fpr[bands + 1], "Objective (Y) variable is : %12s Id-%3d\n",
           datafile[0].filename, target);

    fprintf(fpr[bands + 1], "\n");
}
{
    fprintf(fpr[bands + 1], " X-variable clas-no... partcor catsco frequency
Range\n");
}
{
    fprintf(fpr[bands + 1], "\n");
}
}

/* ===== PLUS FACTOR ===== */

plus[1]=0;
for(k=2;k<bands+1;k = k + 1){
    plus[k] = plus[k-1] + class[k-1];
    fprintf(stderr, "plus %d\n", plus[k]);
}

/* ===== DATA INITIALIZE ===== */

n = plus[bands] + class[bands] + 1;    fprintf(stderr, "n= %d", n);
m = plus[bands] + class[bands] - bands; fprintf(stderr, "m= %d\n", m);
a = new_matrix(n, n);
b = new_matrix(m, m);
h = new_vector(n);
hh = new_vector(m);
v = new_vector(m);
mm = new_vector(n);
nn = new_vector(n);
catescore = new_vector(n);

num = 0;
num_y = 0;
for(j=0;j<n;j = j + 1){
    mm[j] = 0.0;
    nn[j] = 0.0;
    for(i=0;i<n;i = i + 1){
        a[j][i]=0.0;
    }
}

```

```

}

/* ===== FGETC ( DATA ) ===== */

for(i=0;i<lines;i = i + 1){
    fprintf(stderr,"%d\n",i);
    for(j=0 ; j<pixels;j = j + 1){
        for(k=0 ; k < bands + 1;k = k + 1){
            fread(dummy,sizeof(int),1, fpr[k]);
            /* fscanf(fpr[k],"%d\n",&dummy); */
            buf[k] = dummy[0];
        }

        /* if(buf[1] != 0) fprintf(stderr,"%d",buf[1]); */
        flag = 1;
        for(k=0;k<bands+1;k = k + 1){
            if(buf[k] == 0) flag = 0;
        }
        if( flag == 1){          /* 0-DATA IGNORE */

            /* ----- */
            if(buf[1] == 1){
                for(k = 0; k < bands + 1; k++){
                    fprintf(stderr, "buf[%d] = %d\n", k,buf[k]);
                }
            } /*
            /* ----- */

            num = num + 1;          /* DATA NUMBER

            if(buf[0] == target)    num_y = num_y + 1;

            for(k=1;k<bands+1;k++){
                p = buf[k] + plus[k]; /* for H table */
                if(buf[0] == target){
                    mm[p] = mm[p] + 1.0;
                }
                else{
                    nn[p] = nn[p] + 1.0;
                }
            }

            for(kk=1;kk<bands+1;kk = kk + 1){
                q=plus[kk]+buf[kk];
                a[p][q] = a[p][q] + 1.0;
            }
        }
}

```

```

    }
}
for(i=1;i<plus[bands] + class[bands] + 1;i = i + 1){
    fprintf(stderr,"***** %f%f\n",mm[i], nn[i]);

    for(j=1;j<plus[bands]+class[bands] + 1;j = j + 1){
        fprintf(stderr,"%5d%5d %10.2f\n",i,j,a[i][j]);
    }
}

/* ===== END OF DATA INPUT ===== */

fprintf(stderr,"num %ld %f\n", num, num_y);
num_n = num - num_y;
for(i=1; i<plus[bands]+class[bands]+1;i++){
    fprintf(stderr,"h %3d:yes=%f, no=%f\n", i, mm[i],nn[i]);
    /* ===== H table ===== */
    h[i] = (mm[i]*num_n/num) - (nn[i]*num_y/num);
    /* ===== */
    fprintf(stderr," h[%d]= %f\n",i,h[i]);
}
/* ===== F table ===== */

k = -1;
for(i=1;i<bands+1;i = i + 1){
    for(j=2;j<class[i]+1;j = j + 1){
        p = plus[i] + j;
        k = k + 1;
        hh[k] = h[p];
        fprintf(stderr," hh %f\n",hh[k]);
        v[k] = 0.0;
        l = -1;
        for(m=1;m<bands+1;m = m + 1){
            for(n=2;n<class[m]+1;n = n + 1){
                q = plus[m] + n;
                l = l + 1;
                dd = (a[p][p] * a[q][q] / num);
                b[k][l] = a[p][q] - dd;
                fprintf(stderr," %3d %3d F %f\n", k,l,b[k][l]);
            }
        }
    }
}

n = plus[bands] + class[bands] - bands;

dd = gauss(n, b, hh, v);

```

```

fprintf(stderr, "dd %g\n", dd);

for(i = 0; i < n; i = i + 1){
    fprintf(stderr, "%d %12.7f\n", i, v[i]);
}

/*****

k = -1;
for(i=1;i<plus[bands]+class[bands]+1;i++){
    h[i] = 0.0;
}

for(i=1;i<bands+1;i++){
    for(j=2;j<class[i]+1;j++){
        p = plus[i] + j;
        k = k + 1;
        h[p] = v[k];
    }
}

for(i=1;i<bands+1;i++) weiave[i] = 0.0;

for(i=1;i<bands+1;i++){
    min = 1000.0;
    max = -10000.0;
    for(j=0;j<class[i]; j++){
        k = plus[i] + j + 1;
        dd = (mm[k] + nn[k])/(double)num;
        weiave[i] = weiave[i] + h[k] * dd;
        if(h[k] < min) min = h[k];
        if(h[k] > max) max = h[k];
    }
    for(j=0;j<class[i]; j++){
        k = plus[i] + j + 1;
        catescore[k] = h[k] - weiave[i];
        if(j == 0){
            fprintf(fpr[bands + 1], "%12s Id %3d  %8.4f %8.4f %6.2f %8.4f\n",
                datafile[i].filename, j+1, weiave[i], catescore[k], mm[k] + nn[k], max - min);
        }
        else{
            fprintf(fpr[bands + 1], "%3d      %8.4f %6.2f\n",
                catescore[k], mm[k] + nn[k],
                j+1,
            }
        }
    }
}

```



Dra. Hj. Ratih Dewanti Dimiyati, MSc



Dr. H. Muhammad Dimiyati, MSc

Dra. Hj. Ratih Dewanti Dimiyati, MSc., dilahirkan di Yogyakarta tanggal 8 Juli 1960. Saat ini penulis bekerja sebagai peneliti pada Bidang Matra Laut, Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), Jakarta. Gelar sarjana S1 diperoleh dari Jurusan Hidrologi, Fakultas Geografi, UGM tahun 1983. Tahun 1993 dia mendapat kesempatan untuk melanjutkan studi S2 dengan beasiswa *Monbusho* (pemerintah Jepang) di *Lab. of Regional Planning, Faculty of Agriculture, Kyoto University, Japan* dan berhasil menamatkannya tahun 1995. Pengalaman kerja di bidang penelitian dimulai sejak masuk LAPAN tahun 1984 sebagai Staf (asisten peneliti) di Bidang Teledeteksi Sumber Alam, Pusat Pemanfaatan Antariksa. Selain aktif mengikuti berbagai training di bidang remote sensing di dalam dan di luar negeri seperti di AIT Bangkok (1985), di India (1987), di Tokyo (1990) dan Kyoto (1990). Penulis juga pernah menjadi *Trainer Asisstant* pada pelatihan *Development Program for Indonesian Local Government* di *United Nations Center Regional Development (UNCRD)*, Nagoya, selama 4 bulan (1994). Penulis menjadi anggota berbagai organisasi ilmiah dan profesi seperti Ikatan Geografiwan Gadjah Mada (IGEGAMA), Masyarakat Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN), *International Society for Mangrove Ecosystems (ISME)*, *Japan Remote Sensing Association* (1990-1995), *Japan Rural Planning Association* (1990-1995).

Dr. H. Muhammad Dimiyati, MSc., dilahirkan di Solo tanggal 17 Desember 1959. Saat ini penulis menjabat sebagai Kasubbid Rencana dan Program Bimbingan, Bina Peta dan Penginderaan Jauh, Pusat Pengolahan Data dan Pemetaan (PUSDATA), Departemen Pekerjaan Umum. Gelar sarjana S1 diperoleh dari Jurusan Penginderaan Jauh, Fakultas Geografi, UGM tahun 1982. Pada tahun 1988 penulis mendapat kesempatan untuk melanjutkan studi S2 juga dengan beasiswa *Monbusho* di *Division of Tropical Agriculture, Faculty of Agriculture, Kyoto University, Japan* dan berhasil menamatkannya tahun 1990. Gelar doctor dengan disertasi *An Agricultural Land Use Adjustment Modeling for Sustainable Development Using Remote Sensing and GIS Approaches* diperoleh di Kyoto University pada tahun 1996. Pengalaman kerja dimulai sejak masuk PUSDATA pada tahun 1983 sebagai staf di Bidang Remote Sensing, Kasubid Piranti Lunak (1990-1993), Kasubag Tata Usaha Balai Informasi Literal (1996-1997). Di samping aktif dalam berbagai kegiatan ilmiah seperti pelatihan, seminar, konferensi, kerjasama penelitian, dan instruktur dalam bidang remote sensing dan SIG, informatika, serta *Regional Planning* di dalam dan di luar negeri (terutama Jepang), penulis juga pernah menjadi *Foreign Cooperative Researcher* di UNCRD, Nagoya untuk beberapa periode antara 1986-1994 dan *Foreign Cooperative Researcher* di Universitas Kyoto (1993-1994). Penulis juga menjadi anggota organisasi ilmiah dan profesi seperti IGEGAMA, MAPIN, *Japan Rural Planning Association*, dan *Earth Science and Technology Organization (ESTO)*. Sejak tahun 1995 sebagai dosen pada, Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta.