

BAB I

PENGANTAR PENGINDERAAN JAUH

A. PENDAHULUAN

1. Pengertian

Penginderaan jauh berasal dari kata **Remote sensing** memiliki pengertian bahwa penginderaan jauh merupakan suatu ilmu dan seni untuk memperoleh data dan informasi dari suatu objek di permukaan bumi dengan menggunakan alat yang tidak berhubungan langsung dengan objek yang dikajinya (*Lillesand dan Kiefer, 1979*). Jadi penginderaan jauh merupakan ilmu dan seni untuk mengindera/menganalisis permukaan bumi dari jarak yang jauh, dimana perekaman dilakukan di udara atau di angkasa dengan menggunakan **alat** (*sensor*) dan **wahana**.

Alat yang dimaksud adalah alat perekam yang tidak berhubungan langsung dengan objek yang dikajinya yaitu alat tersebut pada waktu perekaman tidak ada di permukaan bumi, tetapi di udara atau di angkasa. Karena itu dalam perekaman tersebut menggunakan wahana (*platform*) seperti satelit, pesawat udara, balon udara dan sebagainya. Sedangkan data yang merupakan hasil perekaman alat (*sensor*) masih merupakan data mentah yang perlu dianalisis. Untuk menjadi suatu informasi tentang permukaan bumi yang berguna bagi berbagai kepentingan bidang ilmu yang berkaitan perlu dianalisis dengan cara interpretasi.

Lindgren (1985) mengemukakan bahwa ***Penginderaan Jauh merupakan variasi teknik yang dikembangkan untuk perolehan dan analisis informasi tentang bumi. Informasi tersebut berbentuk radiasi elektromagnetik yang dipantulkan dan dipancarkan dari permukaan bumi.***

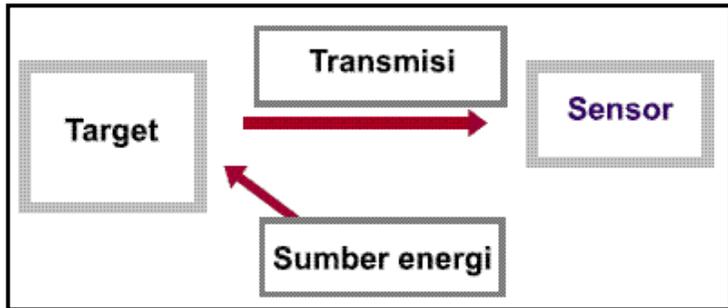
Pendapat ***Lindgren*** tersebut menunjukkan bahwa penginderaan jauh merupakan teknik, karena dalam perolehan data menggunakan teknik, dimana data tersebut merupakan hasil interaksi antara tenaga, objek, alat, dan wahana yang membentuk suatu gambar yang dikenal dengan citra (*imagery*) dan data citra. Untuk menterjemahkan data menjadi informasi perlu teknik analisis. Data yang diperoleh saat perekaman akibat adanya interaksi objek dengan tenaga elektromagnetik yang dipancarkan oleh tenaga yang ada diluar permukaan bumi, seperti perekaman planet lain atau bulan termasuk dalam penginderaan jauh. Karena data yang direkam dengan menggunakan alat, sehingga data yang tergambar diperoleh menunjukkan gambaran yang sebenarnya pada saat perekaman. Keakuratan dan kecepatan data yang diperoleh dengan teknologi tersebut pada akhirnya dikembangkan oleh berbagai Negara, maka timbulah istilah-istilah baru yang dikembangkan sesuai dengan bahasa setempat.

Penginderaan jauh yang disingkat dengan PJ atau Inderaja, dalam bahasa inggris disebut *Remote sensing*, bahasa Perancis disebut *Telediction*, bahasa Jerman adalah *Fernerkundung*, Portugis menyebutnya dengan *Sensoriamento remota*, bahasa Rusia disebut *Distantionaya*, dan bahasa Spanyol disebut *Perception remota* dan lain-lain. Artinya penginderaan jauh yang berkembang saat ini di Indonesia sudah digunakan hampir semua negara maju. Negara-negara maju menggunakan penginderaan jauh karena kebutuhan data dan informasi sangat mendesak, karena data dan informasi tersebut banyak digunakan untuk perencanaan pengembangan fisik, sosial maupun militer. Pengembangan itu sendiri memerlukan data dan informasi yang akurat, cepat dan mudah, dengan keakuratan data dan informasi, maka perencanaan dapat dilakukan sebaik-baiknya.

2. Komponen Dasar Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh didefinisikan sebagai suatu metode untuk mengenal dan menentukan obyek di permukaan bumi tanpa melalui kontak langsung dengan obyek tersebut. Banyak pakar memberi batasan, penginderaan jauh hanya mencakup pemanfaatan gelombang elektromagnetik saja, sedangkan penginderaan yang memanfaatkan sifat fisik bumi seperti kemagnetan, gaya berat, dan seismik tidak termasuk dalam klasifikasi ini. Namun sebagian pakar memasukkan pengukuran sifat fisik bumi ke dalam lingkup penginderaan jauh.

Empat komponen dasar dari sistem penginderaan jauh adalah target, sumber energi, alur transmisi, dan sensor. Komponen dalam sistem ini berkerja bersama untuk mengukur dan mencatat informasi mengenai target tanpa menyentuh obyek tersebut. Sumber energi yang menyinari atau memancarkan energi elektromagnetik pada target mutlak diperlukan. Energi berinteraksi dengan target dan sekaligus berfungsi sebagai media untuk meneruskan informasi dari target kepada sensor. Sensor adalah sebuah alat yang mengumpulkan dan mencatat radiasi elektromagnetik. Setelah dicatat, data akan dikirimkan ke stasiun penerima dan diproses menjadi format yang siap pakai, diantaranya berupa citra. Citra ini kemudian diinterpretasi untuk mencari informasi mengenai target. Proses interpretasi biasanya berupa gabungan antara visual dan *automatic* dengan bantuan komputer dan perangkat lunak pengolah citra. Berikut ini merupakan komponen dasar penginderaan jauh :



Gambar 1.1.

Komponen Dasar Penginderaan Jauh (Yaslinus, 2003)

Pada dasarnya teknologi pemotretan udara dan penginderaan jauh adalah suatu teknologi yang merekam interaksi sinar/berkas cahaya yang berasal dari sinar matahari dan benda/obyek di permukaan bumi. Pantulan sinar matahari dari benda/obyek di permukaan bumi ditangkap oleh kamera/sensor, tiap benda/obyek memberikan nilai pantul yang berbeda sesuai dengan sifatnya.

Pada pemotretan udara rekaman dilakukan dengan media seluloid/film, sedangkan penginderaan jauh melalui media pita magnetik dalam bentuk sinyal-sinyal digital. Dalam perkembangannya batasan tersebut menjadi tidak jelas karena rekaman potret udarapun seringkali dilakukan dalam bentuk digital pula.

3. Data Penginderaan Jauh

Perekaman objek dapat dilakukan, karena tenaga dalam bentuk tenaga elektromagnetik yang dipancarkan oleh matahari ke segala arah terutama ke permukaan bumi, tenaga tersebut dipantulkan dan dipancarkan oleh permukaan bumi. Tenaga pantulan dan pancaran

tersebut direkam oleh alat yang disimpan oleh wahana. Karena itu untuk memperoleh data penginderaan jauh tersebut diperlukan komponen-komponen penginderaan jauh diantaranya tenaga, objek, sensor, detektor dan wahana. Komponen tersebut saling mendukung dalam perekaman objek, karena setiap komponen harus saling berinteraksi. Akibat adanya interaksi tenaga dengan objek, tenaga tersebut dipantulkan dan direkam oleh alat. Data hasil perekaman tersebut menghasilkan 2 jenis data yaitu; (1) data visual (citra) dan (2) data citra (numerik).

Data visual merupakan gambar dari objek yang direkam yang disebut dengan "citra". Menurut Hornby (1974) bahwa **citra adalah gambaran yang tampak pada cermin atau melalui lensa kamera.** Sedangkan Simonett dkk (1983) mengemukakan bahwa citra adalah gambaran suatu objek biasanya berupa gambaran objek pada foto yang dihasilkan dengan cara optik, elektro-optik, optik mekanik atau elektronik. Pada umumnya ia digunakan bila radiasi elektromagnetik yang dipancarkan atau dipantulkan oleh suatu objek tidak langsung direkam pada film. Jadi atas dasar uraian tersebut penulis berpendapat bahwa citra adalah gambaran objek yang direkam akibat adanya interaksi tenaga elektromagnetik yang dipantulkan dan dipancarkan objek yang direkam detektor pada alat (sensor).

Selain data visual (citra) juga diperoleh data citra (numerik), karena tiap objek mempunyai kepekaan dan karakteristik yang berbeda, maka tiap objek akan memantulkan atau memancarkan tenaga elektromagnetik membentuk karakteristik yang berbeda, juga dalam interaksinya antara tenaga dan objek dipengaruhi oleh kondisi atmosferik. Gastellu dan Wtchegorry (tanpa tahun) mengemukakan bahwa kondisi atmosfer yang transparan pada julat yang dapat diamati. Besar kecilnya konsentrasi kelembaban air dan ozon dan oleh kepekaan karakteristik optik yang mempengaruhi proses interaksi tenaga dari matahari dengan objek di permukaan. Menurut S. Sardi dan D. Sudiana (1991) mengemukakan bahwa suatu digit dapat dipertimbangkan sebagai suatu matriks, dimana baris dan kolom menunjukkan identitas suatu titik pada citra, hubungan keberadaan

tingkat keabuan pada titik tersebut menunjukkan tingkat pancaran atau pancaran tenaga elektromagnetik. Julat secara dinamis tingkat pantulan atau pancaran standar dengan nilai antara 0 (gelap) sampai 255 (cerah). Selanjutnya dikatakan bahwa dalam sistem *Remote sensing*, tingkat keabuan sebenarnya berasal dari intensitas pantulan atau intensitas pantulan atau identitas pancaran yang datang dari objek.

B. INTERPRETASI CITRA

Data yang diperoleh melalui perekaman tenaga elektromagnetik yang dipantulkan atau dipancarkan objek berdasarkan sistem peninderaan jauh, maka hasilnya disebut dengan data penginderaan jauh. Data penginderaan jauh tersebut berupa data visual (citra) dan data citra (numerik). Data tersebut belum memberikan arti dan manfaat, meskipun data yang diperoleh akurat, datanya mutakhir, karena itu agar data tersebut mempunyai arti yang penting dan bermanfaat bagi bidang lain maupun pengguna data perlu adanya teknik analisis data penginderaan jauh. Analisis citra dalam penginderaan jauh merupakan langkah-langkah untuk interpretasi citra merupakan suatu perbuatan untuk mengkaji gambaran objek yang direkam. Esyang berbeda dengan Simonett (1975) dan Sutanto (1986) mengemukakan bahwa interpretasi citra merupakan suatu perbuatan untuk mengkaji foto maupun citra non foto dengan maksud untuk mengidentifikasi objek dan menilai arti pentingnya objek yang tergambar pada citra tersebut.

Dalam interpretasi, maka interpreter atau penafsir citra melakukan beberapa penalaran dengan tahapan (1) **deteksi**, (2) **identifikasi**, (3) **klasifikasi** dan (4) **menilai** arti pentingnya suatu objek yang tergambar pada citra. Proses penalaran ini harus bersifat objektif, kewajaran, rasionalisasi, karena objek yang ada di permukaan bumi mempunyai sifat dan karakteristik yang berbeda. Sifat dan karakteristik objek yang ada di permukaan bumi yang tergambar pada

citra memiliki bentuk yang sama, sedangkan ukuran objek yang tergambar berbeda.

C. PENGINDERAAN JAUH DAN GEOGRAFI

Geografi adalah **ilmu yang mempelajari persamaan dan perbedaan gejala atau fenomena geosfer (Atmosfer, Litosfer, Hidrosfer, Biosfer dan Antroposfer) dengan pendekatan kewilayahan dan lingkungan dalam konteks keruangan**. Dari pengertian penginderaan jauh tersebut menunjukkan bahwa data dan informasi mengenai objek atau fenomena objek di permukaan bumi, sedangkan dari pengertian geografi adalah geosfer yang sebagian besar mengkaji permukaan bumi dan faktor-faktor yang mempengaruhinya.

Dari pengertian tersebut menunjukkan bahwa objek atau fenomena yang ada di permukaan bumi dapat diperoleh data dan informasinya. Data ini dapat diperoleh dengan menggunakan jasa sistem penginderaan jauh. Dengan menggunakan data penginderaan jauh tersebut, secara langsung interpreter dalam mengkaji objek permukaan bumi yang tergambar pada citra tersebut secara langsung menunjukkan pendekatan kewilayahan, lingkungan dalam konteks keruangan. Hal ini didasarkan bahwa sifat dan karakteristik objek di permukaan bumi terjadi relasi, interaksi komponen penginderaan jauh dan objek di permukaan bumi menunjukkan relasi, interaksi dan interdependensi antara suatu faktor dengan faktor lainnya dalam suatu ruang maupun faktor-faktor antar ruang.

Untuk mengkaji suatu daerah banjir, data diperoleh dari beberapa lembar foto udara. Banjir terjadi di daerah dataran, maka timbul pertanyaan mengapa di daerah tersebut terjadi banjir. Untuk menjawab maka perlu dikaji bagaimana sifat-sifat tanahnya, bagaimana penggunaan lahannya dan darimana air luapan tersebut datang. Air meluap berarti kapasitas sungai tidak seimbang, mengapa? ada peningkatan limpasan permukaan (*runoff*), mengapa meningkat?

Mengapa banjir? karena adanya peningkatan debit limpasan permukaan, sehingga air sungai meluap dan membanjiri daerah dataran.

Mengapa banjir di daerah dataran? karena gerakan air dipengaruhi oleh topografi, dimana air bergerak dari daerah lebih tinggi (gunung, pegunungan, perbukitan) ke daerah yang lebih rendah.

Bagaimana penggunaan lahan di dataran? lahan sebagian besar tertutup lapisan kedap air (tembok, bangunan, aspal), sehingga limpasan permukaan tidak terserap (infiltrasi) oleh tanah.

Bagaimana penggunaan lahan di pegunungan? sebagian lahan beralih fungsi dalam pegunungan.

Apa pengaruh perubahan fungsi lahan? tiap lahan yang dimanfaatkan atau tertutup vegetasi alami mempunyai fungsi yang berbeda. Dengan berubahnya fungsi lahan berakibat terhadap infiltrasi dan limpasan permukaan.

Siapa yang mengubah fungsi lahan? untuk memenuhi kebutuhan pangan dan papan, manusia mengubah fungsi lahan tersebut.

Dari gambaran masalah di atas menunjukkan bahwa satu faktor dengan faktor lainnya saling berealisasi, berinteraksi, dan ketergantungan, maka dalam pemecahan masalah tersebut perlu ditangani secara geografis terpadu. Karena dengan menggunakan data penginderaan jauh dapat dikaji faktor-faktor yang berpengaruh terhadap masalah banjir tersebut dengan pendekatan pendekatan kewilayahan, lingkungan dalam konteks keruangan dan dengan data penginderaan jauh pendekatan tersebut dapat dilakukan dengan cermat dan akurat, sehingga suatu masalah dapat diketahui dan dipahami proses terjadinya masalah tersebut serta usaha pemecahannya.

BAB II

FISIKA PENGINDERAAN JAUH

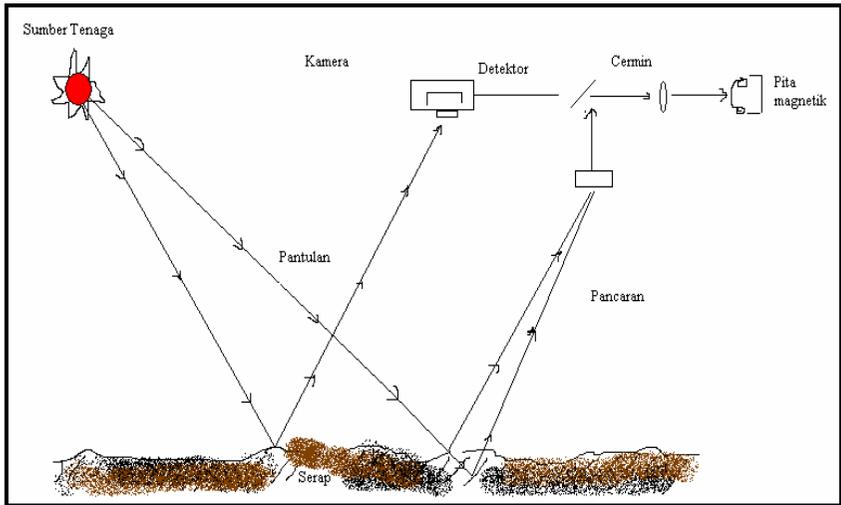
A. FISIKA PENGINDERAAN JAUH

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terutama teknologi dirgantara/angkasa memberikan pengaruh terhadap perkembangan ilmu dan teknik penginderaan jauh serta Geografi. Perkembangan ini memberikan data dan informasi tentang permukaan bumi. Data tersebut diperoleh melalui perekaman dari dirgantara/angkasa, sehingga menguntungkan interpreter maupun pengguna data dan informasi secara akurat dan cepat dengan data yang mutakhir. Data dan informasi tentang mengenai objek di permukaan bumi diperoleh dengan cara merekam sebagian objek permukaan bumi yang tergambar pada citra. Gambaran objek permukaan bumi merupakan hasil interaksi antara tenaga dan objek yang direkam. Tenaga yang dimaksud adalah radiasi matahari, tetapi jika perekaman tersebut dilakukan pada malam hari, maka tidak ada tenaga, maka perekaman dilakukan dengan tenaga buatan. Karena itu untuk kepentingan perekaman objek pada malam hari, diperlukan tenaga buatan yang dikenal dengan tenaga pulsa. Dengan demikian berdasarkan tenaga, sistem pengideraan jauh diklasifikasikan menjadi 2 yaitu (1) **Sistem pasif** dengan sumber tenaga berasal dari matahari (alam) dan (2) **Sistem aktif** dengan sumber tenaga buatan yang disebut tenaga pulsa.

1. Sistem Tenaga

Untuk memperoleh data objek permukaan diperlukan tenaga. Salah satu tenaga yang digunakan untuk memperoleh data yang digunakan penginderaan jauh adalah tenaga matahari. Tenaga matahari yang memancar ke segala penjuru termasuk ke permukaan bumi memancar dalam bentuk tenaga elektromagnetik yang membentuk berbagai panjang gelombang (λ). Radiasi matahari tersebut memancar ke permukaan bumi terhambat oleh atmosfer bumi, sehingga bagian radiasi sebagai tenaga tersebut dipantulkan kembali, dihamburkan, diserap, dan diteruskan. Oleh karena itu tenaga yang berasal dari matahari yang sampai ke permukaan bumi hanya sebagian kecil dan atmosfer berfungsi sebagai filter dan penghambat masuknya radiasi matahari.

Penginderaan jauh dalam perekamannya tidak hanya menggunakan radiasi matahari sebagai sumber utama, karena jika malam hari di suatu tempat, maka tidak ada sumber tenaga. Untuk menanggulangi tenaga pada malam hari dibuat sumber tenaga buatan yang disebut dengan tenaga pulsa. Karena itu dalam sistem penginderaan jauh digunakan 2 sumber tenaga.



Gambar 2.1.

Proses perekaman dari sumber tenaga matahari

a. Sumber Tenaga Alam (Matahari)

Pengideraan jauh yang menggunakan tenaga matahari sebagai sumber tenaga, maka pengideraan jauh tersebut dikenal dengan sistem pasif. Pengideraan jauh sistem pasif yang menggunakan tenaga matahari dengan cara perekaman tenaga pantulan maupun pancaran yaitu sistem fotografik, termal, gelombang mikro, dan satelit. Proses perekaman objek dengan cara pantulan tenaga ditunjukkan pada gambar di atas.

b. Sumber Tenaga Buatan

Penginderaan jauh yang menggunakan tenaga buatan dalam perekamannya disebut dengan sistem aktif, hal ini didasarkan bahwa perekaman objek pada malam hari memerlukan tenaga. Proses perekaman objek tersebut melalui pantulan tenaga buatan yang disebut dengan tenaga pulsa yang dipancarkan alat yang berkecepatan tinggi dipantulkan objek, karena pada saat pesawat bergerak tenaga pulsa yang dipantulkan oleh objek direkam. Karena tenaga pulsa memantul, maka pantulan yang tegak lurus memantulkan tenaga yang tinggi, sehingga jika pancaran tenaga 100%, maka pantulan tenaga 100% akan membentuk rona yang gelap, sedangkan tenaga pantulan pulsa radar yang rendah, rona yang berbentuk akan cerah. Proses perekaman objek dengan cara merekam tenaga pantulan dengan pantulan pulsa radar tersebut, maka perekaman objek dilakukan ke arah samping. Sensor yang tegak lurus dengan objek membentuk rona yang gelap yang disebut *near range*, akibatnya sulit diinterpretasi, sedangkan yang membentuk sudut jauh dari pusat perekaman disebut *far range* mudah diinterpretasi karena pancaran tenaga pulsa 100% memantulkan tenaga pulsa radar kurang dari 100%. Perekaman yang miring merupakan fungsi dari sudut-sudut secara geometrik. Unsur-unsur geometrik SLAR ditunjukkan pada gambar berikut.

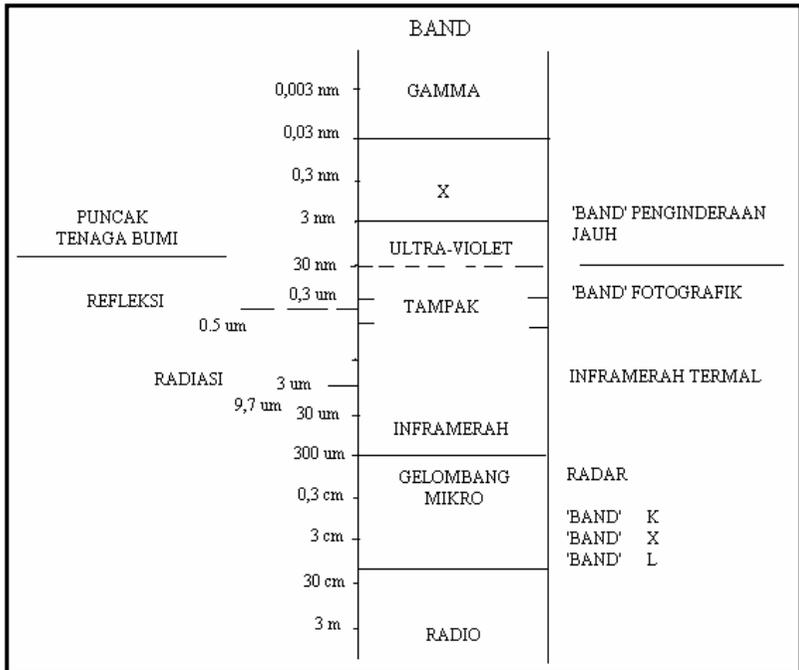
Tabel 2.1.

*Ukuran panjang gelombang (λ) yang dipancarkan
(Sabin, 1978; Lintz jr dan Simonett, 1976)*

Unit (Satuan)	Ekivalen	Keterangan
Kilometer	1.000 m	Ukuran
Meter	1 m	Ukuran
Ukuran	0,01 m	Ukuran
Milimeter	0,001 m	Ukuran
Mikrometer	0,000001 m	Sama dengan mikron (μ)
Nanometer	0,000000001 m	Ukuran umum sinar X
Angstrom	0,0000000001 m	
Pikometer	0,000000000001 m	

Matahari memancarkan tenaganya ke segala arah dengan panjang gelombang yang berbeda, kecepatan yang tetap, dan tenaga yang digunakan untuk penginderaan jauh adalah tenaga elektromagnetik. Chanlett (1979) dalam Sutanto (1986) mengemukakan bahwa tenaga elektromagnetik adalah paket elektrisitas dan magnetisme yang bergerak dengan kecepatan sinar pada frekuensi dan panjang gelombang dengan sejumlah tenaga tertentu. Ini menunjukkan bahwa tenaga radiasi dalam bentuk tenaga elektromagnetik memancar dengan berbagai panjang gelombang dan kecepatan yang sifatnya tetap.

Tenaga elektromagnetik yang dipancarkan matahari dengan suhu 6.000 – 20.000 °K membentuk tenaga elektromagnetik yang terjalin dalam hubungan yang serasi antara panjang gelombang dengan frekuensinya. Tenaga elektromagnetik yang membentuk gelombang elektromagnetik dan diklasifikasikan menjadi spektrum dan saluran (*band*) ditunjukkan pada gambar berikut :

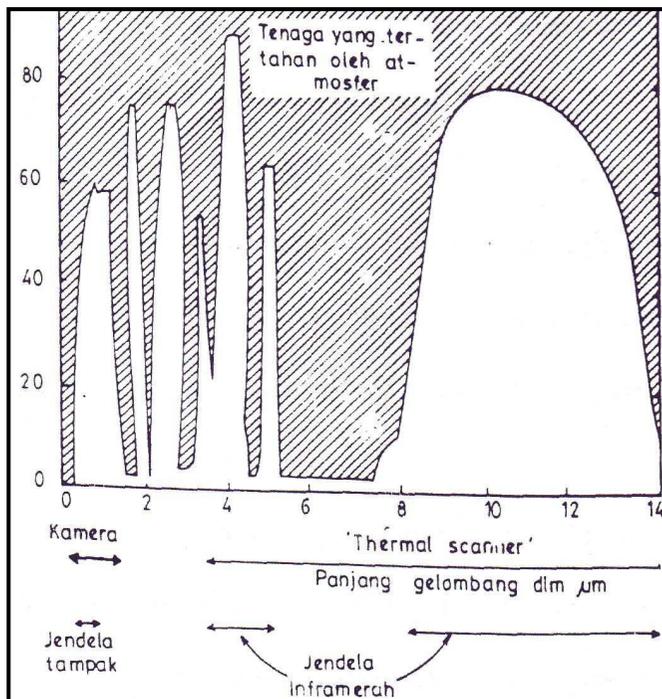


Gambar 2.3.
Gelombang elektromagnetik (Paine, 1981)

B. JENDELA ATMOSFER

Energi yang dipancarkan dalam bentuk tenaga elektromagnetik hanya sebagian kecil yang masuk ke permukaan bumi dan sebagian besar tenaga elektromagnetik yang dihamburkan, dipantulkan dan diserap oleh atmosfer. Energi yang dapat mencapai permukaan bumi melalui celah-celah atmosfer yang dikenal dengan istilah “**jendela Atmosfer**”. Jendela atmosfer terbentuk karena atmosfer terdiri dari unsur-unsur kimia mempunyai fungsi untuk menyerap, bila di atmosfer terdapat lapisan atmosfer yang banyak mengandung O , O_2 dan O_3 (Ozon), N ,

H, dan sebagainya, tetapi bila unsur-unsur itu terisi oleh unsur C (karbon) akan menimbulkan senyawa kimia menjadi CO , CO_2 , $CaCO_3$, debu, dan sebagainya akan memberikan dampak terhadap perluasan jendela atmosfer. Hal ini memungkinkan gelombang energi yang lain dan berbahaya bagi kelanjutan hidup masuk ke permukaan bumi, karena lapisan atmosfer tersebut kurang berfungsi sebagai menyerap dan menyaring gelombang energi. Jendela atmosfer yang dilalui gelombang energi ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4.
Jendela atmosfer (Paine, 1981)

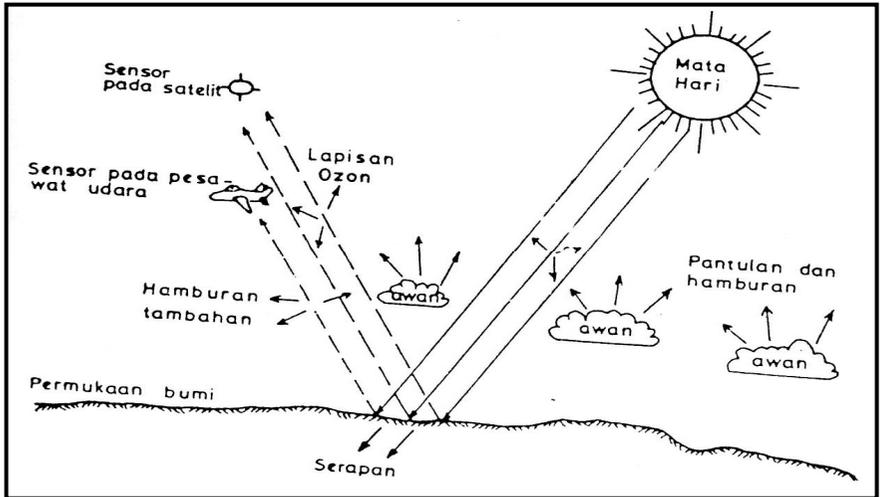
Tenaga yang masuk ke permukaan bumi dan mencapai objek, maka sebagian tenaga oleh objek akan dihamburkan, dipantulkan, dan sebagian lagi diserap. Pada waktu suhu udara di atas permukaan bumi lebih rendah dibandingkan suhu objek, maka tenaga yang diserap oleh objek tersebut dikeluarkan kembali ke udara/angkasa dalam bentuk tenaga pancar. Tenaga yang terpancar maupun yang terpantul oleh objek mempunyai perbedaan pantulan dan panjang gelombang, karena tiap objek di permukaan bumi mempunyai perbedaan tingkat kekerasan, kandungan air, mineral, dan sebagainya. Oleh karena perbedaan pantulan dan pancaran yang berbeda, maka tenaga tersebut bila direkam akan menunjukkan gambaran objek yang berbeda. Untuk merekam tenaga tersebut perlu adanya suatu alat yang dapat merekam tenaga pantulan dan pancaran dari objek yang direkam.

Dengan demikian dalam perekaman objek oleh alat harus terjadi interaksi antara tenaga dan objek yang direkam. Hasil interaksi tersebut, maka tenaga direkam oleh suatu alat (sensor). Dan hasil rekaman alat merupakan data yang sesuai dengan keadaan sebenarnya dari sebagian permukaan bumi yang direkam oleh alat berupa *Scanner* pada saat perekaman.

Pada dasarnya energi yang masuk ke permukaan bumi tidak seluruhnya sampai, tapi hanya sebagian kecil masuk ke permukaan bumi. Energi tersebut dihambat oleh atmosfer melalui serapan, pantulan dan transmisi (diteruskan). Energi yang mencapai permukaan bumi dan berinteraksi dengan objek, sehingga sebagian energi diserap, dipantulkan dan diteruskan oleh objek. Jadi ke-3 energi yang berinteraksi tersebut merupakan energi yang sampai ke permukaan bumi. Interaksi energi tersebut ditunjukkan pada gambar 2.5.

Data hasil perekaman belum menjadi suatu informasi yang bermanfaat, data tersebut dapat menjadi informasi yang sesuai dengan keadaan yang sebenarnya dan bermanfaat bila data tersebut dianalisis/diinterpretasi. Artinya keakuratan suatu informasi tergantung pada interpreter, karena itu interpreter harus memiliki

wawasan luas mengenai sifat dan ciri-ciri objek yang ada di permukaan bumi, selain memahami sifat dan ciri-ciri tenaga yang digunakan dalam perekaman.



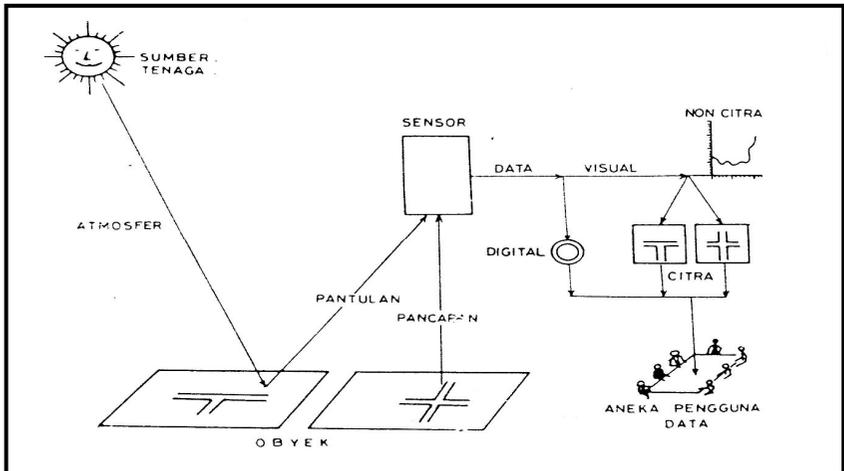
Gambar 2.5.

*Interaksi antara sistem elektromagnetik dan atmosfer
(Sabin, 1978 dalam Sutanto, 1986)*

C. INTERAKSI KOMPONEN PENGINDERAAN JAUH

Untuk memperoleh data penginderaan jauh, maka dalam perekaman objek di permukaan bumi diperlukan adanya wahana (*Platform*), tenaga alami atau buatan, objek yang direkam, alat (sensor) dan deteksi (detektor). Tenaga yang memancar dari matahari ke permukaan bumi (objek) akan memantul maupun memancar kembali dan sebagian tenaga yang memantul maupun yang memancar direkam oleh alat (sensor). Pada sensor terdapat detektor yang ada di dalam alat yang dipasang pada wahana (seperti pesawat, balon udara).

Komponen dari sistem penginderaan jauh ditunjukkan pada gambar 2.5

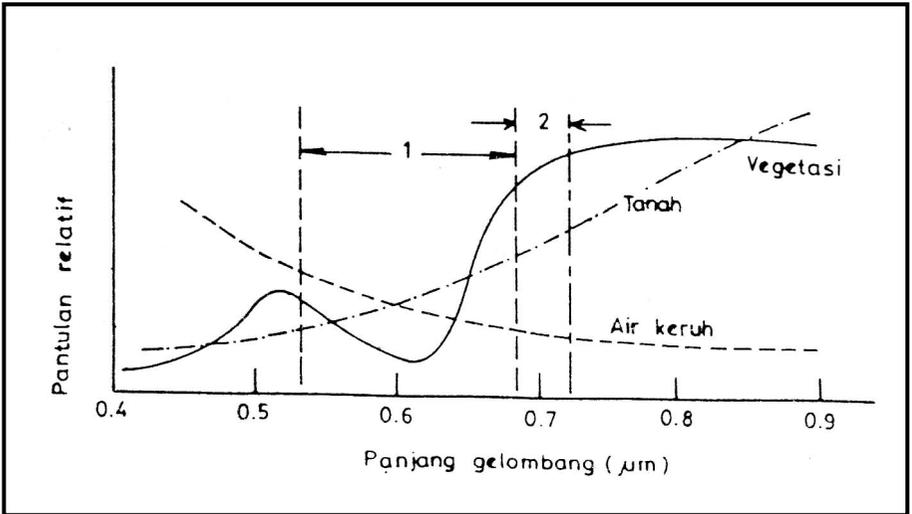


Gambar 2.5.

Komponen sistem penginderaan jauh (Sutanto, 1986)

Jenis pantulan spektral menunjukkan perbedaan panjang gelombang yang membentuk suatu kurva. Pantulan spektrum tenaga elektromagnetik dari tumbuhan sehat dimanifestasikan pada puncak dan lembah dari suatu kurva. Chlorofil daun, secara kuat menyerap energi pada λ 0,45 – 0,65 μm , sementara mata manusia menerima pantulan dari tumbuhan sehat dengan warna hijau. Kurangnya pantulan tenaga dari chlorofil terletak pada saluran biru dan merah.

Pantulan dari vegetasi sehat meningkat secara dramatik pada spektrum inframerah pada λ 0,7-1,3 μm , karena pantulan tenaga dari daun sekitar 50 % meningkat pada energi yang sampai pada objek. Pantulan dari ke-3 jenis objek tersebut ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6.

*Tipe kurva pantulan spektrum dari tumbuhan, tanah, dan Air
(Ford, 1979 dalam sutanto, 1986)*

Atas dasar cara perolehan data penginderaan jauh dalam sistem perekamannya, maka penginderaan jauh diklasifikasikan menjadi 2 sistem yaitu (1) Sistem Fotografik, dan (2) Sistem Non Fotografik.

1. Sistem Fotografik

Sistem fotografik adalah sistem penginderaan jauh yang perekamannya didasarkan pada tenaga alami (matahari). Sistem ini digunakan, karena tenaga yang berasal dari matahari dan masuk ke permukaan bumi (objek) memantul kembali. Pantulan tenaga dari objek tersebut direkam oleh alat (sensor), sehingga pantulan tersebut yang direkam akan membentuk gambar dari objek. Jadi inti dari sistem fotografik didasarkan pada tenaga pantulan. Oleh karena tenaga tersebut terpantul, maka perlu alat dan detektor yang mampu merekam tenaga

pantulan. Artinya detektor dari alat harus peka terhadap tenaga pantulan. Detektor yang peka terhadap tenaga pantulan adalah film, dimana pada film tersebut terisi oleh unsur kimia yang disebut dengan perak halid. Perak halid ini peka terhadap sinar, karena bila perak halid kena sinar, maka perak halid akan terbakar. Atas dasar pantulan tenaga elektromagnetik tersebut, maka semakin besar tenaga yang dipantulkan, maka pembakaran pada film semakin besar. Jadi rona yang terbentuk pada film tetap, sedangkan setelah dicetak rona yang terbentuk cerah. Sebaliknya semakin kecil tenaga yang dipantulkan, maka pembakaran pada film semakin kecil. Jadi rona yang terbentuk pada film cerah, sedangkan setelah dicetak rona yang terbentuk gelap.

2. Sistem Non Fotografik

Sistem non fotografik yaitu suatu sistem yang menggunakan tenaga elektromagnetik alami maupun buatan, hanya perbedaan dengan sistem fotografi, maka pada sistem non fotografi dalam perekaman objek menggunakan sensor elektrik (*Scanner*) dengan detektornya pita magnetik. Jadi proses perekaman bukan pembakaran seperti pada film, tetapi merekam tenaga pantulan maupun tenaga pancaran.

Radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi selain tenaga tersebut dipantulkan oleh objek, juga sebagian diserap oleh objek permukaan bumi. Objek yang menyerap tenaga tersebut dapat memancarkan tenaga, bila suhu udara di sekitar objek tersebut lebih rendah dibandingkan dengan suhu objek tersebut. Pancaran tenaga dari objek di permukaan bumi memancarkan radiasi dengan panjang gelombang sekitar λ 9,6 μm , sehingga detektor (film) yang digunakan untuk merekam dengan sistem fotografik tidak dapat digunakan. Oleh karena itu untuk merekam objek dengan puncak pancaran diperlukan detektor yang peka terhadap panjang gelombang tersebut. Detektor untuk merekam λ dengan spektrum termal, gelombang mikro tersebut dikenal dengan pita magnetik, sedangkan alat (sensor) yang digunakan

Scanner (penyiam), sedangkan untuk mendeteksi pantulan maupun pancaran tenaga tersebut tercatat pada pita magnetik.

D. SISTEM PENGINDERAAN JAUH

1. Wahana dan Sensor (alat)

Oleh karena perekaman objek permukaan bumi harus dilakukan di angkasa maupun diluar angkasa, maka diperlukan wahana untuk menyimpan alat perekam. Hasil yang diperoleh pengideraan jauh dipengaruhi oleh kerincian objek, sehingga diperlukan wahana yang mampu pada ketinggian yang berbeda, selain harus ditunjang alat perekam yang mempunyai resolusi tinggi. Wahana yang digunakan untuk pengideraan jauh diantaranya: balon udara, pesawat terbang, roket, pesawat ulang alik, dan satelit. Khusus wahana yang menggunakan pesawat terbang, maka tingkat kerincian objek dapat ditingkatkan, karena dapat digunakan secara multi tingkat (pada ketinggian yang berbeda). Sedangkan wahana selain pesawat, seperti satelit ketinggian wahana sudah ditentukan sebelumnya, sehingga tingkat kerincian objek tergantung pada kemampuan *pixel* dan kemampuan lensa dalam merekam objek terkecil.

Alat perekam (sensor) merupakan alat yang berfungsi sebagai penerima tenaga pantulan maupun pancaran yang direkam oleh detektor. Atas dasar proses perekaman, sensor, detektor dan panjang gelombang yang digunakan, maka sensor sistem pengideraan jauh diklasifikasikan menjadi 2 yaitu :

a. Sensor Fotografik

Sensor yang digunakan pengideraan jauh sistem fotografik adalah kamera. Cara kerja sensor ini di dasarkan pada pantulan tenaga dari objek, sedangkan detektornya adalah film yang dilapisi oleh unsur kimia seperti perak halid yang mempunyai sifat mudah terbakar jika

terkena cahaya. Oleh karena jika ada tenaga yang terpantul dan direkam oleh kamera dan tergambar pada detektor, karena tenaga tersebut akan membakar perak halid yang ada pada film.

b. Sensor Elektrik

Sensor elektrik ini digunakan untuk perekaman data sistem penginderaan jauh non fotografik, karena proses perekaman onjek permukaan bumi tidak didasarkan pada pembakaran pada film, tetapi didasarkan pada sinyal elektrik yang dipantulkan maupun dipancarkan objek dan direkam *Scanner* yang tercatat pada detektor. Detektor untuk sensor ini adalah pita magnetik dan proses perekamannya didasarkan pada energi yang dipantulkan maupun energi yang dipancarkan. Perekaman tenaga tersebut merupakan tenaga yang dipancarkan dikurangi dengan tenaga yang diserap objek, diteruskan objek maupun dipantulkan objek, sehingga tenaga yang terekam dapat berupa data visual (citra) dan data Digit (numerik).

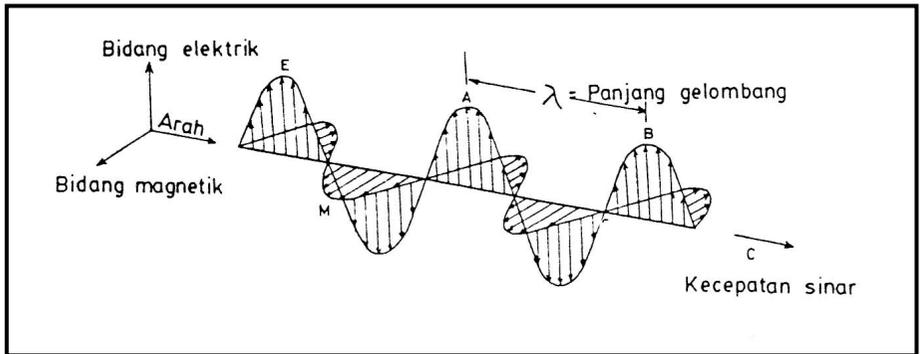
Perbedaan sistem penginderaan jauh digambarkan oleh wahana, sensor (alat) dan detektor, meskipun nama sistem tersebut didasarkan pada spektrum tenaga elektromagnetik yang digunakan. Perbedaan sistem penginderaan jauh ditunjukkan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2.
Wahana, Sensor (alat) dan Detektor
Sumber : Sutanto, 1986

No	Sistem Penginderaan Jauh	Wahana	Sensor	Detektor
1.	Fotografik	Balon udara, Pesawat Udara	Kamera	Film
2.	Termal	Pesawat Udara	<i>Scanner</i> (penyiam)	Pita magnetik
3.	Gelombang mikro & Radar	Pesawat Udara, Satelit	<i>Scanner</i> (penyiam)	Pita magnetik
4.	Satelit	Satelit	<i>Scanner</i> (penyiam)	Pita magnetik

2. Fisika Penginderaan Jauh

Data yang diperoleh penginderaan jauh disimpan (disiam) dari jarak jauh. Oleh karena itu data yang direkam (disiam) dalam bentuk data mentah perlu dianalisis, maka data tersebut perlu dianalisis menjadi informasi yang diperlukan. Data tersebut diperoleh melalui interaksi antara objek dengan tenaga elektromagnetik, dimana radiasi matahari merupakan sumber tenaga. Tenaga elektromagnetik tidak nampak, kecuali bila berinteraksi. Tenaga matahari yang dipancarkan bergerak secara statis dan terurai dan membentuk berbagai panjang gelombang (λ). Gelombang elektromagnetik yang terpancar meliputi gelombang elektrik dan magnetik yang ditunjukkan gambar 2.7.



Gambar 2.7.

Gelombang elektromagnetik, Komponen gelombang elektromagnetik dan magnetik (Lillesand dan Kiefer, 1979)

Tenaga radiasi yang memancarkan tenaga dalam bentuk tenaga gelombang elektromagnetik yang bergerak ke segala arah dengan kecepatan simultan (c), sedangkan jarak dari puncak gelombang ke puncak lain (λ) dan kecepatan gelombang persatuan unit/waktu disebut frekuensi (f). Kecepatan cahaya, frekuensi dan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$c = f \lambda$$

c = Kecepatan cahaya ($3 \times 100.000.000$ m/detik)

f = Perputaran gelombang dalam satuan detik

λ = Panjang gelombang (mikrometer = μm)

Gelombang elektromagnetik tersebut memancar secara tetap, maka suhu permukaan matahari tersebut sekitar 6000°K dan semua material permukaan bumi di atas 0°K (-273°C). Dengan mengetahui suhu

permukaan matahari, maka puncak gelombang dapat dihitung dengan rumus :

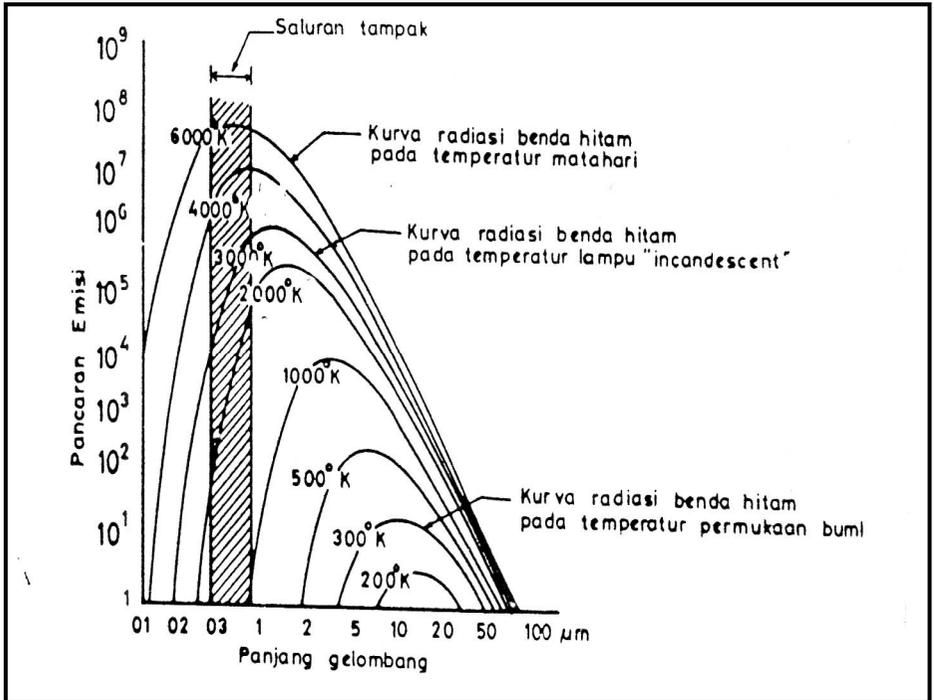
$$\lambda_m = \frac{A}{T}$$

λ_m = Panjang gelombang maksimum

A = Konstante ($2898 \mu\text{m} / ^\circ\text{K}$)

T = Suhu $^\circ\text{K}$

Suhu matahari dengan puncak radiasi sekitar $0,48 \mu\text{m}$ dan perluasannya, dimana kepekaan mata manusia sekitar $\lambda 0,4 - 0,7 \mu\text{m}$. Gelombang elektromagnetik yang didasarkan pada suhu bumi (300°K), puncak radiasi dari bumi pada sekitar $\lambda 9,6 \mu\text{m}$. Karena itu penginderaan jauh sistem fotografik tidak dapat merekam, karena pancaran bumi dengan $\lambda 9,6 \mu\text{m}$. Formula di atas menggambarkan semakin besar suhu akan semakin besar tenaga kinetik yang dipancarkan. Perubahan suhu akan menggeser puncak dan besar pancaran. Dengan semakin suhu tinggi akan bergeser ke arah gelombang panjang. Tenaga pancaran benda hitam sempurna pada berbagai suhu ditunjukkan pada gambar 2.8



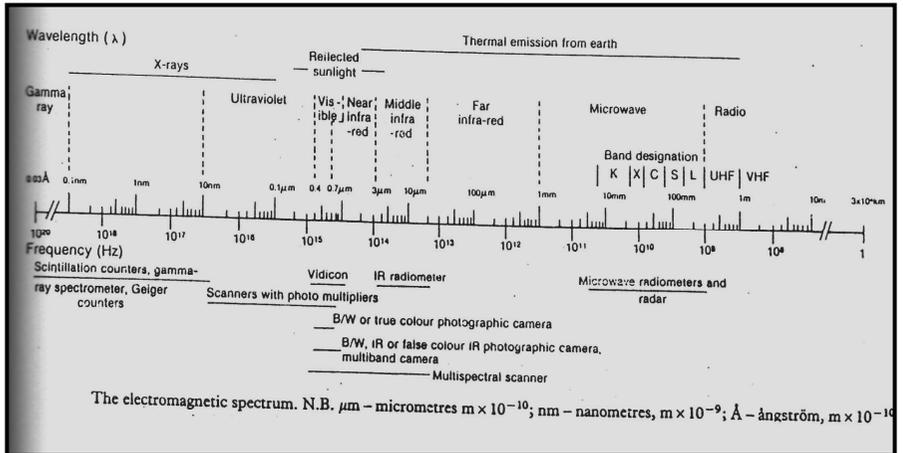
Gambar 2.8.

Tenaga pancaran oleh benda hitam sempurna pada berbagai suhu (Lillesand dan Kiefer, 1979)

3. Spektrum Elektromagnetik

Tenaga elektromagnetik merupakan suatu berkas sinar atau dikenal dengan spektrum yang luas, karena luasnya tenaga elektromagnetik dengan berbagai panjang gelombang, maka berbagai panjang gelombang tersebut diklasifikasikan menjadi spektrum. Klasifikasi tenaga tersebut diantaranya : Spektrum kosmik, Gamma, X, Ultra Violet, Tampak, Infra Merah, Termal, Gelombang Mikro dan Radio.

Spektrum elektromagnetik yang dipancarkan oleh matahari sangat bervariasi panjang gelombangnya (λ). Klasifikasi spektrum elektromagnetik dan panjang gelombang (λ) ditunjukkan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8.

Spektrum Elektromagnetik (Trevett, 1986)

Spektrum elektromagnetik tidak seluruhnya masuk ke permukaan bumi, tetapi hanya sebagian kecil spektrum elektromagnetik yang dapat mencapai permukaan bumi. Spektrum yang mampu mencapai permukaan bumi melalui celah-celah atmosfer disebut dengan jendela atmosfer. Jendela atmosfer yang sejak dahulu digunakan oleh manusia adalah spektrum nampak. Spektrum ini mempunyai λ 0,4-0,7 μm dan sesuai dengan kepekaan mata manusia. Atas dasar puncak pancaran radiasi matahari dengan menggunakan formula dari Wien, maka puncak pancaran matahari terletak pada λ 0,48 μm . Oleh karena itu penggunaan jendela atmosfer dengan spektrum tampak digunakan pertama kali oleh penginderaan jauh. Perkembangan selanjutnya,

maka penggunaan jendela atmosfer pada spektrum lain digunakan sistem penginderaan jauh.

Jendela atmosfer merupakan celah-celah yang ada di atmosfer, karena bumi yang dikelilingi oleh lapisan udara diisi oleh material-material yang ringan. Material tersebut mempunyai diameter lebih kecil maupun lebih besar dari spektrum tampak, dimana material ini berperan sebagai penghambat masuknya spektrum tenaga elektromagnetik.

4. Hambatan dari Atmosfer

Material-material yang melayang dan tersebar di atmosfer ini berfungsi untuk menghambat, menyerap, dan memantulkan tenaga radiasi matahari. Oleh karena itu material ini disebut dengan hamburan. Atas dasar besarnya material dan fungsi dari material hamburan ini, maka hamburan diklasifikasikan menjadi : (1) Hamburan Rayleigh, (2) Hamburan Mie dan (3) Hamburan Non Selektif.

a. Hamburan Rayleigh

Hamburan ini terisi oleh material maupun unsur-unsur kimia yang sangat ringan seperti Nitrogen, Oksigen, Gas, Ozon dan sebagainya. Diameter dari hamburan ini lebih kecil dari spektrum tampak. Ini dicirikan dengan warna langit yang cerah kebiruan. Oleh karena butiran hamburan lebih kecil dibandingkan panjang gelombang pada spektrum tampak banyak tersebar pada saluran biru (λ 0,4 - 0,5 μm). Lillesand dan Kiefer (1979) menyebutkan bahwa hamburan Rayleigh menyebabkan foto hitam putih nampak berkabut, sedangkan pada foto berwarna memberikan warna abu kebiruan yang mengurangi ketajaman objek pada foto. Meskipun di atmosfer sendiri memberikan warna kebiruan yang menunjukkan keadaan atmosfer cerah.

b. Hamburan Mie

Hamburan ini terisi oleh material-material yang diameternya hampir sama dengan spektrum tampak, karena inti kebiruan ini menempati lapisan atmosfer yang tersebar di bawah hamburan Rayleigh. Hamburan ini terdiri dari debu, kabut, asap dan sebagainya. Hal ini dicirikan dengan warna langit yang cerah keputihan. Hamburan Mie banyak tersebar pada saluran hijau.

c. Hamburan Non Selektif

Hamburan ini memiliki diameter material yang lebih besar dari spektrum tampak dengan material seperti : debu, asap, uap air, CO_2 , dan sebagainya. Hamburan ini dicirikan dengan warna langit yang gelap (awan Kumulonimbus).

Hamburan ini mempunyai fungsi yang berbeda tergantung dari unsur kimia atau material yang dikandungnya. Kandungan material atau unsur kimia ini dapat berubah tergantung kondisi dari permukaan bumi. Artinya bahwa bila semakin banyak hamburan non selektif memungkinkan terjadinya penutupan atmosfer bagian bawah, sedangkan dengan unsur kimia tersebut mempengaruhi tingkat penyebaran matahari. Penyebaran hamburan ini semakin luas akan mendesak hamburan yang lebih ringan, sehingga akan menambah atau memperluas jendela atmosfer, terutama hamburan yang mengandung unsur C (karbon), karena C memiliki bejar jenis (BJ) yang berbeda, sehingga menempati atmosfer bagian bawah. Unsur ini dapat bersenyawa dengan unsur O, O_2 , O_3 , dan sebagainya.

BAB III

TEKNIK DAN UNSUR INTERPRETASI CITRA

Dalam suatu analisis citra penginderaan jauh dilakukan dengan cara interpretasi, ada objek yang nampak pada citra dan ada objek yang tidak nampak. Untuk interpretasi objek yang nampak dapat secara langsung mendeteksi, mengidentifikasi dan menganalisis objek tersebut, tetapi objek-objek tertentu kemungkinan tidak nampak pada citra, karena tertutup oleh penutup lahan. Meskipun demikian objek yang tidak nampak dapat diinterpretasi dengan cara mengasosiasikan objek yang tidak nampak dengan objek yang nampak. Dalam interpretasi citra penginderaan jauh digunakan teknik dan unsur interpretasi citra.

A. Teknik Interpretasi Citra

Faktor-faktor alam yang terbentuk menjadi suatu objek di permukaan bumi pada kenyataan mempunyai keterkaitan antara satu faktor dengan faktor lainnya, dimana faktor-faktor tersebut saling berinteraksi dan berinterdependensi. Oleh karena itu objek-objek yang tidak nampak dapat dilakukan teknik interpretasi. Dalam interpretasi citra, maka teknik diklasifikasikan menjadi 2, yaitu :

1. Teknik Langsung

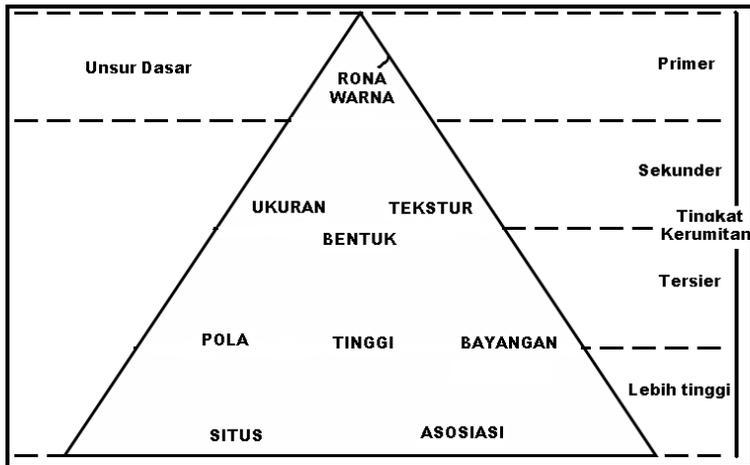
Teknik ini dilakukan dengan cara menginterpretasi citra maupun digitasi secara langsung terhadap objek-objek yang nampak, seperti : vegetasi dan penggunaan lahan, pola aliran sungai, jaringan jalan, dan sebagainya.

2. Teknik Tidak Langsung

Teknik ini dilakukan dengan cara menginterpretasi objek-objek yang tidak nampak pada citra, karena tertutup oleh vegetasi dan penggunaan lahan, tetapi objek tersebut dapat diinterpretasi dengan menggunakan asosiasi suatu objek. Artinya, harus dicari keterkaitan objek yang tidak nampak dengan yang nampak di citra. Sebagai contoh : bila diketahui jenis vegetasinya adalah padi dengan morfologinya datar, terdapat sungai, maka dapat diduga bahwa daerah tersebut merupakan tempat sedimentasi dengan material halus, maka objek yang diinterpretasi yang dapat diperkirakan adalah jenis tanah aluvial.

B. Unsur Interpretasi Peta

Dalam analisis citra diperlukan langkah-langkah tertentu, sehingga dapat memberikan suatu data dan informasi yang berguna. Analisis citra diwujudkan dengan cara interpretasi, maka untuk interpretasi diperlukan unsur-unsur interpretasi, sehingga gambar citra dapat menjadi suatu data dan informasi. Unsur-unsur yang digunakan diklasifikasikan menjadi 2 karakteristik, yaitu (1) karakteristik spektral dan (2) karakteristik spasial. Unsur-unsur interpretasi citra ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 3.1.

*Susunan Hierarki Unsur Interpretasi Citra
(Sutanto, 1986)*

a. Rona/Warna

Rona/warna merupakan karakteristik spektral, karena rona/warna termasuk akibat besar kecilnya tenaga pantulan maupun pancaran. Unsur ini nampak pada citra dengan tingkat cerah dan gelapnya suatu objek. Umumnya rona/warna diklasifikasikan menjadi cerah, agak cerah, sedang, agak kelabu dan kelabu. Tingkatan rona/warna ini diukur secara kualitatif.

b. Ukuran

Unsur ini menunjukkan ukuran dari suatu objek secara kualitatif maupun kuantitatif. Ukuran kualitatif ditunjukkan dengan besar,

sedang, dan kecil (seperti objek hutan, perkebunan). Sedangkan ukuran dapat diukur secara kuantitatif yang ditunjukkan dengan ukuran objek di lapangan, karena itu skala harus diperhitungkan sebelum dilakukan interpretasi citra.

c. Bentuk

Unsur ini ditunjukkan dengan bentuk dari objek, karena setiap objek mempunyai bentuk. Sebagai contoh : Jalan berbentuk memanjang, lapangan bola berbentuk lonjong, dan sebagainya.

d. Tekstur

Tekstur suatu objek ditunjukkan dengan kehalusan suatu rona, dimana perbedaan rona tidak terlalu mencolok. Sebagai contoh : rona air kotor mempunyai tekstur halus, tetapi bila objek bervariasi seperti, objek hutan belukar, pantulan tenaga dari pohon bervariasi ditunjukkan dengan tekstur yang kasar.

e. Pola

Pola merupakan unsur keteraturan dari suatu objek di lapangan yang nampak pada citra. Objek buatan manusia umumnya memiliki suatu pola tertentu yang diklasifikasikan menjadi : teratur, kurang teratur, dan tidak teratur.

f. Tinggi

Unsur ini akan nampak bila objek mempunyai nilai ketinggian. Untuk citra skala kecil tinggi objek tidak nampak. Tinggi objek dapat diukur bila skalanya memungkinkan, terutama citra foto yang menunjukkan bentuk 3 dimensi.

g. Bayangan

Objek yang mempunyai tinggi akan mempunyai bayangan yang dapat digunakan untuk mengukur ketinggian suatu objek. Bayangan ditunjukkan dengan ukuran yang nampak pada citra. Dengan pengukuran panjang bayangan dan mengetahui jam terbang dapat diketahui tinggi suatu objek.

h. Situs

Unsur ini merupakan ciri khusus yang dimiliki suatu objek dan setiap objek mempunyai situs, seperti lapangan bola mempunyai situs anak gawang dan podium, sawah mempunyai situs pematang atau galengan dan sebagainya. Sehingga tinggi objek dapat diketahui.

i. Asosiasi

Unsur ini digunakan untuk menghubungkan suatu objek dengan objek lain, karena kenyataan suatu objek akan berasosiasi dengan objek lain dan berkaitan seperti sawah berasosiasi dengan aliran air (irigasi), pemukiman dan sebagainya.

Pantulan dari suatu tenaga dan sebagai unsur primer. Artinya sebelum unsur yang lain, unsur ini nampak lebih dahulu dan rona atau warna dalam interpretasi digunakan lebih dulu sebelum unsur lainnya.

Rona/warna merupakan akibat interaksi antara tenaga dan objek dan rona/warna menunjukkan gambaran spektrum yang digunakan, karena itu rona/warna disebut unsur spektral.

Unsur-unsur interpretasi seperti Rona/warna merupakan unsur primer, rona/warna merupakan unsur spektral karena menunjukkan tingkat kecerahan objek, sebab jika objek belum dapat diperkirakan, maka unsur selanjutnya digunakan unsur sekunder. Unsur seperti ukuran, bentuk dan tekstur merupakan unsur sekunder. Unsur ini merupakan unsur spasial, tetapi dalam interpretasi sebelum menggunakan unsur tersier lebih dulu digunakan unsur sekunder, sedangkan situs dan asosiasi merupakan unsur spasial yang digunakan jika objek yang nampak belum dapat diperkirakan. Oleh karena itu unsur ini unsur yang mempunyai tingkat kerumitan tinggi, karena menyangkut interelasi dan interdependensi objek.

Dalam interpretasi citra tidak harus semua unsur digunakan, meskipun hanya beberapa unsur yang digunakan, tetapi objek dapat diperkirakan maka unsur lain diabaikan. Sebaliknya jika objek belum diketahui dengan semua unsur tersebut, seharusnya objek tersebut dilakukan *checking* lapangan.

BAB IV

PENGINDERAAN JAUH SISTEM FOTOGRAFIK

A. Spektrum Elektromagnetik

Penginderaan jauh sistem fotografi dalam perekaman objek, didasarkan pada pantulan tenaga alami (matahari), sehingga disebut dengan sistem pasif. Sistem fotografik menggunakan λ 0,3 – 0,9 μm yang terbagi menjadi beberapa spektrum dan satu spektrum tersebut diklasifikasikan menjadi beberapa saluran (*band*).

1. Spektrum Ultraviolet λ 0,002 – 0,4 μm

- a. Saluran ultra violet jauh λ 0,002 – 0,2 μm , tetapi belum dimanfaatkan untuk penginderaan jauh.
- b. Saluran ultra violet sedang λ 0,002 – 0,3 μm , tetapi belum dimanfaatkan untuk penginderaan jauh.
- c. Saluran ultra violet dekat λ 0,3 – 0,4 μm , saluran ini dimanfaatkan untuk penginderaan jauh.

2. Spektrum Tampak λ 0,4 – 0,7 μm

- a. Saluran biru λ $0,4 - 0,5 \mu m$, saluran ini digunakan untuk penginderaan jauh dengan warna dasar biru.
- b. Saluran hijau λ $0,5 - 0,6 \mu m$, saluran hijau dan biru pernah digunakan dalam penginderaan jauh dan citranya disebut dengan citra ortokromatik.
- c. Saluran merah λ $0,6 - 0,7 \mu m$, saluran merah digunakan untuk penginderaan jauh dengan warna dasar merah.

Saluran biru, hijau dan merah digunakan bersama-sama dalam perekamannya dengan hasil citranya adalah citra pankromatik, tetapi dalam perekaman objek dapat dilakukan dengan menggunakan campuran spektrum tampak dan inframerah. Hal ini tergantung dari kepekaan detektor (film), karena film hitam putih hanya memiliki kemampuan merekam dengan λ $0,4 - 0,7 \mu m$, sedangkan film berwarna memiliki kemampuan merekam dengan λ $0,3 - 0,9 \mu m$.

B. Jenis Foto Udara

Citra merupakan gambaran visual yang direkam dari objek di permukaan bumi. Atas dasar spektrum, sensor dan detektornya yang berbeda, maka citra diklasifikasikan menjadi 2 yaitu (1) Citra Foto dan, (2) Citra Non Foto.

Citra foto dalam perekamannya didasarkan pada pantulan tenaga dari objek dan perekamannya menggunakan sensor kamera sedangkan detektornya adalah film dengan prosesnya bersifat kimiawi. Oleh karena perbedaan spektrum elektromagnetik yang digunakan, maka citra foto diklasifikasikan menjadi beberapa citra.

Penginderaan jauh dengan sistem fotografik didasarkan kepada tenaga/sinar yang dipantulkan oleh objek. Umumnya tenaga yang digunakan sistem ini adalah tenaga matahari, sehingga penginderaan

jauh yang menggunakan tenaga/sinar matahari (alami) disebut sistem pasif. Hasil dari sistem ini dan sebutannya didasarkan kepada spektrum alat, detektor dan proses yang digunakan. Atas dasar penggunaan spektrum maupun saluran, maka hasil citra sistem fotografik diklasifikasikan menjadi foto ultraviolet, foto ortokromatik, foto pankromatik, dan foto inframerah.

1. Foto Ultraviolet

Foto ini menggunakan spektrum elektromagnetik dengan λ 0,02 – 0,4 μm . Spektrum ultra violet dibagi menjadi 3 saluran, yaitu : (1) saluran ultra violet dekat dengan λ 0,29 – 0,4 μm , (2) saluran ultra violet sedang dengan λ 0,3 – 0,2 μm dan (3) saluran ultra violet jauh dengan λ 0,2 – 0,02 μm . Saluran ultra violet sedang dan jauh belum dimanfaatkan. Meskipun demikian saluran ultra violet dekat mempunyai keterbatasan dalam merekam objek, karena pada di bawah λ 0,36 μm lensa menjadi tidak tembus cahaya.

Spektrum yang digunakan untuk citra ultra violet adalah spektrum ultra violet dekat dengan λ 0,29 – 0,4 μm . Spektrum ini memiliki kepekaan terhadap objek yang lembab terutama air, karena air banyak menyerap tenaga pancaran dari matahari. Penyerapan tenaga yang banyak menyebabkan pantulan rendah, sehingga rona yang terbentuk adalah gelap. Spektrum ini kurang memiliki kemampuan untuk menembus lapisan minyak, sehingga tenaga yang sampai pada objek yang dilapisi minyak banyak memantulkan tenaga radiasi matahari. Pantulan yang tinggi menyebabkan rona yang terbentuk adalah cerah. Oleh karena itu penggunaan spektrum ultraviolet baik digunakan untuk mendeteksi pencemaran minyak dilautan.

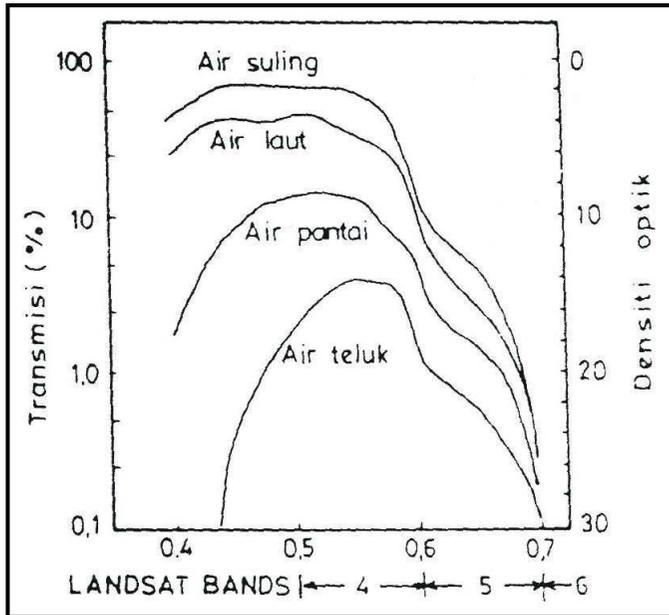
a. Citra Ortokromatik

Citra ortokromatik menggunakan spektrum tampak pada saluran biru dan hijau dengan λ 0,4 – 0,56 μ . Artinya film yang digunakan hanya mampu terhadap tersebut karena saluran hijau masih dipengaruhi oleh hamburan Rayleigh dan Mie, sehingga gambaran objek kurang jelas

(Lo, 1976, Sutanto, 1986). Oleh karena spektrum ini banyak hamburan Rayleigh di atmosfer, sehingga tenaga yang melalui atmosfer dihambat oleh hamburan tersebut dan sebagian sampai ke permukaan bumi. Akibat tenaga terhambat oleh hamburan dengan material gas, oksigen, ozon, dan nitrogen, maka pantulan yang sampai pada sensor berkurang. Hasil perekaman pada objek kurang begitu jelas (seperti berkabut).

Keunggulan dari foto ortokromatik terletak pada kemampuannya saluran tersebut memiliki terhadap daya tembus pada objek yang ada di bawah permukaan air laut yang jernih, karena itu foto ini baik digunakan untuk mempelajari perairan yang dangkal dan pantai. Tewinkel (1963) mengemukakan bahwa jenis film yang khusus digunakan untuk pemetaan dasar perairan dimana daya tembus tenaga tersebut mencapai kedalaman 20 meter dengan kondisi air laut jernih, tenang dan keadaan cuaca cerah, sehingga tenaga tersebut mencapai dasar laut dangkal.

Sehubungan dengan keterbatasan dan keunggulan foto ortokromatik Lillesand dan Kiefer (1979) mengemukakan bahwa sinar yang digunakan sebaiknya dengan λ 0,48 – 0,6 μm , karena saluran biru mempunyai daya tembus yang besar terhadap air. Daya tembus saluran inipun mempunyai perbedaan terhadap berbagai jenis air. Sabin (1978) membandingkan nilai tembus sinar terhadap 4 tingkat kejernihan air dari beberapa panjang gelombang dengan kedalaman 10 meter ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1.

Nilai tembus dan kerapatan air sampai kedalaman 10 meter dengan 4 jenis air (Sabin 1978, Sutanto, 1986)

b. Citra Pankromatik

Citra pankromatik menggunakan spektrum tampak dengan λ 0,4 – 0,7 μm . Karena menggunakan semua saluran pada spektrum tampak, maka kesan objek yang direkam sesuai dengan keadaan sebenarnya dan sesuai dengan kepekaan mata manusia. Citra pankromatik dibagi 2 yaitu, (1) citra pankromatik hitam putih dan (2) citra pankromatik berwarna.

Oleh karena semua saluran digunakan, maka hasil rekamannya sesuai dengan kemampuan mata manusia. Hal ini memudahkan untuk menganalisis objek yang ada di permukaan bumi terutama objek-objek yang telah dikenal. Objek yang tergambar pada citra pankromatik berwarna sesuai dengan keadaan yang sebenarnya, sehingga memudahkan untuk analisis. Kelemahan dari pankromatik berwarna adalah harga yang mahal dan resolusinya masih terlalu kasar dibandingkan dengan pankromatik hitam putih. Keunggulan foto udara pankromatik hitam putih dan berwarna ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1.

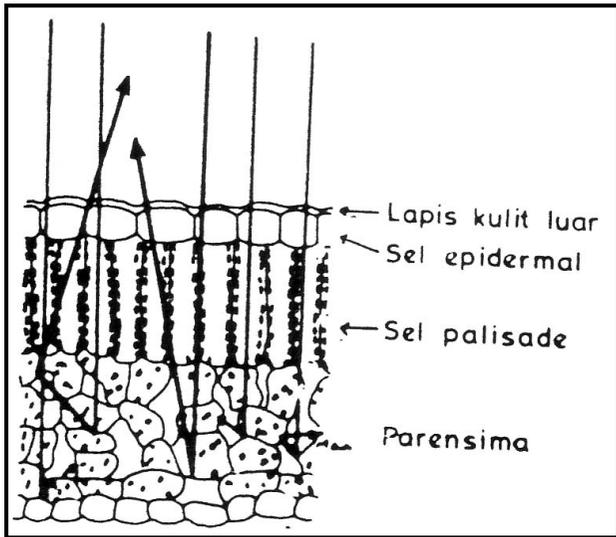
Keunggulan foto pankromatik hitam putih dan berwarna (Colwell, 1976; Lo, 1976; Lillesand dan Kiefer, 1979; Avery dan Berlin, 1985; Oaine, 1981; Curran, 1985; Sutanto, 1986)

No	KEUNGGULAN FOTO UDARA PANKROMATIK	
	Hitam Putih	Berwarna
1.	Rona objek sesuai dengan kesan mata dan spektrum yang digunakan sesuai dengan kepekaan mata manusia	Kemampuan mata membedakan rona objek sampai 200 tingkat rona, sedangkan warna mencapai 20.000 warna
2.	Resolusi spesial halus yang memungkinkan pengenalan objek berukuran kecil	Gambar objek mirip dengan warna sebenarnya, sehingga objek mudah dikenal.
3.	Stabilitas dimensional tinggi, sehingga baik digunakan bidang fotogrametri	Stabilitas dimensional rendah dibandingkan pankromatik hitam putih
4.	Film yang digunakan lebih lama digunakan, dan sudah terbiasa menggunakannya.	Mampu menduga kedalaman air, karena warna dapat menunjukkan perkiraan kedalaman.

c. Citra Inframerah

Citra inframerah menggunakan spektrum inframerah saluran dekat pada jendela atmosfer dengan λ 0,7 – 0,9 μm dan perluasannya sampai λ 1,2 μm . Spektrum ini mempunyai kemampuan untuk menembus hujan kecil, tetapi tenaga pada spektrum inframerah akan diserap oleh air, sehingga jika objek tersebut adalah air, maka rona yang terbentuk adalah gelap lebih gelap dari rona dengan menggunakan spektrum tampak. Air yang keruh banyak memantulkan tenaga, sehingga rona yang terbentuk adalah cerah, lebih cerah dari spektrum tampak.

Perbedaan dalam berinteraksi tenaga tersebut, maka dalam analisis citra mudah dibedakan, karena pada salah satu citra tidak nampak, tetapi pada citra dengan menggunakan spektrum yang lain akan nampak. Sifat pada spektrum ini pada lapisan daun adalah mempunyai kemampuan menembus lapisan luar dari daun, sedangkan tenaga tersebut akan diserap dan dipantulkan oleh lapisan paretensima, karena pada lapisan itu terkandung air. Pantulan dari vegetasi ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2.

Pantulan dari vegetasi dengan spektrum inframerah (Sutanto, 1986)

Sifat spektrum dan pantulan dari daun vegetasi bukan dari permukaan kulit luar, maka warna yang terbentuk pada citra infra merah tidak sesuai dengan kesan mata manusia. Vegetasi sehat memiliki kandungan air yang lebih banyak dibandingkan dengan vegetasi yang kurang sehat. Oleh karena itu keunggulan dari citra inframerah ini adalah untuk membedakan tanaman yang sehat dan vegetasi yang kurang sehat. Keunggulan foto udara inframerah hitam putih dan berwarna ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2.

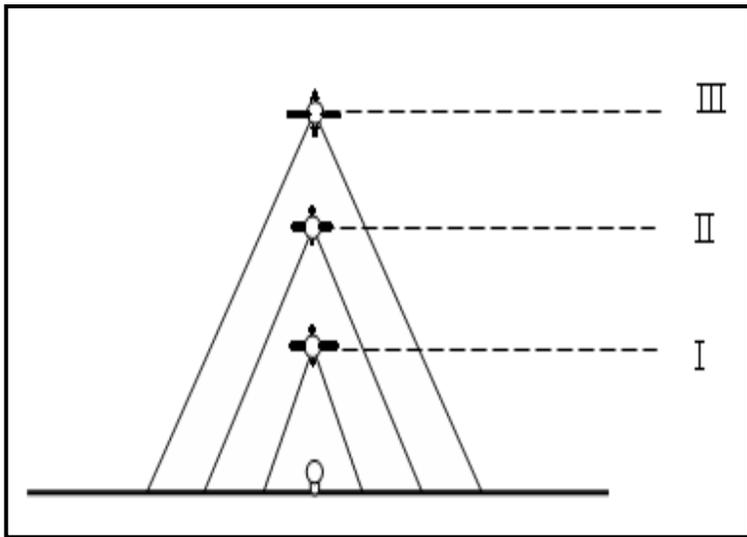
*Keunggulan foto inframerah hitam putih dan berwarna
(Schwartz , 1985; Wells dan Holzo, 1985; Avery dan Berlin, 1985; Lo,
1976; Curran, 1985; Sutanto, 1986)*

No	KEUNGGULAN FOTO UDARA INFRAMERAH	
	Hitam Putih	Berwarna
1.	Tenaga dipantulkan dari mesofil daun yaitu: jaringan sel parensima, sehingga rona tidak mirip dengan wujud aslinya.	Warna yang tidakserupa dengan warna aslinya memudahkan pengenalan objek.
2.	Daya tembus saluran inframerah terhadap kabut tipis, sehingga dapat dilakukan pemotretan dari pesawat terbang tinggi.	Bentuk samaran bangunan militer yang dibentuk seperti vegetasi mudah dikenal, karena vegetasi tidak berair akan memantulkan tenaga lebih besar.
3.	Daya serap terhadap air lebih besar, sehingga rona air lebih gelap dibandingkan saluran tampak.	Daya serap terhadap air besar, sehingga memudahkan pengenalan vegetasi sehat dan tidak sehat.
4.	Film mempunyai kepekaan terhadap spektrum untraviolet, tampak dan inframerah, sehingga dapat memilih saluran yang lebih sempit.	Saluran yang lentur dan dapat dilakukan pemotretan multispektral, untuk melengkapi data.

Keunggulan lain dari spektrum inframerah adalah filmnya. Film inframerah peka terhadap beberapa spektrum, sehingga memungkinkan perekaman objek dari beberapa spektrum. Spektrum inframerah peka terhadap spektrum inframerah, spektrum tampak dan spektrum ultraviolet.

d. Citra Multispektral

Jendela atmosfer yang terletak dengan λ 0,3 – 1,2 μm memungkinkan perekaman objek dengan menggunakan beberapa spektrum yaitu spektrum inframerah, spektrum tampak dan spektrum ultraviolet atau saluran dari satu spektrum. Perekaman objek pada objek, waktu yang sama dengan menggunakan beberapa spektrum disebut dengan multispektral. Dalam perekaman objek dengan tujuan membandingkan kepekaan dari saluran dan lensa, maka kamera dalam perekaman objek menggunakan beberapa lensa pada objek dan waktu yang sama disebut multi lensa. Selain itu untuk membandingkan tingkat kerincian objek, maka perekaman objek dapat dilakukan dengan ketinggian wahana yang berbeda ketinggiannya. Oleh karena kerincian suatu data dan informasi dipengaruhi oleh fokus kamera, ketinggian wahana, resolusi film, liputan objek, maka kerincian ini akan menyangkut skala foto. Untuk kerincian data dan informasi, maka dalam perekaman objek dilakukan dengan berbeda ketinggian yang disebut dengan multi tingkat. Perekaman objek dengan berbeda ketinggian ditunjukkan pada gambar 4.3.



Gambar 4.3.

Perekaman objek pada ketinggian berbeda (Sutanto, 1986)

BAB V

FOTOGRAMETRI

A. Pendahuluan

Penginderaan jauh sistem fotogrametri adalah sistem perekaman objek yang didasarkan pantulan. Semakin besar pantulan tenaga dari objek maka rona yang tergambar akan cerah, dan sebaliknya semakin kecil pantulan objek rona yang terbentuk akan gelap. Karena itu objek yang tegak lurus dengan sumbu kamera dengan pantulan tinggi, rona yang tergambar akan cerah dibandingkan objek yang jauh dari sumbu kamera.

Sehubungan dengan sumbu kamera yang tegak lurus, maka ukuran objek yang lebih sesuai dan akurat adalah objek yang tegak lurus. Artinya semakin jauh dari sumbu tegak lurus dengan kamera, maka kesalahan ukuran makin besar. Oleh karena itu semakin jauh dari titik tembus sumbu kamera (titik prinsipal) skala semakin kecil dan kesalahan (distorsi) pada foto udara bersifat radial.

Kedudukan sumbu kamera mempengaruhi skala, karena bila sumbu kamera tidak tegak lurus, maka jarak medan yang sama akan mempunyai perbedaan jarak pada foto udara. Panjang fokus merupakan perbandingan antara ketinggian objek dengan wahana. Oleh karena itu skala diperhitungkan berdasarkan formula :

$$S = \frac{f}{H - h}$$

S = Skala

f = Panjang Fokus

H = Ketinggian wahana

h = Ketinggian objek dari permukaan laut

Sumbu kamera berkaitan dengan sumbu liputan, semakin panjang fokus kamera, maka sudut liputan semakin kecil. Artinya lahan yang terliput semakin sempit dan sebaliknya. Sudut liputan mempengaruhi skala dan kerincian objek yang direkam, karena semakin kecil sudutnya liputan lahan semakin kecil, tetapi kemampuan mendeteksi objek semakin besar.

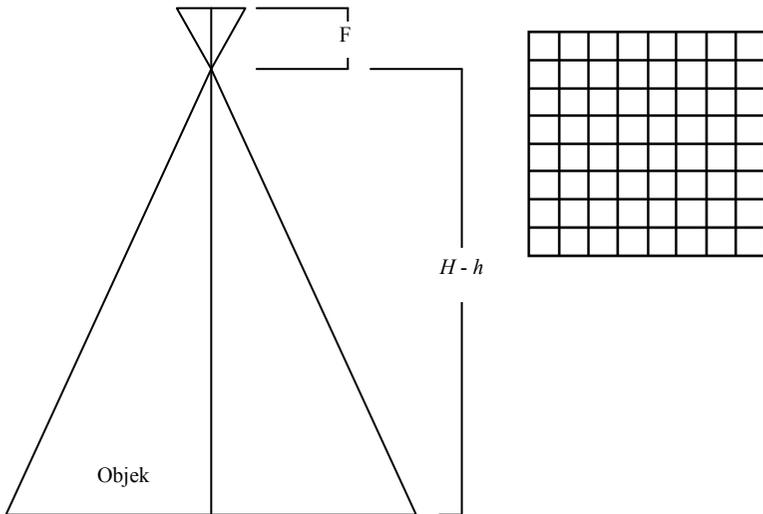
B. Hasil Rekaman

Sumbu kamera dan sudut liputan berkaitan dengan geometriknya foto udara. Sumbu kamera merekam suatu objek yang luas dalam bentuk persegi panjang atau bujur sangkar, meskipun distorsinya bersifat radial. Ukuran foto udara yang dicetak berukuran standar yaitu 23 x 23 cm (9 x 9 inci).

Kamera yang digunakan untuk perekaman objek memiliki sumbu kamera yang terletak pada pusat film dalam kamera dan menembus pada bidang objek. Sumbu kamera dalam perekamannya tidak selalu tegak lurus dengan bidang objek yang direkam, karena dipengaruhi keadaan atmosfer. Sehubungan dengan kedudukan kamera, maka foto udara diklasifikasikan menjadi 2 jenis.

a. Foto Udara Vertikal

Foto udara sebagai produk penginderaan jauh sistem fotografik dikatakan foto udara vertikal bila sumbu kamera tegak lurus dengan pusat objek yang direkam. Titik tembus sumbu kamera pada foto udara vertikal diperoleh perpotongan garis yang ditarik dari tanda *fiducial* yang terletak di pinggir maupun sudut foto udara dan disebut dengan titik prinsipal. Titik pusat foto udara ini berimpit antara titik prinsipal dan nadir. Maka foto udara tersebut dikatakan foto udara vertikal. Letak sumbu kamera dan hasil foto udara ditunjukkan pada gambar 5.1.



Gambar 5.1.

Letak Sumbu Kamera dan Hasil Foto Udara Vertikal



Gambar 5.2.

Contoh Foto Udara Vertikal

Oleh karena itu, maka distorsi pada foto udara bersifat radial, artinya semakin jauh dari titik pusat (prinsipal) tersebut kesalahan semakin besar.

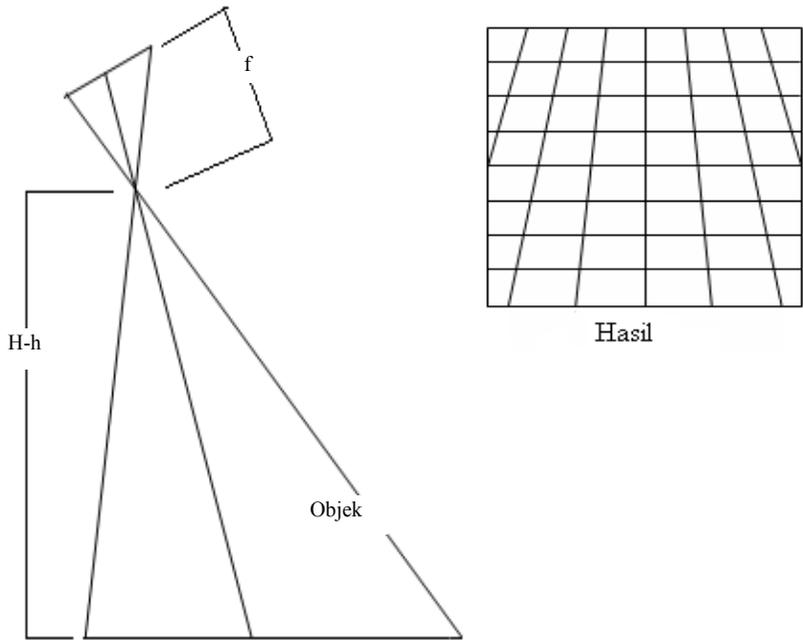
b. Foto Udara Miring (*Oblique*)

Geometrik dari foto udara vertikal lebih baik, karena sudut-sudut liputan yang sama pada foto udara mempunyai kesalahan yang sama bila dibandingkan dengan foto udara miring. Oleh karena itu perekaman diusahakan vertikal. Kenyataannya dalam perekaman terdapat gangguan pada pesawat (wahana). Gangguan tersebut berupa badai, angin, awan, dan sebagainya. Sehingga pesawat mengalami perubahan kedudukan, sedangkan perekaman secara otomatis merekam objek pada waktu yang telah ditentukan, sehingga objek yang direkam miring dan hasilnya disebut foto udara miring. Pada saat perekaman objek gangguan yang dialami kecil atau besar, sehingga

kedudukan kamera rendah atau miring tinggi. Oleh karena itu foto udara miring diklasifikasikan menjadi foto udara miring rendah dan miring tinggi.

- Foto udara miring rendah

Foto udara miring rendah terjadi pada saat pemotretan terjadi gangguan di atmosfer, sehingga kedudukan pesawat mengalami perubahan dan berakibat terhadap perubahan kedudukan sumbu kamera tidak tegak lurus dengan objek yang direkam. Titik nadir merupakan titik pada foto dimana objek yang direkam tegak lurus dengan kedudukan kamera, sedangkan sumbu kamera tidak tegak lurus. Akibat dari perekaman objek dengan sumbu kamera yang tidak lurus, maka sebagian objek yang jauh terekam dan sebagian tidak terekam. Oleh karena itu kedudukan kamera yang condong maka distorsi (kesalahan) pada foto meskipun radial, tetapi ukuran pada setiap sudut liputan berbeda yang diukur dari jarak titik prinsipal. Kedudukan kamera pada foto udara miring rendah ditunjukkan pada gambar 5.3.



Gambar 5.3.
Letak sumbu dan kedudukan kamera dan hasil foto udara miring rendah

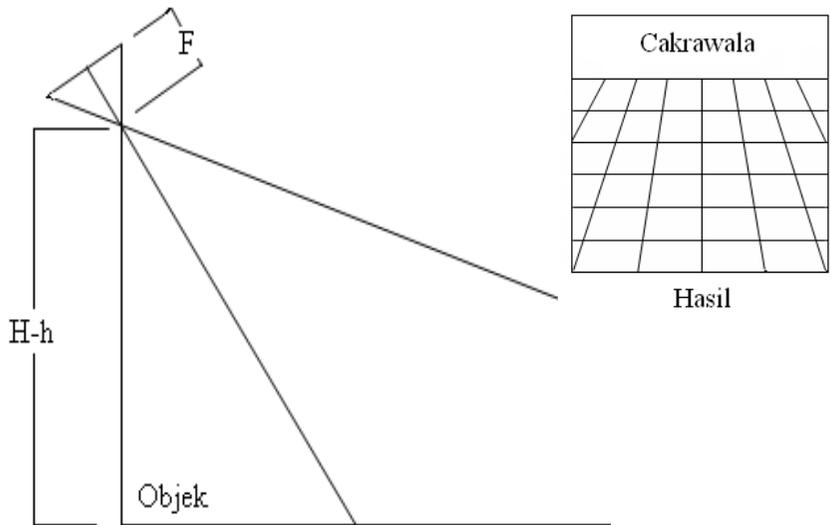


Gambar 5.4.

Letak sumbu dan kedudukan kamera dan hasil foto udara miring rendah

- Foto udara miring tinggi

Foto udara miring tinggi terjadi bila gangguan pada wahana besar, sehingga mempengaruhi perekaman objek. Akibat gangguan tersebut kedudukan sumbu kamera tidak tegak lurus dengan objek yang direkam, sedangkan kedudukan kamera sangat miring, sehingga dalam perekaman objek sebagian cakrawala terekam. Dengan kedudukan sumbu kamera tidak tegak lurus dengan objek, maka menyebabkan titik nadir dan titik prinsipal tidak bersatu atau berjauhan. Secara geometrik distorsi pada foto udara miring tinggi sangat besar. Kedudukan sumbu kamera dan hasil foto udara miring tinggi ditunjukkan pada gambar 5.5.



Gambar 5.5.

Letak sumbu dan kedudukan kamera dan hasil foto udara miring tinggi

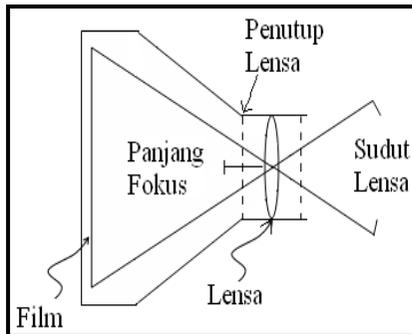


Gambar 5.6.

Contoh foto udara miring tinggi

C. Penentuan Skala Foto Udara

Skala merupakan perbandingan antara jarak 2 titik pada foto udara dan jarak 2 titik secara mendatar di lapangan. Untuk mengetahui skala foto udara, maka perlu diamati mengenai keterangan pada tepi foto udara. Kamera ditunjukkan pada gambar 5.7.



Gambar 5.7.
Kamera Foto Udara.

Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa panjang fokus berbanding lurus dengan jarak kamera dengan objek, panjang film berbanding lurus dengan jarak datar di foto. Oleh karena itu skala diperoleh dari perbandingan jarak di foto dan jarak datar di lapangan. Untuk penentuan skala digunakan formula :

$$S = \frac{f}{H - h}$$

S = Skala foto udara

f = Fokus Kamera

H = Tinggi Pesawat

h = Tinggi Objek

misal : Perekaman objek dengan menggunakan kamera yang memiliki panjang fokus 152 mm (f), tinggi terbang pesawat 5000 meter di atas permukaan laut (H) dan ketinggian objek 1200 meter di atas permukaan laut (h). Berapa skala foto udara ?

$$S = \frac{f}{H - h}$$

$$S = \frac{15,2}{500000 - 120000}$$

$$S = \frac{15,2}{380000}$$

$$S = \frac{1}{25000}$$

$$S = 1 : 25.000$$

Perhitungan skala yang dilakukan dengan membandingkan panjang fokus dengan ketinggian terbang dari objek, tetapi bila foto udara tidak dicantumkan ketinggian terbang, maka perhitungan skala dapat ditentukan dengan membandingkan jarak foto udara dengan jarak datar di lapangan dengan menggunakan formula sebagai berikut :

$$S = \frac{jf}{jl}$$

S = Skala Foto Udara

jf = Jarak di foto

jl = jarak datar di lapangan

misal : Jarak antara 2 titik pada foto udara = 5cm, sedangkan jarak datar di lapangan = 500 meter, maka berapa skala foto udara tersebut ?

Selain membandingkan jarak di foto dan di lapangan dapat juga dilakukan dengan membandingkan jarak di foto dengan jarak di peta yang ada skalanya dengan menggunakan formula :

$$S = \frac{jf}{jl}$$

$$S = \frac{5cm}{50000m}$$

$$S = \frac{1}{10.000}$$

$$S = 1 : 10.000$$

misal : Pada peta skala 1 : 25.000, jarak titik A dan B = 2 cm, sedangkan jarak pada foto udara 4 cm, hitung skala foto udara tersebut ?

$$S = \frac{jf}{jp} \times \text{skala peta}$$

$$S = \frac{jf}{jp} \times \frac{1}{25.000}$$

$$S = \frac{4}{50.000}$$

$$S = \frac{1}{12.500}$$

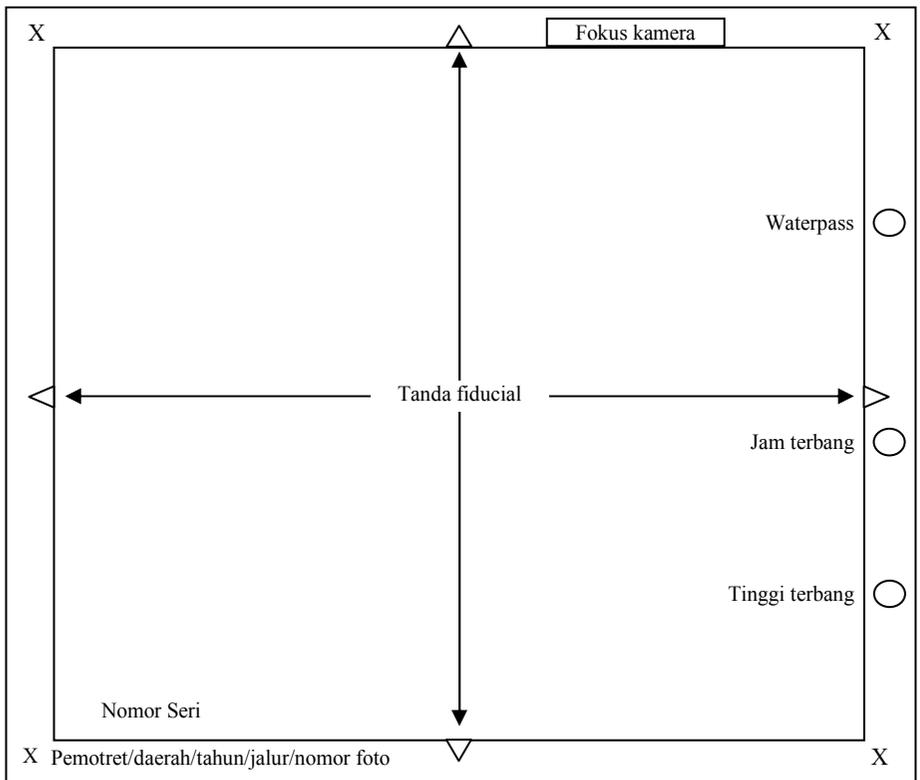
$$S = 1 : 12.500$$

D. Keterangan pada Foto Udara

Foto udara dengan ukuran standar yaitu: 23 x 23 cm. Untuk mengetahui titik tengah suatu foto, daerah yang ada pada foto, jalur terbang dan nomor foto dapat diketahui dari keterangan tepi dari foto udara. Keterangan ini berfungsi untuk memudahkan interpretasi. Keterangan tepi dari foto udara ditunjukkan pada gambar 5.8.

1. Tanda Fiducial

Tanda fiducial berfungsi untuk mengetahui titik prinsipal dari foto udara, dimana titik prinsipal foto merupakan titik tembus dari sumbu kamera pada objek/daerah yang direkam. Titik prinsipal diperoleh dari perpotongan garis dari tanda fiducial yang perpotongan garis tersebut tergambar dalam bentuk + atau X. Pada umumnya tanda fiducial pada foto udara terdapat 8 tanda.



Gambar 5.8.

Keterangan tepi peta dari foto udara

2. Nomor Seri

Pada setiap foto udara diberi nomor registrasi yang berfungsi memberikan informasi mengenai daerah yang dipotret, tanggal pemotretan, jalur terbang dan nomor lembar foto. Tujuan nomor seri ini adalah untuk mempermudah dalam pengarsipan dan penyusunan/kompilasi foto udara waktu membuat mozaik foto udara.

3. Tanda Tepi

Untuk menentukan skala dan orientasi, maka foto udara diberi tanda tepi, sehingga pada foto udara biasanya tercantum ketinggian terbang, jam terbang, panjang fokus kamera, dan waterpass. Jam terbang menunjukkan waktu pemotretan objek/daerah, sehingga dapat diketahui orientasi. Panjang fokus kamera dan ketinggian terbang untuk mengetahui skala foto udara. Waterpass untuk mengetahui kedudukan kamera.

E. Distorsi dan *Displacement*

Gerakan wahana sebagai pembawa alat perekam (pesawat udara) yang tidak stabil dapat dipengaruhi oleh keadaan udara pada saat perekaman, sehingga menyebabkan terjadinya perubahan arah, ketinggian maupun kedudukan kamera, sedangkan permukaan bumi tidak selalu datar. Keadaan udara akan berpengaruh terhadap perekaman objek/daerah, sehingga menimbulkan terjadinya distorsi dan *displacement*.

1. Distorsi

Pergeseran letak suatu objek menyebabkan perubahan karakteristik objek pada foto udara yang disebut distorsi. Distorsi sulit diperbaiki

karena menyangkut pengaruh alam maupun ukuran terhadap alat perekaman tersebut. Distorsi disebabkan oleh :

- a. Pengkerutan film
- b. Refraksi atmosferik berkas sinar
- c. Gerakan objek saat pemotretan
- d. Distorsi lensa

2. *Displacement*

Displacement yang terjadi pada foto udara adalah pergeseran letak suatu objek yang tidak menyebabkan perubahan karakteristik objek. *Displacement* ini dapat diperbaiki dengan menggunakan alat, sehingga geometrik foto udara sesuai dengan keadaan sebenarnya. *Displacement* disebabkan oleh :

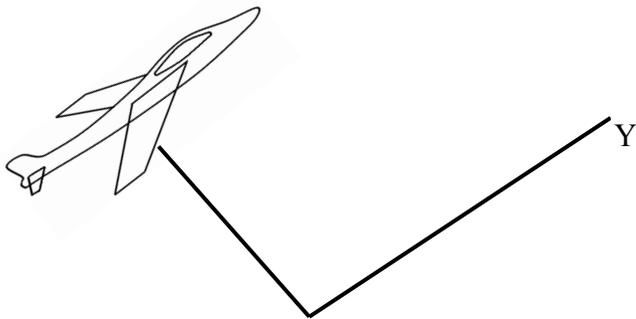
- a. Bentuk muka bumi yang lengkung
- b. Kedudukan pesawat
- c. Tofografi objek

F. Kedudukan Pesawat

Pada saat foto udara melakukan perekaman terhadap objek, kedudukan pesawat tidak selalu stabil, tetapi mengalami berbagai gangguan. Oleh karena itu perekaman objek dipengaruhi oleh atmosfer dan keadaan udara, sehingga pesawat udara labil dan

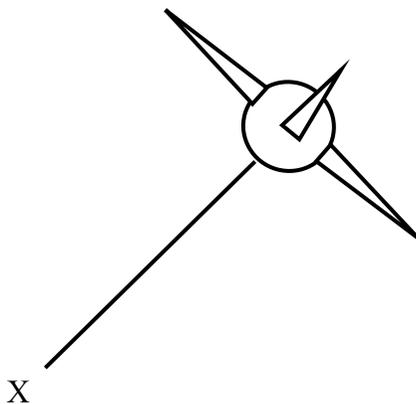
pesawat udara saat melakukan perekaman mengalami perubahan kedudukan.

1. O (Phi)-tilt; Pesawat udara mengalami gangguan dari arah terbang, sehingga kedudukan pesawat udara menengadah atau menukik saat perekaman objek, sehingga sumbu Y mengalami perputaran. Perubahan sumbu Y ditunjukkan pada gambar 5.9.
2. W (Omega)-tilt; Kedudukan pesawat mengalami kedudukan dari arah samping dan depan, sehingga kedudukan pesawat mengalami perputaran dan miring sewaktu perekaman objek yang mengakibatkan perubahan sumbu X. Perubahan sumbu X ditunjukkan pada gambar 5.10.
3. K (Kappa)-tilt; Kedudukan pesawat terbang mengalami gangguan dari samping, sehingga arah terbang pesawat mengalami perubahan arah. Perubahan arah ini mengakibatkan perubahan sumbu Z menjadi sumbu Z1. Perubahan sumbu Z ditunjukkan pada gambar 5.11.



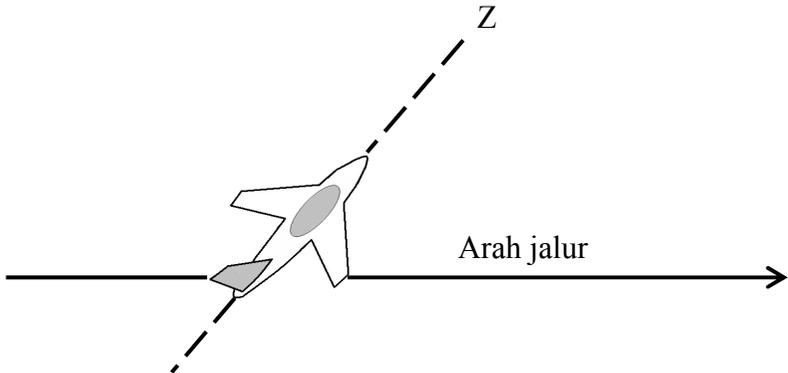
Gambar 5.9.

O (Phi)-tilt disebabkan kedudukan pesawat menengadah atau menukik, sehingga sumbu Y mengalami perputaran



Gambar 5.10.

W (Omega)-tilt disebabkan kedudukan pesawat miring kearah kanan atau kiri; sehingga sumbu X mengalami perubahan



Gambar 5.11.

K (Kappa)-tilt disebabkan kedudukan pesawat berubah arah (tidak lurus), sehingga terjadi perubahan sumbu Z

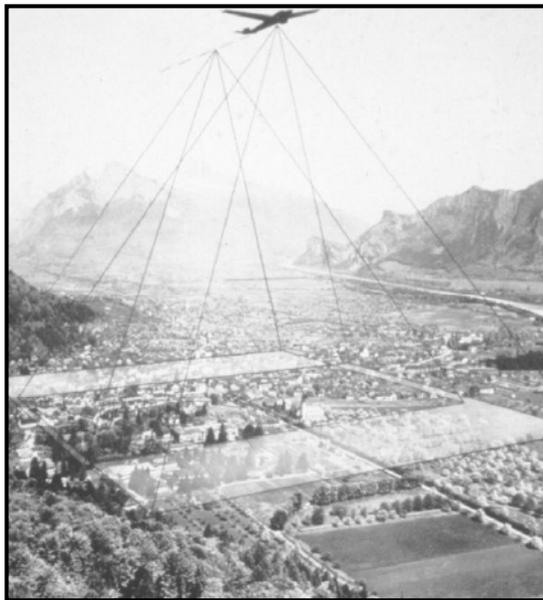
G. Misi Pemotretan udara

Pemotretan udara pada umumnya menggunakan kamera dan film, dan menghasilkan potret (data analog). Berikut ini adalah hal teknis dalam misi pemotretan udara :

1. Perencanaan pemotretan yang meliputi pemilihan kamera udara, disain pemotretan, pemilihan film dan cara pemotretan.
2. Pemrosesan laboratorium, meliputi pencetakan, penyusunan, pengarsipan potret.
3. Pengolahan dan pemanfaatan seperti penggabungan potret (mosaik), pembuatan peta topografi.

Dalam melaksanakan misi pemotretan udara harus memenuhi persyaratan khusus dan baku, antara lain :

- a. Dibuat dalam bentuk potret tegak (vertikal).
- b. Dibuat dengan sistem tumpang tindih (overlap) antara satu potret dengan potret berikutnya. Cara demikian dilakukan untuk mendapatkan kenampakan 3 dimensi dan untuk keperluan pembuatan peta topografi. Tumpang tindih ke arah samping juga dibuat dalam jarak lebih pendek, sehingga seluruh daerah yang dipotret tidak ada yang terlewat.



Gambar 5.12.
Pelaksanaan Pemotretan Udara

- c. Kamera udara dapat berupa kamera tunggal atau majemuk, pada umumnya diletakkan di perut pesawat, di masa lalu diletakkan di luar badan pesawat. Untuk mendapatkan potret yang sesuai dengan keperluan dasar pemotretan dipertahankan pada posisi mendatar serta diatur selang pengambilannya secara tetap.



Gambar 5.13.

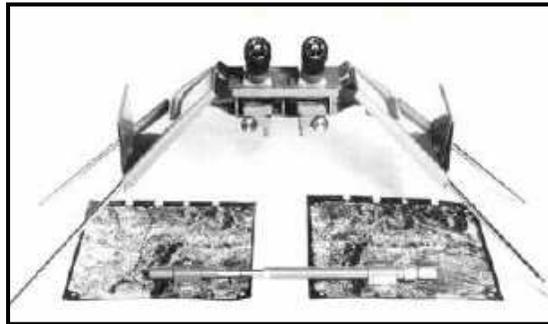
Kamera udara dalam pesawat terbang

H. Kegunaan Pemotretan Udara

Pemotretan udara pada umumnya digunakan untuk dua hal, yaitu (1) Untuk membuat peta topografi dengan menggunakan peralatan yang khusus dibuat untuk itu. (2) Untuk pemetaan sumberdaya alam seperti geologi, kehutanan, pertanian, sumberdaya air, bencana alam dan sebagainya (peta-peta tematik).

Peta tematik dibuat dengan cara menafsirkan kenampakan pada potret udara sesuai dengan tujuannya melalui pengenalan tanda-tanda yang khas dari obyek yang diamati. Ilmu ini dikenal dengan penafsiran/interpretasi potret udara. Orang yang dapat menafsirkan potret udara disebut sebagai penafsir potret udara atau photo interpreter. Sebagai contoh kita bisa mengenal gunungapi karena bentuknya yang seperti kerucut, adanya kepundan dipuncaknya, torehan air/sungai berbentuk radial dan sebagainya.

Beberapa sifat potret udara yang dapat memperkuat pengamatan adalah pengamatan tiga dimensi (3D) yang diakibatkan oleh sifat tumpang tindih (*overlapping*) dari potret-potret yang berdekatan/berurutan. Untuk mengamati kenampakan 3D tersebut diperlukan suatu alat yang bernama stereoskop seperti terlihat pada gambar berikut :



Gambar 5.14.

Pengamatan 3D dengan alat stereoskop

BAB VI

PENGINDERAAN JAUH SISTEM TERMAL

A. Sistem Dasar Pancaran Tenaga Termal

Sistem termal yang digunakan dalam penginderaan jauh umumnya didasarkan pada tenaga alami. Perekaman sistem termal didasarkan pada pancaran panas dari objek yang direkam alat penyiam (*scanner*). Sistem termal tidak tergantung dari keadaan cuaca, karena setiap objek/benda memancarkan panas yang berbeda.

Semua objek memancarkan panas akibat gerak partikel setiap benda, karena itu tenaga yang dipancarkan membentuk tenaga yang dapat direkam. Panas yang dikandung oleh suatu objek/benda disebut tenaga kinetik (T_{kin}), sedangkan panas yang dipancarkan disebut tenaga radiasi (T_{rad}), suatu benda merupakan ukuran untuk memancarkan panas dan tenaga yang direkam adalah tenaga radiasi. Suhu yang merupakan titik pencairan es adalah 0°C , tetapi yang digunakan untuk ukuran pancaran adalah derajat kalvin, karena suhu pada $-273^{\circ}\text{C} = 0^{\circ}\text{K}$ merupakan batas ukuran ada atau tidak adanya gerak partikel. Oleh karena itu suhu objek di permukaan bumi rata-rata $-27^{\circ}\text{C} = 300^{\circ}\text{K}$ terjadi gerak partikel, sehingga objek memancarkan tenaga radiasi. Dengan demikian suhu matahari 6000°K , maka berdasarkan hukum Wien, maka puncak pancaran tenaga radiasi ada pada $\lambda 0,48 \mu\text{m}$, sedangkan suhu permukaan bumi 300°K , maka puncak pancaran objek di permukaan bumi ada pada $\lambda 9,6 \mu\text{m}$. Untuk mengetahui puncak pancaran dari radiasi matahari dan bumi dengan menggunakan hukum Wien yaitu dengan formula :

$$\lambda m = \frac{A}{T}$$

λm = Panjang gelombang pada pancaran maksimum,

A = Konstante (2898°K),

T = Suhu absolut suatu benda (°K).

B. Variasi Pancaran

Oleh karena suhu di atas -273°K terjadi gerak partikel, sehingga menimbulkan tenaga pancaran dari objek tersebut. Curran, 1985. Sabin, 1978 mengemukakan bahwa tenaga pancaran suatu benda umumnya lebih kecil dari tenaga kinetiknya. Konsentrasi tenaga kinetik tersebut dengan suhu kinetik yang dapat diukur dengan termometer yang ditempelkan pada benda tersebut. Dengan suhu objek di atas -273°K memancarkan tenaga, maka pancaran terbaiknya ada pada λ 9,6 μm , dimana puncak pancaran ini melalui jendela atmosfer pada λ 8 - 14 μm . Meskipun jendela atmosfer juga terdapat pada λ 3,5 - 5,5 μm , tetapi sistem termal dengan menggunakan tenaga termal kurang cocok. Jendela atmosfer pada λ 3,5 - 5,5 μm baik digunakan untuk mendeteksi kebakaran hutan (Sutanto, 1986).

Suhu setiap benda dan waktu berbeda, sehingga perlu diketahui variasi suhu harian. Nilai pancaran suatu objek diperhitungkan dengan formula:

$$W = eT^4$$

W = jumlah tenaga termal yang dipancarkan oleh benda,

e = nilai pancaran benda,

λ = konstante Stefan-Boltzmann, dan

T = suhu absolut suatu benda.

Formula tersebut memberikan gambaran bahwa jumlah tenaga termal yang dipancarkan berbanding lurus terhadap pangkat 4 suhu absolutnya. Dalam perekaman suhu sekitar objek mempengaruhi pancaran objek, karena itu perekaman sistem termal paling baik dilakukan pada saat perbedaan suhunya besar.

Untuk mengukur tenaga pancaran suatu objek perlu perhitungan tenaga kinetik tersebut. Untuk mengukur tenaga kinetik digunakan formula :

$$T_{rad} = e^{1/4} T_{kin}$$

Dengan menggunakan formula tersebut, maka tenaga yang dipancarkan oleh suatu benda dapat diukur, tetapi alat yang digunakan untuk merekam pancaran tenaga tersebut harus peka terhadap pancaran objek, meskipun wahana yang digunakan untuk perekaman objek sama dengan sistem penginderaan jauh.

C. Sensor dan Detektor

Pancaran dari objek di permukaan bumi dan mencapai sensor termal direkam oleh sensor (alat) tersebut yang diproses agar menjadi data dalam bentuk citra maupun non citra. Oleh karena suhu di atas -273°K memancarkan tenaga dan suhu permukaan bumi rata-rata 300°K , maka sensor tersebut harus peka terhadap suhu yang paling rendah pada objek di permukaan bumi. Laird (1978) mengemukakan sensor termal dibuat yang mampu untuk mendeteksi suhu benda dengan perbedaan minimal $0,1^{\circ}\text{C}$.

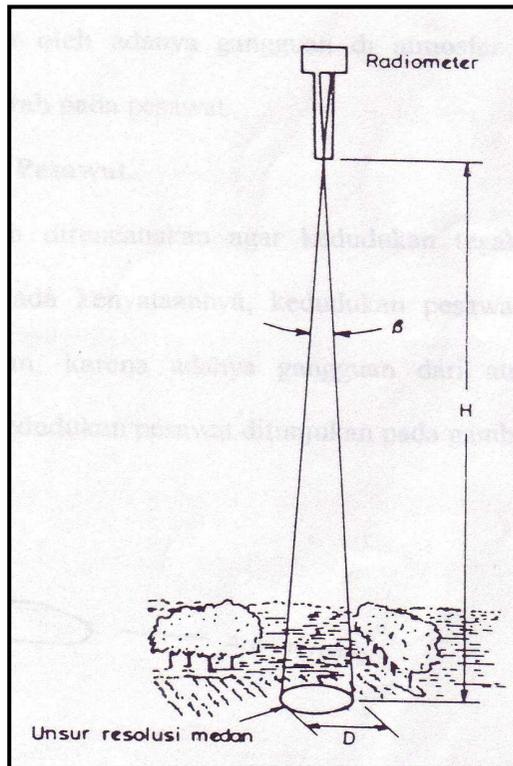
Sensor/alat yang digunakan perekaman tenaga pancaran adalah (1) radiometer termal dan (2) spektrometer termal dengan detektornya pita magnetik.

1. Sensor Radiometer Termal

Sensor ini dibagi menjadi beberapa bagian sesuai dengan fungsinya, bagian dari sensor ini adalah :

- a. Memfokuskan tenaga pancaran pada detektor,
- b. Optik sebagai pengumpul tenaga elektromagnetik,
- c. *Chopper mirror* sebagai alat untuk memandang objek permukaan bumi,
- d. Acuan suhu ini dipanaskan secara elektrik,
- e. Tenaga dari objek maupun suhu acuan disaring oleh filter untuk memperoleh tenaga elektromagnetik yang dikehendaki, dan
- f. Detektor berfungsi sebagai pengubah tenaga pancaran menjadi sinyal elektrik.

Detektor terbagi menjadi 2, yaitu detektor termal (bolometer) dan detektor kuantum (foton). Detektor termal berfungsi sebagai pengubah suhu yang berkaitan dengan serapan tenaga yang mengenainya dan dipantau secara elektrik. Detektor ini proses perubahan tenaga serapan menjadi tenaga elektrik memerlukan waktu relatif lama. Detektor kuantum dapat bekerja cepat dibandingkan dengan detektor termal, tetapi kemampuan terhadap saluran sempit dari spektrum tampak dan diperlukan pendinginan agar suhu mendekati 0°K .



Gambar 6.1.

*Medan pandang sesaat (IFOV) dan perekaman daerah
(Lillesand dan Kiefer, 1979; Sutanto 1986)*

2. Spektrometer Termal

Radiometer termal menggunakan saluran lebar, tetapi spektrometer termal menggunakan saluran sempit, tetapi mempunyai kecepatan dalam mengamati dan memproses perubahan suhu. Proses perekaman

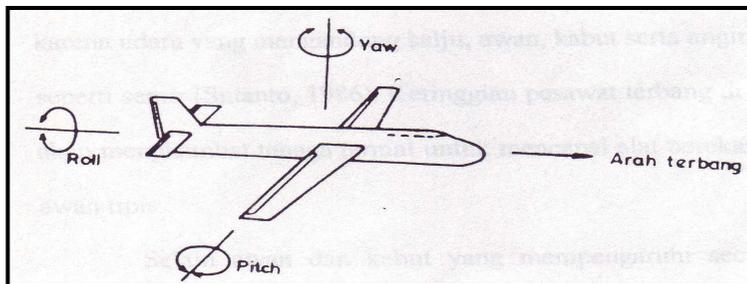
objek dilakukan dengan melakukan suhu pancaran objek. Dan dibandingkan dengan objek yang menjadi sampel, perubahan suhu tersebut direkam oleh spektrometer termal.

D. Hambatan dalam Perekaman

Dalam perekaman suatu objek terutama menggunakan sistem termal kedudukan pesawat direncanakan, sehingga kedudukan pesawat tidak miring (datar), gangguan tersebut akibat oleh adanya gangguan di atmosfer seperti terjadinya angin besar yang mengarah pada pesawat.

1. Distorsi Oleh Kedudukan Pesawat

Meskipun pesawat telah direncanakan agar kedudukannya tegak lurus terhadap objek yang direkam. Pada kenyataannya, kedudukan pesawat tidak sesuai dengan yang direncanakan, karena adanya gangguan dari atmosfer. Gangguan yang disebabkan oleh kedudukan pesawat ditunjukkan pada gambar 6.2.



Gambar 6.2.

Sumbu putar dari pesawat (Curran, 1985)

Dari gambar tersebut menunjukkan akibat kedudukan pesawat berubah terjadi beberapa gangguan seperti *pitch*, *roll*, dan *yaw*.

- a. *Pitch* yaitu perubahan kedudukan pesawat terbang searah jalur terbang tetapi menyebabkan pesawat menukik atau menengadah.
- b. *Roll* yaitu gangguan terhadap kedudukan pesawat yang menyebabkan perputaran tubuh pesawat, meskipun serah dengan jalur terbang akibatnya sayap pesawat miring.
- c. *Yaw (crab)* yaitu gangguan yang menyebabkan kedudukan arah pesawat berubah arah terbang.

2. Gangguan Elektronik

Gelombang radio yang memancar dari matahari dan pesawat terbang mempengaruhi perekaman objek dengan sistem termal. Oleh itu semakin ramainya lalulintas udara akan semakin besar gangguannya. Sabin (1978), mengemukakan perekaman terbaik memilih saat penerbangan untuk perekaman diantara keramaian gelombang radio.

3. Gangguan Atmosfer

Atmosfer merupakan gangguan di udara yang sulit untuk dinetralisir, karena udara yang mengandung salju, awan, kabut serta angin membentuk lapisan seperti semir (Sutanto, 1986). Ketinggian pesawat terbang di atas awan dan kabut akan menghambat tenaga termal untuk mencapai alat perekam, kecuali kabut dan awan tipis.

Selain awan dan kabut yang mempengaruhi secara langsung daerah bayangan dari awan merupakan daerah yang suhunya relatif rendah sehingga pancaran tenaganya kurang. Sabin (1978) mengemukakan bahwa gangguan oleh awan tidak hanya disebabkan oleh tutupannya, melainkan juga oleh keanekaan suhunya. Oleh karena itu sebaran

awan dan ketebalannya mempengaruhi kualitas data yang menggunakan tenaga termal.

4. Efek Perekaman

Perubahan suhu setiap saat pada saat perekaman dapat terjadi. Perubahan ini akan berpengaruh terhadap hasil perekaman objek, baik dengan menggunakan film maupun pita magnetik.

E. Keunggulan dan Keterbatasan Citra Inframerah Termal

Keunggulan dari penginderaan jauh sistem tenaga termal yaitu (1) perekaman dapat dilakukan pada siang maupun malam hari, (2) merekam wujud yang tidak nampak, seperti kebakaran tambang batubara di bawah tanah, kebocoran pipa gas atau pencemaran air. Selain keunggulan juga tenaga termal mempunyai kelemahan yaitu (1) aspek geometrik yang menyimpangannya lebih besar dari sistem foto udara dan (2) sifat tenaga termal lebih rumit dibandingkan sifat pantulan dari objek.

BAB VII

SISTEM GELOMBANG MIKRO DAN RADAR

Penginderaan jauh gelombang mikro adalah penginderaan jauh dengan menggunakan tenaga alami dengan menggunakan gelombang mikro yaitu julat dari λ 1.000 μm (1 mm) sampai 100 cm. Meskipun julat gelombang mikro luas, tetapi yang dimanfaatkan untuk penginderaan jauh sistem ini menggunakan panjang gelombang dengan λ 1 mm – 30 cm.

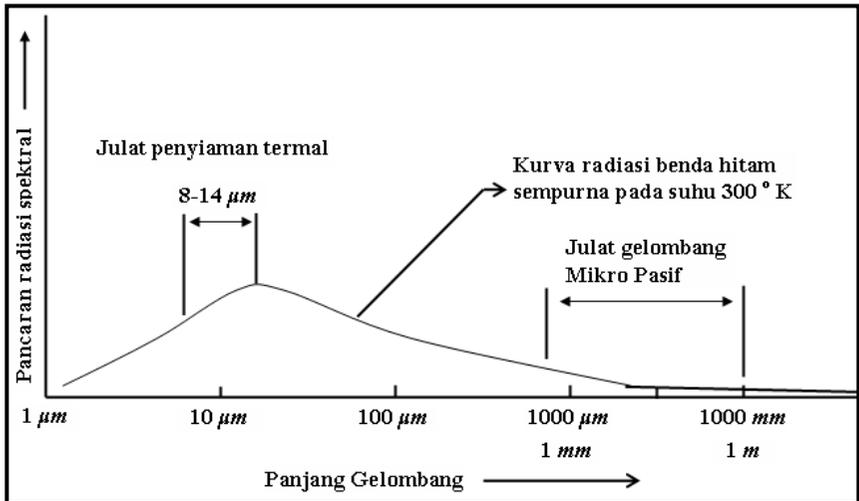
Pantulan tenaga dengan julat tersebut tidak sesuai dengan kepekaan mata manusia yang kepekaanya pada spektrum tampak, sehingga antara tenaga dengan objek terjadi interaksi, manusia tidak mampu melihat objek tersebutnya. Untuk dapat merekam pantulan data tersebut, maka digunakan alat yang mempunyai kepekaan terhadap panjang gelombang mikro.

A. Sistem Pasif

Penginderaan jauh sistem pasif menggunakan spektrum gelombang mikro, maka penginderaan jauh ini disebut gelombang mikro. Hasil perekamannya dapat berupa data numerik maupun data visual.

Sistem kerja gelombang mikro didasarkan pada pantulan tenaga dari objek. Hampir sama dengan sistem penginderaan jauh lain, bahwa

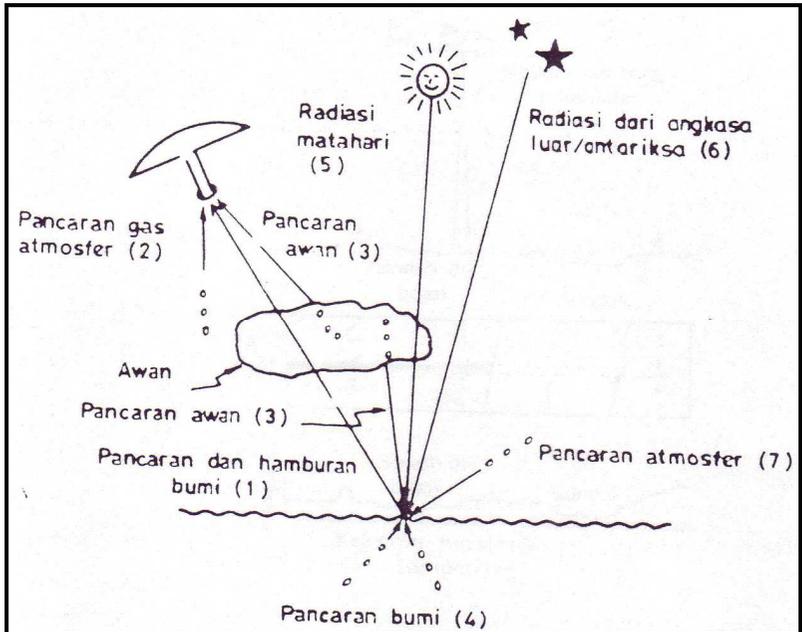
sistem gelombang mikro dalam perekaman objeknya diperlukan beberapa komponen seperti tenaga, objek, sensor (alat perekam), detektor dengan wahana. Tenaga yang digunakan adalah gelombang mikro dengan julat λ 1 mm – 100 cm. Kurva pantulan tenaga elektromagnetik yang digunakan sistem gelombang mikro ditunjukkan pada gambar 7.1.



Gambar 7.1.

Kurva tenaga elektromagnetik penginderaan jauh sistem gelombang mikro dan radar (Lillesand dan Kiefer, 1979)

Tenaga yang direkam oleh sensor gelombang mikro berasal dari beberapa objek yang memancarkan tenaga (1) Pancaran oleh gas di atmosfer (2) Pancaran oleh awan (3) Pancaran dari bawah permukaan tanah (4) Pancaran dari permukaan objek (5) sinar dari luar (6) Pancaran oleh atmosfer (Sutanto, 1986). Komponen tenaga alamiah dari gelombang mikro ditunjukkan pada gambar 7.2.

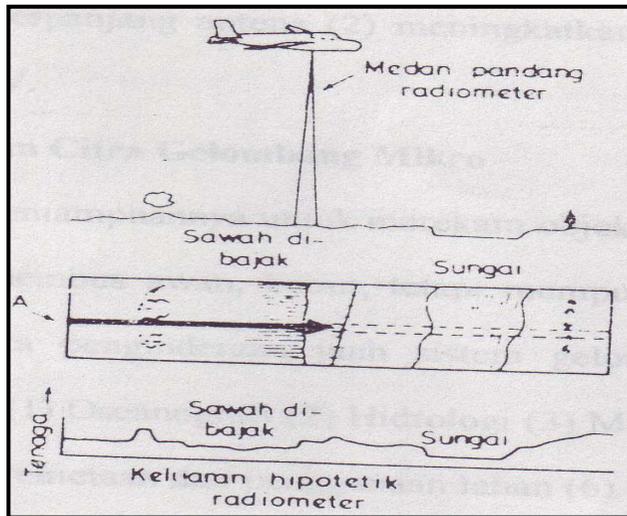


Gambar 7.2.

*Komponen tenaga gelombang mikro alamiah
(Henderson dan Merchant Jr, 1978; Sutanto, 1986)*

Sensor yang digunakan oleh penginderaan jauh sistem gelombang mikro adalah radiometer dan penyiam. Radiometer adalah pengukuran radiasi elektromagnetik yang peka terhadap tenaga yang lemah. Komponen radiometer pada dasarnya lebih dari 3, yaitu (1) sebuah antena penerima yang peka terhadap gelombang mikro (2) *amplifier* untuk memperkuat sinyal gelombang mikro dan (3) perekam atau penyaji data.

Pantulan dari objek dipengaruhi oleh sifat objek, karena objek yang mengandung air kurang memantulkan tenaga. Perekaman oleh tenaga gelombang mikro dan keluarannya ditunjukkan pada gambar 7.3.



Gambar 7.3.

*Radiometer gelombang mikro dan keluarannya
(Henderson dan Merchan Jr, 1978; dan Sutanto, 1986)*

Penyiam gelombang mikro hampir sama dengan radiometer, hanya perbedaanya pada antena pada penyiam tidak dipasang melainkan bergerak untuk menyiam.

1. Keunggulan dan Keterbatasan

Hampir sama dengan penginderaan jauh sistem yang lain, maka sistem gelombang mikro mempunyai keunggulan dalam (1) dapat beroperasi siang dan malam hari (2) dapat menembus awan.

Selain keunggulan dari sistem gelombang mikro, juga terdapat keterbatasan dari sistem ini yaitu resolusi spasialnya yang rendah dan geometriknya kasar. Resolusi spasial merupakan fungsi dari antena, jarak sensor ke objek. Oleh karena itu untuk meningkatkan kualitas citra dapat dilakukan dengan (1) memperpanjang antena (2) meningkatkan kepekaan sensor dan (3) memperbesar IFOV.

2. Penggunaan Citra Gelombang Mikro

Dengan kemampuannya untuk merekam objek pada waktu siang maupun malam, dapat menembus awan, kabut, tetapi mempunyai keterbatasan resolusi yang rendah, maka penginderaan jauh sistem gelombang mikro ini banyak digunakan untuk : (1) Oseanografi (2) Hidrologi (3) Meteorologi (4) Geologi dan Geomorfologi (5) Pemetaan dan penggunaan lahan (6) Kelembaban tanah dan (7) Pertanian (Lillesan dan Kiefer, 1979. Handerson dan Merchant Jr, 1978, Sutanto, 1986).

B. Sistem Aktif

Spektrum gelombang mikro yang digunakan sistem gelombang mikro juga digunakan oleh sistem radar. Perbedaan gelombang mikro dan radar terletak pada tenaga yang digunakan untuk perekaman. Radar merupakan singkatan dari *Radio Detection and Ranging* artinya menentukan jarak objek berdasarkan gelombang radio.

Penginderaan jauh sistem radar yaitu penginderaan jauh yang menggunakan spektrum gelombang mikro, sedangkan tenaga yang

diperoleh dibangkitkan oleh sensor (buatan). Sutanto (1986) mengemukakan tenaga ini merupakan tenaga pulsa berkekuatan tinggi yang dipancarkan dalam waktu yang relatif pendek yaitu sekitar 10-6/detik. Tenaga yang dipancarkan pada objek dipantulkan kembali, sehingga mencatat waktu-waktu dipancarkan sampai kembali ke sensor. Intensitas pulsa radar menentukan karakteristik spektral objek dari radar. Hasil dari radar dapat berupa data citra dan non citra.

Oleh karena tenaga dibangkitkan oleh sensor, maka tenaga yang dipancarkan pada objek yang tegak dengan sensor akan memantul dengan tenaga yang sama, sehingga objek akan gelap dan tidak dapat diinterpretasi. Oleh karena itu radar dalam perekamannya dilakukan ke arah samping yang disebut dengan *Side Looking Airbone Radar* (SLAR).

Intensitas tenaga pantulan ini pada dasarnya dipengaruhi oleh dua sifat utama, yaitu sifat objek yang direkam dan sifat radarnya (Sutanto, 1986), kedua sifat tersebut dipengaruhi oleh sifat objek ; (1) lereng, (2) kekasaran permukaan, (3) *complex dielectric constant*, (4) arah objek, (5) panjang gelombang yang digunakan, (6) sudut depresi antena, (7) polarisasi, dan (8) arah pengamatan antena (Avery dan Berlin, 1985).

1. Lereng suatu objek/daerah berpengaruh terhadap pantulan tenaga pulsa radar. Lereng yang menghadap sensor disebut lereng papan pantulan tenaganya lebih besar dibandingkan lereng belakangnya, karena itu rona yang terbentuk adalah gelap, sehingga akan menghilangkan wujud relief.
2. Kekerasan permukaan adalah kasar dan halusnya permukaan objek/daerah. Kekerasan permukaan ini mempengaruhi intensitas tenaga. Kekerasan permukaan merupakan fungsi dari panjang gelombang dan sudut depresi. Kekerasan permukaan objek ditentukan berdasarkan kriteria Rayleigh. Untuk menentukan kasar dengan menggunakan formula ;

$$hs < \frac{\lambda}{25 \sin \beta}$$

Untuk objek yang permukaannya kasar dengan formula ;

$$hk < \frac{\lambda}{4,4 \sin \beta}$$

h = benda tinggi rata-rata permukaan objek,

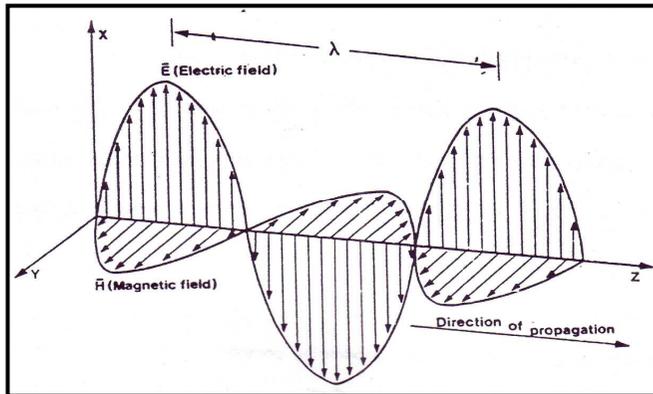
λ = panjang gelombang yang digunakan,

β = sudut depresi antena, sudut yang dibentuk garis lurus arah pulsa radar ke objek dan garis horizontal antena radar dan tegak lurus jalur terbang.

Formula tersebut menunjukkan bahwa adanya hubungan antara kekasaran objek, panjang gelombang pulsa radar dengan sudut depresi. Semakin kecil sudut datang semakin besar hamburan baliknya.

- *Complex dielectric constant* adalah ukuran kemampuan sebuah benda untuk memantulkan dan meneruskan tenaga radar. Jika *Complex dielectric constant* lebih besar, maka nilai pantulannya juga besar, sedangkan konduktivitas dan daya tembusnya menurun. Sutanto (1986) mengemukakan *complex dielectric constant* bagi benda kering pada umumnya antara 3 – 8 pada gelombang radar, nilai bagi air mendekati 80, karena kisarannya kecil-kecil, maka gelombang radar tidak peka terhadap sifat elektrik benda kering kepekaannya tergantung pada kebasahannya.

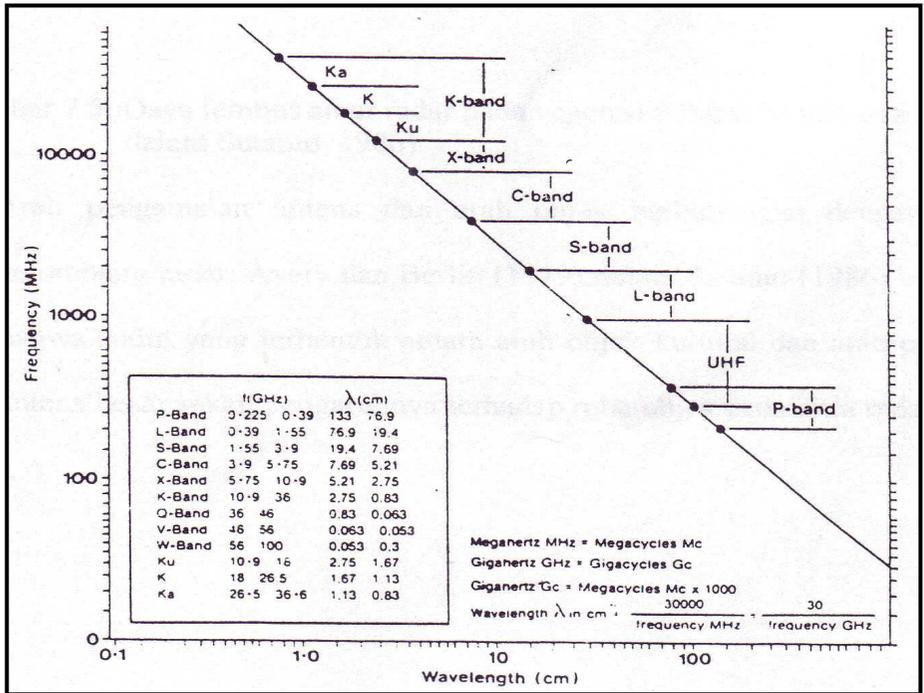
- Polarisasi yaitu pengarahannya vektor elektrik pada gelombang elektromagnetik. Gelombang elektrik dan magnetik saling tegak lurus dan bergerak ke arah sumbu Z. Gelombang elektrik ditunjukkan pada gambar 7.3.



Gambar 7.3.

Gelombang elektromagnetik (Lewis, 1985)

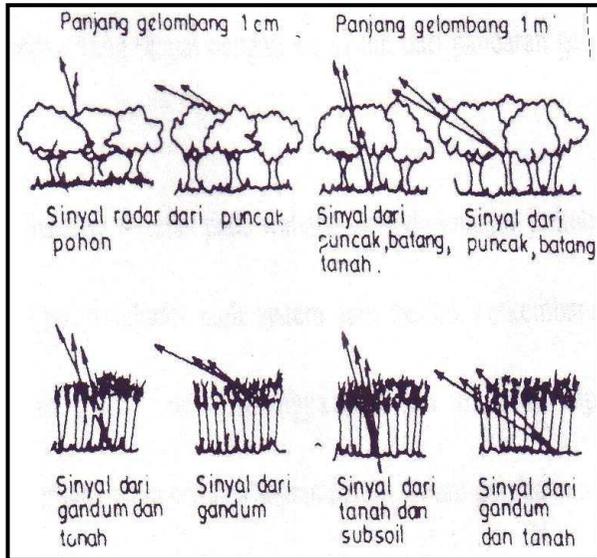
- Panjang gelombang dan daya tembus pulsa radar, daya tembus pulsa radar terbagi 2, yaitu daya tembus terhadap atmosfer dan daya tembus terhadap permukaan tanah. Spektrum gelombang radar tinggi menjadi beberapa saluran ditunjukkan pada gambar 7.4.



Gambar 7.4.

*Spektrum gelombang mikro dan bagiannya
(Laird, 1978, Sutanto, 1986)*

Kemampuan untuk menembus permukaan objek tergantung pada panjang gelombang dan complex dielectric constant. Daya tembus semakin besar bagi panjang gelombang semakin besar. Daya tembus sinyal radar pada vegetasi ditunjukkan pada gambar 7.5.



Gambar 7.5.

*Daya tembus sinar radar pada vegetasi
(Ulaby, Moore dan Fung 1981 dalam Sutanto, 1986)*

- Arah pengamatan antena dan arah objek berhubungan dengan pantulan gelombang radar. Avery dan Berlin (1979) dalam Sutanto (1986) menyatakan bahwa sudut yang terbentuk antara arah objek kultural dan arah pengamatan antena besar sekali pengaruhnya terhadap rona objek pada citra radar.

BAB VIII

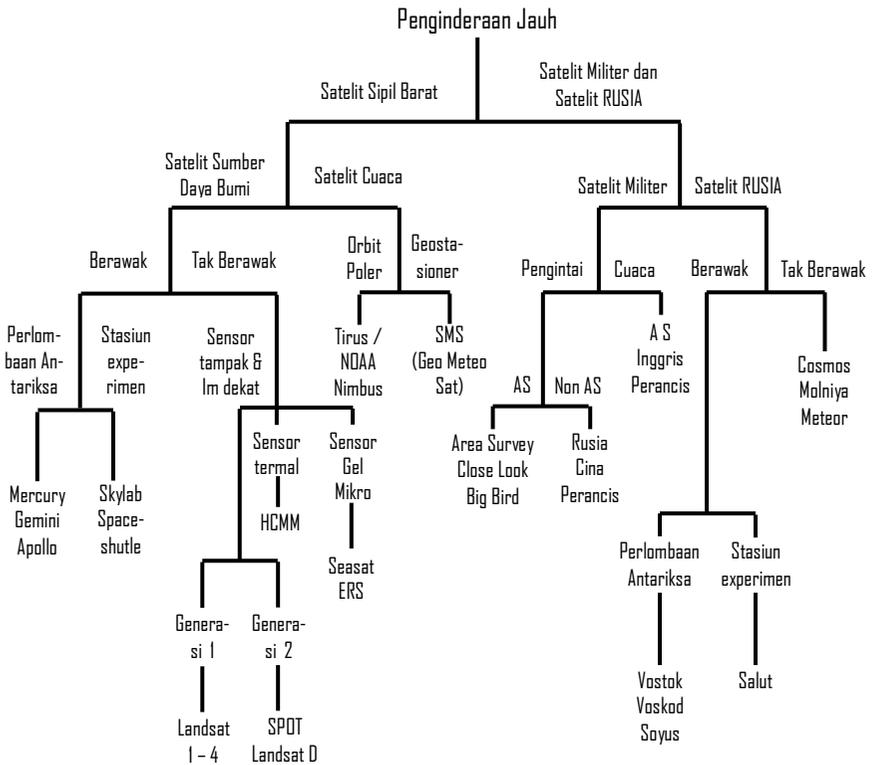
PENGINDERAAN JAUH SISTEM SATELIT

Penginderaan jauh sistem satelit mempunyai kesamaan dengan sistem fotografik, sistem termal, sistem gelombang mikro dan radar, karena pada sistem satelit dapat menggunakan gelombang elektromagnetik, sensor, dan detektor. Sensor yang digunakan sesuai dengan kemampuan detektornya, sehingga perlu sensor dan detektor yang sesuai dengan kepekaan dari pancaran gelombang yang digunakan.

Perbedaan terletak pada wahana yang digunakan. Sehubungan dengan perkembangan penginderaan jauh, negara lain mengembangkan sistem satelit, sehingga data dan informasi dapat diperoleh dengan cepat. Selain terletak pada wahana sistem satelit dalam perekaman objeknya dapat menggunakan beberapa spektrum, sehingga satu kali perekaman pada saat dan objek yang sama dapat diperoleh data dan informasi dari berbagai spektrum.

Jumlah satelit yang telah diluncurkan sebanyak 490 buah. Negara paling banyak meluncurkan satelit adalah Rusia (361), Amerika Serikat (81), Jepang (7) dan Perancis (6) buah (Sutanto, 1986).

Curran (1985) menyebutkan bahwa satelit untuk perlombaan antariksa. Satelit sumber daya laut dikelompokkan pada satelit sumber daya bumi, sedangkan satelit cuaca diklasifikasikan tersendiri. Satelit militer dari Rusia dimasukkan pada satu kelas, karena datanya tidak diketahui. Klasifikasi satelit ditunjukkan pada gambar 8.1.



Gambar 8.1.

Klasifikasi satelit penginderaan jauh (Curran, 1985)

A. Satelit Sumber Daya Bumi

Satelit ini dikembangkan untuk kepentingan perlombaan antariksa, juga didasarkan untuk kepentingan eksperimen. Tujuan dari

kepentingan tersebut, maka satelit dapat diklasifikasikan menjadi 2, yaitu (1) satelit berawak dan (2) satelit tak berawak.

Sebelum peluncuran satelit berawak dilakukan percobaan-percobaan dan berhasil meluncurkan roket yang dilengkapi dengan kamera pada tahun 1912. Sedangkan satelit berawak pertama yang berhasil diluncurkan pada tanggal 4 Oktober 1957, yaitu satelit Sputnik I milik Rusia dengan ketinggian orbit sekitar 900 km di atas permukaan bumi. Peluncuran satelit Rusia diikuti dengan peluncuran satelit milik Amerika Serikat yaitu Explorer I pada bulan Januari 1958.

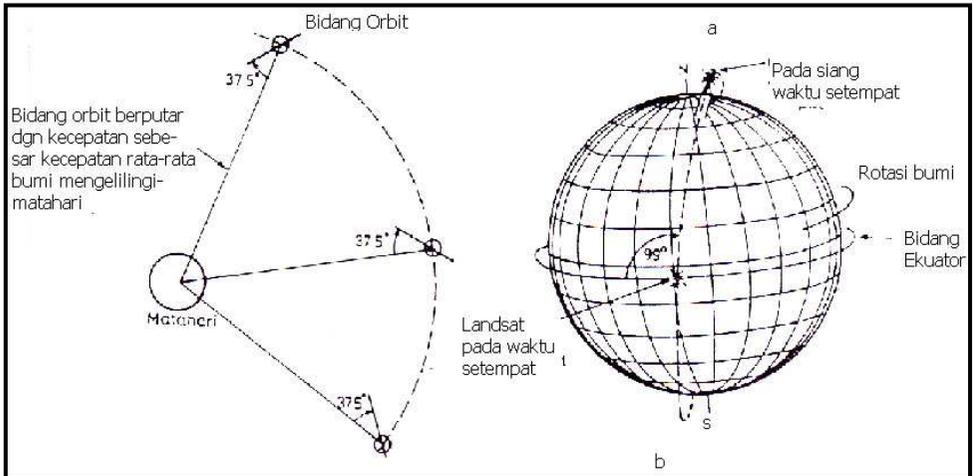
Dari satelit yang diluncurkan dan dapat melakukan pemotretan dari antariksa dilakukan oleh satelit TIROS (*Teletion and Infrared Observation Satellite*) pada tahun 1960 (Simonet, 1983; Lillesand dan Kiefer 1979; Sutanto, 1986). Pemotretan selanjutnya dilakukan oleh satelit selanjutnya.

Selain satelit berawak juga diluncurkan satelit tak berawak dengan tujuan untuk eksperimen, para ilmuwan dalam mengamati objek yang tidak dapat diamati dari permukaan bumi. Atas dasar tenaga yang digunakan dalam perekaman objek dibedakan atas 4 kelompok, yaitu (1) satelit dengan sensor generasi pertama dengan menggunakan spektrum tampak dan perluasannya, (2) satelit dengan sensor generasi kedua, (3) satelit dengan menggunakan saluran inframerah termal dan (4) satelit yang menggunakan gelombang mikro.

1. Satelit Sumber Daya Bumi Generasi Pertama

Satelit yang termasuk satelit sumber daya bumi pertama diantaranya adalah Landsat I, II, dan III yang merupakan hasil modifikasi dari satelit Nimbus. Satelit Landsat berukuran 1,5 x 3 meter, dengan berat 959 kg (Paine, 1981) dan mengorbit bumi pada ketinggian 917 km dari permukaan bumi. Arah orbit (perputaran mengelilingi bumi) dari utara ke selatan. Orbit satelit Landsat tidak tepat melewati kutub tapi membentuk sudut 9 dari kutub utara ke arah timur dan 90 dari kutub selatan ke arah barat. Orbit yang diukur dari equator pada 90 dari garis

equator sebelah timur. Orbit satelit Landsat ditunjukkan pada gambar 8.2.



Gambar 8.2.

*Kedudukan relatif satelit generasi pertama dan orbitnya
(Tatanik 1985 dan Sutanto, 1986)*

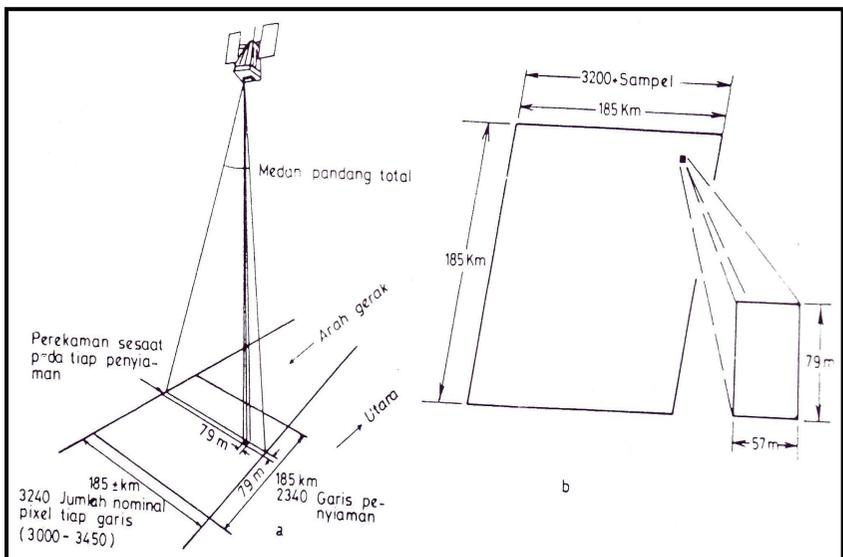
Sensor yang digunakan adalah *Return Beam Vidicon* (RBV) yaitu sistem kamera yang menyimpan pola sinar pada foto konduktor dan sensor multi spektral yaitu penyiam yang menggunakan beberapa spektral. Kamera RBV mempunyai resolusi 80 meter dan meningkat lagi menjadi 30 meter dengan sekali perekaman meliputi daerah seluas 98 km x 98 km.

Sutanto (1986), menyatakan bahwa sensor penyiam multi spektral menggunakan 4 saluran, yaitu :

- a. Saluran 4 : $0,5 \mu\text{m} - 0,6 \mu\text{m}$ (hijau)

- b. Saluran 5 : $0,6 \mu\text{m} - 0,7 \mu\text{m}$ (merah)
- c. Saluran 6 : $0,7 \mu\text{m} - 0,8 \mu\text{m}$ (inframerah) dan
- d. Saluran 7 : $0,8 \mu\text{m} - 1,1 \mu\text{m}$ (inframerah)

Sensor ini mempunyai resolusi medan $79\text{m} \times 79\text{m}$, dapat mengubah nilai pantulan pada tiap *pixel*, kecepatan perubahannya tidak sama dengan kecepatan penyiamannya. Sebagai akibatnya *pixel* yang terbentuk bukan berbentuk bujur sangkar tetapi berbentuk persegi panjang dengan sisi $56\text{m} \times 79\text{m}$ (Curran, 1985). Objek yang diliputi dengan batas objek yang direkam membentuk sudut $11,5^\circ$, sedangkan satu kali perekaman meliputi daerah seluas $185\text{km} \times 185\text{km}$. Ukuran *pixel* pada Landsat ditunjukkan pada gambar 8.3.



Gambar 8.3.

*Ukuran pixel pada Landsat multi spektral scanner
(Curran, 1985) Short, 1982; Sutanto, 1986)*

2. Satelit Sumber Daya Bumi Generasi Kedua

Satelit generasi ini merupakan kelanjutan dari satelit generasi pertama, hanya waktu peluncuran yang berbeda. Satelit generasi ke dua adalah Landsat IV dan V. Satelit ini merupakan satelit semi operasional, karena bukan eksperimen, perbedaan dengan satelit sebelumnya terletak pada resolusi spasial 30 meter, sedangkan sensor diganti dari RBV menjadi sensor *Thematic Mapper* (TM), sehingga ketelitian radiometrik bertambah tinggi.

Perbaikan pada resolusi spektral melalui perubahan radiometrik dengan cara memperbesar penilaian nilai spektral dari 0 – 63 menjadi 0 – 255 (Lined Gren, 1985). Satelit ini dilengkapi dengan sensor MSS dan produknya berupa data visual (citra) dan data digit (numerik) yang disimpan pada CCT.

3. Satelit Dengan Menggunakan Spektrum Inframerah Termal

Pada satelit ini bukan satelitnya yang mengalami perubahan atau perbaikan, tetapi pada satelit-satelit tertentu yang dilengkapi dengan spektrum inframerah termal. Satelit yang menggunakan spektrum inframerah termal yaitu pada satelit III, IV, dan V. Yang artinya bahwa satelit ini dipasang sensor inframerah termal. Pada satelit Landsat hanya menggunakan satu saluran dengan panjang gelombang 10,40 μm – 12,50 μm dengan resolusi 120 meter.

Satelit yang termasuk periode ini adalah satelit *Heat Capacity Mapping Mission* (HCMM). Satelit ini satelit NASA yang diluncurkan pada tanggal 26 April 1978 dengan ketinggian orbit 620km di atas permukaan bumi. Satelit ini menggunakan spektrum tampak dan saluran inframerah dekat (0,55 μm – 1,1 μm). Satelit ini tidak dilengkapi dengan detektor (pita magnetik) tetapi pada perekaman datanya langsung dikirim ke stasiun penerima data bila jarak jangkauan pencatatan data memungkinkan. Menurut Curran (1985) dan Sutanto

(1986), mengemukakan bahwa satelit ini digunakan untuk dikonversikan menjadi peta ketahanan termal untuk pemetaan vegetasi, gangguan pada vegetasi, mikro klimatologi, kelembaban tanah, prakiraan pencairan salju, pemetaan pulau panas pada daerah perkotaan, dan pantauan pencemaran termal pada daerah industri.

4. Satelit Yang Menggunakan Spektrum Gelombang Mikro

Satelit yang menggunakan spektrum gelombang mikro adalah satelit kelautan (*Seasat*) dan satelit sumber daya bumi (ERS) yang dilengkapi dengan radar SAR.

Seasat dirancang untuk mengamati sumber daya laut dan *Seasat* merupakan satelit eksperimen. *Seasat* diluncurkan pada tanggal 26 Juni 1978, dengan ketinggian orbit 800km di atas permukaan bumi. Satelit sumber daya bumi ERS I diluncurkan pada 1988, dan merupakan milik *European Space Agency* (ESA), dengan ketinggian orbit 700km di atas permukaan bumi. Pada satelit ini digunakan 2 sensor, yaitu (1) sensor yang digunakan untuk memantau daratan dan (2) sensor yang digunakan untuk memantau lautan. Satelit khusus yang menggunakan gelombang mikro adalah satelit yang diluncurkan Kanada pada tahun 1989. Sensor yang dipasang adalah sensor SAR dengan saluran C dengan resolusi spasial 25m. Tujuan peluncuran satelit Radar (Radar SAT) adalah untuk pemetaan es, khususnya daerah yang dekat pengeboran minyak lepas pantai Kanada Utara. Curran (1985), mengemukakan bahwa ketersediaan data penginderaan jauh sangat penting bagi penggunaannya, karena sistem Radar SAT diatur, sehingga datanya dapat tersedia tiga jam setelah perekaman.

B. Satelit Cuaca

Perkembangan satelit cuaca lebih dahulu dibandingkan dengan satelit sumber daya bumi dengan diluncurkan satelit pertama *Vanguard* dan *Explorer* (Amerika Serikat tahun 1959). Tujuan dari satelit cuaca untuk studi cuaca dan prakiraan cuaca. Satelit ini terbagi menjadi 2, yaitu (1) Orbit sinkron matahari dan (2) Orbit sinkron bumi (*Geostationer*).

1. Orbit Sinkron Matahari

Sutanto (1986) mengemukakan bahwa satelit ini mempunyai orbit polor atau hampir polor dengan arah orbit utara selatan. Satelit sinkron matahari diorbitkan pada ketinggian lebih dari 500km di atas permukaan laut dengan kedudukan satelit hampir tetap terhadap matahari. Ciri lain dari satelit ini mengorbit setiap 100 menit dan tiap hari 14 – 15 kali melintas pada jam yang sama daerah setempat.

Satelit ini mengorbit matahari diantaranya seri TIROS/NOAA dan NOAA (*Television and Infrared Observation Satellite* dan *National Oceanic and Atmospheric Administration*). Satelit ini menggunakan spektrum tampak, inframerah dan impramerah termal. Saluran dari spektrum tampak inframerah dekat yang digunakan adalah panjang gelombang (λ 0,55 – 0,9 μm), saluran inframerah dekat (λ 0,725 – 1,0 μm), saluran inframerah sedang (λ 3,55 – 3,93 μm), dan saluran inframerah termal (λ 10,5 – 12,5 μm).

2. Orbit Sinkron Bumi (*Geostationer*)

Satelit sinkron bumi mengorbit mengelilingi bumi searah dengan rotasi bumi dan satelit ini merekam atmosfer yang mengelilingi bumi antara 60°LU dan 60°LS. Satelit yang diluncurkan adalah GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellites*), *Meteosat*, dan *Himawari*.

Satelit GOES terbagi 2, yaitu GOES barat yang meliputi Amerika Serikat bagian barat dan lautan Pasifik, sedangkan GOES Timur meliputi Amerika Serikat bagian timur dan Lautan Atlantik. Curran (1985), mengemukakan bahwa satelit GOES dirancang untuk meliput daerah yang dibatasi oleh 70 garis bujur, sehingga seluruh permukaan bumi direkam oleh sekitar 5-6 satelit jenis GOES. Spektrum yang digunakan adalah spektrum tampak pada saluran merah dengan λ 0,66 – 0,7 μm dan spektrum inframerah termal dengan λ 10,5 – 12,5 μm .

Meteosat adalah satelit cuaca yang dikembangkan oleh Eropa (ESA) dan diletakan pada garis 0° atau *Greenwich* di atas Afrika. Spektrum yang digunakan adalah spektrum tampak inframerah dekat (λ 0,4 – 1,1 μm), dan inframerah termal (λ 10,5 – 12,5 μm). Selain untuk pengamatan cuaca satelit ini dapat digunakan untuk pengamatan daratan untuk pemetaan penggunaan lahan di Afrika. Satelit Himawari adalah satelit cuaca milik jepang yang diluncurkan pada bulan April 1978 dengan sensor hampir sama dengan satelit GOES.

C. Satelit Militer

Satelit ini diluncurkan untuk kepentingan militer dengan tujuan untuk mengenal medan/daerah lawan. Oleh karena satelit ini mengintai daerah lawan, maka datanya kurang diketahui secara umum. Satelit Militer ini dimiliki oleh Amerika Serikat dan Rusia.

1. Satelit Militer Amerika Serikat.

Amerika Serikat mengembangkan beberapa jenis satelit pengintai yang dilengkapi oleh sensor pembuat citra. Satelit ini dapat ditempatkan diantariksa dengan orbit tertentu. Ciri utama satelit ini adalah sensornya mampu menggunakan spektrum tampak pada malam hari.

2. Satelit Militer Rusia.

Satelit ini dikembangkan Rusia pada awal tahun 1960-an. Satelit Militer sekarang merupakan pengembangan satelit Cosmos yang dilengkapi kamera dengan fokus panjang dan dilengkapi sensor SAR. Satelit ini mampu ditempatkan pada daerah-daerah penting jika diperlukan.

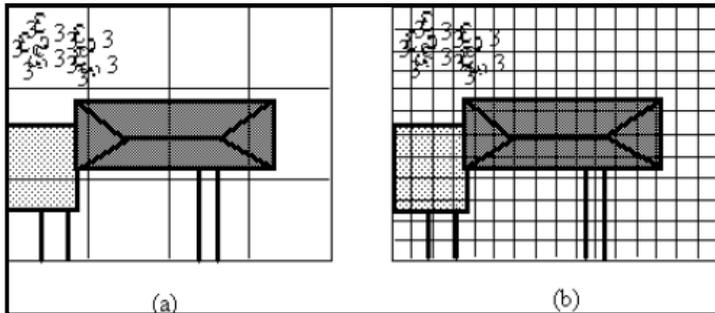
BAB IX

PEMROSESAN DAN ANALISIS DATA PENGINDERAAN JAUH

A. Data Penginderaan Jauh

Data penginderaan jauh pada umumnya berbentuk data digital yang merekam unit terkecil dari permukaan bumi dalam sistem perekam data. Unit terkecil ini dikenal dengan nama *pixel* (*picture element*) yang berupa koordinat 3 dimensi (x,y,z). Koordinat x,y menunjukkan lokasi unit tersebut dalam koordinat geografi x, y dan z menunjukkan nilai intensitas pantul dari tiap *pixel* dalam tiap selang panjang gelombang yang dipakai. Nilai intensitas pantul dibagi menjadi 256 tingkat berkisar antara 0 – 255 dimana 0 merupakan intensitas terendah (hitam) dan 255 intensitas tertinggi (putih). Dengan data citra asli (*raw data*) tidak lain adalah kumpulan dari sejumlah *pixel* yang bernilai antara 0 -255.

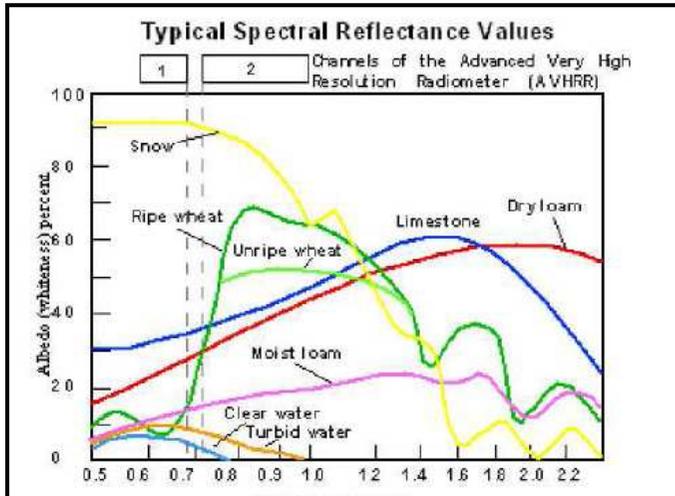
Ukuran *pixel* berbeda tergantung pada sistem yang dipakai, menunjukkan ketajaman/ketelitian dari data penginderaan jauh, atau yang dikenal dengan resolusi spasial. Makin besar nilai resolusi spasial suatu data makin kurang detail data tersebut dihasilkan, sebaliknya makin kecil nilai resolusi spasial makin detail data tersebut dihasilkan.



Gambar 9.1.

Gambaran perbedaan nilai resolusi spasial data penginderaan jauh

Selain resolusi spasial data penginderaan jauh mengenal suatu istilah lain yaitu resolusi spektral. Data penginderaan jauh yang menggunakan satu *band* pada sensornya hanya akan memberikan satu data intensitas pantul pada tiap *pixel*. Apabila sensor menggunakan 5 *band* maka data pada tiap *pixel* akan menghasilkan 5 nilai intensitas yang berbeda. Dengan menggunakan banyak *band* (*multiband*) maka pemisahan suatu obyek dapat dilakukan lebih akurat berdasarkan nilai intensitas yang khas dari masing-masing band yang dipakai.



Gambar 9.2.

Diagram yang menunjukkan resolusi spektral dari data penginderaan jauh multispectral

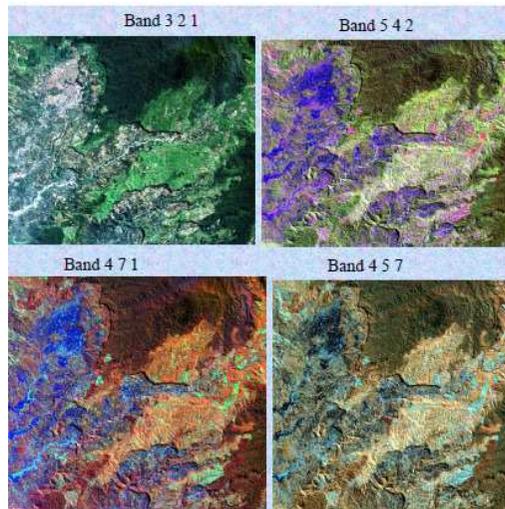
B. Pemrosesan dan analisis data

Karena data penginderaan jauh berupa data digital maka penggunaan data memerlukan suatu perangkat keras dan lunak khusus untuk pemrosesannya. Komputer PC dan berbagai software seperti ERMapper, ILWIS, IDRISI, ERDAS, PCI, dan ENVI dapat dipergunakan sebagai pilihan. Untuk keperluan analisis dan interpretasi dapat dilakukan dengan dua cara : (1) Pemrosesan dan analisis digital dan (2) Analisis dan interpretasi visual. Kedua metode ini mempunyai keunggulan dan kekurangan, seyogyanya kedua metode dipergunakan bersama-sama untuk saling melengkapi. Pemrosesan digital berfungsi untuk membaca data, menampilkan data, memodifikasi dan memproses, ekstraksi data secara otomatis, menyimpan, mendesain format peta dan mencetak. Sedangkan analisis

dan interpretasi visual dipergunakan apabila pemrosesan data secara digital tidak dapat dilakukan dan kurang berfungsi baik.

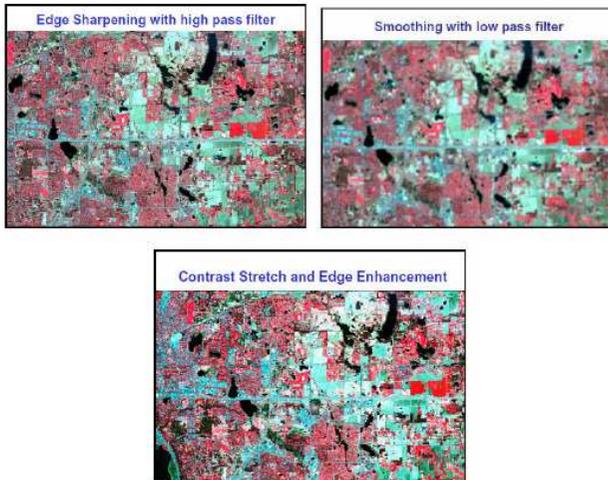
C. Pemrosesan data digital

Pemrosesan data secara digital dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak (*software*) yang khusus dibuat untuk keperluan tersebut. Berbagai algoritma tersedia di dalam perangkat lunak tersebut yang memungkinkan data penginderaan jauh diproses secara otomatis. Salah satu contoh misalnya adalah menggabungkan data (3 - 4 *band*) dalam citra gabungan dengan menggunakan filter merah, hijau dan biru (RGB) yang menghasilkan citra komposit (*color composite image*).



Gambar 9.3.
Beberapa color composite data Landsat

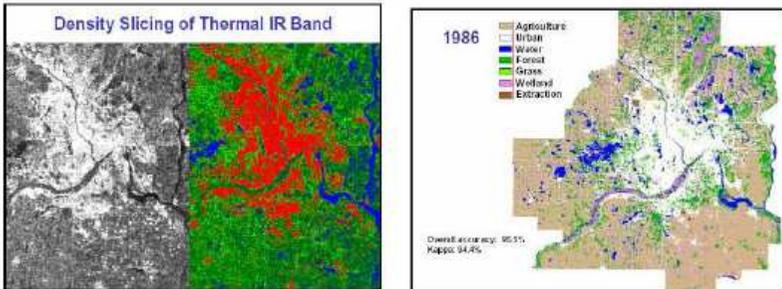
Pemrosesan secara digital lain misalnya adalah edge enhancement yang bertujuan untuk menajamkan atau melembutkan tampilan citra.



Gambar 9.4.

Cara mempertajam dan memperlembut tampilan citra dengan edge enhancement

Selain untuk mengubah tampilan citra pemrosesan digital dapat pula dipakai untuk memperoleh data secara otomatis (ekstraksi data). Ekstraksi ini antara lain dapat dipakai untuk memetakan tanaman hijau (NDVI), klasifikasi (*supervise* dan *unsupervise*) seperti dalam memetakan tutupan lahan (*land cover*), memetakan badan air dan sebagainya.



Gambar 9.5.

Ekstraksi otomatis peta tutupan lahan

D. Analisis visual

Berbeda dengan pemrosesan digital dimana hampir seluruh pekerjaan dilakukan oleh komputer, analisis visual sebagian besar dilakukan oleh manusia. Dengan analisis digital komputer hanya dapat mengenal dan mengolah nilai spektralnya saja, sedangkan analisis visual manusia dapat memperkirakan dan menentukan suatu obyek berdasarkan sifat fisiknya dan nilai spektralnya. Ciri pengenal yang biasa dipakai dalam penafsiran potret udara secara utuh dapat diterapkan pada data citra penginderaan jauh.

Pada data potret udara, yang berupa data analog, penafsiran dalam bentuk penarikan garis dan penandaan dilakukan pada lembar potretnya (*hard copy*), sedangkan pada data digital selain dilakukan pada *hard copy* dapat juga dilakukan langsung dari layar monitor dan hasilnya langsung disimpan dalam bentuk data digital.

Analisis visual hanya dapat dilakukan oleh manusia yang terlatih dalam bidang pekerjaannya. Dalam prakteknya tidak semua informasi di permukaan bumi dapat diperoleh melalui pemrosesan digital

maupun analisis visual. Untuk mendapatkan hasil maksimum kedua cara harus digabungkan yang akan saling melengkapi.

DAFTAR PUSTAKA

- Avery.T.E and G.L.Berlin, 1985., *Interpretation of Aerial Photographs*, Burgess Publishing Company, Minneapolis, Minn.
- Chanlet E.T, 1979., *Environmental Protection*, Mc Graw Hill Book Company Inc, New York.
- Colwell.R.N, 1976., *The Visible Portion of The Spectrum, In ; Remote Sensing of Environment*, J.Lintz Jr and D.S.Simonett, Addison-Wesley Publishing of Company, Inc, London.
- Curran.P.J, 1985., *Principles of Remote Sensing*, Published in The United States of America by Longman Inc, New York.
- Direktorat Topografi.AD, 1957., *Pengetahuan Elementer tentang Foto Udara*, Balai Fotogrametri, Dir. Topografi AD, Djakarta.
- Estes.J.E. and Simonett.D.S, 1975., *Fundamentals of Image Interpretation, In Manual of Remote Sensing*, First Edition, The American Society of Photogrametry, Falls Church, Virginia.
- Ford.K, 1979., *Remote Sensing for Planners*, Center for Urban Policy Research, State University of New Jersey.
- Henderson.F.F. and J.W.Merchant Jr, 1978., *microwave Remote Sensing, In : Introduction to Remote Sensing of The Environment*, B.F. Richardson Jr : ed., Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa.
- Hornby, 1974., *Oxford Advanced Learner's Dictionary of Current English*, Oxford University Press, London.

- Lewis. A.J, 1985., *Active Microwave Workshop*, Presented of The Workshop Held by The University of Oregon.
- Lillesand.T.M. and R.W.Kiefer, 1979., *Remote Sensing and Image Interpretation*, John Willey and Sons, New York.
- Lindgren.D.T, 1985., *Land Use Planning and Remote Sensing*, Martinus Nijhoff Publishers, Doldrecht.
- Lintz.J.Jr and Simonett.D.S. 1976., *Remote Sensing and Environment*, Addison Wesley Publishing Caompany London.
- Lo. C.P, 1976., *Geographical Application of Remote Sensing*, David and Charles, London.
- Paine.D.L, 1981., *Aerial Photography and Image Interpretation for Resources Management*, John Willey and Sons, New York.
- Sabin.F.F, Jr, 1978., *Remote Sensing, Principles and Interpretation*, W.H. Freeman and Co, San Francisco.
- Sardy dan D.Sudiana, 1991., *Profile and Projection for The Analysis of Intensity Characteristic of Image*, MAPIN Jakarta.
- Schwartz.D, 1985., *Remote Sensing : A Brief Introduction to sensor, Platform, and Techniques*, In : *The Surveillant Sciences-Remote Sensing of The Environment*, R.K.Holz:ed., John Wiley and Sons, New York.
- Short.N.M, 1982., *The Landsat Tutorial Workbook*, NASA, New York.
- Simonett.D.S, dkk, 1983., *The Development and Principles of Remote Sensing*, In : *Gastellu and Etcheorry, tanpa tahun., Remote Sensing With SPOT*, An Assessment of SPOT Capability in

Indonesia. Gadjah Mada University Press – BAKOSURTANAL
Yogyakarta.

Sutanto, 1986., *Penginderaan Jauh*, Jilid 1 dan 2, Gadjah Mada
University Press Yogyakarta.

Taranik.J.V, 1985., *Characteristics of The Landsat Multispectral Data
Systems*, In : *The Surveillant Sciences-Remote Sensing of The
Environment*, R.K. Holtz;ed., John Wiley and Sons, New York.

Tewinkel.G.C, 1963., *Water Depths From Aerial Photographs*,
Photogrammetric Engineering, Vol 29, No. 6.

Trevett. J.W., 1986., *Imaging Radar For Resources Survey*, Chapman
and Hall, London-New York.

Ulaby.F.T, Moore.R.K and A.K. Fung, 1981., *Microwave Remote
Sensing active and Passive*, Addison-Wesley Publishing
Company, London.

Wells.G and Holz.R.K, 1985., *Color Infrared Photography*, In : *The
Surveillant Sciences-Remote Sensing of The Environment*,
R.K.Holz:ed., John Wiley and Sons, New York.

Yaslinus, 2003., *Penginderaan Jauh (Remote Sensing)*, tersedia di :

http://www.geocities.com/yaslinus/pj_01.html