

MEM PERPUSTAKAAN IKIP PADANG

DITANGGAL 25-9-96
SUNBER HARGA H.D
KOLEKSI KKI
No INVENTARIS 693/HD/96-1021
KLASIFIKASI 522.63 ERN p 0

PENGINDERAAN JAUH DASAR



Oleh :

Dra. Ernawati, M.Si

FAKULTAS PENDIDIKAN ILMU PENGETAHUAN SOSIAL

INSTITUT KEGURUAN ILMU PENDIDIKAN

P A D A N G

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

KATA PENGANTAR

Berkat Rahmat Allah Yang Maha Kuasa, *Buku Pengantar dan Dasar* ini dapat kami susun guna menunjang dan menjadi bahan bacaan untuk menambah wawasan pembaca di bidang penginderaan jauh.

Buku ini disadur dari beberapa buku yang terdapat di halaman daftar pustaka, namun yang lebih dominan adalah bahasan yang ditulis oleh Lillesand/Kiefer dan Tame. Buku ini memuat tentang *Kemampuan penginderaan jauh, Penginderaan jauh sistem fotografik, dan Teknik interpretasi foto udara.*

Penyelesaian buku ini dibantu oleh banyak pihak terutama suami (Tarmidzi, M), atas segala bantuan dan dorongan moril serta materil, diucapkan terima kasih.

Keterbatasan kemampuan dalam menyusun kata menjadi kalimat serta keterbatasan pengetahuan tentunya banyak terdapat kekurangan, untuk itu penulis mohon saran dan kritik untuk perbaikan di masa mendatang.

Semoga buku ini memberi manfaat bagi pembaca.

Padang, 27 Juli 1995

Penulis.

DAFTAR ISI

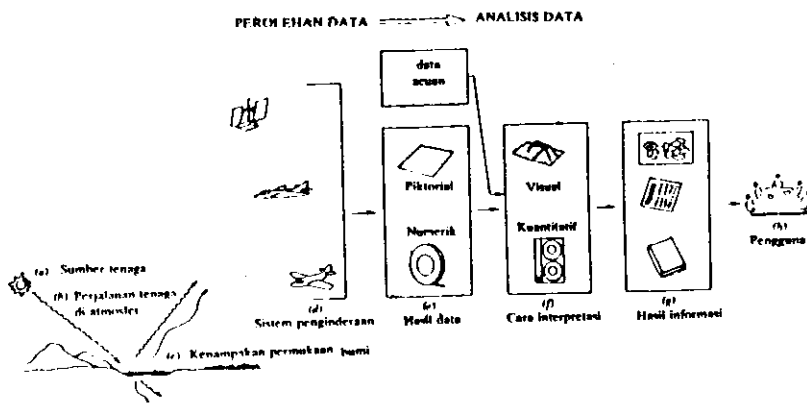
KATA PENGANTAR	1
DAFTAR ISI	1
BAGIAN SATU KONSEP DASAR PENGINDERAAN JAUH	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Sumber tenaga dan asas radiasi	4
1.3 Interaksi tenaga di dalam atmosfer ..	14
Hamburan	14
Serapan	16
BAGIAN DUA PENGINDERAAN JAUH SISTEM FOTOGRAFIS ..	20
2.1 Klasifikasi foto	21
Keuntungan-keuntungan foto udara ver-	
tikal dibandingkan dengan foto udara	
condong	23
Keuntungan-keuntungan foto udara con-	
dong dibandingkan foto udara vertikal	
2.2 Jarak titik api dan sudut liputan ...	25
2.3 Sumbu-sumbu koordinat	26
2.4 Tiga pusat foto	27
Titik dasar (principle point)	29
Nadir	30
Isosenter	30
2.5 Distorsi dan pergeseran	32
Distorsi lensa	32
Pergeseran karena kemiringan	33
Pergeseran topografi	36

BAGIAN TIGA	TEKNIK INTERPRETASI FOTO UDARA	45
3.1	Pendahuluan	45
3.2	Landasan interpretasi foto udara	47

DAFTAR PUSTAKA

statistik tanaman, atau data ini melalui dipindai dimana dan kapan saja bila tersedia untuk membantu dalam analisis data. Dengan bantuan rupa, data analisis mengambil informasi tentang jenis, keadaan, lokasi, dan kondisi berbagai sumber daya yang dikumpulkan oleh sensor.

- g. informasi ini disajikan biasanya dalam bentuk peta, tabel, dan atau suatu bahasan tertulis atau suatu laporan. hasil informasi yang khusus misalnya peta penggunaan lahan dan data statistik tentang luas tanaman.
- h. akhirnya, informasi tersebut diperuntukkan bagi para pengguna yang memanfaatkannya untuk proses pengambilan keputusan.



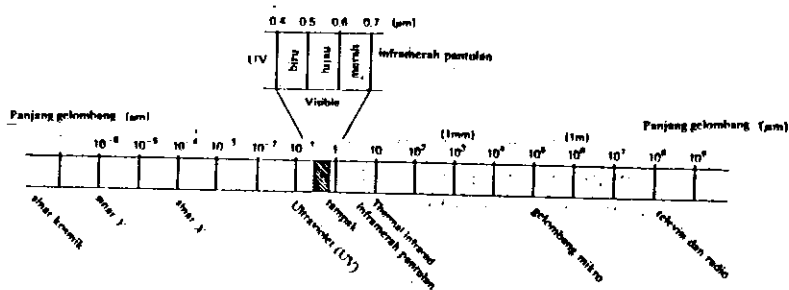
Gambar 1.1. Penginderaan jauh elektromagnetik untuk sumber daya bumi.

$$c = f\lambda \quad (1.1)$$

Karena c merupakan suatu tetapan (3×10^8 m/detik), frekuensi f dan panjang gelombang untuk tiap gelombang berbanding terbalik, dan satu diantara dua istilah tersebut dapat digunakan untuk mendeskripsikan gelombang dalam bentuk tertentu. Di dalam penginderaan jauh, penggolongan gelombang elektromagnetik paling sering dilakukan menurut letak panjang gelombangnya di dalam spektrum elektromagnetik (Gambar 1.3). Satuan yang paling sering digunakan untuk mengukur panjang gelombang di dalam spektrum elektromagnetik ialah mikrometer (μm). Satu mikrometer sama dengan 1×10^{-6} m.

Walaupun nama spektrum untuk media berbeda-beda biasa digunakan pada bagian spektrum elektromagnetik (seperti ultraviolet dan gelombang mikro), tidak ada batas yang tegas antara satu bagian spektrum dengan bagian spektrum berikutnya. Pembagian spektrum telah berkembang dari berbagai metode penginderaan, atau tiap jenis radiasi, dan ini melebihi perbedaan berdasarkan sifat energi pada berbagai panjang gelombang. Juga perlu diperhatikan bahwa bagian spektrum elektromagnetik yang berada di dalam penginderaan jauh terdistribusi secara berkesinambungan yang dicirikan dengan perubahan-perubahan berturut-turut dengan kelipatan 10 berpangkat banyak, oleh karena itu

lazim digunakan skala logaritma untuk menggambarkan spektrum elektromagnetik. Bagian spektrum "tampak" pada gambaran logaritmik meratakan bagian yang kecil, karena kepekaan spektral mata manusia hanya berkisar antara $\pm 0.4 \mu\text{m}$ hingga sekitar $0.7 \mu\text{m}$. Warna "biru" terdapat kira-kira pada julat $0.4 - 0.5 \mu\text{m}$, "hijau" antara $0.5 - 0.6 \mu\text{m}$, dan "merah" antara $0.6 - 0.7 \mu\text{m}$. Tenaga *ultraviolet* membentang ke arah panjang gelombang yang lebih pendek dari bagian spektrum tampak ialah energi *inframerah pantulan* (IR). Panjang gelombang yang lebih panjang dari gelombang ini adalah *inframerah teruskan*. Pada panjang gelombang yang jauh lebih panjang ($1 \text{ m} - 1 \text{ km}$) disebut bagian spektrum *gelombang mikro*.



Gambar 1.3. Spektrum elektromagnetik

Sistem penginderaan yang paling sering digunakan bekerja pada suatu atau beberapa spektrum dari bagian spektrum tampak, inframerah pantulan, inframerah termal atau gelombang mikro. Ingat bahwa kita membuat suatu perbedaan yang penting antara spektrum inframerah pantulan (IR) dan tenaga inframerah termal. Inframerah termal secara langsung berkaitan dengan penginderaan panas, sedangkan inframerah pantulan tidak.

Walaupun beberapa sifat radiasi elektromagnetik paling mudah digunakan dengan menggunakan teori gelombang, namun terdapat teori lain yang dapat digunakan untuk menerangkan bagaimana elektromagnetik terdiri atas beberapa bagian terpisah yang disebut *foton* atau *quanta*. Tenaga satu quantum dapat ditulis sebagai berikut.

$$E = hf \tag{1.2}$$

dimana E = tenaga suatu quantum, dalam Joules (J)
 h = tetapan Planck, sebesar $6,626 \times 10^{-34}$
 Joules/detik

Kita dapat menghubungkan model teori gelombang dengan teori quantum di dalam partikel radiasi elektromagnetik, dengan menggantikan f pada persamaan 1.1 ke dalam persamaan 1.2 untuk memperoleh

$$E = hc/\lambda \quad (1.5)$$

Dengan demikian, kita lihat bahwa tenaga quantum adalah proporsional terbalik dengan panjang gelombang. *makin panjang panjang gelombang yang digunakan, makin rendah kandungan tenaganya.* Hal yang penting implikasinya di dalam penginderaan jauh adalah radiasi panjang gelombang yang panjang yang dipancarkan secara alamiah seperti pancaran gelombang radio lebih kenampakan medan, lebih sulit diindera dan pada umumnya dari panjang gelombang yang lebih pendek, seperti misalnya tenaga yang dipancarkan dari panjang gelombang inframerah termal. Rendahnya kandungan tenaga radiasi panjang gelombang yang panjang umumnya mempunyai arti, sistem penginderaan yang bekerja pada panjang gelombang yang panjang harus "mengamati" daerah muka bumi yang luas pada waktu tertentu agar dapat memperoleh sinyal tenaga yang dapat dideteksi.

Matahari merupakan sumber radiasi elektromagnetik yang paling penting untuk penginderaan jauh. Akan tetapi *semua* benda pada suhu di atas nol derajat absolut (0°K, atau -273°C) memancarkan radiasi elektromagnetik secara terus menerus. Oleh karena itu maka obyek di bumi juga merupakan sumber radiasi, walaupun besaran dan komposisi spektralnya berbeda terhadap matahari. Besarnya tenaga

yang diradiasikan oleh suatu obyek antara lain merupakan suatu fungsi suhu permukaan obyek tersebut. Hal ini ditunjukkan dengan hukum Stefan Boltzman yang menyatakan bahwa:

$$W = \sigma T^4 \quad (1.4)$$

dimana: W = jumlah tenaga yang dipancarkan dari permukaan obyek, Wm^{-2}
 σ = tetapan Stefan Boltzman, $5,6697 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ OK}^{-4}$ Joules detik
 T = Suhu absolut obyek ($^{\circ}\text{K}$)

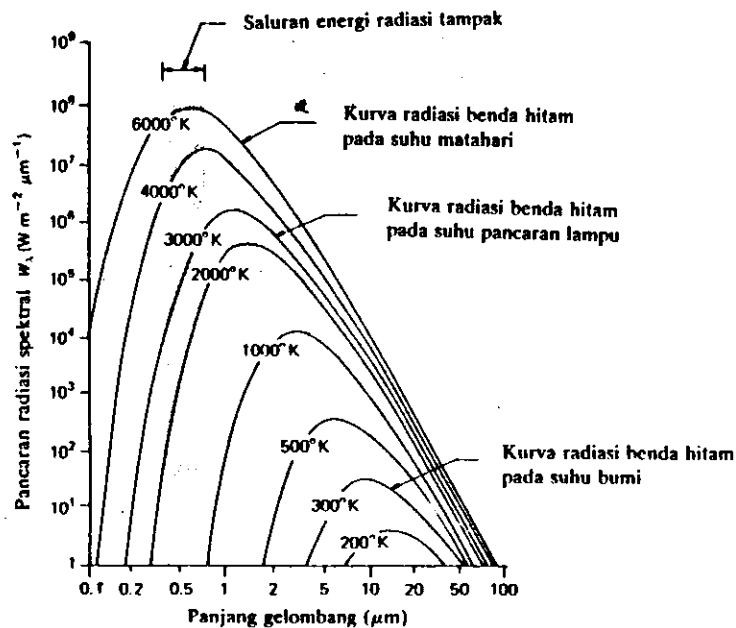
Satuan tetapan dan nilai tetapan tersebut tidak harus diingat atau dihafal oleh mahasiswa, akan tetapi penting untuk diperhatikan bahwa jumlah tenaga yang dipancarkan dari suatu obyek berbanding dengan T^4 , dan oleh karenanya tenaga tenaga tersebut akan meningkat cepat sekali dengan adanya peningkatan suhu, dan perlu diingat bahwa hukum ini dikemukakan untuk suatu sumber tenaga yang berlaku sebagai *benda hitam* (*black body*). Suatu benda hitam merupakan suatu radiasi elektromagnetik ideal yang menyerap dan memancarkan kembali seluruh tenaga yang menguasainya. Benda-benda yang ada hanya mendekati bentuk kesempurnaan ini. Tenaga yang dipancarkan dari suatu obyek terutama bergantung pada suhunya, seperti ditunjukkan pada persamaan 1.4.

Sejalan dengan jumlah tenaga yang dipancarkan oleh suatu obyek yang bervariasi dengan suhunya, demikian juga dengan distribusi spektral tenaga yang dipancarkannya. Gambar 1.4 menunjukkan kurva distribusi tenaga untuk benda hitam sempurna pada berbagai suhu yang bervariasi dari 200°K hingga 6660°K.

Satuan pada skala ordinat ($Wm^{-2} \mu m^{-1}$) menunjukkan tenaga radiasi yang datang dari suatu benda hitam sempurna pada setiap interval panjang gelombang μm . Oleh karena itu, maka luas daerah di bawah kurva tersebut sama dengan jumlah tenaga yang dipancarkan oleh benda hitam pada hukum Stefan Boltzman secara matematis $E = \sigma T^4$ dimana suhu radiasi, makin besar jumlah tenaga yang dipancarkan. Kurva tersebut juga menunjukkan adanya pergeseran puncak distribusi radiasi benda hitam ke arah panjang gelombang yang makin pendek apabila suhunya naik. *Panjang gelombang dominan* atau panjang gelombang dimana kurva radiasi suatu benda hitam mencapai maksimum, berkaitan dengan suhunya dan dinyatakan dengan *Hukum Pergeseran Wien*:

$$\lambda_m = A/T \quad (1.5)$$

dimana: m = panjang gelombang pada pancaran radiasi spektral maksimum
 A = tetapan 2829 $\mu m^{\circ}K$
 T = suhu, $^{\circ}K$



Gambar 1.4. Distribusi spektral tenaga yang dipancarkan dari benda hitam (black body) pada pelbagai suhu (perhatikan bahwa pancaran tenaga spektral (W) adalah tenaga yang dipancarkan per satuan interval panjang gelombang. Jumlah tenaga pancaran (W) digambarkan oleh luas di bawah kurva pancaran radiasi spektral)

Oleh karena itu suatu benda hitam pada setiap gelombang dimana terjadi pancaran radiasi energinya bervariasi dan berbanding terbalik dengan suhu absolut.

benda hitam tersebut. Kita saksikan fenomena ini ketika sebuah logam seperti sepetang besi dipanaskan. Ketika benda tersebut bertambah panas, benda tersebut mulai berkilau dan warnanya berubah secara berurutan ke arah panjang gelombang yang pendek, yaitu dari merah ke arah oranye, ke kuning, dan kadang-kadang ke arah warna putih.

Matahari memancarkan dengan cara yang sama seperti sebuah radiator benda hitam, pada suhu kurang lebih 6000°K (Gambar 1.4). Lampu pijar memancarkan radiasi dengan diwakili oleh kurva radiasi benda hitam pada suhu 3000°K . Sebagai akibat maka lampu pijar mempunyai keluaran tenaga relatif kecil pada spektrum biru dan ia tidak memiliki unsur pokok spektral seperti sinar matahari. Kita saksikan hal ini ketika kita mengambil lampu pijar untuk film fotografi di dalam ruangan di siang hari atau di luar ruangan dengan menggunakan film. Dengan nyala lampu yang terang, hasil pemotretan akan tampak "kekuningan" sebab cahaya lampu merupakan sumber cahaya pijar sehingga kandungan tenaga birunya rendah. Dengan menggunakan lampu berwarna biru, kita dapat memperbaiki ketidak-seimbangan sifat spektral ini.

Suhu permukaan bumi rata-rata adalah 15°C dan permukaan obyek seperti tanah, air, dan vegetasi adalah 10°C dan berdasar hukum peredaran Wien berartinya spektrum radiasi memancarkan seampunnya ke permukaan bumi sebagai

pada panjang gelombang $\pm 9,7 \mu\text{m}$. Oleh karena itu tenaga ini berkaitan dengan panas obyek di bumi, pada daerah "inframerah termal". Tenaga ini tidak dapat dilihat maupun dipotret, tetapi dapat diindera dengan suatu sensor termal seperti radiometer dan penyinar. Sebagai perbandingan, matahari mempunyai puncak pancaran radiasi yang jauh lebih tinggi yang terjadi pada $0,7 \mu\text{m}$ seperti ditunjukkan pada Gambar 1.4. Maka kita dapat film fotografik peka terhadap tenaga pada daerah dan panjang gelombang ini. Oleh sebab itu pada saat matahari terlihat kita dapat mengamati kenampakan bumi dengan melalui pantulan tenaga matahari. Perlu dikemukakan lagi bahwa tenaga dengan panjang gelombang lebih panjang yang dipancarkan oleh kenampakan di muka bumi, hanya dapat diamati dengan sistem penginderaan non-fotografik. Batas umum antara panjang gelombang inframerah pantulan dan inframerah pancaran ialah pada panjang gelombang sekitar $3 \mu\text{m}$. dibawah panjang gelombang ini sebagian besar berupa tenaga pantulan, di atasnya dicirikan oleh tenaga pancaran.

Sensor tertentu seperti sistem radar, membekali diri dengan sumber tenaga yang memancar ke arah obyek yang dituju. Sistem ini disebut sistem "aktif". berkebalikan dengan sistem "pasif" yang mengindera berdasarkan tenaga alamiah yang tersedia. Serta masih sistem lain yang

522.63

693/HD/96-1021

ERN

p ①

menyebabkan kehilangan efektif tenaga pendentul atmosfer. Biasanya hal ini meliputi serapan tenaga pada panjang gelombang tertentu. Penyerap radiasi matahari yang paling efisien dalam hal ini ialah uap air, karbon dioksida, dan ozon. Karena gas-gas tersebut cenderung menyerap tenaga elektromagnetik pada panjang gelombang tertentu, pengaruhnya sangat besar pada bagian mana yang kita lihat secara spektral dengan sistem penginderaan tertentu. Kisaran atau julat panjang gelombang dimana atmosfer melakukan tenaga disebut *jendela atmosfer* (atmospheric window).

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

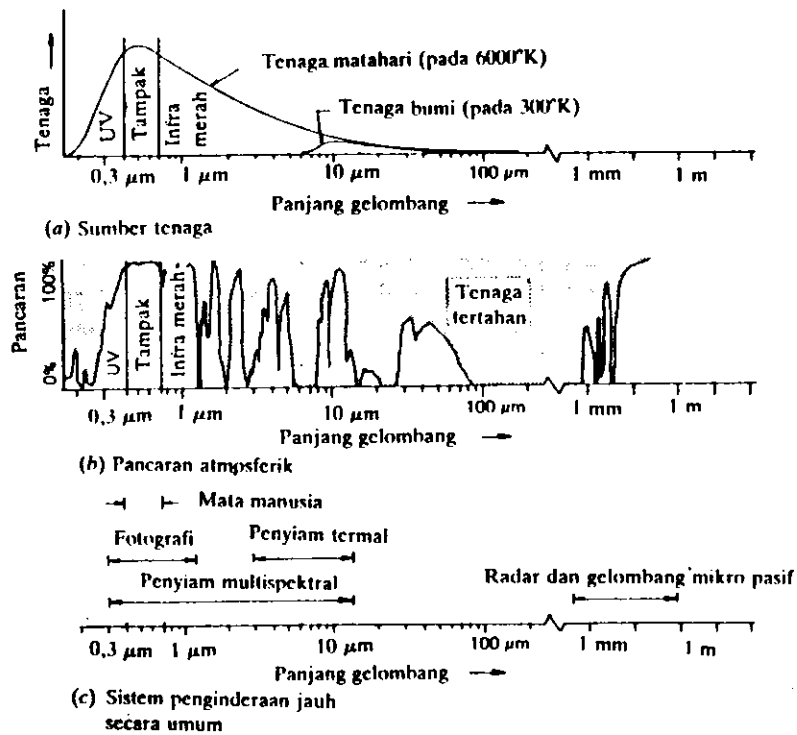
Gambar 1.5 menunjukkan adanya saling hubung antara sumber tenaga dan karakteristik serapan atmosfer. Gambar 1.5a melukiskan distribusi spektral tenaga yang dipancarkan oleh matahari dan oleh bumi. Dua kurva tersebut menggambarkan sumber tenaga yang paling sering digunakan dalam penginderaan jauh. Pada Gambar 1.7a menunjukkan daerah spektral dimana tenaga yang ditahan oleh atmosfer diberi warna gelap. Terdapat data penginderaan jauh terbatas pada ketersediaan spektral yang gelap dimana warna gelap yang disebut "jendela atmosfer". Terlihat dari Gambar 1.7a bahwa nilai korelasi spektral antara matahari pada julat panjang gelombang dalam warna gelap tersebut merupakan penyediaan tenaga yang baik untuk penginderaan

"panas" dari bumi yang ditunjukkan dengan lambang μ di atasnya diindera melalui jendela antara 3μ - 5μ dan 8μ - 14μ dengan menggunakan alat penyinar termal. Sistem multispektral menggunakan secara berturut-turut beberapa julat kecil panjang gelombang yang dapat diletakkan pada berbagai titik dari spektrum tampak hingga spektral termal. Sistem radar dan sistem penginderaan mikro pasif bekerja pada suatu jendela antara panjang gelombang 1 mm hingga 1m.

Hal penting dicatat dalam Gambar 1.1 sebagai *interaksi* dan *interpendensi* antara jendela atmosfer dimana sumber tenaga dapat diteruskan ke dan dari kenampakan di muka bumi, dan kepekaan spektral sensor yang tersedia untuk mendeteksi dan merekam tenaga tersebut. Orang tidak dapat memilih sensor yang akan digunakan dalam tugas penginderaan jauh sekehendak hatinya, tetapi harus memperhatikan :

1. kepekaan sensor yang tersedia;
2. ada atau tidak adanya jendela atmosfer pada julat-julat spektral;
3. sumber tenaga, besarnya tenaga dan susunan spektral tenaga yang tersedia pada julat spektral tersebut.

Akan tetapi yang penting adalah pilihan julat spektral pada sensor harus didasarkan pada cara bagaimana tenaga berinteraksi dengan kenampakan yang diteliti.



Gambar 1.5. Karakteristik spektral sumber tenaga, pengaruh atmosfer, dan sistem penginderaan (skala panjang gelombang ialah logaritmik)

BAGIAN DUA

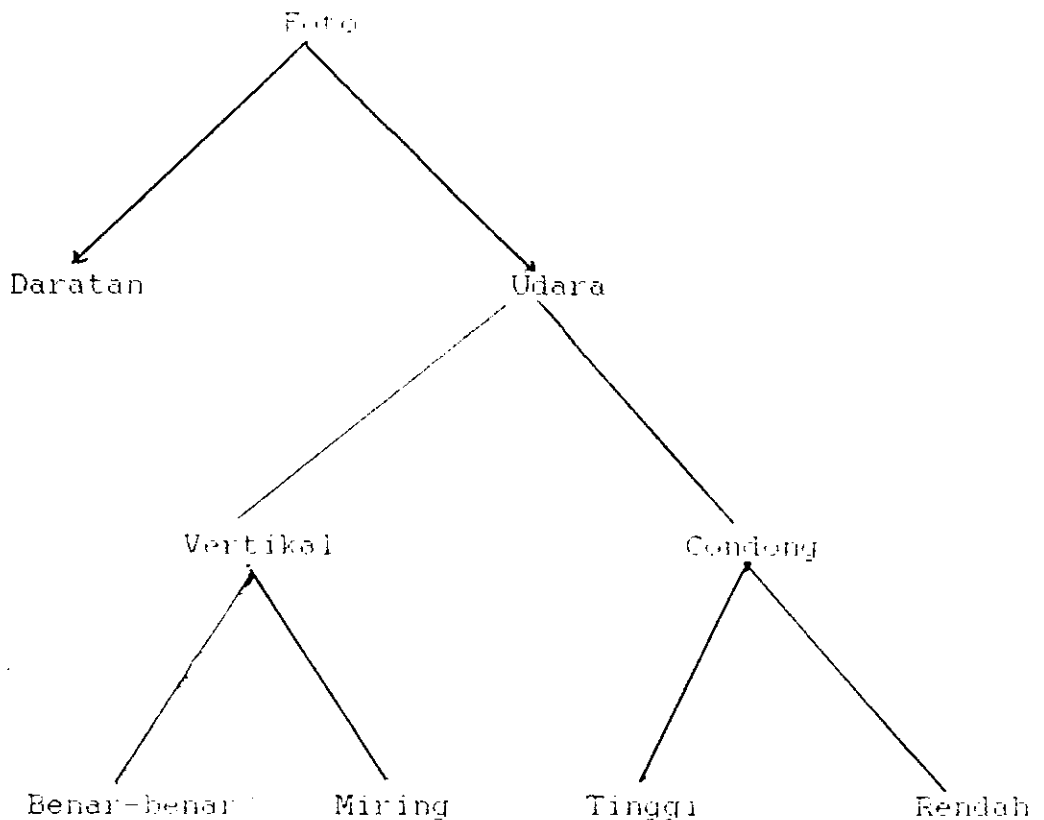
PENGINDERAAN JAUH SISTEM FOTOGRAFIK

Penginderaan jauh fotografik adalah sistem penginderaan jauh yang di dalam merekam obyek menggunakan kamera sebagai sensor, menggunakan film sebagai detektor, dan menggunakan tenaga elektromagnetik yang berupa spektrum tampak dapat berupa seluruh inframerah dekat maupun seluruh ultraviolet dekat. Perencanaan, instalasi atau pemotretannya dapat dilakukan dari udara maupun dari antariksa. Hasil rekamannya setelah diproses menjadi foto udara atau foto satelit. Tipe ini merupakan salah satu membedakan penginderaan jauh sistem fotografik dengan penginderaan jauh sistem non fotografik. Contohnya sensor return beam vidicon (RBV) pada satelit Landsat juga berupa kamera, hasil rekamannya tidak disebut foto karena detektornya bukan berupa film, melainkan lapisan peka sinar yaitu layar yang dilapis dengan fosfor (Tarantik, 1985). Pada pencetakan akhir memang juga diproses film, tetapi film bukan sebagai detektor karena ia bukan sebagai penerima sinar secara langsung yang sekaligus merekamnya. Film hanya digunakan untuk membubuhkan hasil rekaman akhir.

2.1. KLASIFIKASI FOTO

Ada macam-macam sistem yang berkenaan dengan klasifikasi foto udara. Satu sistem (gambar 2.1) memasukkan foto-foto ke dalam foto daratan dan foto udara. Foto-foto daratan diambil di darat sedang foto-foto udara diambil baik dari suatu mimbar yang bergerak maupun yang dipasang di udara. Foto udara mungkin selanjutnya diklasifikasikan sebagai vertikal atau condong. Foto-foto vertikal mungkin benar-benar vertikal, yaitu apabila sumbu kamera pada saat pemotretan dilakukan benar-benar vertikal, atau foto-foto tersebut mungkin sedikit miring apabila sumbu kamera miring tidak lebih dari pada 3° dari vertikal. Sebagian besar dari foto-foto udara masuk ke dalam klasifikasi yang terakhir ini yang terdiri atas foto-foto vertikal yang sedikit miring. Apabila istilah foto vertikal digunakan dalam foto ini kita menganggapnya betul-betul vertikal sedangkan pada kenyataannya mungkin mengalami kemiringan lebih kecil dari 3° . Tipe kedua dari foto udara disebut *condong* (oblique) yaitu apabila sumbu foto condong, sengaja dimiringkan antara 3° dan 90° dari kedudukan vertikal. Jika horizon tidak tampak, foto disebut condong rendah. Jika horizon tampak, foto disebut condong tinggi. Foto-foto daratan biasanya condong atau horisontal dimana sumbu kamera dimiringkan lebih dari 3° dari vertikal.

Format kebanyakan foto udara adalah bujur sangkar atau tetap beberapa mungkin persegi panjang tergantung pada kamera. Tetapi, bagian dari daratan yang diliputi oleh suatu foto udara adalah bujur sangkar atau persegi panjang hanya jika foto adalah vertikal betuk dan daratan adalah datar. Gambar 2.1 menggambarkan klasifikasi daratan untuk beberapa sudut pemotretan.



Gambar 2.1. Suatu klasifikasi foto udara (Dari D.P.Paine, 1979, *An Introduction to Aerial Photography for Natural Resource Management*, O.S.U. Bookstores, Inc., 1973)

Foto-foto udara juga dapat diklasifikasikan dengan

format atau ukuran dan bentuk negatif yang asli di dalam kamera. Pada umumnya suatu format yang paling lazim adalah 9x9 inci kira-kira 23 x 23 cm). Format yang lain untuk kamera lensa udara adalah $2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2}$ inci (64 mm), $4\frac{1}{2} \times 4\frac{1}{2}$ inci (114 mm), $4\frac{1}{2} \times 6$ inci (114 x 152 mm), 7 x 9 inci (178 x 229 mm), 8 x 10 inci (203 x 254 mm), 28 mm, dan 35 mm.

Keuntungan-keuntungan Foto Udara Vertikal Dibandingkan dengan Foto Udara Condong

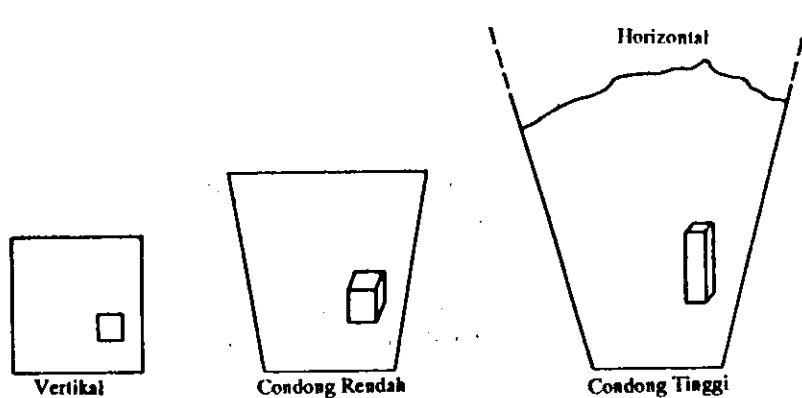
1. Skala suatu foto udara vertikal dibandingkan dengan foto *condong* akan selalu tetap dan tidak akan lebih mudah untuk melakukan pengukuran penentuan skala foto dan pengukuran adalah lebih teliti.
2. Adalah lebih mudah dan lebih teliti untuk menentukan arah pada suatu foto vertikal dari pada foto *condong*. Penentuan periktiran arah dapat dilakukan pada suatu foto udara vertikal dengan cara yang banyak persamaannya dengan menggunakan peta.
3. Secara *terbatas* suatu foto udara vertikal dapat digunakan sebagai pengganti peta dengan menambah sistem kisi dan data marginal.
4. Foto vertikal seringkali lebih mudah ditafsirkan dari pada foto *condong*. Ini terutama karena skala dan obyek-obyek yang lebih tetap (gedung-gedung, bukit-bukit dan lain-lain) tidak akan menutupi obyek-obyek yang lain sebanyak yang terjadi pada foto-foto *condong*. Pengkajian stereoskopis juga lebih efektif.

Keuntungan-keuntungan Foto Udara Condong Dibandingkan dengan Foto Udara Vertikal

1. Suatu foto *condong* meliputi kawasan yang lebih luas

dari pada kawasan yang diliput oleh suatu foto vertikal yang diambil dari ketinggian yang sama dengan lensa yang jarak titik apinya sama.

2. Jika lapisan awan sering menutupi suatu lokasi yang tidak memungkinkan pemotretan vertikal, pemotretan miring cukup bermanfaat untuk liputan condong.
3. Pandangan oblique bersifat diagonal, karena pandangan profil sama dengan pandangan serong, yaitu pada sudut berbeda. Ini berarti bahwa pada serong, foto oblique ini menyoroti objek-objek, buatan alam, perantara, jembatan, tambatan, bangunan-bangunan, dan lain-lain, menbari lerah lerah dikenal karena keragaman lerah.



Gambar 2.2 Ukuran dan bentuk relatif kawasan daratan yang dipotret daritiga sudut yang berbeda.

obyek-obyek ini dapat dilihat.

4. Beberapa obyek tidak dapat dilihat pada foto-foto vertikal; jika tersembunyi dari atas (misalnya: gua-gua atau obyek-obyek di bawah tepi suatu liputan hutan).

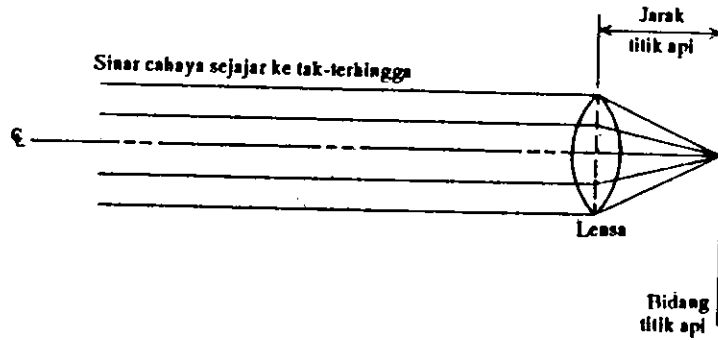
2.2. JARAK TITIK API DAN SUDUT LIPUTAN

Salah satu dari ciri-ciri kamera udara yang paling penting, di samping kualitas lensa, adalah jarak titik api, yang kita tentukan sebagai jarak dari bidang fokus ke kira-kira pusat lensa (titik asal belakang = *rear nodal point*) baik mana difokuskan pada jarak tak terhingga. Sinar sinar yang sejajar yang memasuki lensa dari jarak tak terhingga difokuskan pada suatu titik pada bidang fokus (Gardner, 1961). Sudut liputan sampai ke sudut kerucut berkisar antara 10 derajat yang digunakan dengan lewat lensa dan mengenai film. Dengan sudut liputan yang dapat melihat bahwa sudut liputan bertambah, yang berarti titik api lensa berkurang. Makin sempit sudut, makin kecil sudut liputan. Jika jarak-jarak titik api yang ada, jarak titik api 10 cm, $8\frac{1}{4}$ inci dan 6 inci adalah yang paling umum digunakan. Karena lensa-lensa relatif lebar memperbesar pengerasan obyek-obyek yang tampak, maka berlebihan, maka lensa-lensa tersebut adalah baik untuk pemotretan lapangan yang datar dari pada lapangan yang bergunung-gunung.

Lensa-lensa untuk kamera udara diasah dengan sangat cermat dan dapat bernilai beberapa ribu dolar. Beberapa lensa sedemikian tepatnya sehingga distorsi lensa dari gambar pada foto dapat kurang dari 10 μ m (kira-kira 39 per juta inci). Untuk maksud-maksud yang praktis lensa-lensa ini termasuk bebas distorsi dan diiklankan seperti itu.

2.3. SUMBU-SUMBU KOORDINAT

Setelah membicarakan sumbu-sumbu koordinat mengenai foto vertikal tunggal kita harus menentukan tanda-tanda fidusial sebagai acuan untuk melihat tinggi pada gambar (2.5). atau gambaran geometrik lainnya yang diproyeksikan secara optik. Setelah pada suatu sudut atau pada sisi-sisi foto biasanya ada empat tanda-tanda foto, tetapi kadang-kadang ada delapan (dua pada tiap sudut-sudut) terpasang pada tipe kamera tertentu yang digunakan. Tanda-tanda fidusial ini merupakan suatu tanda acuan yang menentukan sumbu-sumbu koordinat dan pusat geometri sel lembar foto udara tunggal.

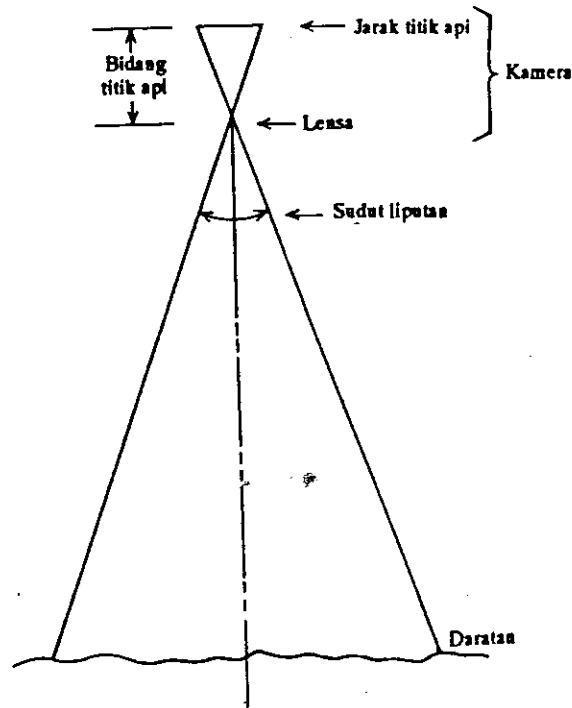


Gambar 2.3. Jarak titik api suatu lensa sederhana (Dari D.P. Paine, 1979, *An Introduction to Aerial Photography for Natural Resource Management*, O.S.U. Bookstores, 1973).

Sumbu x adalah garis pada foto antara tanda-tanda fidusial sisi yang berhadapan yang sangat hampir sejajar dengan arah terbang. Sumbu y adalah garis pada foto antara tanda-tanda fidusial sisi yang berhadapan tegak lurus sumbu x dan sangat hampir tegak lurus garis terbang (Gambar 2.5). Sumbu-sumbu x dan y ditentukan secara berbeda pada suatu pasangan foto udara yang stereoskopis.

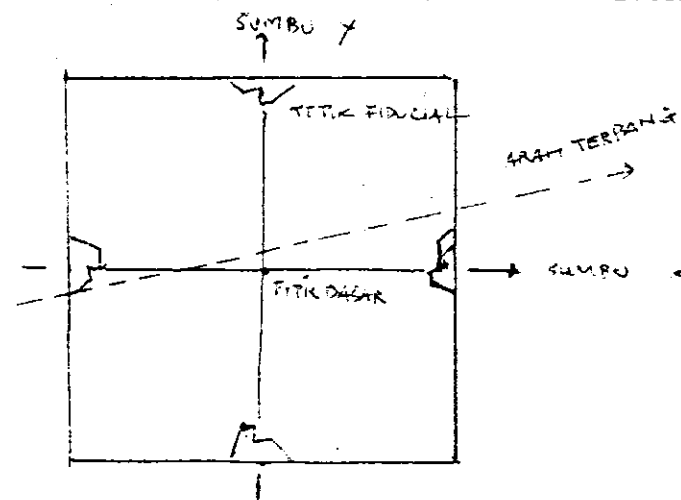
2.4. TIGA PUSAT FOTO

Kecuali pada foto udara yang benar-benar vertikal, terdapat tiga pusat foto yang berbeda : titik dasar (*principle point*), nadir dan Isosenter. Pusat-pusat yang berbeda ini penting bagi ahli fotogrametri karena tipe distorsi dan pergeseran menyebar dari masing-masing titik ini. Foto udara yang benar-benar vertikal ketiga pusat ini semua berimpit pada titik dasar.



Gambar 2.4. Hubungan antara jarak titik api dan sudut liputan. Jika jarak titik api bertambah sudut liputan berkurang. (dari D.F. Paine, 1977, An Introduction to Aerial Photography for Natural Resource Management, D.F. Bookstores, Inc.)

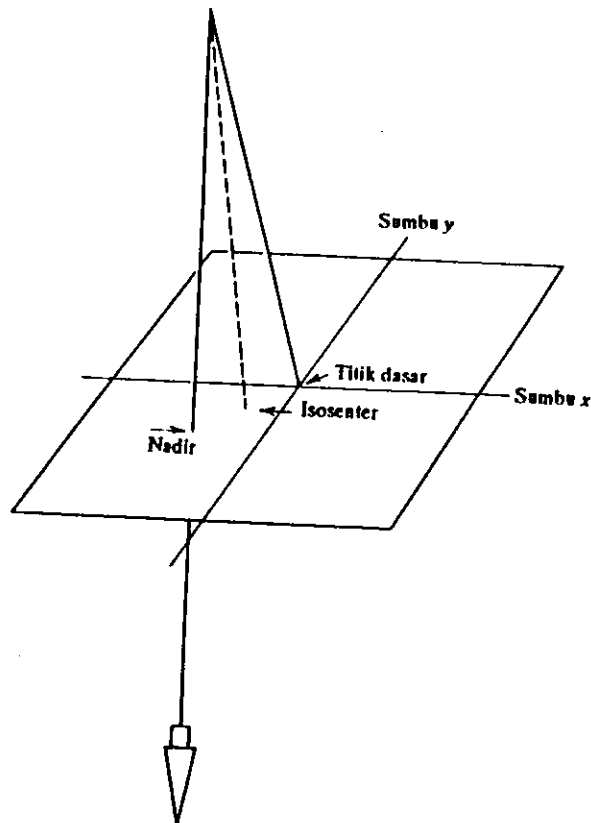
Klasifikasi	Jarak Titik Api	Sudut Liputan
Sudut sempit	12 inci = 304,8 mm	Murah dari 50°
Sudut normal	8,25 inci = 209,8 mm	50° sampai 75°
Sudut lebar	6 inci = 152,4 mm	75° sampai 100°
Sudut sangat lebar	3,5 inci = 88,9 mm	Lebih dari 100°



Gambar 2.5. Tanda-tanda Fiducial (Fiducial marks) titik dasar (principal point) dan sugya-sugya koordinat suatu foto udara tunggal. (dari D.F. Paine, 1977, An Introduction to Aerial Photography for Natural Resource Management, D.F. Bookstores, Inc.)

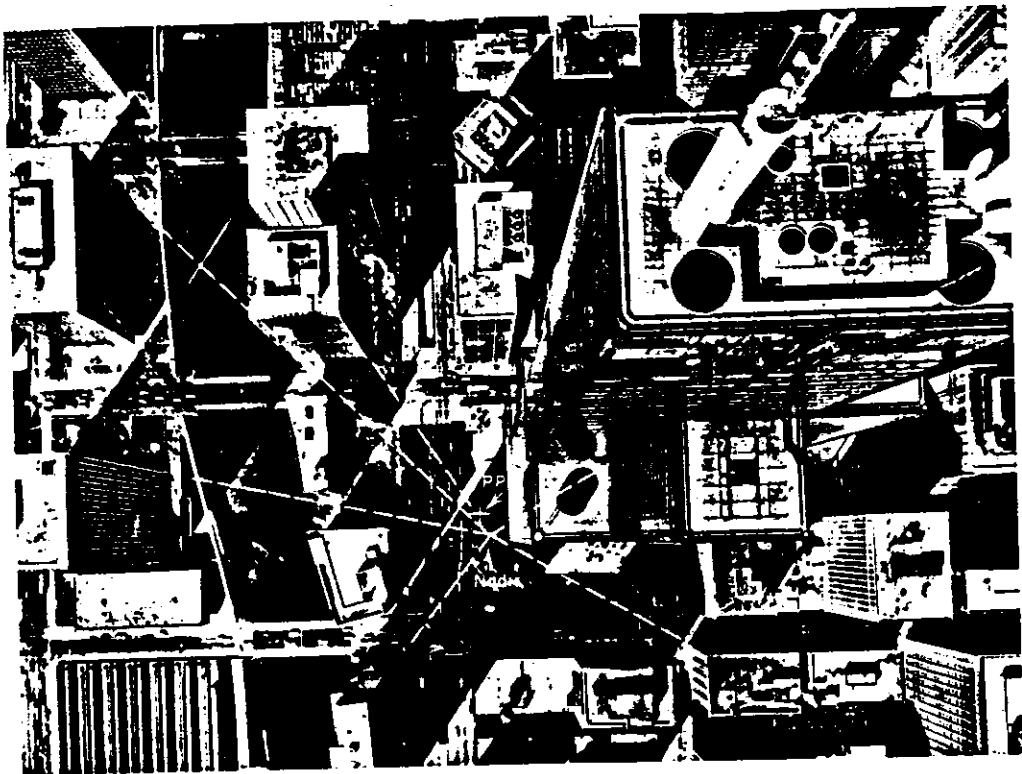
Titik Dasar (Principal point)

Titik dasar adalah dimana titik suatu garis tegak lurus yang diproyeksikan melalui pusat lensa memotong gambar foto (Gambar 2.5, 2.6). Ini adalah pusat geometri foto dan dianggap berimpit dengan perpotongan sumbu-sumbu x dan y . Kita dapat menempatkan titik dasar pada selebar foto tunggal dengan perpotongan garis-garis yang ditarik antara tanda-tanda fidusial atau yang lebih jarang, dan antara tanda-tanda fidusial sudut. Distorsi lensa adalah menyebar menjari (radial) dari titik dasar.



Gambar 2.6. Lokasi-lokasi relatif titik dasar (principle point), isosenter, dan nadir suatu foto udara yang mengalami "sedikit kemiringan sumbu kamera". Besarnya sudut kemiringan adalah sangat dilebih-lebihkan dengan maksud memberikan gambaran yang jelas. (Dari D.P.Paine, 1978, *An Introduction to Aerial Photography for Natural Resource Management*, D.S.U. Bookstores, Inc.)

dan nadir (Gambar 2.7). Pada suatu foto udara, semua benar vertikal ditarik dalam isosenter dan nadir semua berimpit pada pusat geometri foto seperti yang telah ditentukan pada perpotongan-perpotongan garis yang ditarik antara tanda-tanda fidusial yang berhadapan. Isosenter merupakan titik dari mana perpotongan kemiringan, menyebar.



Gambar 2.7. Menentukan nadir yang menggunakan perpanjangan-perpanjangan sisi-sisi gedung-gedung vertikal yang tinggi. Nadir dan titik dasar cocok tercapai, nadir akan berimpit pada sudut x maupun sudut y . Suatu bangunan yang tinggi Hotel Beving Beers di Chicago dan merupakan gedung tertinggi di dunia. Sumber: dari Chicago dan Survey, American Society of Photogrammetry.

2.5. DISTORSI DAN PERGESERAN

Kita memberikan batasan distorsi sebagai suatu perubahan kedudukan suatu gambar pada foto yang mengubah ciri-ciri perspektif gambarnya. Pergeseran adalah suatu perubahan pada kedudukan suatu gambar pada suatu foto yang tidak mengubah ciri-ciri perspektif foto.

Suatu foto udara vertikal lukan merupakan suatu peta. Suatu foto merupakan hasil suatu proyeksi perspektif atau proyeksi pusat, dan suatu peta merupakan hasil suatu proyeksi Orthografi (Gambar 2.8). Berbeda dengan peta pada bahan dasar yang stabil, suatu foto udara merupakan sumber distorsi dan pergeseran sebagai berikut :

Tipe Distorsi	Tipe Pergeseran
1. Pergerakan film dan gambar cetakan (potret)	1. Lengkungan leas
2. Pembiasan berkas cahaya di dalam atmosfer	2. Kenaikan gambar kamera (<i>lift</i>)
3. Gerakan gambar	3. Tersifat fotografis atau relief (<i>relief displacement</i>)
4. Distorsi lensa	

Distorsi Lensa

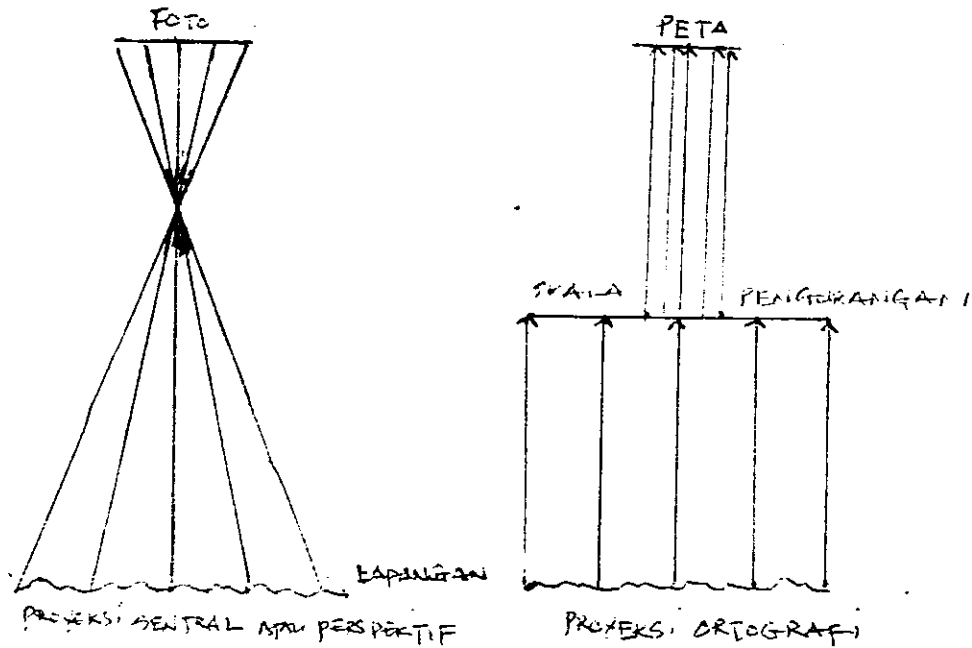
Distorsi lensa adalah penyimpangan dari bentuk geometris yang sebenarnya.

menyebabkan suatu gambar yang tampak lebih dekat atau lebih jauh dari titik dasar. dari pada kenyataannya. Distorsi ini adalah lebih dekat dengan sisi-sisi foto. Dengan kalibrasi lensa kita dapat memperoleh suatu kurva distorsi yang menunjukkan kepada kita bagaimana distorsi beragam dengan jarak radial dari titik dasar. Dengan informasi ini kita dapat membuat pembetulan untuk distorsi lensa jika kita tahu kedudukan gambar pada foto terhadap titik dasar. Pembetulan ini adalah perlu hanya untuk proyek-proyek pemetaan yang sangat teliti karena lensa-lensa kamera udara yang mempunyai kualitas tertinggi adalah bebas dari distorsi.

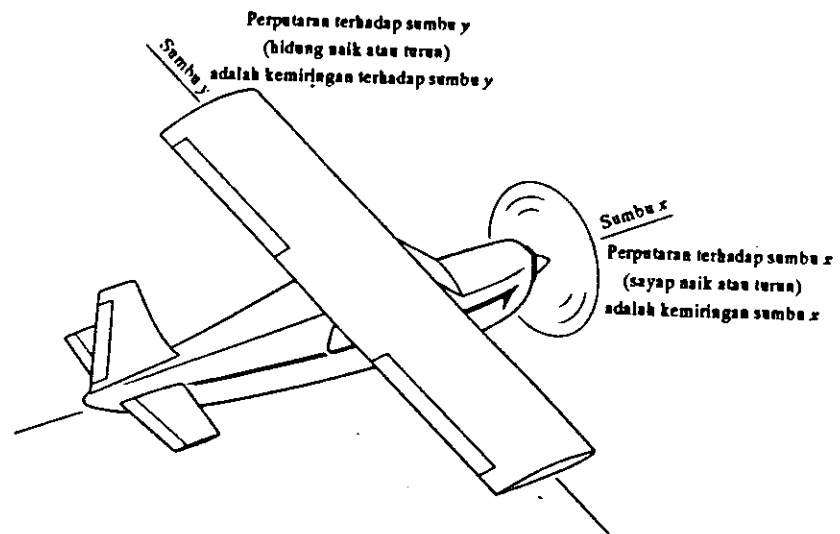
Pergeseran Karena Kemiringan

Pergeseran akibat kemiringan disebabkan oleh karena pesawat terbang atau helikopter terbang pada sudut elevasi betul-betul lain dari pada waktu yang bersangkutan (Gambar 2.9). Pergeseran kamera terhadap pusat proyeksi pesawat udara naik atau turun disebut kemiringan γ dan perputaran terhadap sumbu x (sayap naik atau turun) disebut kemiringan α . Keduanya menyebabkan distorsi isocenter dan menyebabkan gambar-gambar tampak tergeser secara radial *menjauhi isocenter* pada sisi atas atau *pendatar* (bukan negatif) dan secara radial *mendekati isocenter* atau menjauhi *isocenter* pada sisi bawah. Pada Gambar 2.10

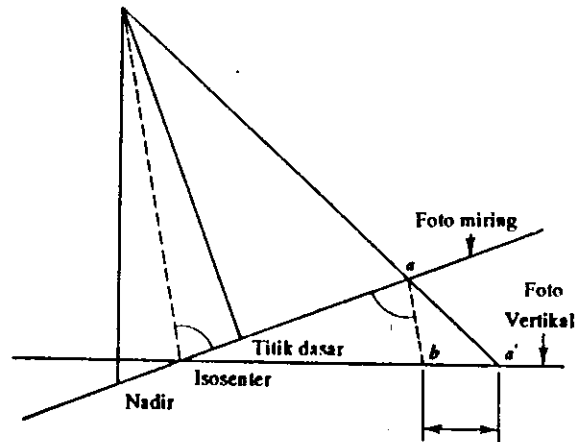
to yang dibetulkan adalah mahal karena besarnya dan arah kemiringan ditentukan dengan menggunakan pengukuran pengendali daratan vertikal dan horisontal yang mahal.



Gambar D.5. Sederhananya dari suatu proyeksi pusat (Foto) pada sebelah kiri dan suatu proyeksi ortografi (peta) pada sebelah kanan dari D.R. Fauna, 1978, An Introduction to Aerial Photography for Natural Resources Management D.S.W. Bookstores, Inc.



Gambar D.6. Kemiringan x dan y disebabkan karena ketinggian pesawat terbang (kenyamanan adalah katedral) pada saat penerbangan (pengambilan Foto)



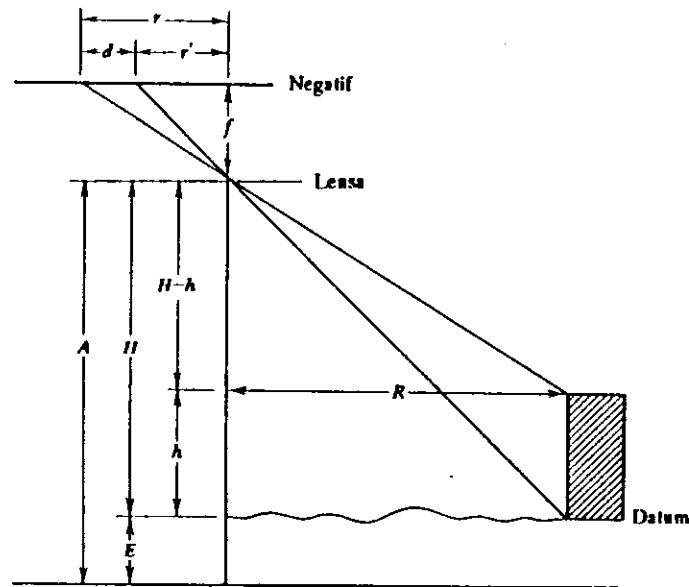
Gambar 2.10. Pergeseran yang disebabkan karena kemiringan sumbu kamera. Titik a' pada foto yang miring telah digeser dengan jarak a' samapai ke arah isosenter pada setengah bagian atas foto positif (Dari D.P. Paine, 1977, *In Introduction to Aerial Photography for Natural Resource Management* U.S.G. Bookstores, Inc.).

Foto-foto dapat sedikit dibesarkan dapat dikurangkan untuk membetulkan dari perubahan-perubahan kecil dalam ketinggian terbang antara tempat-tempat pengambilan foto dan dari elevasi-elevasi daratan rata-rata yang berbeda. Ini menghasilkan foto-foto yang *diimbangkan (air level prints)* yang mempunyai suatu skala rata-rata yang kurang lebih sama untuk suatu seri foto-foto dan merupakan suatu proses yang jauh lebih mudah dari pada rektifikasi.

Pergeseran Topografi

Pergeseran topografi atau pergeseran relief (relief) biasanya dibicarakan paling banyak mengenai tipe-tipe pergeseran terutama di bagian atas yang

bergantung. Pergeseran topografi menyebabkan distorsi yang



Gambar 2.11. Geometri topografi (Disalin dari D.P.Paine, *An Introduction to Aerial Photography for Natural Resource Management*, O.S.U. Bookstores, Inc.

dan dapat dihilangkan dengan alat-alat pengepilot stereo atau dengan teknik-teknik triangulasi garis cadrol yang sederhana. Pergeseran topografi juga dapat dihilangkan jika koreksi-koreksi dapat dilakukan untuk titik-titik tertentu. Pergeseran topografi adalah matematis, tetapi tidak dapat dihilangkan karena adanya distorsi topografi tidak dapat dilihat melalui pasangan pesawat yang direkonstruksi dalam bentuk ketidakepatuhan vertikal. Oleh karena itu, pergeseran topografi dapat dihilangkan dengan menggunakan teknik-teknik stereometri yang dapat dihilangkan foto udara.

Ruang untuk Pergeseran Topografi

- titik di atas nadir mengalami *pergeseran* secara radial menjauhi nadir dan titik-titik di bawah nadir mengalami pergeseran secara radial *menuju nadir*.
5. Akhirnya pergeseran topografi berbanding terbalik dengan ketinggian terbang di atas pangkal obyek. Oleh karena itu, besarnya pergeseran topografi sangat kecil pada foto-foto yang diambil dari ketinggian yang tinggi seperti stasiun angkasa yang mengorbit.

bertentangan. yaitu : (1) bentuk dan bayangan bayangan dapat memberikan gambaran profil warna (1) dapat membantu interpretasi) dan (2) objek di dalam bayangan hanya dapat memantulkan sedikit cahaya dan sukar diamati pada foto (menghalangi interpretasi).

Rona ialah warna atau kecerahan relatif objek pada foto. Gambar menyajikan bagaimana rona foto dapat digunakan untuk membedakan antara pohon gugur daun musiman dan pohon berdaun jarum pada foto udara inframerah hitam putih.

Tekstur adalah frekwensi perubahan rona pada citra fotografi. Tekstur dihasilkan oleh kumpulan unit kenampakan yang mungkin terlalu kecil apabila dibedakan secara individual pada foto udara, seperti daun tumbuhan dan bayangannya. Tekstur merupakan hasil gabungan dari bentuk, ukuran, pola, bayangan, dan rona. Apabila skala foto udara diperkecil, tekstur beberapa objek menjadi makin halus dan mungkin menjadi tidak tampak.

Silau atau lokasi objek dalam lamaprenta dengan objek yang lain, dapat sangat berguna untuk membantu pengenalan suatu objek. Sebagai contoh pola yang digunakan untuk memandu arah anak sungai dalam silau. Apabila terletak di daerah lapangan di tepi sungai, maka silau itu mudah dikenali apabila berlainan pada silau lain. Demikian pula silau pada sungai di daerah hulu dan hilir.

terdapat pada situs dataran tinggi dengan pengatusan baik, sedang beberapa spesis lain diharapkan terdapat pada situs dataran rendah dengan pengatusan jelek.

Proses interpretasi foto udara sering dapat dipermudah dengan menggunakan *kunci interpretasi foto udara*. Kunci interpretasi *foto udara* membantu penafsir menilai informasi yang disajikan pada foto udara dengan cara yang terorganisasi dan ajeg. Kunci interpretasi menunjukkan petunjuk tentang pengenalan kenampakan atau kondisi obyek pada citra foto. Secara ideal, kunci interpretasi terdiri atas dua bagian dasar : (1) sekumpulan stereogram ilustratif teranotasi tentang kenampakan atau kondisi yang harus diidentifikasi dari suatu kenampakan yang dikenali, dan (2) garafik atau diskripsi verbal yang dikemukakan secara sistematis tentang karakteristik pengenalan citra bagi kenampakan atau kondisi tersebut. Ada dua jenis umum kunci interpretasi foto udara secara umum yang dibedakan berdasarkan metode penyajian kenampakan diagnostiknya. *Kunci selektif* berisi sejumlah besar contoh foto dengan keterangannya. Penafsir memilih sebuah kenampakan kunci yang mirip dengan kenampakan atau kondisi obyek pada foto udara yang dikaji.

Kunci eliminasi disusun agar interpretasi berlanjut langkah demi langkah dari yang umum ke yang khusus, dan