

# PENGINDERAAN JAUH

Pengantar ke Arah Pembelajaran  
Berpikir Spasial

BAMBANG SYAEFUL HADI

**UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA  
NOMOR 28 TAHUN 2014  
TENTANG HAK CIPTA**

**PASAL 2**

Undang-Undang ini berlaku terhadap:

- a. Semua ciptaan dan produk Hak Terkait warga negara, penduduk, dan badan hukum Indonesia;
- b. Semua ciptaan dan produk Hak Terkait bukan warga negara Indonesia, bukan penduduk Indonesia, dan bukan badan hukum Indonesia yang untuk pertama kali dilakukan Pengumuman di Indonesia;
- c. Semua ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dan pengguna Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait bukan warga negara Indonesia, bukan penduduk Indonesia, dan bukan badan hukum Indonesia dengan ketentuan:
  1. Negeranya mempunyai perjanjian bilateral dengan negara Republik Indonesia mengenai perlindungan Hak Cipta dan Hak Terkait; atau
  2. Negeranya dan negara Republik Indonesia merupakan pihak atau peserta dalam perjanjian multilateral yang sama mengenai perlindungan Hak Cipta dan Hak Terkait.

**BAB XVII KETENTUAN PIDANA**

**PASAL 112**

Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 7 ayat (3) dan/atau Pasal 52 untuk Penggunaan Secara Komersial, dipidana dengan pidana penjara paling lama 2 (dua) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 300.000.000,00 (tiga ratus juta rupiah).

- (1) Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 100.000.000 (seratus juta rupiah).
- (2) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
- (3) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
- (4) Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

# PENGINDERAAN JAUH

Pengantar ke Arah Pembelajaran  
Berpikir Spasial

BAMBANG SYAEFUL HADI



# PENGINDERAAN JAUH

Pengantar ke Arah Pembelajaran Berpikir Spasial

© 2019 Bambang Syaeful Hadi

ISBN: 978-602-498-046-7

Edisi Pertama, 2019

xii + 226 hlm; 16 x 23 cm

Penulis : Bambang Syaeful Hadi

Editor : Shendy Amalia

Desain Cover : Nur Fitria

Tata Letak : Fathoni

**Diterbitkan dan Dicitak oleh:**

**UNY Press**

Jl. Gejayan, Gg. Alamanda, Komplek Fakultas Teknik UNY

Kampus UNY Karangmalang Yogyakarta 55281

Mail: unypress.yogyakarta@gmail.com

Telp: 0274-589346

*Anggota Ikatan Penerbit Indonesia (IKAPI)*

*Anggota Asosiasi Penerbit Perguruan Tinggi Indonesia (APPTI)*

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alikum warahmatullahi wabarakatuh. Bismillahirrahmaanirrahim.* Segala puji syukur penulis panjatkan kepada *Rabbul Jaliil* yang telah memberikan banyak kenikmatan yang tiada terhingga, termasuk di antaranya nikmat yang berupa kemampuan merangkai huruf sehingga menjadi kalimat-kalimat yang dapat mewakili gagasan pemikiran penulis. Rangkaian gagasan ini menjadi buku sederhana yang berjudul *Penginderaan Jauh: Pengantar ke Arah Pembelajaran Berpikir Spasial*. Semoga buku yang saat ini hadir di tangan pembaca merupakan rangkaian kalimat yang membawa manfaat.

Berpikir spasial (KBS) merupakan salah satu jenis berpikir yang dihasilkan oleh perpaduan antara pengetahuan, alat representasi, dan proses penalaran. Pemahaman terhadap sifat-sifat ruang, misalnya: dimensi, kontinuitas, kedekatan (*proximity*) dan pemisahan (*separation*) dapat dimanfaatkan untuk menata masalah, menemukan jawaban, mengungkapkan, dan menyampaikan solusi. Kemampuan berpikir spasial (KBS) diperlukan oleh setiap orang karena setiap orang pasti melakukan aktivitas yang terkait dengan ruang (lokasi dan tempat) atau *spatial behavior*, seperti menata perabotan rumah, melakukan perjalanan ke tempat-tempat tertentu, menata lingkungan, melakukan mitigasi bencana, dan lain-lain. Aspek spasial tersebut ada yang bersifat umum dan geografis. Aspek spasial yang bersifat umum dikaji oleh berbagai bidang disiplin ilmu, seperti matematika, pedagogik, psikologi. Sementara

aspek spasial geografi lebih banyak dikaji oleh geosains (geografi, geologi, sistem informasi geografi, dan penginderaan jauh). KBS dalam aspek spasial geografi inilah yang kurang diperhatikan oleh para pendidik, sehingga sering terjadi berbagai kebijakan pembangunan yang tidak berhasil karena tidak memperhatikan aspek spasial geografi. Di antara dampak terabaikannya aspek spasial geografi adalah timbulnya bencana banjir, kekeringan, longsor lahan, pencemaran lingkungan, dan kemacetan lalu lintas.

Penjelasan sederhana dari salah satu fenomena bencana di atas, misalnya bencana banjir adalah kesalahan dalam merencanakan dan melaksanakan pola penggunaan lahan di daerah hulu, tengah dan hilir. Di daerah hulu yang seharusnya digunakan sebagai hutan lindung dan daerah penyerapan air hujan tetapi digunakan untuk pertanian dan permukiman, sehingga air tidak dapat meresap ke dalam tanah dan menjadi limpasan (*run off*) yang masuk ke dalam sungai-sungai sampai meluap. Pemanfaatan daerah hulu sebagai lahan pertanian dan permukiman merupakan bukti tidak adanya pemahaman spasial.

Begitu pentingnya KBS, sehingga perlu diajarkan sejak dini di bangku-bangku sekolah. Mata pelajaran geografi memiliki peran strategis untuk menanamkan dan mengembangkan KBS, melalui kompetensi dasar (KD) memahami pemetaan, penginderaan jauh, dan sistem informasi geografis (SIG). Kajian para ahli dalam bidang pendidikan lebih banyak pada penggunaan SIG untuk me-ngembangkan KBS, padahal ada jenis teknologi geospasial lainnya yang dapat digunakan, seperti penginderaan jauh. Masih masih sangat sedikit kajian penginderaan jauh yang ditujukan pada tujuan untuk mengembangkan KBS, padahal secara teoretik, penginderaan jauh memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai media untuk mengembangkan KBS.

Buku sederhana yang penulis susun berisi gagasan awal untuk memanfaatkan/menerapkan penginderaan jauh untuk mengembangkan KBS. Gagasan ini muncul saat menulis mengkaji beberapa konsep KBS yang dikemukakan oleh beberapa ahli, seperti Gersmehl & Gersmehl (2007), Golledge et. al. (2008), Jenelle & Goodchild (2011). Konsep KBS yang menurut penulis paling menarik dan paling memungkinkan untuk dikembangkan dengan menggunakan penginderaan jauh adalah konsep yang dikemukakan oleh Gersmehl & Gesmehl, yang mencakup kemampuan seseorang untuk berpikir tentang lokasi, koneksi, kondisi, komparasi, aura, region, hierarki, transisi, analogi, pola spasial, dan asosiasi spasial.

Buku ini ditulis berdasarkan naskah modul pembelajaran yang digunakan untuk penelitian disertasi penulis. Dalam penggunaan beberapa istilah di buku ini kemungkinan terjadi inkonsistensi, hal ini terjadi karena konsep KBS tergolong diskursus yang masih relatif baru, sehingga para ilmuwan belum mempunyai kesepakatan yang final. Beberapa istilah yang dimaksud di antaranya adalah *spatial ability*, *graphicacy*, *spatial literasi*, *spatial thinking*, *geographical thinking*, *geospatial thinking*. Untuk keperluan memudahkan pemahaman, pada buku ini lebih ditekankan pada penggunaan istilah kemampuan berpikir spasial.

Isi buku dibagi menjadi 8 bab. Bab 1 Pengantar; Bab 2 Status, Ruang Lingkup, dan Komponen Sistem Penginderaan Jauh; Bab 3 Jenis Citra dan Pemanfaatannya; Bab 4 Interpretasi Citra; Bab 5 Resolusi Citra dan Impelementasi; Bab 6 Aplikasi Citra untuk Kajian Geosfir; Bab 7 Penginderaan Jauh untuk Pembelajaran Berpikir Spasial; Bab 8 Hasil Penelitian Penggunaan Citra Multi-resolusi Spasial untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Spasial Mahasiswa. Untuk dapat memahami penggunaan citra pengin-

deraan jauh untuk mengembangkan kemampuan berpikir spasial, pembaca harus memahami bab-bab sebelumnya.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Prof. Dr. Hartono, DEA, DESS, yang telah banyak memberikan motivasi dan dukungan untuk penulisan, Drs. Projo Danoedoro, M.Sc, Ph.D, Dra. Supra Wimbarti, M.Sc, Ph.D, dan Dr. R. Suharyadi, M.Sc yang telah memberikan kritik dan saran yang konstruktif untuk perbaikan naskah. Dr. Jong Won Lee, dan Dr. Sarah Bednarz yang telah banyak memberikan inspirasi bagi penelitian dan penulisan naskah buku ini. Kepada Wakil Rektor I UNY yang telah memberikan bantuan finansial untuk penerbitan buku ini. Ucapan terima kasih tak terhingga juga penulis sampaikan kepada Mbak Shaendy Amalia, SE, kepala UPT Penerbitan UNY yang telah mengolah naskah ini sehingga bisa memiliki tampilan yang menarik. Kepada segenap kolega di Jurusan Pendidikan Geografi FIS UNY, penulis berterima kasih atas dukungan dan diskusinya.

Penulis menyadari bahwa buku ini masih jauh dari harapan, masih banyak bagian yang harus diperbaiki baik dari segi isi maupun performansi. Oleh karena itu, penulis berharap kepada para pembaca untuk berkenan memberikan saran/masukan yang konstruktif untuk keperluan perbaikan. Penulis berharap buku ini dapat memberikan manfaat untuk para pembaca yang memiliki ketertarikan dalam pemanfaatan teknologi geospasial dalam pendidikan, para pendidik yang tertarik untuk menggunakan citra penginderaan jauh sebagai media pembelajaran, para pengembang konsep berpikir, dan kalangan lainnya yang memiliki ketertarikan pada aspek spasial. Aamiin.

Yogyakarta, November 2018

Bambang Syaeful Hadi



# DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	ix

## BAB I PENGANTAR

A. Penginderaan Jauh dalam Perspektif Filsafat Sains .....	1
B. Penginderaan Jauh: Beberapa Definisi .....	12
C. Simpulan .....	23

## BAB II STATUS, RUANG LINGKUP, DAN KOMPONEN SISTEM PENGINDERAAN JAUH

A. Status Penginderaan Jauh .....	25
B. Alasan Penggunaan Penginderaan Jauh .....	28
C. Ruang Lingkup Penginderaan Jauh .....	38
D. Sistem Penginderaan Jauh .....	41
E. Ringkasan .....	57
F. Strategi Pembelajaran .....	58
G. Latihan .....	60

## BAB III JENIS CITRA PENGINDERAAN JAUH DAN PEMANFAATANNYA

A. Citra Fotografi Udara .....	61
B. Citra Non-foto .....	66

BAB IV FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PERKEMBANGAN MOTORIK	
A. Definisi Interpretasi Citra .....	93
B. Kunci-kunci Interpretasi .....	94
C. Unsur-unsur Interpretasi Citra .....	98
D. Interpretasi Visual dan Digital .....	114
E. Model Pembelajaran .....	115
BAB V RESOLUSI CITRA DAN IMPLEMENTASI	
A. Resolusi Spasial Citra .....	117
B. Pengolahan Citra .....	124
C. Strategi Interpretasi Citra .....	128
BAB VI APLIKASI CITRA UNTUK KAJIAN GEOSFIR	
A. Interpretasi Objek-objek pada Citra .....	143
B. Akurasi Hasil Interpretasi .....	152
C. Strategi Pelatihan .....	156
D. Rangkuman .....	157
E. Latihan .....	159
BAB VII PENGINDERAAN JAUH UNTUK PEMBELAJARAN BERPIKIR SPASIAL	
A. Pengertian .....	161
B. Kedudukan KBS .....	164
C. Konsep dan Komponen Kunci KBS .....	166
D. Rangkuman .....	194
E. Strategi Pelatihan .....	195

BAB VIII PENGGUNAAN CITRA MULTIRESOLUSI SPASIAL

A. Latar Belakang .....	203
B. Tujuan .....	211
C. Metode .....	211
D. Hasil Penelitian dan Diskusi .....	213
E. Kesimpulan .....	222
DAFTAR PUSTAKA .....	223



# BAB I

## PENGANTAR

### A. Penginderaan Jauh dalam Perspektif Filsafat Sains

Setiap disiplin ilmu dalam sejarah pertumbuhannya mengalami pasang surut dan diwarnai perdebatan, baik antar pengembang disiplin ilmu itu sendiri maupun dengan para pemerhatinya. Perdebatan biasanya berada pada lingkup filsafati (ontologi, epistemologi, dan aksiologi). Perdebatan itu berimplikasi positif dan negatif pada suatu ilmu. Implikasi positifnya adalah penguatan pada konsepsi dan metodologi, di samping itu, isu perdebatan tersebut menjadi ajang sosialisasi sehingga suatu disiplin ilmu menjadi lebih dikenal. Implikasi negatifnya adalah munculnya keraguan para pegiat ilmu dan pandangan miring dari masyarakat terhadap suatu disiplin ilmu, karena dianggap tidak memiliki kemapanan dan terlalu sibuk dengan keilmuan secara filsafati sementara nilai aplikasi yang dapat mendatangkan kemanfaatan untuk kesejahteraan masyarakat terlupakan. Akibat dari keasyikan para ilmuwan melakukan perdebatan keilmuan, menimbulkan anggapan di kalangan awam, bahwa ilmu hanya untuk ilmu, tidak untuk kemaslahatan umat.

Pada tataran struktur, terdapat empat pilar pelaku kegiatan keilmuan yang bertindak pada tataran filosofi hingga pada tataran praktis. Menurut Abler, et.al, (1972 dalam Sutanto, 1994) keempat pilar tersebut meliputi filosof, teoriwan, metodologiwan, dan praktisi. Keempat pilar tersebut harus bersinergi sehingga suatu disiplin ilmu menjadi semakin mapan baik pada tataran filosofi hingga praktis, sehingga suatu disiplin ilmu memiliki nilai terapan yang tinggi (*applicable*), manfaatnya dapat dirasakan secara langsung oleh masyarakat, yang pada akhirnya berimplikasi pada meningkatnya kesejahteraan masyarakat.

Salah satu disiplin ilmu yang relatif baru jika dibandingkan dengan disiplin ilmu lainnya adalah penginderaan jauh (*remote sensing*). Penginderaan Jauh dalam perkembangannya oleh para geografer dimasukkan dalam struktur keilmuan geografi. Danoe-doro (2010) memodifikasi struktur keilmuan ortodoks dengan memasukkan disiplin ilmu penginderaan jauh, khususnya pada cabang geografi teknik—merujuk pada struktur geografi ortodoks sebagaimana yang dikemukakan Hagget (1972), yang secara eksplisit menyebut nama-nama cabang geografi. Eksistensi Penginderaan Jauh dalam struktur keilmuan sendiri banyak diperdebatkan oleh berbagai pihak baik di kalangan internal geografer maupun di luar geografer. Bahkan hingga kini masih banyak para geografer yang menganggap Penginderaan Jauh hanya sebagai alat (*tools*), bukan sebagai sebuah disiplin ilmu ataupun sub disiplin ilmu dalam geografi. Banyaknya karya ilmiah dalam bidang penginderaan jauh belum diimbangi oleh wacana filsafat keilmuan penginderaan jauh, sehingga penginderaan jauh sebagai sebuah disiplin ilmu belum kokoh secara filsafati. Berdasarkan permasalahan tersebut, pada bab pertama buku ini, penulis bermaksud untuk membahas perkembangan dan posisi penginderaan jauh

dilihat dari sudut pandang filsafat ilmu. Untuk memahami posisi keilmuan tersebut, penginderaan jauh dapat dilihat secara ontologis, epistemologis, dan aksiologis.

## 1. Tinjauan Ontologis

Ontologi adalah cabang terbesar dalam filsafat Aristoteles, dan menjadi puncak dari suatu segitiga pengetahuan yang juga mencakup epistemologi dan aksiologi/teleologi. Secara tradisional, ontologi berhubungan dengan pertanyaan tentang keberadaan atau kenyataan suatu objek. Ontologi sebagai cabang filsafat adalah ilmu yang berisi pembahasan tentang realitas apa, dari jenis dan struktur objek, properti, peristiwa, proses dan hubungan di setiap wilayah realitas (Bhatta, 2013). Ontologi sering digunakan oleh para filsuf sebagai sinonim untuk istilah metafisika yang digunakan oleh para murid awal Aristoteles untuk merujuk kepada apa yang Aristoteles sendiri sebut sebagai filsafat pertama.

Kadang-kadang ontologi digunakan dalam arti yang lebih luas, untuk merujuk pada studi tentang apa yang mungkin ada, di mana metafisika digunakan untuk studi tentang berbagai kemungkinan alternatif benar dari suatu realitas (Smith 1999 dalam Bhatta, 2013). Ontologi demikian memberikan dasar untuk pertukaran informasi, dan merupakan dasar prasyarat untuk deskripsi dan penjelasan, dalam ilmu dan di tempat lain. Dengan kata sederhana, ontologi berusaha mengklasifikasi entitas. Biasanya, filosofi ontologis menghasilkan teori-teori yang sangat banyak sebagai teori-teori ilmiah, tapi bersifat jauh lebih umum. Ontologi merupakan sebuah cabang filsafat dan komponen penginderaan jauh yang berkembang pesat dari ilmu komputer yang terkait dengan perkembangan representasi formal dari entitas dan hubungan

yang ada dalam berbagai tingkat penelitian murni dan aplikasi. Ini menyediakan dasar untuk teknologi yang beragam di berbagai bidang seperti integrasi informasi, pengolahan bahasa alami, data anotasi, dan pembangunan sistem komputer cerdas.

Kajian ontologi sains berarti membahas hakikat sains. Menghubungkan konsepsi ontologi saat ini dalam ilmu informasi geografis dengan teleologi dan epistemologi akan memungkinkan jenis pertanyaan ilmiah baru yang memerlukan jawaban atau pembahasan yang akan memperluas ruang lingkup ontologi itu sendiri menuju arah yang baru dan bermanfaat (Councielis dalam Navratil, 2009). Baru-baru ini, istilah ontologi telah digunakan oleh para ilmuwan sains informasi untuk merujuk deskripsi hasil penyelidikan (kanonik) pada ranah pengetahuan atau teori klasifikasi terkait. Dalam hal ini, ontologi adalah "deskripsi netral dan komputasi submisif atau teori dari sebuah domain yang dapat diterima dan digunakan kembali oleh semua domain pengumpul informasi" (Smith, 1999). Sering dinyatakan bahwa penginderaan jauh dapat memberikan representasi 'benar' dari permukaan bumi. Apakah pernyataan ini benar atau tidak akan pernah benar? Para ahli penginderaan jauh dapat memberikan argumentasi logis sejauh mana realitas semu (pantulan/pancaran) gelombang elektromagnetik dapat merepresentasikan wujud nyata benda secara meyakinkan dan objektif. Penginderaan jauh memberikan kesan fitur bumi-permukaan dalam format bergambar atau biasa disebut citra. Kenampakan objek pada citra bukan kebenaran sejati; misalnya, gambar bunga dan bunga itu sendiri tidak sama. Oleh karena itu, ontologi penginderaan jauh terutama menekankan pada penyelidikan tentang keberadaan atau kenyataan melalui gambar (citra) sebagai rekaman pantulan (pancaran) gelombang elektromagnetik. Penjelasan ini diarahkan pada pemahaman dan



pendefinisian fitur bumi-permukaan, hubungan spasial, proses, kategori mereka, dan sebagainya. Ini akan mencakup tidak hanya model dasar data, konsep, dan representasi atau klasifikasi fitur bumi permukaan, tetapi juga prinsip-prinsip ontologis (Bhatta, 2013). Kajian ontologis terhadap penginderaan jauh berarti membicarakan hakikat penginderaan jauh. Hakikat penginderaan jauh apakah merupakan ilmu atau bukan hingga kini masih menjadi bahan perdebatan. Kalangan geograf sebagian masih memandang penginderaan jauh bukan sebagai disiplin ilmu ataupun subdisiplin ilmu. Penginderaan jauh bersama dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) masih dianggap sebagai alat (*tools*) yang membantu pengumpulan data dan alat analisis dalam studi geografi.

Perdebatan apakah penginderaan jauh merupakan ilmu terjadi di antara para ahli, khususnya antara para ahli geografi dan penginderaan jauh. Sutanto (1994) dengan merujuk pendapat beberapa penulis seperti Lillesand and Kiefer, Jansen dan Dahlberg, Kardono Darmoyuwono, Lueder, dan Evertt dan Simonet, menyimpulkan bahwa penginderaan jauh merupakan sebuah disiplin ilmu. Dalam perkembangannya kemudian, beberapa kalangan menyebut ilmu yang bersifat monolitik ini sebagai bidang antar disiplin. Hal ini mengingatkan para pemerhati dan bidang aplikasinya yang sangat luas, merambah pada berbagai bidang. Berkembangnya aplikasi penginderaan jauh dalam berbagai bidang (kehutanan, geologi, geomorfologi, pertanian, lingkungan, dan lain-lain) semakin menguatkan adagium di kalangan ilmuwan bahwa ahli penginderaan jauh tidak dapat menjadi ahli geologi, pertanian, kelautan, dan lain-lain, tetapi setiap orang dapat menjadi ahli penginderaan jauh di dalam bidangnya.

Jensen dan Dahlberg (1986) menyatakan bahwa penginderaan jauh merupakan teknik dalam geografi yang berkembang menjadi disiplin ilmu tersendiri. Hal yang menandai penginderaan jauh sebagai ilmu adalah dimilikinya metodologi, teknik, dan orientasi intelektual yang berkembang mengikuti tren perkembangan suatu ilmu, yakni dari tahap awal yang ditandai kelangkaan pustaka. Tahap kedua ditandai oleh pertumbuhan eksponensial yang ditandai dengan berlipatnya jumlah publikasi pada interval waktu tertentu. Tahap ketiga merupakan tahap dimana perkembangan ilmu mulai menurun, tetapi penambahan tiap tahunnya tetap bertambah. Tahap keempat merupakan periode perkembangan akhir yang ditandai dengan tingkat pertumbuhan yang mendekati nol. Menurut Jansen dan Dahlberg, penginderaan jauh telah mencapai tahap kedua, dan sedang mendekati tahap ketiga.

Kardono Darmoyuwono (1982) sebagaimana dikutip Sutanto (1994) menyatakan bahwa penginderaan jauh merupakan suatu teknik yang berkembang menjadi ilmu. Penginderaan jauh menjadi ilmu karena perkembangannya yang amat luas sehingga terlalu luas untuk disebut sebagai teknik. Sistem penginderaan jauh yang meliputi bagian angkasa dan bagian darat, masing-masing masih dirinci menjadi beberapa bagian yang masing-masing memerlukan keahlian dari berbagai macam pakar keilmuan.

Lueder (1959) menyatakan bahwa penginderaan jauh merupakan ilmu dan teknik. Beliau mengemukakan pendapatnya sebelum istilah penginderaan jauh muncul (masih menggunakan istilah interpretasi citra). Penginderaan jauh sebagai suatu ilmu karena melibatkan banyak disiplin ilmu, sehingga penginderaan jauh disebutnya sebagai disiplin ilmu koordinatif karena memerlukan keterlibatan berbagai disiplin ilmu lain. Penginderaan jauh juga dipandang sebagai teknik bila digunakan oleh disiplin ilmu lain-

nya. Penginderaan jauh merupakan ilmu karena: (1) dilakukan atau diperoleh dengan jalan belajar atau latihan; (2) merupakan pengetahuan sistematis; (3) dilakukan dengan observasi dan klasifikasi fakta karena foto udara dan citra lainnya menyajikan tentang gambaran kenyataan di permukaan bumi; dan (4) dapat digunakan untuk menemukan kebenaran secara umum.

Everett dan Simonet (1976) dalam Sutanto (1994) mengutarakan bahwa penginderaan jauh merupakan suatu ilmu dengan alasan bahwa penginderaan jauh memiliki konsepsi dasar dan filosofi. Konsepsi dasarnya mencakup diskriminasi, resolusi, strategi jamak, dan peranannya terkait dengan pengolahan. Filosofinya, penginderaan jauh memiliki permasalahan abstrak yang perlu direnungkan para filsuf penginderaan jauh, masalah tersebut antara lain: (1) tingkat konsistensi informasi yang diperoleh; (2) pengubahan wujud alamiah menjadi wujud budaya (*artefacting*); (3) ketidakpastian; (4) tidak tepatnya ekstrapolasi antara data yang skalanya berbeda-beda; (5) masalah informasi yang berbeda skalanya; (6) keanekaan parameter lingkungan secara spasial dan temporal untuk diubah menjadi data penginderaan jauh (*environmental modulation transfer function*). Kesemua masalah tersebut menjadi tantangan para filsuf untuk menjawab, sehingga makin mengokohkan penginderaan jauh.

Lillasand, Kiefer dan Chipman (2007) secara lebih lengkap menyebut penginderaan jauh sebagai ilmu, teknik, dan seni. Alasan sebagai ilmu dan teknik sudah diuraikan di atas, sementara sebagai seni penginderaan jauh membutuhkan pengolahan penampilan objek agar lebih mudah diinterpretasi dan dibaca atau dikomunikasikan kepada orang lain memerlukan kombinasi berbagai band/spektrum sehingga tampil sebagai rona dan warna yang menarik. Di sinilah nilai seni penginderaan jauh terwujud

dalam bentuk display yang indah dan menarik.

Dilihat dari aspek ontologi, penginderaan jauh memenuhi syarat sebagai suatu ilmu, karena penginderaan jauh memiliki objek yang jelas. Objek merupakan sesuatu yang harus ada, yang menjadi kajian dari ilmu. Sesuatu yang ada dalam hal ini adalah gambaran pantulan dan pancaran gelombang elektromagnetik suatu benda sebagai hasil rekaman sensor. Pantulan atau pancaran objek tersebut jelas posisinya di permukaan bumi, mempunyai wujud dan nilai tertentu dan dapat diketahui bendanya.

Wujud objek dalam penginderaan jauh memang bukan wujud sebenarnya. Penginderaan jauh memberikan kesan fitur bumi-permukaan dalam format bergambar. Gambar (citra) atau *image/imagery* bukan kebenaran sejati (Bhatta, 2013), misalnya, gambar permukiman (pada citra) dan permukiman itu sendiri (realitas) tidak sama. Objek yang tergambar pada citra merupakan wujud khayali, tetapi wujud khayali ini menggambarkan wujud real, sehingga dalam perspektif filsafat ilmu, masih dapat dibenarkan sebagai wujud objek yang dapat dipelajari dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Tidak sedikit dalam kajian keilmuan, wujud objek empirik dapat dikenali dari wujud khayalnya atau mendasarkan pada tanda-tanda keberadaannya.

## 2. Tinjauan Epistemologis terhadap Penginderaan Jauh

Epistemologi membicarakan objek (yang dipikirkan), cara memperoleh pengetahuan dan ukuran kebenaran (pengetahuan). Ukuran kebenaran ilmu menurut Tafsir (2010) adalah logisnya pengetahuan itu. Bila logis benar dan bila tidak logis berarti salah. Kebenaran menurut logika tersebut dapat diuji secara empiris. Jika logis dan empiris maka pengetahuan dapat disebut pengetahuan sains. Ukuran kebenaran dapat diketahui dari argu-

men yang dikemukakan apakah menghasilkan kesimpulan (teori) atau tidak.

Epistemologi merupakan asumsi tentang landasan ilmu pengetahuan (*grounds of knowledge*)—tentang bagaimana seseorang memulai memahami dunia dan mengomunikasikannya sebagai pengetahuan kepada orang lain. Bentuk pengetahuan apa yang bisa diperoleh? Bagaimana seseorang dapat membedakan apa yang disebut “benar” dan apa yang disebut “salah”? Apakah sifat ilmu pengetahuan? Pertanyaan dasar tentang epistemologi menekankan pada apakah mungkin untuk mengidentifikasi dan mengomunikasikan pengetahuan sebagai sesuatu yang keras, nyata dan berwujud (sehingga pengetahuan dapat dicapai) atau apakah pengetahuan itu lebih fleksibel, lebih subjektif, berdasarkan pengalaman dan wawasan dari sifat peneliti yang seringkali unik dan penting.

Epistemologis umumnya mengakui setidaknya empat sumber pengetahuan yang berbeda:

- a. Pengetahuan intuitif didasarkan pada perasaan bukan 'fakta' yang berupa keyakinan, iman, intuisi, dan lain-lain.
- b. Pengetahuan autoratif (sumber resmi) berdasarkan informasi yang diterima dari orang-orang, buku, jurnal, koran, dan lain-lain. Kekuatannya tergantung pada kekuatan sumber-sumber ini.
- c. Pengetahuan logis yang diperoleh dari proses penalaran dari 'titik A' (yang berlaku umum) untuk 'titik B' (pengetahuan baru).
- d. Pengetahuan empiris didasarkan pada bukti-bukti, fakta-fakta objektif (yang ditentukan melalui pengamatan dan/atau eksperimen).

Penginderaan jauh dilihat dari sudut pandang epistemologis berarti membicarakan tentang metode penginderaan jauh dalam hal mencari kebenaran objek. Sebagai sebuah ilmu penginderaan jauh harus mempunyai metode yang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Metode ilmiah yang mencakup disain, cara perolehan data, cara menguji ketelitian, cara menganalisis, dan cara menarik kesimpulan berdasarkan logika *deducto verifikasio*.

Cara perolehan data penginderaan jauh dewasa ini sudah sangat mapan seiring dengan perkembangan teknologi. Perkembangan teknologi dalam bidang sensor, pemanfaatan saluran-saluran (*band*) sangat sempit (*hyperspectral*), berbagai macam *software* pengolah citra, logika matematika, kecerdasan buatan (*artificial intelegence*), dan lain-lain semakin mengokohkan kekuatan epistemologi penginderaan jauh. Cara ekstraksi data baik secara visual dan digital semakin tinggi tingkat akurasi.

### 3. Tinjauan Aksiologis terhadap Penginderaan Jauh

Aksiologi menurut bahasa berasal dari bahasa Yunani *axios* yang berarti bermanfaat dan *logos* berarti ilmu pengetahuan atau ajaran. Secara istilah, aksiologi adalah ilmu pengetahuan yang menyelidiki hakikat nilai yang ditinjau dari sudut kefilosofan. Sejalan dengan itu, Sarwan menyatakan bahwa aksiologi adalah studi tentang hakikat tertinggi, realitas, dan arti dari nilai-nilai (kebaikan, keindahan, dan kebenaran). Dengan demikian, aksiologi adalah studi tentang hakikat tertinggi dari nilai-nilai etika dan estetika. Nilai itu sendiri dapat dijumpai dalam kehidupan seperti kata-kata adil dan tidak adil, jujur dan curang. Hal itu semua mengandung penilaian karena manusia yang dengan perbuatannya berhasrat mencapai atau merealisasikan nilai. Nilai yang dimaksud adalah sesuatu yang dimiliki manusia untuk me-

lakukan berbagai pertimbangan tentang apa yang dinilai. Ada dua hal yang dikaji dalam aksiologi, yakni kegunaan pengetahuan dan cara sains menyelesaikan masalah (Tafsir, 2010). Aksiologi menekankan pada kebermanfaatan suatu pengetahuan terhadap kehidupan manusia. Dengan demikian, kebermaknaan ini tergantung pada pemilihan masalah yang dapat dipecahkan secara komprehensif dan sesuai dengan konteks lokasi.

Kajian aksiologis penginderaan jauh berarti mengkaji tentang nilai kegunaan dari penginderaan jauh terhadap kehidupan manusia. Penginderaan jauh sebagai sebuah disiplin ilmu harus dapat memberikan makna dan kegunaan dalam rangka pembangunan manusia untuk mencapai kesejahteraan. Bila penginderaan jauh tidak dapat menunjukkan nilai kegunaan, maka landasan aksiologis sebagai sebuah ilmu dapat gugur. Penginderaan jauh dalam banyak aspek telah menunjukkan nilai kegunaan yang sedemikian banyak dan dalam berbagai aspek kehidupan. Pada awal perkembangannya, penginderaan jauh lebih banyak diaplikasikan dalam kajian aspek fisik dan lingkungan. Seiring dengan perkembangan teknologi dan teknik analisisnya, perkembangan aplikasi telah merambah pula pada aspek non fisik, kajian ekonomi dan sosial. Contoh pemanfaatan penginderaan jauh dalam bidang non fisik antara lain: estimasi jumlah penduduk, pemetaan penduduk pra-sejahtera, dan pola persebaran penyakit terkait lingkungan.

Beberapa proyek telah dikerjakan dalam rangka mengembangkan aksiologi penginderaan jauh dalam bidang pendidikan, seperti yang dilaporkan oleh beberapa penulis (Landenberger & Warner, 2006; Naumann, et al., 2009; Cheung et.al, 2011). Contoh pengembangan lainnya antara lain proyek rintisan penerapan dan pengembangan dunia pendidikan, seperti: *A Satellite in the Classroom* dimulai tahun 2009 di *Academia Cotopaxi's International*

*American school* in Quito, Ecuador, uji coba kegiatan pembelajaran menggunakan citra penginderaan jauh *real-time*.

## B. Penginderaan Jauh: Beberapa Definisi

Untuk dapat menunjukkan gambaran, karakteristik, cakupan, dan objek suatu disiplin ilmu sehingga dapat dibedakan dengan disiplin ilmu lainnya, maka para ahli dan pemerhati dalam suatu disiplin ilmu berusaha mengajukan definisi terhadap konsep-konsep substansial yang dimiliki oleh disiplin ilmu tersebut. Definisi adalah suatu pernyataan mengenai ciri-ciri penting suatu hal, dan biasanya lebih kompleks dari arti, makna, atau pengertian suatu hal. Definisi yang paling umum dikenal oleh awam adalah definisi perkataan dalam kamus (*lexical definition*). Secara keilmuan, ada berbagai jenis definisi, yang secara garis besar dibagi menjadi tiga, yakni: definisi nominalis, definisi realis, dan definisi praktis.

Definisi nominalis ialah menjelaskan sebuah kata dengan kata lain yang lebih umum dimengerti. Jadi, sekadar menjelaskan kata sebagai tanda, bukan menjelaskan hal yang ditandai. Definisi nominalis terutama dipakai pada permulaan sesuatu pembicaraan atau diskusi. Definisi nominalis mencakup definisi sinonim, definisi simbolik, definisi etimologik, definisi semantik, definisi stipulatif, dan definisi denotatif.

Definisi realis ialah penjelasan tentang hal yang ditandai oleh sesuatu istilah. Jadi, bukan sekadar menjelaskan istilah, tetapi menjelaskan isi yang dikandung oleh suatu istilah. Terdapat dua macam definisi realis, yakni definisi esensial dan definisi deskriptif. Definisi esensial ialah penjelasan dengan cara menguraikan bagian-bagian dasar yang menyusun sesuatu hal. Definisi esensial



dapat dibedakan menjadi *definisi analitik* dan *definisi konotatif*. Definisi analitik ialah penjelasan dengan cara menunjukkan bagian-bagian sesuatu benda yang mewujudkan esensinya. Contoh definisi analitik: spektrum tampak (*visible*) merupakan bagian dari gelombang elektromagnetik yang terdiri atas saluran biru, hijau, dan merah. Definisi konotatif ialah penjelasan dengan cara menunjukkan isi dari suatu term yang terdiri atas genus dan diferensia. Contoh definisi konotatif: citra pankromatik adalah hasil perekaman dari sensor tertentu (genus) yang memanfaatkan semua saluran dari spektrum tampak (diferensia).

Definisi deskriptif ialah penjelasan dengan cara menunjukkan sifat-sifat yang dimiliki oleh hal yang didefinisikan yang dibedakan atas dua hal, definisi aksidental dan definisi kausal. Definisi aksidental, yakni penjelasan dengan cara menunjukkan jenis dari halnya dengan sifat-sifat khusus yang menyertai hal tersebut. Contoh definisi aksidental: foto udara inframerah berwarna adalah sejenis foto udara yang merupakan hasil perekaman kamera, yang memiliki ciri-ciri warna merah gradual yang dominan. Definisi kausal ialah penjelasan dengan cara menyatakan bagaimana sesuatu hal terjadi atau terwujud. Hal ini berarti juga memaparkan asal mula atau perkembangan dari hal-hal yang ditunjuk oleh suatu terminologi. Contoh dalam mendefinisikan konsep hamburan mie. Hamburan mie dapat dijelaskan dengan menggunakan definisi kausal, yakni hamburan gelombang elektromagnetik (khususnya gelombang tampak) di atmosfer yang terjadi karena gelombang tersebut mengenai suatu objek berupa partikel debu, asap, kabut yang memiliki ukuran sama atau lebih besar dari rata-rata spektrum tampak.

Ada banyak definisi penginderaan jauh yang diemukakan oleh para ahli. Masing-masing definisi belum ada yang sempurna dan

ragam definisi dipengaruhi oleh disiplin ilmu yang ditekuni oleh para ahli tersebut. Bhatta (2013) menyatakan bahwa penginderaan jauh memiliki banyak definisi sebagaimana aplikasinya. Mungkin, definisi sederhana dari penginderaan jauh adalah "memperoleh data tentang objek tanpa menyentuhnya". Meskipun singkat, sederhana, dan mudah diingat, definisi ini sangat tidak jelas. Untuk merumuskan definisi yang baik, sebaiknya kita mengajukan pertanyaan apakah penginderaan jauh adalah sains, teknologi, atau seni. Karena, metodologi yang terlibat dalam penelitian dapat bervariasi secara luas di antara ketiganya. Banyak literatur lebih cenderung mendefinisikan penginderaan jarak jauh sebagai sains dan seni untuk memperoleh dan menafsirkan informasi tentang suatu objek, area, atau fenomena melalui analisis (misal: Jensen, 2006; Lillesand, Kiefer, and Chipman, 2007). Lebih dari itu, ada sementara penulis yang mendefinisikan penginderaan jauh secara lebih tegas, seperti Bhatta (2013), dikemukakannya bahwa penginderaan jauh adalah perpaduan sempurna antara sains, teknologi, dan seni.

Untuk memahami penginderaan jauh dari berbagai perspektif, dapat dicermati beberapa definisi berikut.

1. Landgrebe, D.A (1978)

*Remote sensing is the science of deriving information about an object from measurements made at a distance from the object, i.e., without actually coming in contact with it. The quantity most frequently measured in presentday remote sensing system is the electromagnetic energy emanating from objects of interest, and although there are other possibilities (e.g seismic waves, sonic waves, and gravitasional forces), our attention is focused upon systems which measure electromagnetic energy.*

2. Lingdren (1985)

*Remote sensing refers to the variety of techniques that have been developed for the acquisition and analysis of information about the earth. This information is typically in the form of electromagnetic radiation that has either been reflected or emitted from the earth surface.*

3. M.V.K. Sivakumar, P.S. Roy, K. Harmsen, S.K. Saha (2003).  
Dalam bukunya yang berjudul *Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology*,

*Remote sensing provides spatial coverage by measurement of reflected and emitted electromagnetic radiation, across a wide range of wavebands, from the earth's surface and surrounding atmosphere.*

4. Shefali Aggalwar (dalam Sivakumar)

*Remote sensing is a technique to observe the earth surface or the atmosphere from out of space using satellites (space borne) or from the air using aircrafts (airborne).*

5. Michel Kohl, Magnussen, and Marchetti (2006)

*Remote sensing is the science of acquiring information about the Earth's surface without actually being in contact with it.*

6. Campbell (2006)

*Remote sensing is the practice of deriving information about earth's land and water surfaces using images acquired from an overhead perspective, using electromagnetic radiation in one or*

*more regions of the electromagnetic spectrum, reflected or emitted from the earth surface.*

7. Lillesand, Kiefer and Chipman (2006)

*Remote sensing is the science and art of obtaining information about an object, area or phenomenon through the analysis of data acquired by a device that is not in contact with the object, area, or phenomenon under investigations.*

8. ASPRS

*Remote sensing is the measurement or acquisition of information of some property of an object or phenomenon, by a recording device that is not in physical or intimate contact with the object or phenomenon under study.*

9. Jensen (2007)

a. *Minimal Definition:*

*Remote sensing is the acquiring of data about an object without touching it.*

b. *Maximal Definition:*

*Remote sensing is the noncontact recording of information from the ultraviolet, visible, infrared and microwave regions of the electromagnetic spectrum by means of instrument such as cameras, scanner, lasers, linear arrays, and/or area arrays located on platforms such as aircraft or space craft, and the analysis of acquired information by means of visual and digital image processing.*

## 10. Carsten Jurgen (2010)

*Remote sensing in urban areas is by nature defined as the measurement of surface radiance and properties connected to the land cover and land use in cities.*

11. Qihao Weng (2010). Weng dalam bukunya yang berjudul *Remote Sensing an GIS Integration, theories, Methodes and Applications*, mendefinisikan:

*Remote sensing refer to the activities of recording, and perceiving (sensing) objects or events in faraway (remote) places... Remote sensing refers to the science and technology of acquiring information about the earth's surface (i.e., land and ocean) and atmosphere using sensors onboard airborne (e.g., aircraft or baloons) or spaceborn (e.g., satellites and space shuttles) platform.*

12. Tarek Rashed and Carsten Jürgens (2010) dalam bukunya yang berjudul *Remote Sensing of Urban and Suburban Areas*.

*Remote sensing in urban areas is by nature defined as the measurement of surface radiance and properties connected to the land cover and land use in cities. Today, data from earth observation systems are available, geocoded, and present an opportunity to collect information relevant to urban and periurban environments at various spatial, temporal, and spectral scales.*

Dari definisi-definisi tersebut dapat dikelompokkan menjadi empat, yakni: (1) pendapat yang menyatakan penginderaan jauh sebagai ilmu; (2) pendapat yang menyatakan penginderaan jauh sebagai teknik; (3) pendapat yang menyatakan penginderaan

jauh sebagai ilmu dan teknik; (4) pendapat yang mendefinisikan penginderaan menurut sudut pandang keperluan praktis tertentu.

### 1. Pendapat yang Menyatakan Penginderaan Jauh Sebagai Ilmu

Penulis yang termasuk kelompok ini di antaranya adalah Landgrebe & Lillesand, Kiefer & Chipmen. Menurut pendapat Landgrebe, penginderaan jauh merupakan ilmu penyadapan informasi mengenai suatu objek berdasarkan pengukuran yang dilakukan dari jarak tertentu, tanpa mendatangi objek untuk melakukan kontak. Definisi ini menyiratkan adanya aspek metodologi, teknik, dan orientasi intelektual. Aspek metodologi yang tersirat adalah pengukuran dan tanpa kontak. Aspek tekniknya adalah pengukuran pada jarak tertentu, sedangkan orientasi intelektualnya adalah penyadapan informasi. Pendapat para ahli tersebut didukung pula oleh definisi yang diajukan oleh beberapa institusi, di antaranya definisi menurut *National Ocean Service* (NOS) (2013), yang menyatakan bahwa penginderaan jauh adalah ilmu untuk memperoleh informasi tentang objek atau daerah dari kejauhan, biasanya dari pesawat atau satelit.

### 2. Pendapat yang Menyatakan Penginderaan Jauh Sebagai Teknik

Definisi ini menunjukkan bahwa penginderaan jauh merupakan teknik karena Campbell menyebutnya dengan istilah praktik penyadapan informasi tentang lahan dan permukaan air di atas permukaan bumi dengan menggunakan citra yang diperoleh dari suatu perekaman. Lingdren, Shefali Aggalwar dan Shivakumar ter-

masuk dalam kelompok ini. Dalam definisi yang mereka kemukakan, secara tegas dinyatakan bahwa penginderaan jauh merupakan teknik. Hanya saja Shefali Agglawar (dalam Shivakumar (2003) tidak secara tegas memasukkan penginderaan jauh hanya sebagai teknik, karena masih dalam tulisannya yang sama “*Principles of Remote Sensing*”, selanjutnya dia menyatakan penginderaan jauh sebagai sains meski sains multidisiplin. Dinyatakannya:

*The Remote Sensing is basically a multi-disciplinary science which includes a combination of various disciplines such as optics, spectroscopy, photography, computer, electronics and telecommunication, satellite launching, etc.*

Demikian pula British Antarctic Survey (BAS) mendefinisikan penginderaan jauh sebagai teknik, yakni penginderaan merupakan suatu teknik yang memungkinkan dilakukannya pengamatan lingkungan fisik dari instrumen dipasang di pesawat atau satelit. Mengingat sebagian besar, medan dan lingkungan yang jauh dan keras di mana BAS beroperasi, penginderaan jauh memberikan data yang tidak akan diperoleh dengan menggunakan metode berbasis terestrial. Metode penginderaan jauh, khususnya yang dari ruang angkasa menawarkan keuntungan sebagai berikut.

- a. Mereka menyediakan informasi global dan regional secara rinci.
- b. Perekaman yang berulang-ulang dan kualitas yang relatif seragam, memungkinkan pola temporal, termasuk tren, untuk diskriminasi.
- c. Memungkinkan dilakukannya pengukuran terhadap berbagai parameter secara simultan.

- d. Data dapat dianalisis secara *real time* dekat (dalam beberapa jam jika diperlukan), yang memungkinkan asimilasi ke dalam model lingkungan operasional.

### 3. Pendapat yang Menyatakan Penginderaan Jauh Sebagai Ilmu dan Teknik

Jensen dan Dahlberg (1986) menyatakan bahwa penginderaan jauh merupakan teknik dalam geografi yang berkembang menjadi disiplin ilmu tersendiri, sehingga penginderaan jauh dinyatakan sebagai ilmu dan teknik. Qihao Weng (2010) dengan redaksi yang berbeda menyatakan secara tegas bahwa penginderaan jauh merupakan sains dan teknik (lihat definisi nomor 11 di atas).

Penginderaan jauh memiliki syarat untuk disebut ilmu, mengingat bahwa penginderaan jauh berkembang pesat dalam memberi landasan ontologi dan ditemukannya berbagai macam metode penelitian yang mengokohkan epistemologi, serta nilai kebermanfaatannya yang semakin meluas. Penginderaan jauh sebagai ilmu berhasil dioperasionalisasikan sebagai alat yang dapat memperoleh data tanpa kontak langsung dengan objek yang hendak dicari datanya secara cepat.

Penginderaan jauh sebagai teknik dengan memanfaatkan penemuan penginderaan jauh dasar (murni) dan penginderaan jauh terapan untuk membuat alat guna memahami karakteristik objek di permukaan bumi (teknologi perekaman, membuat peta penggunaan lahan dan peta lainnya). Penginderaan jauh sebagai teknik berkembang terlebih dahulu sebelum menjadi sebuah disiplin ilmu.



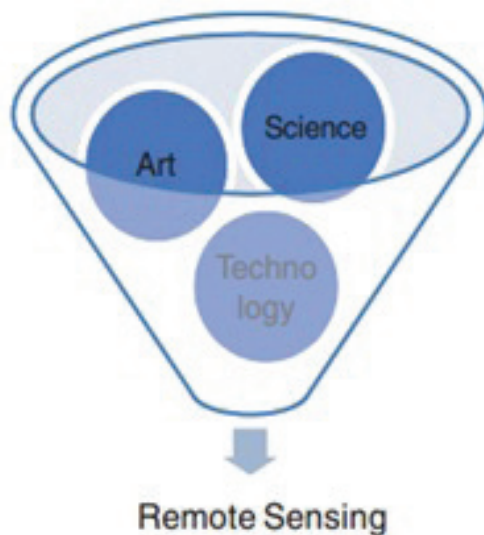
#### 4. Pendapat yang Mendefinisikan Penginderaan Menurut Sudut Pandang Keperluan Praktis Tertentu

Tarek Rashed and Carsten Jürgens termasuk dalam kelompok ini, yakni untuk tujuan studi kekotaan. Dari definisi penginderaan jauh yang dikemukannya tercermin bahwa penginderaan jauh merupakan pengukuran atas radiasi permukaan dan benda-benda yang ada di atas lahan kota. Sementara Schowengerdt (2007) menyatakan bahwa penginderaan jauh didefinisikan secara spesifik sesuai dengan tujuannya, penginderaan jauh merupakan pengukuran properti objek di permukaan bumi dengan menggunakan data yang diperoleh dari pesawat dan satelit atau wahana lainnya. Oleh karena itu, penginderaan jauh dinyatakan sebagai upaya untuk mengukur sesuatu objek di kejauhan, daripada *in situ*. Oleh karena kita tidak bersentuhan langsung dengan objek yang menarik, kita harus mengandalkan sinyal yang disebarkan dari beberapa macam sensor, misalnya optik, akustik, atau *microwave*.

Pada dasarnya semua orang yang menggunakan penginderaan jauh untuk tujuan tertentu dapat mendefinisikan penginderaan jauh sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Kelemahan rumusan definisi sesuai dengan tujuan tertentu ini bersifat pragmatis, sehingga hanya orang-orang yang sebidang keahliannya yang dapat memahami definisinya secara tepat. Definisi ini dalam perspektif metodologi penelitian dikenal dengan istilah definisi operasional. Jenis definisi ini bersifat spesifik, definisi yang dikemukakan peneliti sesuai dengan apa yang dimaksud oleh peneliti, yang boleh jadi berbeda dari definisi peneliti lain, karena perbedaan tujuan penelitian.

Dalam keterkaitannya dengan kedudukan penginderaan jauh, Bhatta (2010) menyatakan bahwa status penginderaan jauh harus

jelas karena status ini berimplikasi pada ontologi dan epistemologi (metodologi penelitian) yang harus digunakan dalam penelitian penginderaan jauh. Apabila berposisi sebagai seni, maka sifat relativitas sangat tinggi, sifat ilmiah (termasuk dalam menilai kebenaran suatu fenomena) sangat tidak pasti, sebagaimana keindahan seni yang bersifat relatif. Jika penginderaan jauh berkedudukan sebagai sains, maka secara pohon keilmuan harus jelas posisinya, apakah sebagai sains yang bersifat monolitik atau interdisipliner. Untuk dapat memosisikan status ini, perlu dilakukan rekonstruksi atas terbentuknya penginderaan jauh. Alavipannah, et al (2010) secara gamblang memberikan suatu diagram konseptual yang berisi ilustrasi penginderaan jauh sebagai hasil dari proses blending antara sains, seni, dan teknologi (gambar 1.1).



Gambar 1.1 Tiga dimensi utama penginderaan jauh  
(Alavipannah et al, 2010 dalam Bhatta, 2013)

## C. Simpulan

Berdasarkan uraian di atas dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Suatu bidang pengetahuan dapat dinyatakan sebagai ilmu jika memiliki landasan ontologis, epistemologis, dan aksiologis. Penginderaan jauh menurut beberapa ahli memiliki landasan tersebut, sehingga penginderaan jauh merupakan ilmu.
2. Untuk memperoleh gambaran singkat tentang suatu bidang kajian termasuk ilmu, teknik, atau seni dapat dilihat dari definisi yang dikemukakan oleh para ahli dalam bidang tersebut. Dari beberapa definisi yang dikemukakan oleh para ahli, ternyata ada beragam definisi yang berbeda secara mendasar. Perbedaan tersebut terutama pada pernyataan bahwa penginderaan jauh sebagai ilmu, sementara yang lain menyatakannya sebagai teknik.
3. Dari definisi-definisi tentang penginderaan jauh, dapat diklasifikasikan bahwa penginderaan jauh merupakan ilmu, teknik, dan seni. Bahkan ada yang mengatakannya sebagai sains multidisiplin.
4. Dalam terapan penginderaan jauh untuk berbagai bidang ilmu, para ilmuwan yang memiliki latar belakang ilmu yang berbeda tersebut mendefinisikan penginderaan jauh sesuai dengan bidang terapannya.
5. Perdebatan tentang kedudukan penginderaan jauh, pendapat yang masih dipegang adalah memosisikan penginderaan jauh sebagai ilmu, seni, dan teknik. Hal ini karena penginderaan jauh memiliki ketiga sifat tersebut.



## BAB II

# STATUS, RUANG LINGKUP, DAN KOMPONEN SISTEM PENGINDERAAN JAUH

### A. Status Penginderaan Jauh

Perkembangan suatu disiplin ilmu dipengaruhi oleh banyak faktor. Sebuah disiplin ilmu yang manfaatnya terasa langsung oleh masyarakat cenderung memperoleh dukungan, baik dari kalangan penentu kebijakan maupun dari masyarakat. Munculnya berbagai penemuan baru dalam suatu disiplin ilmu tidak lepas dari dukungan tersebut. Penemuan-penemuan baru yang dipublikasikan melalui berbagai forum ilmiah akan bermakna ketika ada tindak lanjut dari ilmuwan untuk mengimplementasikan penemuannya, sambutan dari masyarakat pengguna, dan praktisi yang menjembatani antara masyarakat ilmiah dengan masyarakat pada umumnya. Semua elemen tersebut secara bersama-sama membentuk perubahan struktural, menyatu dalam komunitas disiplin sebagai jenis sistem komunikasi baru dalam sains. Setelah itu disiplin berfungsi sebagai unit formasi struktur dalam sistem sosial sains,

dalam sistem pendidikan tinggi, sebagai domain subjek untuk mengajar dan belajar di sekolah, dan akhirnya, sebagai penunjukan peran pekerjaan dan profesional. Kegiatan penelitian dan interaksi timbal balik yang berkesinambungan dari para pegiat suatu disiplin ilmu menjadi faktor yang paling penting dalam dinamika sains modern.

Pada tataran struktur, terdapat empat pilar pelaku yang bertindak pada tataran filosofi hingga tataran praktis. Menurut Abler, et.al. (dalam Sutanto, 1994), keempat pilar tersebut meliputi filosof, teoriwan, metodologiwan, dan praktisi. Keempat pilar tersebut harus bersinergi sehingga suatu disiplin ilmu menjadi semakin mapan baik pada tataran filosofi hingga praktis sehingga memiliki nilai terapan yang tinggi (*applicable*), manfaatnya dapat dirasakan secara langsung oleh masyarakat, yang pada akhirnya berimplikasi pada meningkatnya kesejahteraan masyarakat. Salah satu disiplin ilmu yang relatif baru dibandingkan dengan disiplin ilmu lainnya adalah penginderaan jauh (*remote sensing*). Penginderaan Jauh sebagai ilmu dalam perkembangannya oleh para geograf dimasukkan dalam struktur keilmuan Geografi, seperti Danoedoro (2010) yang memodifikasi struktur geografi ortodoks yang pada mulanya dikemukakan oleh Hegget (1972). Eksistensi Penginderaan Jauh dalam struktur keilmuan sendiri banyak diperdebatkan oleh berbagai pihak internal para geograf. Bahkan hingga kini masih banyak para geograf yang menganggap Penginderaan Jauh hanya sebagai alat (*tools*), bukan sebagai sebuah disiplin ilmu ataupun subdisiplin ilmu dalam geografi. Beberapa ahli geografi menganggap penginderaan jauh dan SIG termasuk dalam rumpun ilmu informasi, yang memiliki objek studi yang berbeda dari geografi. Sebagaimana diketahui bahwa saat ini berkembang suatu disiplin ilmu yang disebut sains informasi geografi (*geographical information science*:

*GIScience*). Para ahli penginderaan jauh dan SIG memasukkan keduanya sebagai bagian dari sains informasi geografis, sementara ahli lainnya memasukkan keduanya sebagai bagian dari geografi. Geografi sebagai suatu disiplin ilmu memiliki objek kajian yang berbeda dengan ilmu informasi. Jika demikian, maka sekali lagi, penginderaan jauh terbawa pada posisi dilematis, antara berposisi sebagai bagian dari geografi atau sebagai bagian dari ilmu informasi. Problem filsafat keilmuan penginderaan jauh menjadi semakin berat di jalan yang dilematis.

Dari beberapa definisi penginderaan jauh sebagaimana telah dibahas pada bab 1, secara garis besar definisi-definisi dapat dikelompokkan menjadi empat, yakni: (1) pendapat yang menyatukan penginderaan jauh sebagai ilmu; (2) pendapat yang menyatakan penginderaan jauh sebagai teknik; (3) pendapat yang menyatakan penginderaan jauh sebagai ilmu dan teknik; (4) pendapat yang mendefinisikan penginderaan menurut sudut pandang keperluan praktis tertentu.

Penginderaan jauh dalam kedudukannya baik sebagai ilmu maupun teknik telah banyak digunakan oleh berbagai kepentingan, baik untuk keperluan praktis maupun untuk tujuan pengemabangan disiplin ilmu lain. Sebagai sebuah teknologi, penginderaan jauh memiliki banyak kelebihan sehingga teknologi yang semula dimonopoli oleh militer kemudian dapat dilepas ke sipil untuk keperluan pembangunan dan kemanusiaan. Secara teknis dan ekonomis pemanfaatan citra penginderaan jauh untuk keperluan survei dan pemetaan aspek-aspek fisik permukaan bumi secara langsung dan aspek-aspek non-fisik secara tidak langsung berdasarkan hasil evaluasi di beberapa negara dianggap lebih efisien, hemat, dengan keakuratan yang dapat dipertanggungjawabkan. Dewasa ini, perolehan informasi mengenai kondisi suatu wilayah

pasca terjadinya bencana alam sangat mengandalkan penginderaan jauh. Hal ini mengingat penginderaan jauh dapat menyajikan data secara cepat gambaran kondisi wilayah (skala kerusakan, agihan kerusakan, aksesibilitas wilayah untuk evakuasi dan jalur penyaluran bantuan) baik melalui hasil perekaman wahana satelit maupun *drone*.

Penginderaan jauh bahkan kini mulai banyak digunakan oleh kalangan ilmu sosial dan pendidikan (pedagogi). Proyek penelitian yang mencoba menggunakan penginderaan jauh untuk kajian sosial antara lain dilakukan oleh *Research project on Land-Use/Cover Change (LUCC) of the IGBP and the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change (IHDP)* (Turner, et.al., 1995). Proyek ini dirancang untuk memperbaiki pemahaman tentang kekuatan manusia dan biofisik yang membentuk perubahan penggunaan lahan/penutup lahan melalui tiga cara penilaian: (1) studi berbasis dinamika penggunaan penutup tanah, fokus pada pengelola lahan; (2) pengamatan berbasis spasial atas konsekuensi penutupan lahan; dan (3) model integratif dinamika ini pada berbagai skala analisis.

Tujuan dari proyek LUCC termasuk memanfaatkan penginderaan jauh secara umum (terutama yang melibatkan citra satelit) lebih relevan dengan masalah sosial, politik, dan ekonomi dan teori yang berkaitan dengan penggunaan lahan dan perubahan tutupan lahan (Turner, 1997c, di media cetak), yang disebut *socializing the pixel* dan *pixelizing the social* (Geoghean dan Pritchald, 1998).

## B. Alasan Penggunaan Penginderaan Jauh

Berikut ini merupakan alasan mengapa digunakan penginderaan jauh dalam berbagai pekerjaan survei:



## 1. Pekerjaan Menjadi Lebih Cepat

- a. Untuk studi kekotaan, misalnya sebaran permukimannya, sebaran fasilitas kota, kualitas permukiman, dan sebagainya, bila disurvei secara terestrial (pengukuran langsung di lapangan akan mengalami kesulitan karena lalu lintas yang ramai, permukiman yang padat) tentu akan membutuhkan waktu yang lama, dan tenaga yang banyak.
- b. Untuk memantau daerah perkebunan yang luas akan sulit dilakukan, misalnya bagian mana perkebunan yang ter-serang penyakit. Dengan citra inframerah misalnya, maka melalui perubahan rona/warna daun dapat diketahui secara cepat.

## 2. Biaya yang Dikeluarkan Lebih Murah

Biaya pemetaan dengan teknik penginderaan jauh di Amerika Serikat berkisar antara 3 persen sampai 10 persen biaya pemetaan dengan cara konvensional/terestrial. Kisaran biaya pemetaan bergantung pada jenis peta dan luas daerah yang dipetakan. Semakin luas daerah yang dipetakan, maka biaya per satuan luas lebih murah. Menurut Hagget sebagaimana dikutip Sutanto (1996), untuk pemetaan hutan dengan skala 1 : 20.000 misalnya, biaya per satuan luas berbanding 100 : 37 : 10 bagi daerah seluas 25 km<sup>2</sup> : 100 km<sup>2</sup> : 500 km<sup>2</sup>. Berdasarkan data tersebut berarti biaya survei yang selama ini begitu tinggi dapat dihemat begitu banyak.

## 3. Hemat tenaga

Tenaga yang harus dikeluarkan untuk surveyor lapangan yang cukup banyak dapat dihemat, karena cukup dikerjakan di labora-

torium. Hanya untuk keperluan uji ketelitian dan penambahan data baru yang mungkin tidak dapat diakses pada citra surveyor dapat melakukan cek lapangan. Hematnya tenaga yang dikeluarkan ini berkorelasi positif dengan hemat biaya yang harus dikeluarkan.

Penginderaan Jauh dalam perkembangannya mempunyai nilai terapan yang sangat tinggi. Hal ini terjadi karena penginderaan jauh dapat dan mudah diadopsi oleh hampir setiap disiplin ilmu yang mempunyai objek studi permukaan bumi (Yunus, 1980). Di antara cabang disiplin ilmu yang banyak memanfaatkan penginderaan jauh adalah Geografi, Geodesi, Geologi, Geomorfologi, Pedologi, Biogeografi, Geografi kota dan Planologi, Ekologi, Ilmu Pertanian, Ilmu Kehutanan, dan lain-lain.

Keberhasilan terapan teknik penginderaan jauh didasarkan pada gabungan berbagai sumber data yang saling berkaitan dan prosedur analisisnya (Hadi, 2002). Penerapan penginderaan jauh mencapai keberhasilan secara lebih berarti dengan menggunakan multipandang. Pendekatan multipandang meliputi penginderaan multitingkat, multispektral (*band*), dan multiwaktu (*multitemporal*). Penginderaan multitingkat memungkinkan data citra dalam berbagai ukuran skala dengan tingkat kerincian yang berbeda-beda, data kajian suatu daerah dikumpulkan dari berbagai tinggi terbang.

Penginderaan multispektral adalah cara perekaman yang dilakukan dengan menggunakan beberapa saluran secara bersamaan. Data citra yang diperoleh berasal dari beberapa saluran spektral, sehingga satu area dapat dilihat dari berbagai citra yang direkam dari berbagai panjang gelombang. Dengan penginderaan tersebut memungkinkan suatu objek yang terekam tidak jelas pada satu saluran dapat terlihat pada citra lain yang perekaman-

nya menggunakan spektrum yang berbeda. Teknik penginderaan dengan pendekatan multitemporal memungkinkan suatu area direkam oleh sensor dari waktu yang berbeda-beda, sehingga dari citra multitemporal ini dapat diketahui perubahan yang terjadi di area tersebut.

Dari beberapa definisi tersebut pada Bab I, yang paling populer adalah definisi menurut Lillasand, Kiefer, dan Chipman (2006). Definisi tersebut memuat beberapa kata kunci, yakni informasi objek, alat, tanpa kontak, analisis data. Berikut penjelasannya.

#### a. Informasi

Istilah informasi seringkali dipertukarkan dengan istilah data, padahal keduanya berbeda. Data merupakan bahasa matematis dan atau simbol-simbol pengganti lain, kata-kata/ Pernyataan yang telah disepakati umum untuk menggambarkan suatu objek, manusia, peristiwa, aktivitas, konsep atau objek-objek penting lainnya apa adanya. Informasi adalah data yang telah diolah atau ditempatkan pada konteks yang makna tertentu oleh penerimanya. Data tidaklah memberikan manfaat apapun jika tidak dilakukan pengolahan (analisis).

Data dalam penginderaan jauh berupa citra yang dapat berwujud citra yang telah dicetak (*hardcopy*) dan citra digital (*softcopy*) yang hanya dapat dibaca dengan menggunakan komputer dengan perangkat lunak tertentu. Selebar data citra penginderaan jauh atau seberkas *softfile* tidak akan bermakna apa-apa jika tidak diolah oleh penafsir atau interpreter. Interpretasi citra oleh seorang penafsir akan menghasilkan informasi tertentu sesuai tujuan yang hendak dicapai. Tujuan menginterpretasi objek pada satu set data citra dapat berbeda-beda, sehingga satu set data citra belum

memiliki informasi yang memadai sebelum diinterpretasi. Selembar citra yang menggambarkan suatu wilayah tertentu menyajikan data wilayah secara relatif lengkap, jika tidak diklasifikasi, maka kebermaknaannya sebagaimana mata melihat suatu wilayah tertentu tanpa melakukan pengkajian. Kegiatan deteksi, identifikasi, dan analisis objek pada citra mirip dengan kita melakukan mengobservasi, pencatatan atau menginventarisasi, dan menganalisis data di lapangan.

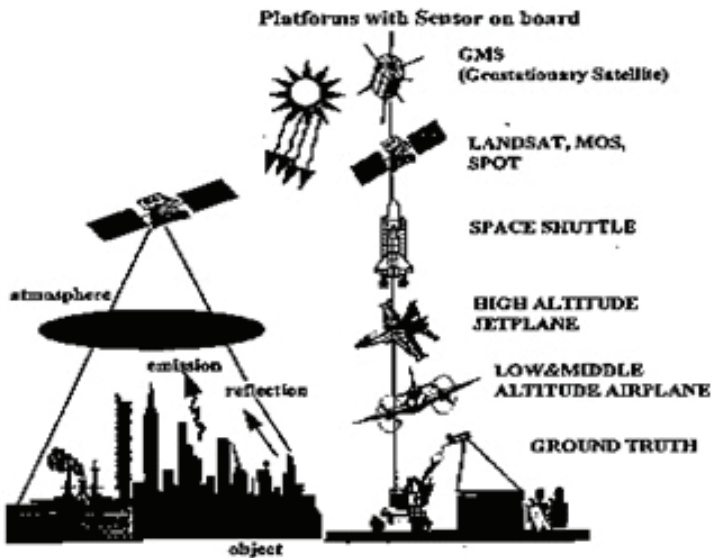
### b. Tanpa Kontak

Tanpa kontak maksudnya adalah bahwa untuk melakukan studi terhadap objek-objek tertentu pada geosfir maupun di ruang angkasa, seseorang tidak perlu memegang, menyentuh, mendatangi secara langsung objek-objek tersebut. Mengapa tidak perlu kontak, karena seseorang cukup mempelajari objek-objek yang dimaksud pada hasil rekaman sensor atau mempelajari gambaran pantulan/ pancaran tenaga elektromagnetik pada citra. Sifat tanpa kontak ini memberi banyak keuntungan, di antaranya adalah daerah-daerah yang sulit dijangkau secara terestrial menjadi terjangkau, menghemat tenaga dan waktu karena peneliti tidak perlu mendatangi wilayah yang dikaji, dan menghemat biaya karena peneliti tidak memerlukan biaya ke lapangan.

### c. Alat

Alat yang dimaksud dalam definisi tersebut ialah pengindra atau sensor. Sensor yang biasa digunakan dalam penginderaan jauh berupa kamera, scanner, radiometer, spektrometer, sensor termal, radar, dan lain-lain. Jenis-jenis sensor, baik yang digunakan dalam penginderaan jauh maupun bukan penginderaan jauh dapat dilihat

pada gambar 2.11. Penamaan sensor biasanya digunakan untuk memberi nama citra yang dihasilkan oleh hasil perekaman dengan menggunakan sensor tersebut. Misalnya sensor Multi-Spectral Scanner (MSS), sensor Thematic Mapper, Thermal Infra Red Sensor (TIRS) pada satellite Landsat dipakai untuk penamaan citra Landsat TM, citra Landsat MSS, citra Landsat TIRS. Sensor dipasang pada wahana (*platform*) yang berupa pesawat terbang, satelit, pesawat ulang-alik (*space shuttle*), dan wahana lainnya (balon, burung, dan drone). Kecenderungan saat ini, dalam perekaman digunakan wahana berupa drone atau *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV).



Gambar 2.1 Berbagai macam wahana penginderaan jauh

Keuntungan menggunakan wahana drone adalah hemat dalam pembiayaan (tanpa pilot), bahan bakar pertamax 1 liter dapat digunakan selama 1 jam dengan kecepatan 100 km, dengan kemampuan jelajah terbang pada ketinggian 6.000 kaki atau 2 km.

Keuntungan lainnya adalah mampu menyediakan data citra untuk seluruh wilayah Indonesia yang selama ini mengalami kendala masalah awan sehingga sulit sekali mendapatkan citranya. Oleh karena itu, upaya dilakukan dengan drone yang memiliki kemampuan penginderaan yang bebas awan. Saat ini, di Indonesia teknologi drone ini dikembangkan oleh LAPAN, dan beberapa kampus, seperti IPB dan UGM.

Objek yang diindera adalah permukaan bumi dan atau ruang angkasa. Permukaan bumi yang dimaksud dapat berupa perkotaan atau perdesaan, hutan, dan tutupan/penggunaan lahan lainnya sesuai dengan keperluan. Bagian-bagian permukaan bumi tersebut direkam oleh sensor penginderaan jauh melalui detektor yang terpasang pada sensor sebagai satu sistem dan hasil rekamannya disebut citra (*image*) dalam bentuk cetak (*hardcopy*) maupun digital yang tersimpan dalam *Computer Compatible Tape* (CCT) atau pita magnetik yang dapat dibaca dengan komputer. Citra yang dihasilkan oleh sensor kamera manual (sistem fotografi) berupa citra analog yang disebut foto udara. Sementara citra yang dihasilkan dengan sensor digital (kamera digital) dan sensor digital lainnya (biasanya digunakan oleh sistem penginderaan jauh non-fotografis) hasilnya berupa citra digital.

#### d. Data

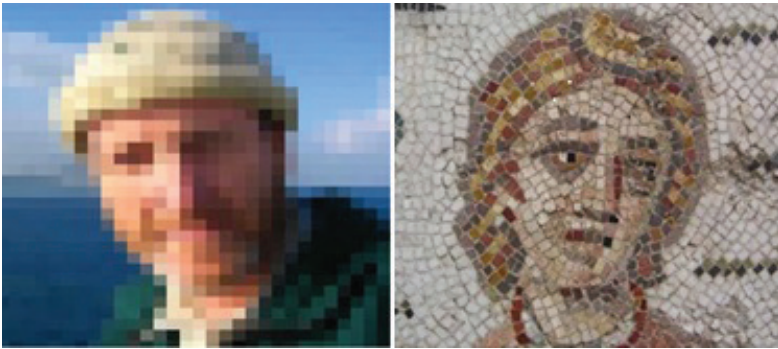
Data dalam penginderaan jauh berwujud citra (*image/imagery*), Citra dapat berbentuk *hardcopy* (data visual) maupun *softcopy* (data numerik). Citra *hardcopy* maksudnya adalah citra yang telah dicetak, sementara citra *softcopy* berupa file digital yang hanya dapat dibaca dengan komputer. Citra digital dibentuk oleh pixel (*picture element*), contoh ilustrasi pixel dapat dilihat pada gambar 2.2. Citra digital tak selalu merupakan data rekaman langsung dari sistem

penginderaan jauh, tetapi dapat berupa hasil konversi, yakni konversi dari data *hardcopy* yang diubah menjadi *softcopy*, misalnya melalui proses *scanning* atau pemotretan. Informasi dalam pixel bersifat diskrit. Diskrit yang dimaksud adalah nilai keabuan dan titik-titik koordinat yang dapat dinyatakan dengan presisi angka terhingga.

Tiap citra digital mempunyai sifat khas datanya. Berdasarkan data ini, penafsir dapat mengekstraksi data menjadi informasi yang berarti untuk berbagai keperluan. Perbedaan bentuk data antara visual dan numerik berimplikasi pada perbedaan cara interpretasi terhadap data. Data visual diinterpretasi secara manual (dengan bantuan loupe, stereoskop, ZTS, dan alat optik lainnya), dan data numerik diinterpretasi secara digital. Kedua cara interpretasi memiliki keunggulan dan kelemahan. Aplikasi komputer digunakan untuk membantu interpretasi secara digital, dalam hal ini peran penafsir digantikan oleh perangkat lunak. Interpretasi secara manual memiliki kelebihan ini terjadi karena manusia sebagai penafsir mempunyai persepsi visual dan berpikir spasial. Kehadiran teknologi pemrosesan citra tidak begitu saja mengeliminasi peran manusia sebagai penafsir (Hadi, 2017).

Secara garis besar, citra penginderaan jauh dapat diklasifikasi menjadi 2, yakni citra foto dan citra non-foto. Citra foto lazimnya disebut dengan foto udara (*aerial photo*). Ragam foto udara ditentukan oleh band yang digunakan. Ada pula yang membedakannya berdasarkan format atau ukurannya. Contoh ragam foto udara berdasarkan band yang digunakan, di antaranya adalah foto udara pankromatik (menggunakan seluruh spektrum tampak), foto udara ortokromatik (menggunakan band biru dan sebagian hijau), foto udara inframerah (menggunakan band inframerah dekat). Citra non-foto lazimnya diberi nama sesuai dengan spektrum/*band* atau

dengan nama platform yang digunakan untuk keperluan perekaman data tersebut. Contoh ragam citra antara lain: citra Landsat TM (perekaman menggunakan wahana satelit Landsat) dan TM (*Thematic Mapper*) adalah sensor yang digunakan, citra SPOT XS (perekaman dengan menggunakan satelit SPOT) dan *band* yang digunakan adalah XS (multispektral).



Gambar 2.2 Contoh pixel dalam citra berekstensi jpg (kiri) dan pixel pada keramik (kanan)

#### e. Teknik Analisis

Analisis data penginderaan jauh dapat dilakukan sesuai dengan jenis citra yang akan dianalisis. Secara garis besar analisis citra dapat dilakukan dengan dua cara, yakni analisis visual dan analisis digital. Analisis visual adalah cara menginterpretasi citra secara manual, dapat hanya dengan menggunakan mata telanjang maupun dengan alat bantu manual (loupe, stereoskop lensa, stereoskop cermin, interpretoskop, dan lain-lain). Analisis secara manual biasanya dilakukan terhadap foto udara dan citra satelit yang telah dicetak. Perkembangan perangkat lunak telah banyak membantu teknik analisis citra secara digital. Teknik analisis



digital pun semakin berkembang ragam dan akurasi sehingga untuk penggunaannya perlu diselaraskan dengan tujuan kajian, jenis data/citranya, dan akurasi yang diharapkan.

Analisis digital adalah cara memperoleh informasi dari citra digital yang tersimpan dalam bentuk *softfile*. Analisis citra digital hanya dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perangkat keras berupa seperangkat komputer dengan spesifikasi tertentu (usahakan memiliki prosesor dan kartu grafis yang tinggi agar pembacaan citra dapat dilakukan secara cepat) dan perangkat lunak yang dapat membaca dan mengolah citra. Contoh perangkat lunak yang umumnya digunakan adalah ERMapper, ENVI, ILWIS, IDRISI, ERDAS, Quantum GIS. Kecuali ILWIS dan Quantum GIS, semua *software* tersebut berbayar.

Analisis citra digital mencakup beberapa pekerjaan, yakni pembacaan citra, koreksi citra (geometrik dan radiometrik), pembuatan citra komposit, penajaman citra, dan klasifikasi. Jika tersedia citra yang sudah terkoreksi, maka pekerjaan analisis menjadi lebih ringan. Untuk citra digital, pekerjaan interpretasi merupakan upaya memaknai nilai digital pada setiap pixel. Kegiatan interpretasi citra digital lazimnya disebut dengan istilah klasifikasi. Jadi, jika dijumpai istilah klasifikasi dalam pekerjaan analisis citra, maka yang dimaksud adalah interpretasi citra secara digital. Klasifikasi citra digital umumnya dilakukan melalui tiga cara, yakni (1) klasifikasi tak terselia (*unsupervised*). Klasifikasi yang menggunakan algoritma untuk mengkaji sejumlah besar piksel yang tidak dikenal dan membaginya dalam sejumlah kelas berdasarkan kelompok nilai digital citra. Pengelompokkan nilai citra berdasarkan sifat alami spektral, sehingga identitas objek tidak dapat diketahui lebih awal, karena dalam klasifikasi ini tidak mengguna-

kan data rujukan. (2) Klasifikasi terselia (*supervised*), adalah cara interpretasi citra adalah yang dilakukan dengan cara pemilihan kategori informasi yang diinginkan dan memilih *training area* untuk setiap kategori penutup lahan yang mewakili sebagai kunci interpretasi. (3) Klasifikasi campuran (*hybrid*). Klasifikasi ini memadukan kelas spektral dari klasifikasi tak terselia dengan kategori informasi yang sesuai dengan data acuan. Klasifikasi hibrida biasanya lebih sulit karena seringkali ditemukan beberapa kelas spektral yang tercampur. Penjelasan secara detail mengenai berbagai macam klasifikasi ini dapat dibaca pada berbagai buku pengolahan citra digital, misalnya pada buku yang ditulis oleh Purwadhi (2001), Lillesand et.al (2007), Purwadhi dan Sanyoto (2009), Danoedoro (2012).

### C. Ruang Lingkup Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh secara garis besar terdiri atas penginderaan jauh sistem fotografi dan non-fotografi. Hal paling mendasar yang membedakan keduanya adalah spektrum dan sensor yang digunakan. Penginderaan jauh sistem fotografi menggunakan spektrum tampak (*visible*) dan perluasannya. Spektrum tampak meliputi panjang gelombang 0,4–0,7  $\mu\text{m}$  (band biru, hijau, dan merah) dan perluasannya (ke lebih pendek) berupa band ultraviolet, dan band yang lebih lebar, yakni inframerah dekat (*near infrared*). Band infra merah dekat termasuk bagian dari spektrum fotografi, karena band ini masih dapat memantulkan dan dapat ditangkap oleh sensor fotografi, oleh karenanya band tersebut sering pula disebut sebagai infra merah pantulan. Sensor yang digunakan untuk sistem fotografi berupa kamera, sementara sensor yang digunakan untuk penginderaan jauh sistem non-fotografi berupa sensor non-kamera. Sensor non-kamera antara lain berupa scanner, radio-

meter, inplane panel sistem, dan radar. Penginderaan jauh non-fotografi masih dapat dirinci lagi menjadi penginderaan sistem termal (menggunakan spektrum inframerah termal), penginderaan sistem gelombang mikro (sebenarnya termasuk di dalamnya adalah sistem radar, tetapi sistem radar ini dalam implementasinya dibedakan). Perbedaan ini terjadi karena penamaan penginderaan jauh sistem gelombang mikro lebih cenderung kepada sistem pasif sehingga sistem radar yang menggunakan tenaga aktif (pulsa) diberi penamaan sendiri menjadi penginderaan jauh sistem radar. Di samping kedua aspek pembeda tersebut, masih ada aspek pembeda lainnya, yakni cara perekaman, cakupan wilayah, resolusi spasial dan temporal, pemrosesan data, teknik analisis, wahana (*platform*), dan lain-lain.

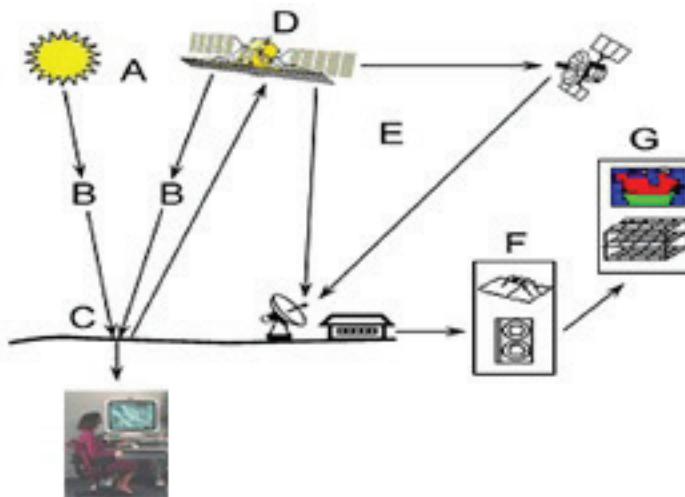
Cakupan penginderaan jauh dapat pula dilihat dari sumber tenaga yang digunakan, yakni penginderaan jauh yang menggunakan tenaga alami disebut penginderaan jauh sistem pasif, contohnya adalah penginderaan jauh sistem fotografi. Sistem pasif ini hanya dapat beroperasi pada siang hari, karena pada malam hari tidak ada sinar alami yang memungkinkan terjadinya pantulan gelombang elektromagnetik. Penginderaan jauh yang sistemnya membuat tenaga sendiri dikenal sebagai penginderaan jauh sistem aktif (radar dan lidar). Penginderaan jauh sistem radar ini menggunakan gelombang mikro, tetapi dalam perekamannya dilakukan dengan cara menembakkan pulsa ke arah objek yang hendak direkam. Pantulan balik itulah yang direkam oleh sensor radar. Sebagai catatan, perlu diketahui bahwa tidak semua radar menghasilkan citra, karena ada radar non citra. Perkembangan baru dalam penginderaan jauh, sistem aktif ditunjukkan dengan berkembang pesatnya sistem *light detection and ranging* atau Lidar. Kelebihan sistem Lidar adalah sistem dapat digunakan untuk

mengukur ketinggian muka bumi berikut gambaran mengenai unsur-unsur vegetasi dan kanopinya secara detil, akurat, instan, menyeluruh, dan menghasilkan data yang rapat tanpa tenaga yang banyak. Lidar adalah metode penginderaan jarak jauh yang menggunakan cahaya dalam bentuk laser yang berdenyut untuk mengukur jarak (jarak variabel) ke Bumi. Pulsa-pulsa cahaya ini digabungkan dengan data lain yang direkam oleh sistem udara, sehingga menghasilkan informasi tiga dimensi yang tepat tentang bentuk Bumi dan karakteristik permukaannya. Instrumen Lidar pada dasarnya terdiri atas laser, scanner, dan penerima GPS khusus. Pesawat terbang dan helikopter adalah *platform* yang paling sering digunakan untuk memperoleh data Lidar di area yang luas. Terdapat dua jenis Lidar, yakni Lidar topografi dan lidar batimetri. Lidar topografi biasanya menggunakan laser inframerah-dekat untuk memetakan tanah, sementara lidar batimetri menggunakan cahaya hijau yang menembus air untuk juga mengukur dasar laut dan ketinggian dasar sungai. Sistem Lidar memungkinkan para ilmuwan dan profesional pemetaan untuk mengkaji lingkungan alam dan buatan manusia dengan akurasi, presisi, dan fleksibilitas. Para ilmuwan NOAA menggunakan Lidar untuk menghasilkan peta garis pantai yang lebih akurat, membuat model elevasi digital untuk digunakan dalam sistem informasi geografis, untuk membantu dalam operasi tanggap darurat, dan dalam banyak aplikasi lainnya (<https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html>).

Cakupan penginderaan jauh yang sedemikian luas, biasanya mendorong para pembelajarnya mengkhususkan diri pada elemen tertentu dari wilayah cakupan tersebut, sehingga berkembanglah suatu diskursus penginderaan beserta terapannya yang sedemikian luas.

#### D. Sistem Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh merupakan suatu sistem, artinya penginderaan jauh terbangun oleh beberapa komponen yang saling mendukung. Komponen tersebut meliputi sumber tenaga, atmosfer, interaksi tenaga dengan benda di permukaan bumi, sensor, sistem pengolahan data, dan berbagai pengguna data (Sutanto, 1994; Lile-sand, Kiefer, dan Chipman, 2007). Menurut Tindal (2006) komponen sistem penginderaan jauh terdiri atas sumber energi, radiasi (melalui atmosfer), interaksi (tenaga dan objek), sensor perekam, transmisi, resepsi, dan pemrosesan, interpretasi dan analisis (operator), dan aplikasi. Suatu sistem dapat bekerja secara optimal jika masing-masing komponen penyusunnya bekerja sama secara serasi dan seimbang. Komponen sistem penginderaan jauh secara garis besar dapat dibagi menjadi 3 komponen, yakni alami, teknologi, dan manusia. Sistem penginderaan jauh diilustrasikan oleh gambar 2.3 berikut ini.



Gambar 2.3 Komponen-komponen Sistem Penginderaan Jauh

Keterangan:

A = Sumber tenaga

B = Atmosfer

C = Interaksi tenaga dengan objek

D = Sensor (terpasang pada pesawat terbang atau satelit)

E = Perolehan data (dikirim melalui stasiun-stasiun penerima)

F = Pengguna (mengolah dan menganalisis citra)

G = Informasi (basis data, pemetaan dan rekomendasi kebijakan)

Untuk memahami peranan masing-masing komponen sistem penginderaan jauh tersebut, berikut ini penjelasan masing-masing komponen secara singkat.

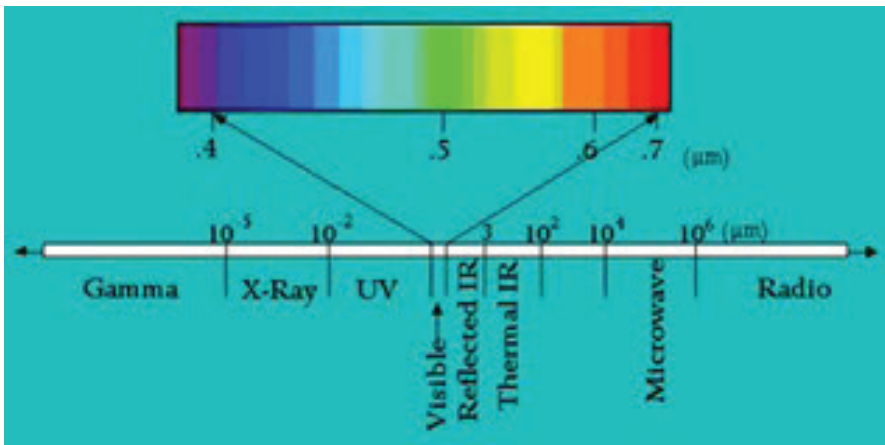
## 1. Sumber Tenaga

Penginderaan jauh sistem aktif maupun penginderaan jauh sistem pasif memerlukan sumber tenaga. Penginderaan jauh sistem pasif memerlukan tenaga alamiah, sedangkan penginderaan jauh sistem aktif menggunakan tenaga buatan. Sumber tenaga elektromagnetik yang utama adalah matahari. Matahari memancarkan gelombang elektromagnetik secara radiasi, baik melalui atmosfer maupun ruang hampa. Tenaga elektromagnetik berwujud panas dan sinar. Tenaga ini dapat dibedakan berdasarkan panjang gelombang dan frekuensinya. Dalam penginderaan jauh, pembagian berkas gelombang elektromagnetik ini lebih didasarkan pada panjang gelombangnya.

Sebenarnya tidak ada batas yang tepat antar berbagai bagian gelombang elektromagnetik, tetapi berdasar pemanfaatannya dapat diketahui bagian-bagiannya. Tenaga elektromagnetik antara lain meliputi spektrum kosmis, gamma, X, ultraviolet, visible, inframerah (inframerah dekat, tengah dan termal), gelombang mikro,

dan gelombang radio (gambar 2.4). Pembahasan mengenai spektrum elektromagnetik ini, dikenal pula istilah band dan channel (saluran dan pita). Band sebenarnya digunakan untuk menyebut bagian yang lebih sempit dari spektrum, misalnya pada spektrum visible terdapat band biru, band hijau, dan band merah.

Tidak semua spektrum elektromagnetik digunakan dalam penginderaan jauh. Spektrum yang digunakan oleh penginderaan jauh adalah spektrum ultraviolet fotografik ( $0,3 \mu\text{m}$ – $0,4 \mu\text{m}$ ), spektrum visible ( $0,4 \mu\text{m}$ – $0,7 \mu\text{m}$ ), inframerah ( $0,7 \mu\text{m}$ – $3 \mu\text{m}$ , tetapi yang digunakan dalam penginderaan jauh  $0,7 \mu\text{m}$ – $0,9 \mu\text{m}$ , inframerah termal ( $0,9 \mu\text{m}$ – $14 \mu\text{m}$ ) dan gelombang mikro ( $0,3 \text{ cm}$ – $300 \text{ cm}$ ). Panjang gelombang ultraviolet sebenarnya  $3 \mu\text{m}$ – $0,4 \mu\text{m}$ , tetapi  $0,3 \mu\text{m}$ – $0,3 \mu\text{m}$  diserap oleh atmosfer. Panjang gelombang mikro yang biasa digunakan untuk sistem radar biasanya  $0,8 \text{ cm}$ – $100 \text{ cm}$ .



Gambar 2.4 Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Umumnya istilah spektrum digunakan untuk sebutan bagian-

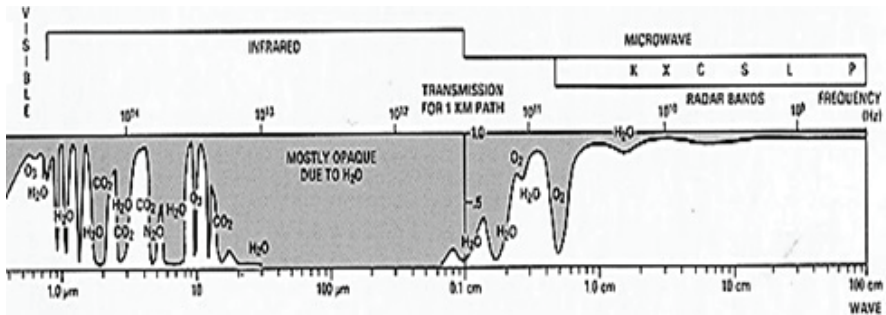
bagian dari gelombang elektromagnetik, memiliki range panjang gelombang yang cukup lebar, misal spektrum ultraviolet ( $0,01 \mu\text{m}$ – $0,4 \mu\text{m}$ ), spektrum tampak ( $0,4$ – $0,7 \mu\text{m}$ ), spektrum infra merah pantulan ( $0,7$ – $1,5 \mu\text{m}$ ), spektrum inframerah termal ( $3,5$ – $30,0 \mu\text{m}$ ). Bagian-bagian dari spektrum yang lebih spesifik (sempit) dinamakan band/saluran.

Masing-masing spektrum digunakan untuk sistem PJ tertentu. Bagian-bagian dari spektrum atau yang disebut band atau saluran dapat digunakan untuk perekaman yang menghasilkan citra multi-spektral. Penggunaan beberapa spektrum/band untuk perekaman daerah yang sama dimaksudkan untuk memudahkan interpretasi objek, karena pada band tertentu mungkin objek tidak dapat dikenali tetapi dapat dikenali dengan band lainnya. Penggunaan beberapa spektrum dikenal dengan istilah pendekatan multispektral. Kecenderungan perkembangan penginderaan jauh saat ini yang terkait dengan pemanfaatan band secara lebih sempit, menghasilkan citra yang dikenal dengan istilah citra hiperspektral. Citra hiperspektral ini menyajikan informasi suatu wilayah dengan jumlah citra yang banyak, karena direkam dengan ukuran lebar band yang sempit-sempit.

## 2. Atmosfer

Gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh matahari tidak semuanya mencapai permukaan bumi. Di atmosfer banyak terdapat gas-gas ( $\text{O}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ) dan uap air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) yang dapat menghalangi gelombang elektromagnetik untuk sampai ke permukaan bumi. Bagian dari gelombang elektromagnetik yang dapat melalui atmosfer disebut jendela atmosfer (*atmospheric windows*), lihat gambar 2.5.





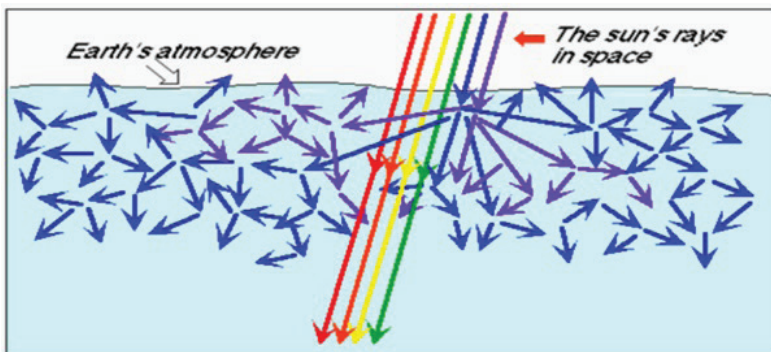
Gambar 2.5 Jendela Atmosfer

Ketika gelombang elektromagnetik mengenai atmosfer, maka kemungkinan akan terjadi tiga peristiwa hambatan, yakni:

a. Hamburan (Scattering)

Adanya berbagai ukuran partikel di atmosfer dan panjang gelombang yang berbeda-beda ukurannya menyebabkan tenaga elektromagnetik dihamburkan dalam berbagai tipe, yakni hamburan mie, hamburan rayleigh, dan hamburan non-selektif.

1) Hamburan Rayleigh



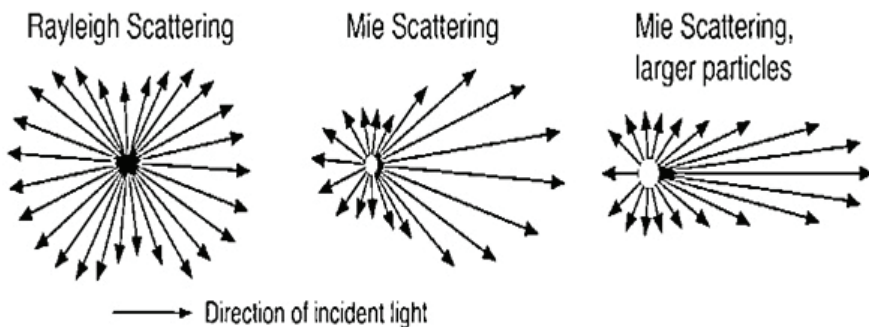
Sumber: www.fxsolver.com

Gambar 2.6 Ilustrasi Hamburan Rayleigh

Hamburan Reylaigh terjadi jika tenaga elektromagnetik berinteraksi dengan partikel yang diameternya lebih kecil dari panjang gel ( $\lambda$ ) yang mengenai  $\lambda$  pendek cenderung dihamburkan lebih kuat, sehingga pada siang hari langit berwarna biru karena hamburan Rayleigh ini. Hamburan ini menjadi penyebab adanya kabut tipis pada citra, secara visual hal ini mengurangi kejelasan/kontras pada citra. Pada foto udara, warna kabut tampak kelabu kebiruan.

## 2) Hamburan Mie

Hamburan Mie terjadi jika diameter partikel di atmosfer sama dengan ukuran panjang gelombang yang mengenai/berinteraksi. Penyebab dari hamburan ini adalah uap air dan debu di atmosfer. Hamburan Mie mempengaruhi panjang gelombang yang lebih panjang daripada Rayleigh. Hamburan ini terjadi pada sebagian besar atmosfer. Besar sekali pengaruhnya saat cuaca agak gelap. Hamburan Rayleigh dan Mie dapat diilustrasikan oleh gambar 2.7 berikut.



Sumber: <http://hyperphysics.phyastr.gsu.edu/hbase/atmos/blusky.html>

Gambar 2.7 Ilustrasi Hamburan Rayleigh dan Mie

### 3) Hamburan Nonselektif

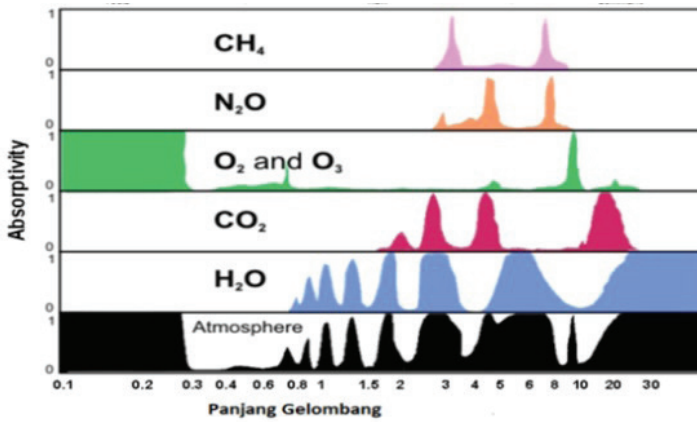
Terjadi ketika diameter partikel lebih besar dari  $\lambda$  yang menegenainya. Panjang gelombang berkisar 5–10  $\mu\text{m}$ , disebut tidak selektif karena menghamburkan semua spektrum fotografi. Penyebab terjadinya hamburan ini adalah partikel-partikel di atmosfer berupa uap air atau air hujan. Hamburan ini terjadi di bagian bawah atmosfer saat partikelnya jauh lebih besar daripada radiasi saat kejadian. Jenis hamburan ini tidak bergantung pada panjang gelombang dan merupakan penyebab utama kabut. Pada citra tampak sebagai kabut dan awan tampak putih.



Gambar 2.8 Ilustrasi hamburan non selektif oleh awan

#### b. Serapan (Absorption)

Serapan menyebabkan kehilangan efektif tenaga, faktor yang menjadi penyerap adalah uap air, karbon dioksida, dan ozon. Benda yang memiliki serapan tinggi, memiliki nilai pantulan kecil. Benda yang pantulannya kecil tergambar lebih gelap pada citra. Air merupakan objek dengan daya serap tinggi, sehingga air tampak lebih gelap daripada benda lain.



Gambar 2.9 Absorpsi pada beberapa spektrum gelombang elektromagnetik

Perhatikan bahwa, dari panjang gelombang sedikit kurang dari 0,4 mikron sampai sekitar 0,7 mikron, ada banyak spot putih pada sebidang absorptivitas atmosfer, yang berarti bahwa penyerapan cahaya tampak oleh atmosfer, diambil secara keseluruhan, relatif kecil yang tidak diserap. Dengan kata lain, atmosfer mentransmisikan sebagian besar cahaya matahari dari puncaknya ke permukaan bumi. Dalam perjalannya, tentu saja awan bisa merefleksikan (*scattering*) kembali beberapa gelombang tampak ke angkasa. Selain itu, di daerah tanpa awan, di mana sinar matahari yang ditransmisikan mencapai permukaan bumi, darat, lautan, gurun pasir, gletser, dan lain-lain, secara tidak merata, memantulkan kembali beberapa gelombang tampak kembali ke angkasa (dengan penyerapan terbatas di sepanjang jalan).

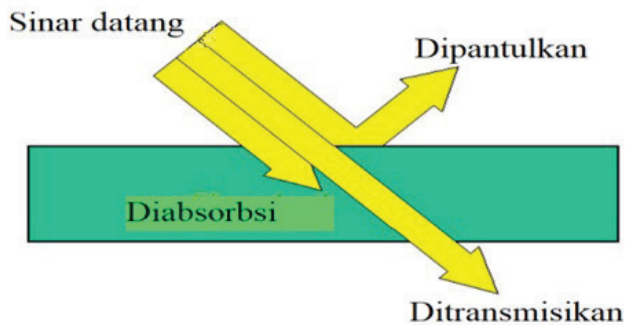
### c. Pantulan (Reflection)

Jika gelombang elektromagnetik merambat dari medium 1 ke medium 2 yang berbeda jenisnya, maka akan terjadi gelombang

transmisi dan gelombang refleksi. Gelombang refleksi terjadi jika gelombang dipantulkan kembali ke medium 1. Partikel-partikel tertentu yang ada di atmosfer disamping ada yang menghamburkan dan menyerap, ada pula yang berlaku sebagai pemantul. Pemantulan oleh partikel di atmosfer ini menyebabkan tergambar lebih cerah pada citra, karena energi yang terpantulkan dan ditangkap sensor bukan murni pantulan objek, tetapi pantulan oleh partikel di atmosfer.

#### d. Transmisi

Jika gelombang elektromagnetik merambat dari medium 1 ke medium 2 yang berbeda jenisnya, maka akan terjadi gelombang transmisi. Transmisi terjadi jika gelombang diteruskan ke medium 2.

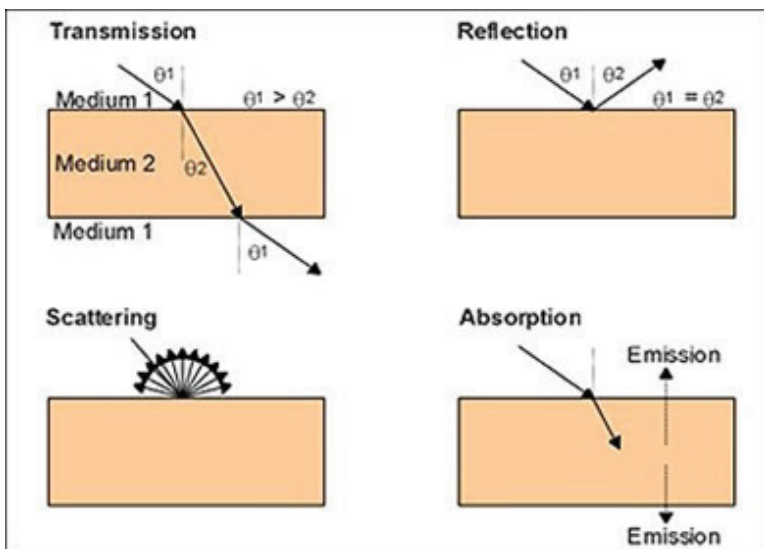


Gambar 2.10 Gelombang diabsorpsi, dipantulkan, dan ditransmisikan

### 3. Interaksi Tenaga dengan Objek

Interaksi tenaga elektromagnetik dengan benda-benda di permukaan bumi terjadi dalam empat bentuk, yakni: penerusan (*trans-*

*mission*), pantulan (*reflection*), *scattering*, penyerapan (*absorption*). Gambar 2.11 mengilustrasikan keempat jenis interaksi tersebut. Interaksi tenaga dengan objek inilah yang direkam oleh sensor. Interaksi mempengaruhi kecerahan gambaran objek pada citra. Bentuk interaksi dipengaruhi oleh beberapa hal, di antaranya adalah tingkat kekasaran permukaan objek, jenis material, kelembaban objek, dan waktu. Objek yang banyak memantulkan atau memancarkan tenaga elektromagnetik akan tergambar cerah, sebaliknya objek yang sedikit memantulkan atau memancarkan tenaga akan tergambar gelap pada citra. Meskipun secara teoretik seperti itu, tetapi pada kenyataannya terdapat objek-objek yang berbeda tetapi mempunyai karakteristik spektral yang sama, dan sebaliknya terdapat objek-objek yang sama tetapi mempunyai karakteristik spektral yang tidak sama. Hal ini terjadi karena faktor lingkungan/site suatu objek.



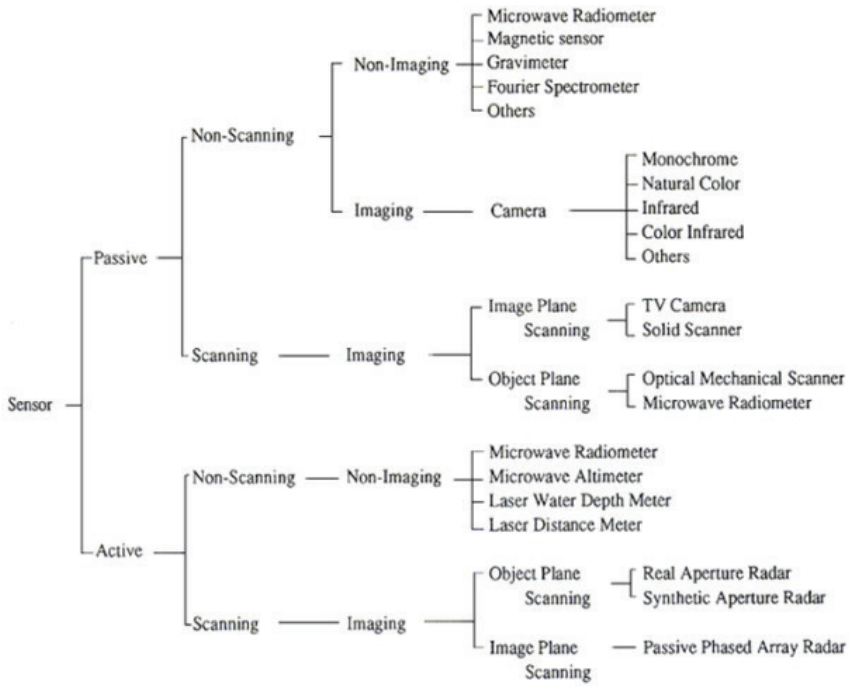
Gambar 2.11 Interaksi Tenaga dengan Objek

#### 4. Sensor

Sensor merupakan alat perekam gelombang elektromagnetik yang dipantulkan atau dipancarkan oleh objek di permukaan bumi. Tiap sensor dirancang untuk memiliki kepekaan tertentu terhadap spektrum elektromagnetik. Kekuatan sensor untuk merekam objek terkecil juga berbeda-beda. Kemampuan suatu sensor untuk merekam objek terkecil dan menyajikannya pada citra sehingga dapat dikenali disebut *resolusi spasial*.

Secara garis besar, sensor dapat dikelompokkan menjadi dua, yakni sensor aktif dan pasif. Masing-masing terdiri atas sensor scanning dan non scanning. Sensor scanning inilah yang digunakan dalam penginderaan jauh (gambar 2.11). Sensor scanning dan non scanning ini dapat pula dinyatakan sebagai sensor non fotografi dan fotografi. Sensor fotografik berupa kamera, yang peka terhadap panjang gelombang visible. Beberapa kamera mampu merekam panjang gelombang yang lebih luas dari visible, yakni kamera yang peka terhadap spektrum ultraviolet dan spektrum inframerah dekat. Kamera penginderaan jauh didesain untuk peka terhadap beberapa band, sehingga pada satu unit kamera terpasang beberapa lensa. Kamera semacam ini disebut kamera multilensa (lihat gambar 2.12).





Sumber: <http://wtlab.iis.u-tokyo.ac.jp>

Gambar 2.12 Klasifikasi sensor



Gambar 2.13 Contoh Kamera Multilens



Sensor nonfotografik memiliki kepekaan terhadap spectrum visible dan perluasannya (ultraviolet dan inframerah dekat), spektrum inframerah termal, dan gelombang mikro. Masing-masing spektrum tersebut hanya dapat ditangkap oleh sensor-sensor tertentu. Sebagai contoh untuk merekam pantulan spektrum *visible* dari suatu objek diperlukan sensor kamera, pancaran spektrum inframerah termal dibutuhkan sensor radiometer termal dan spektrometer termal, untuk merekam pantulan gelombang mikro diperlukan sensor penyiam (scanner) gelombang mikro dan antena radar. Untuk keperluan tersebut, maka sebagai contoh pada satelit Landsat terpasang sensor yang peka terhadap berbagai macam spektrum yang disebut RBV, MSS (*Multispectral Scanner*), TM (*Thematic Mapper*), ETM (*Enhanced Thematic Mapper*), ETM+, dan HRMSI (*High Resolution Multispectral Stereo Imager*). Dengan digunakannya berbagai macam sensor tersebut dapat diperoleh citra multispektral. Citra multispektral ini dapat digunakan untuk berbagai keperluan.

Kegiatan:

- Amatilah beberapa citra yang diperoleh dari hasil perekaman dengan menggunakan sensor yang berbeda-beda?
- Catatlah perbedaan dilihat dari aspek warna, resolusi spasial, dan kemudahan interpretasi untuk objek-objek tertentu.

## 5. Perolehan Data

Perolehan data maksudnya adalah cara memperoleh/ekstraksi data dari citra. Cara memperoleh data dilakukan sesuai dengan bentuk data citranya. Bila citra dalam bentuk cetakan (*hardcopy*), maka cara memperoleh data dapat dilakukan secara manual, yakni dengan interpretasi secara visual (mengggunakan bantuan alat-alat manual). Perolehan data dapat dilakukan secara digital (numerik) bila datanya berwujud *softcopy*. Data digital ini biasanya diperoleh dari hasil perekaman secara elektronik. Sebuah citra cetakan dapat digali datanya secara digital jika citra cetakan tersebut dikonversi ke dalam bentuk digital dengan cara disiam (*scanning*).

## 6. Pengguna

Pengguna (manusia) merupakan salah satu komponen penginderaan jauh yang sangat menentukan kualitas terapan penginderaan jauh. Faktor manusia (*human factor*) menjadi aspek penting dalam sistem penginderaan jauh. Dalam kegiatan tersebut, pengguna sering disebut sebagai penafsir atau operator. Faktor manusia dinyatakan penting karena apalah artinya teknologi tinggi dalam proses perekaman dan pengolahan data, kebagusan tampilan, jika hasilnya tidak dapat digunakan oleh para pengguna. Untuk dapat diterima oleh pengguna, penginderaan jauh harus mampu meyakinkan, menunjukkan keterandalannya, kesesuaian, kemanfaatannya bagi pengguna, sehingga berdaya guna untuk keperluan perencanaan, pemantauan, dan evaluasi kegiatan. Pengguna inilah yang sangat menentukan kualitas informasi yang diekstrak dari citra. Oleh karena itu, pengguna harus memiliki kemampuan berpikir spasial yang memadai agar hasil penafsiran citra yang dilakukannya memperoleh hasil yang memiliki akurasi yang tinggi.

Campbell (2002) menunjukkan arti penting faktor manusia dalam penginderaan jauh. Pentingnya perseptor manusia di bidang penginderaan jauh ditegaskannya, di mana hampir setiap bab mencakup beberapa referensi terhadap pentingnya pengetahuan dan keterampilan penafsir.

Penafsir manusia, misalnya, bisa memperoleh informasi yang sangat sedikit menggunakan titik-demi-titik pendekatan, tetapi memiliki makna yang lebih, sehingga dapat mendukung keputusan yang diambil. Hofman & Markman (2002) memprediksi jika analisis citra akhirnya sebagian besar dilakukan oleh mesin, manusia akan tetap terus membuat interpretasi penting dan membuat keputusan berdasarkan pada interpretasi. Mereka akan terus menjadi agen yang menciptakan algoritma baru yang digunakan untuk mengolah data di tempat pertama, dan mereka akan terus melakukannya dengan cara "mengutak-atik" untuk menampilkan citra (misalnya, warna, koding skema), dan oleh penalaran manusia untuk memaknai anomali data yang dapat timbul sebagai skema tampilan yang terjadi pada suatu set data aktual. Artinya, tujuan akhir dari semua teknologi sensor dan sistem pengolahan informasi adalah untuk mendukung interpretasi manusia terhadap data agar memiliki makna dan membuat keputusan atas dasar penafsiran.

Menurut Hadi (2017) mendasarkan pada uraian di atas, dapat dinyatakan bahwa faktor manusia dalam penginderaan jauh akan tetap penting, meskipun banyak pekerjaan penginderaan jauh telah dilakukan oleh mesin komputer. Faktor kreativitas, menganalisis secara kreatif, penalaran yang dinamis, pemaknaan hubungan antar nilai pixel, dan kemampuan manusia yang dinamis merupakan nilai lebih yang tidak dimiliki mesin komputer, sehingga kehadiran manusia akan tetap penting. Dalam hal ini tentu manusia

yang memiliki pengetahuan tentang penginderaan jauh, memiliki penalaran spasial atau berpikir spasial, dan menampilkan informasi secara sederhana agar mudah dikomunikasikan.

Kegiatan:

- ▶ Anda adalah pengguna data penginderaan jauh, tuangkanlah kesulitan-kesulitan Anda saat menginterpretasi citra.
- ▶ Apakah Anda mengalami kesulitan dalam menginterpretasi objek berukuran kecil? Apakah Anda dapat mengenali lokasi objek? Serta mampu menggunakan ciri tertentu dari objek?

## E. Ringkasan

1. Penginderaan jauh mempunyai kedudukan sebagai ilmu, teknik, dan seni. Dari beberapa definisi yang dikemukakan para ahli, dapat ditemukan kata kunci yakni informasi, tanpa kontak, alat (sensor), dan data, dan teknik analisis. Informasi adalah hal yang dicari dalam kegiatan penginderaan jauh. Dalam usaha memperoleh informasi tersebut tidak terjadi kontak langsung dengan objek, fenomena, atau area yang hendak dicari informasinya. Pemerolehan informasi dilakukan berdasarkan interpretasi dari data (citra) dengan menggunakan teknik analisis tertentu, baik secara visual maupun digital.
2. Penginderaan jauh mempunyai sistem, yang tersusun atas komponen berupa tenaga elektromagnetik. Tenaga ini dapat berupa tenaga alami (sinar matahari) ataupun tenaga buatan. Sistem penginderaan jauh yang menggunakan tenaga alami disebut penginderaan jauh sistem pasif. Sebaliknya sistem yang menggunakan tenaga buatan disebut penginderaan jauh sistem aktif.
3. Sebagai suatu sistem, penginderaan jauh terdiri atas beberapa komponen sistem, yakni: tenaga, atmosfer, interaksi tenaga dengan objek, sensor, perolehan data, dan pengguna. Tenaga merupakan komponen yang akan mengenai objek, sehingga objek dapat memantulkan atau memancarkan kembali tenaga sesuai dengan karakteristik objek. Ketika tenaga yang berasal dari sumbernya memancar, melewati atmosfer. Tidak semua tenaga dapat sampai ke permukaan bumi, karena atmosfer menahannya. Bagian dari atmosfer yang meloloskan gelombang elektromagnetik disebut jendela atmosfer. Tenaga yang sampai ke objek ada yang diserap, dihamburkan, dipantulkan, dan dipancarkan. Masing-masing objek yang berbeda-beda

karakteristiknya merespon tenaga tersebut, sehingga objek dapat dikenali dari pola spektralnya.

4. Sensor yang digunakan dalam penginderaan jauh terdiri atas sensor fotografi dan nonfotografi. Setiap sensor mempunyai kepekaan terhadap spektrum atau panjang gelombang yang berbeda-beda sehingga akan menghasilkan citra yang berbeda-beda pula. Perbedaan kepekaan tersebut didesain untuk tujuan yang berbeda-beda.
5. Cara perolehan data dapat dilakukan sesuai dengan tipe data citra. Bentuk data citra berupa numerik (*softcopy*) perolehan datanya secara digital dan citra cetakan (*hardcopy*) perolehan datanya secara visual. Citra cetak dapat diperoleh datanya secara digital jika citra cetak tersebut dikonversi ke dalam bentuk digital.
6. Pengguna data penginderaan jauh adalah operator/interpreter atau penafsir citra. Penafsir citra inilah yang sangat menentukan aneka peruntukan citra dan menentukan kualitas informasi yang diperoleh dari citra. Pengguna harus mempunyai kemampuan berpikir spasial agar informasi yang diperoleh dari interpretasi citra memiliki akurasi yang tinggi.

## F. Strategi Pembelajaran

Strategi pembelajaran yang digunakan dalam perkuliahan untuk materi pengantar penginderaan jauh ini adalah dengan *scientific based learning* atau yang biasa dikenal dengan model 5M (menanya, mencoba, menalar, mengasosiasi, dan mengomunikasikan). Penguatan atau pemantapan dari instruktur dilakukan dengan metode ceramah, tanya jawab, dan demonstrasi. Langkah dalam pelaksanaan pembelajaran adalah sebagai berikut:

1. Mengamati. Mahasiswa diminta untuk membaca modul, mengamati berbagai data penginderaan jauh (foto udara hitam putih, foto udara berwarna, foto udara inframerah berwarna, citra satelit Landsat 5, Landsat 7, SPOT 5, Ikonos dan Quickbird dan membaca materi tayangan (*power point*) yang telah dipersiapkan oleh instruktur.
2. Menanya. Setelah mengamati berbagai jenis citra, diharapkan mahasiswa terpancing untuk mengemukakan pertanyaan-pertanyaan atau ketidaktahuan terkait dengan definisi, konsep dasar, dan komponen sistem penginderaan jauh. Selanjutnya pertanyaan-pertanyaan dari mahasiswa dipilih atau diseleksi oleh instruktur agar sesuai tujuan pembelajaran, untuk dicari jawabannya.
3. Mencoba. Mahasiswa mencoba melakukan kerja berupa percobaan atau melakukan eksperimen dengan mengamati karakteristik masing-masing citra atau mencari pada modul (materi) tayangan atau sumber online untuk menjawab pertanyaan yang telah dirumuskan bersama.
4. Menalar. Pada kegiatan menalar ini, mahasiswa berusaha menjawab pertanyaan yang telah dirumuskan pada kegiatan pertama. Menalar dilakukan melalui kegiatan deteksi, identifikasi, dan analisis.
5. Mengomunikasikan. Di akhir kegiatan mahasiswa harus mampu mengomunikasikan hasil pekerjaan (menalar) dalam bentuk laporan praktikum atau makalah yang dipresentasikan di depan kelas atau dikumpulkan kepada instruktur.

## G. Latihan

Untuk mengetahui seberapa jauh penguasaan terhadap materi pembelajaran (kompetensi) mahasiswa, berikut terdapat beberapa pertanyaan yang harus dijawab secara benar.

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini secara ringkas dan benar!

1. Bagaimana kedudukan penginderaan jauh dilihat dari segi filsafat ilmu?
2. Bagaimana kedudukan komponen-komponen sistem penginderaan jauh dalam menghasilkan informasi yang bermanfaat?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan berbagai macam sensor dalam penginderaan jauh?
4. Apa perbedaan kenampakan objek yang sama pada perbagai citra yang direkam dengan menggunakan berbagai spektrum?
5. Bagaimana kedudukan manusia sebagai pengguna dalam sistem penginderaan jauh?



# BAB III

## JENIS CITRA PENGINDERAAN JAUH DAN PEMANFAATANNYA

### A. Citra Fotografi Udara

Sesuai dengan sistem penginderaan jauh yang distandarkan, maka citra penginderaan jauh secara garis besar dibagi menjadi dua, yakni citra foto (foto udara) dan citra non foto.

Foto udara (*air photo*) merupakan luaran (hasil rekaman) dari sensor kamera fotografi udara yang dalam perekamannya menggunakan spektrum atau panjang gelombang  $0,4 \mu\text{m}$ - $0,7 \mu\text{m}$  dan perluasannya (ke bawah meliputi gelombang ultraviolet  $0,3 \mu\text{m}$  dan ke atas sampai gelombang inframerah dekat/pantulan  $0,9 \mu\text{m}$ ). Perhatikan gambar x yang mengilustrasikan pembagian panjang gelombang elektromagnetik. Foto udara yang telah banyak digunakan adalah foto udara analog (hasil rekaman kamera manual) yang menggunakan film sebagai detektornya. Dewasa ini telah dikembangkan kamera digital untuk kepentingan penginderaan jauh, tetapi di Indonesia belum dikembangkan.

Secara lebih detail foto udara dapat dibedakan atas beberapa dasar:

## 1. Spektrum Elektromagnetik yang Digunakan

### a. Foto Udara Ultraviolet (UV dekat-0,29 $\mu\text{m}$ )

Banyak dimanfaatkan untuk mendeteksi pencemaran air laut oleh minyak, karena pada spektrum visible, air laut dan minyak memiliki nilai pantulan yang hampir sama tetapi pada band ultraviolet pantulan minyak lebih tinggi secara signifikan. Dalam geologi, foto udara ini digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan batuan kapur.

### b. Foto Udara Ortokromatik (biru-sebagian hijau/0,4-0,56 $\mu\text{m}$ )

Pemanfaatan foto udara ini di antaranya untuk kajian pantai dan survei vegetasi. Untuk kajian pantai cocok karena spektrum ini dengan menggunakan film khusus mampu merekam dasar perairan pantai/dangkal sampai kedalaman 20 meter, sehingga dapat digunakan untuk mengetahui konsentrasi ikan. Citra ini cocok juga untuk studi vegetasi karena dedaunan yang berwarna hijau tergambar kontras pada citra.

### c. Foto Udara Pankromatik (Menggunakan Seluruh Gelombang Visible)

Foto udara ini meliputi foto udara pankromatik hitam putih dan pankromatik berwarna. Kelebihan foto udara pankromatik hitam putih adalah kesan rona objek serupa dengan kesan mata yang memandang objek, resolusi spasialnya halus, stabilitas dimensional tinggi sehingga memiliki akurasi tinggi, memiliki riwayat penggunaan yang lebih tua sehingga lebih mapan karena keunggulan tersebut foto udara tersebut banyak digunakan dalam kegiatan fotogrametri. Foto udara berwarna memiliki keunggulan

dalam hal penyajian warna, yang dapat dikenali oleh mata manusia sampai 20.000 warna, sementara foto hitam putih hanya dapat menyajikan rona yang dapat dikenali oleh mata manusia hanya sampai 200 tingkat.

d. Foto Udara Inframerah True (0,9–1,2  $\mu\text{m}$ )

Foto udara ini terdiri atas foto udara inframerah hitam putih dan infra merah berwarna. Banyak digunakan untuk studi vegetasi (misalnya pengenalan spesies, tanaman pertanian, perkebunan, dan kehutanan).

e. Foto Udara Inframerah Modifikasi (IM Dekat dan Sebagian Merah dan Hijau)

## 2. Jenis Kamera

- a. Foto udara tunggal (hanya menggunakan kamera tunggal dan lensa tunggal).
- b. Foto udara jamak (multispektral, dual kamera, kombinasi vertikal condong).

## 3. Warna yang Digunakan

- a. *Black white* (BW)
- b. Berwarna semu (*false color*), foto inframerah berwarna
- c. Berwarna asli (*true color*), foto pankromatik berwarna

## 4. Sistem Wahana

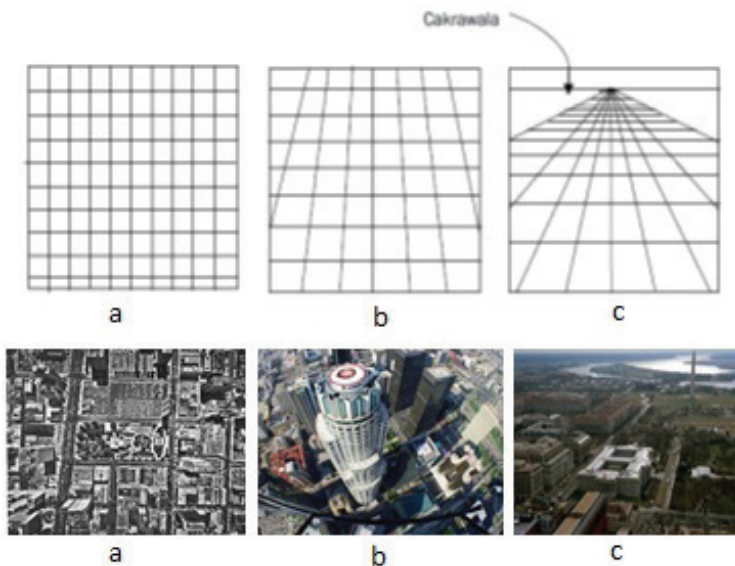
- a. Foto udara dari pesawat udara/balon
- b. Foto udara satelit/foto orbital

## 5. Sudut Liputan Kamera

Sudut liputan kamera (*angular coverage*) diukur sepanjang diagonalnya. Sebenarnya klasifikasi ini hampir sama dengan klasifikasi berdasarkan sumbu kamera pada butir 6.

## 6. Sumbu Kamera

- a. Foto udara vertikal (0 sampai 30), sumbu kamera tegak lurus permukaan bumi.
- b. Foto condong atau sendeng (*oblique/tilted*).
  - 1) Agak condong (*low oblique photograph*), tampak cakrawala atau horison.
  - 2) Sangat condong (*high oblique photograph*), tidak tampak cakrawala.



Gambar 3.1 Contoh foto udara dengan berbagai posisi sumbu kamera: (a) foto udara vertikal, (b) foto udara condong, (c) foto udara sangat condong.

## 7. Bentuk Data

- a. Foto udara analog (hasil perekaman dengan menggunakan kamera manual atau hasil perekaman kamera digital yang telah dicetak).
- b. Foto udara digital (citra digital dapat berupa murni data digital dapat pula diperoleh dari penyiaman data analog sehingga menjadi data digital).

Foto udara merupakan citra yang paling tua usianya, sehingga sudah sangat familiar dengan penggunanya, ekonomis, paling banyak digunakan, juga konsep-konsepnya sudah sangat mapan. Kelebihan pemanfaatan foto udara sebagai citra penginderaan jauh adalah:

- a. Dapat memberikan suatu pandangan atas suatu daerah dalam cakupan yang lebih luas dari mata manusia, sehingga kesan keruangan dapat diperoleh secara mudah.
- b. Mampu menampilkan objek-objek di permukaan bumi dengan wujud tiga dimensi (bila diamati dengan stereoskop), sehingga objek-objek tampak seperti wujud aslinya.
- c. Kepekaan spektral dapat diperlebar.
- d. Film dapat merekam pada julat panjang gelombang sebesar dua kali lipat kepekaan mata manusia. Dengan fotografi, spektrum ultraviolet dan inframerah dekat yang tidak tampak dapat direkam dalam bentuk citra.
- e. Resolusi spasial besar dan ketelitian geometrik yang tinggi.
- f. Foto udara mampu menyajikan kenampakan objek dengan resolusi tampilan yang relatif besar (dipengaruhi kualitas lensa, skala, panjang gelombang, julat panjang gelombang, dan ukuran butir film). Meskipun saat ini telah muncul

citra satelit generasi baru yang mempunyai resolusi menyamai foto udara, seperti satelit Ikonos, tetapi foto udara masih mempunyai ketelitian geometrik yang lebih baik dan kemampuan wujud 3D.

- 7) Lebih hemat dan efektif, karena pengguna dapat memilih hanya daerah yang akan disurvei. Misalnya untuk evaluasi permukiman, maka daerah pertanian atau hutan yang luas tidak perlu diambil/dibeli, untuk keperluan studi kekotaan maka daerah perdesaan tidak perlu diikuti karena akan menambah mahal harga foto udara.
- 8) Kemampuan untuk menghentikan proses kegiatan. Sensor mampu merekam aktivitas dinamis seperti banjir, kebakaran hutan, arus lalu lintas, dan sebagainya. Peristiwa dinamis tersebut dapat dipantau perkembangannya melalui hasil rekaman. Sebagai contoh, aktivitas lalu lintas, jika dikehendaki untuk mengetahui tingkat kepadatannya, maka lalu lintas itu bisa dihentikan melalui perekaman. Melalui hasil rekaman tersebut, dapat dilakukan penghitungan jumlah kendaraan, yang berhenti pada citra.
- 9) Mudah penggunaannya. Foto udara dapat langsung diinterpretasi secara visual dengan bantuan stereoskop dan loupe. Interpretasi foto udara dianggap lebih mudah dan prosesnya lebih cepat.

## B. Citra Non-Foto

Citra non-foto adalah suatu citra penginderaan jauh yang diperoleh dengan proses perekaman secara elektronik dan sensor perekamnya tidak menggunakan kamera, detektornya bukan film (pita magnetik, termistor, foto konduktif), menggunakan spektrum

tampak dan perluasannya, inframerah termal, dan gelombang mikro. Data rekaman dalam bentuk digital untuk keperluan analisis perlu dilakukan secara digital (kecuali jika citra telah dicetak dapat dianalisis secara visual). Citra non-foto berdasarkan sumber energi yang digunakan dapat diklasifikasi menjadi dua, yakni citra aktif dan pasif. Berikut ini diberikan contoh beberapa jenis citra kedua jenis ini.

### 1. Citra dari Penginderaan Jauh Sistem Pasif

#### a. Landsat

Landsat (*Land Satelit*) merupakan satelit sumberdaya bumi yang pada awalnya bernama ERTS-1 (*Earth Resources Technology Satellite*) diluncurkan pertama kali 23 Juli 1972, berakhir pada 6 Januari 1978. Tujuan peluncuran Landsat adalah untuk studi sumber daya lahan di permukaan bumi ini. Pada 22 Juli 1975 sebelum peluncuran ERTS-B, NASA mengubah program ERTS menjadi *Landsat* (untuk membedakan dengan *Seasat*). Sejak diluncurkan hingga hari ini, Landsat telah mencapai 8 generasi (Landsat 1-8).

Tabel 3.1 Karakteristik Landsat 1-5

Satelit/ Sensor	Saluran (Band)	Resolusi	Lebar Cakupan	Perekaman Ulang
Landsat 1,2,3 RBV (1,2,3)	0,475 – 0,575	80 m	185 km	18 hari
	0,58 – 0,68			
	0,69 – 0,89			
MSS (4,5,6,7)	0,50 – 0,60	80 m	185 km	18 hari
	0,60 – 0,70			
	0,70 – 0,80			
	0,80 – 1,10			

Satelit/ Sensor	Saluran (Band)	Resolusi	Lebar Cakupan	Perekaman Ulang
Landsat 4,5	4,5,6,7	80 m	185 km	16 hari
Landsat TM	0,45 – 0,52	30 m	185 km	16 hari
	0,52 – 0,60			
	0,63 – 0,69			
	0,76 – 0,90			
	1,55 – 1,75			
	2,08 – 2,35			
	10,40 – 12,50			

Landsat menghasilkan beberapa jenis citra yang dinamakan sesuai dengan sensor yang digunakan. Berikut ini beberapa macam citra Landsat dan karakteristiknya.

1) RBV (*Read Beam Vidicon*)

Ada yang mengatakan bahwa RBV bukan citra karena wujudnya yang berupa gambar video. Citra ini diambil menggunakan sensor RBV bersama MSS. RBV hanya terdapat pada Landsat 1, 2, dan 3. Sensor RBV berupa 3 kamera TV, peka terhadap gelombang hijau, merah, dan inframerah. Lebar cakupan 185 km x 185 km, dengan resolusi medan 80 m. Pada Landsat 3 resolusi RBV menjadi 30 m, hal ini dilakukan dengan cara memperpanjang fokus kamera. Dengan menggunakan *shutter*, permukaan bumi di-*scan* dalam bentuk data raster oleh sinar elektronis internal dan menghasilkan sinyal video.

2) MSS (*Multispectral Scanner*)

Citra MSS diperoleh dari hasil rekaman sensor MSS yang dipasang pada Landsat 1-5. Penyiaman (*scanning*) dilakukan dengan cermin ulang alik tiap 33 milidetik, lebar sapuan 185



km. Band 1-3 dipakai oleh RBV, sehingga band yang digunakan untuk MSS adalah band 4,5,6,7 (lihat tabel 3.1). Dengan menggunakan 4 band (2 spektrum tampak dan 2 inframerah dekat), yakni band hijau (0,5-0,6)  $\mu\text{m}$ , merah (0,6-0,7)  $\mu\text{m}$ , infra merah dekat (0,7-0,8)  $\mu\text{m}$ , dan inframerah dekat (0,8-1,1)  $\mu\text{m}$ .

### 3) TM (*Thematic Mapper*)

Citra Landsat TM merupakan citra hasil rekaman sensor TM. Sensor ini TM dipasang pada Landsat 4 dan 5. Perekamannya dilakukan dengan 7 band (3 band tampak, 3 IM dekat, 1 Inframerah Termal), yakni band: biru, hijau, merah, IM dekat, IM dekat, IM termal dan IM dekat. Termal pada band 6, Resolusi 30 m, TM menggunakan cermin berputar, dapat membentuk citra komposit, misalnya Landsat TM 321 dapat diolah menjadi Landsat 432, resolusi radiometrik lebih baik dari MSS, resolusi spasial (pixel) citra termal adalah 120 m.

### 4) ETM dan ETM+

Citra landsat ETM (*Enhanced Thematic Mapper*) diharapkan diperoleh dari Landsat 6. Sensor ETM ialah pengembangan dari sensor TM dengan penambahan saluran pankromatik yang didesain memiliki resolusi 15 x 15 m. Didesain peka terhadap 6 band seperti pada landsat TM dengan resolusi 30 m dan pada saluran termal diperoleh resolusi 60 m, tetapi Landsat 6 gagal. Selanjutnya, Landsat yang dioperasikan ialah Landsat 7. Citra ETM+ merupakan hasil rekaman dari sensor ETM+ yang terpasang pada wahana Satelit Landsat 7. Sensor ini memanfaatkan 8 band (karakteristik masing-masing band lihat Tabel 3.2 di bawah ini).

Tabel 3.2 Karakteristik Band ETM+ dan Aplikasinya

No. Band	Band	Panjang Gel	Resolusi Spasial	Aplikasi
1	Biru	0.45 - 0.515	30 m	Pemetaan tubuh air dan mendukung analisis penggunaan lahan, tanah, dan karakteristik vegetasi
2	Hijau	0.525 - 0.605	30 m	Kajian jenis dan kesehatan tanaman, dan interpretasi objek bentang budaya
3	Merah	0.63 - 0.690	30 m	diskriminasi vegetasi, pemetaan tanah dan batas-batas formasi geologi
4	IM dekat	0.75 - 0.90	30 m	Karena band ini responsif terhadap biomassa maka cocok untuk identifikasi jenis vegetasi, membedakan antara tanaman dan tanah, serta untuk melihat batas-batas tubuh air
5	IM tengah	1.55 - 1.75	30 m	Kajian hidrologi
6	IM termal	10.40 - 12,5	60 m	Kajian area geotermal, pemetaan inersia termal, kajian vegetasi, (sehat, stres, dan sakit), mengukur kelembaban tanah.
7	IM tengah	2.09 - 2,35	30 m	Kajian geologi dan mengidentifikasi zona alterasi hidrotermal pada batuan
8	Pankromatik	0.52 - 0.90	15 m	Untuk dikompositkan dengan band lain supaya diperoleh citra yang lebih baik

## b. SPOT (Systeme Probatoire l'Observationde la Terre)

Satelit SPOT adalah milik Prancis dioperasikan atas kerjasama dengan Swedia-Belgia, dioperasikan oleh CNES (*Center National d'Etudes Spatiales*). SPOT yang telah diluncurkan adalah SPOT-1 sampai SPOT-5. Spot pertama diluncurkan pada 21 Februari 1986 di Kouro Guina. Satelit SPOT menggunakan 2 sensor bentuk sapu (*pushbroom*) dengan teknik penyiaman (*scanning*). Sensornya dapat diubah arahnya  $27^\circ$  kanan-kiri, sehingga dapat diperoleh citra stereoskopis (citra berpasangan karena ada bagian citra yang menampilkan daerah yang sama). Ada 2 jenis citra SPOT, yakni:

### 1) HRV/P (Pankromatik)

Menggunakan spektrum tampak ( $0,51 \mu\text{m}$ - $0,73 \mu\text{m}$ ). Resolusi spasial atau medan pandang sesaat (*Instantaneous Field of View* atau IFOV) adalah 10 meter. Bentuk citra menyerupai foto udara hitam putih. Berkat sensornya yang dapat berubah arah kanan-kiri, maka citra yang diperoleh memiliki tampilan sebesar 50-75%.



Gambar 3.2 Contoh citra SPOT Pankromatik hitam putih

### 1) HRV/XS (Multispektral)

Citra SPOT Multispektral dihasilkan dari sensor multi-band (spektrum hijau, merah, inframerah dekat), berbentuk sapu (*push-broom scanner*) dengan resolusi tinggi atau dikenal dengan istilah *High Resolution Visible* (HRV). Pemilihan spektrum disesuaikan dengan karakteristik spektral optimum objek. Adapun spektrum yang digunakan adalah HRV-1 atau band 1 (0,50–0,59  $\mu\text{m}$ ), HRV-2 atau band 2 (0,61  $\mu\text{m}$ –0,68  $\mu\text{m}$ ), dan HRV-3 atau band 3 (0,79–0,89  $\mu\text{m}$ ). Citra ini mempunyai resolusi spasial 20 meter.



Gambar 3.3 Contoh Citra SPOT Berwarna

### c. NOAA/AVHRR

NOAA (*National Ocean and Atmospheric Administration*) merupakan satelit cuaca yang dioperasikan oleh NOAA, Amerika Serikat. Satelit ini memiliki sejarah yang sangat panjang. Program meteorologi AS dimulai pada tahun 1960 dengan meluncurkan TIROS-1 (*Television and Infrared Observation Satellite*). Program TIROS adalah hasil kolaborasi internasional antara AS, Inggris, dan Prancis. Pada tahun 1970, sensor inframerah ditambahkan ke muatan satelit, memungkinkan perolehan gambar pada siang dan malam hari. Sejak saat itu satelit tersebut dinamai NOAA.

Pada 1978 satelit NOAA dilengkapi dengan *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR), alat perekam di bagian infrared, inframerah dan inframerah termal yang terlihat, dekat inframerah, infra merah dan termal. Dalam 50 tahun, lima generasi satelit mengikuti satu sama lain: TIROS (10 satelit), ESSA (9 satelit), ITOS (8 satelit), satelit TIROS-N (3 satelit) dan ATN (*Advanced TIROS-N*, 13 satelit sampai saat ini).

Orbit satelit NOAA adalah orbit geostasioner dan orbit polar. Satelit NOAA dengan orbit geostasioner adalah satelit yang memonitor belahan bumi bagian barat pada ketinggian 22.240 mil di atas permukaan bumi, sedangkan satelit NOAA dengan orbit polar adalah satelit yang memonitor bumi pada ketinggian 540 mil di atas permukaan bumi. Pada umumnya satelit NOAA merekam suatu wilayah sebanyak 2 kali waktu siang dan 2 kali pada malam hari. Stasiun bumi NOAA menerima data AVHRR dari satelit dalam bentuk data mentah dalam 3 format, yakni: *High Resolution Picture Transmission* (HRPT), *Local Area Coverage* (LAC), *Global Area Coverage* (GAC) secara rutin 2–4 kali/hari. Saat ini di atmosfer Indonesia melintas setiap hari lima seri

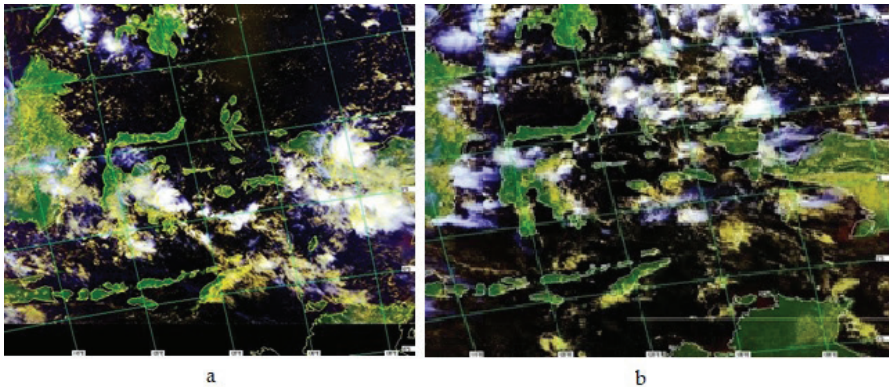
NOAA yaitu NOAA 12, NOAA 14, NOAA 15, NOAA 16, NOAA 17, NOAA 18, dan NOAA 19. Stasiun bumi NOAA yang berada di Indonesia terletak di LAPAN, Kantor BRKP, Bitung, dan SEA-CORM (Perancak-Bali).

Sensor pada satelit NOAA adalah sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) yang digunakan untuk merekam tutupan awan dan suhu permukaan. Sensor ini berupa radiometer yang menggunakan 6 detector yang merekam radiasi panjang gelombang berbeda-beda. Data AVHRR yang termasuk dalam kategori resolusi spasial rendah sesuai digunakan untuk peramalan cuaca harian, pemetaan suhu permukaan laut, yang dapat dimanfaatkan untuk prediksi daerah tangkapan ikan. Program NOAA bertujuan untuk memberikan masukan yang mencakup seluruh bumi secara berkesinambungan untuk membantu dalam membuat prakiraan dan pemantauan cuaca. Aplikasi dari citra NOAA untuk pemetaan distribusi hujan salju, pemantauan banjir, studi vegetasi, analisis kelembaban tanah regional, pemetaan distribusi bahan bakar yang menyebabkan kebakaran liar (*wildfire fuel mapping*), pendeteksian kebakaran, pemantauan badai gurun dan aplikasi yang berkenaan dengan gejala geografis dalam skala luas, misalnya dampak gunung api meletus terhadap cuaca, persebaran awan untuk ramalan cuaca.

Contoh aplikasi sederhana dapat dibuat berdasarkan dari dua citra hasil rekaman pada 21 dan 22 Mei 2006 atau citra multi-temporal (lihat gambar 3.4). Dari kedua citra NOAA tersebut, dapat diketahui tutupan awan di Indonesia bagian timur; dari situ dapat dibuat ramalan cuaca sederhana oleh orang awam. Untuk analisis lanjut bagi pengguna (pengamat) cuaca dapat dilakukan berbagai macam metode analisis awan berdasarkan berbagai aspek.

Tabel 3.3 Panjang Gelombang NOAA dan Penggunaan

Band	Resolusi	Panjang Gelombang ( $\mu\text{m}$ )	Penggunaan
1	1,09 km	0,58 – 0,68	Pemetaan awal
	1,09 km	0,725 – 1,00	Pemetaan permukaan laut pada siang hari
3A	1,09 km	1,58 – 1,64	Batas daratan dan perairan
3B	1,09 km	3,55 – 3,93	Deteksi salju dan es
4	1,09 km	10,30 – 11,30	Pemetaan suhu dan permukaan air laut di malam hari
5	1,09 km	11,50 – 12,50	Pemetaan malam hari dan suhu permukaan laut



Gambar 3.4 Citra NOAA hasil perekaman (a) pada 21 Mei 2006 dan (b) hasil rekaman pada 22 Mei 2006

Apa yang dapat Anda simpulkan dari kedua citra NOAA yang merekam kondisi awan?

#### d. MODIS

MODIS adalah salah satu sensor utama yang dibawa oleh *Earth Observing System (EOS) Terra satellite*, milik NASA. Program ini merupakan program jangka panjang untuk mengamati, meneliti dan menganalisis lahan, lautan, atmosfer bumi dan interaksi di antara faktor-faktor ini.

MODIS mengorbit bumi secara polar (arah utara-selatan) pada ketinggian 705 km dan melewati garis khatulistiwa pada jam 10:30 waktu lokal. Lebar cakupan lahan pada permukaan bumi setiap putarannya sekitar 2.330 km. Pantulan gelombang elektromagnetik yang diterima sensor MODIS sebanyak 36 bands mulai dari 0,405  $\mu\text{m}$  sampai 14,385  $\mu\text{m}$ . Tiap pixels berukuran 250 m (band 1-2), 500 m (band 3-7) dan 1.000 m (band 8-36). Resolusi temporalnya adalah 1 kali sehari, untuk kawasan di atas lintang 30°, dan setiap 2 hari, untuk kawasan di bawah lintang 30°, termasuk Indonesia. Di antara kelebihanannya adalah lebih banyaknya band yang digunakan (hyperspektral) dan resolusi temporal yang tinggi.

Pemanfaatan citra MODIS paling tidak mencakup tiga aspek, yakni untuk: pengamatan vegetasi, radiasi permukaan bumi, dan tutupan lahan. Diantara contoh terapannya adalah pendeteksian kebakaran hutan, pendeteksian perubahan tutupan/penggunaan lahan dan pengukuran suhu permukaan bumi.

#### e. ALOS

ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) atau dalam Bahasa Jepang disebut Daichi, merupakan satelit milik Bangsa Jepang. Citra ini diperoleh dari rekaman satelit ALOS yang merupakan satelit terbesar yang dikembangkan dan diluncurkan oleh JAXA's Tanegashima Space Center Jepang pada 24 Januari 2006 dengan



menggunakan roket H-IIA. Satelit ini merupakan generasi lanjutan dari JERS-1 dan ADEOS yang dilengkapi teknologi lebih maju, untuk memberikan kontribusi bagi dunia penginderaan jauh secara lebih teliti sehingga dipasang *dual frequency GPS receiver* dan *star tracker* dengan presisi tinggi.

Satelit ini mempunyai tiga sensor, yaitu *Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping* (PRISM) untuk pemetaan elevasi secara digital, berupa radiometer panchromatic yang menghasilkan citra dengan resolusi spasial 2.5 meter pada keadaan nadir. Sensor kedua adalah *the Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2* (ANVIR-2), resolusi 10 meter, digunakan untuk observasi tutupan lahan yang akurat. Sensor Anvir-2 ini dilengkapi dengan kemampuan khusus yang memungkinkan satelit dapat melakukan observasi tidak hanya pada arah tegak lurus lintasan satelit, tetapi juga mode operasi dengan sudut observasi (*pointing angle*) hingga sebesar  $+ 44^\circ$ . Sensor ketiga adalah *the Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar* (PALSAR), resolusi 10 meter dan 100 meter merupakan sensor aktif untuk observasi keadaan cuaca sepanjang hari (siang dan malam). Citra Alos mempunyai 4 band, yakni Band 1 (biru) : 0.42 to 0.50 micrometers, band 2 (hijau): 0.52 to 0.60 micrometers, band 3 (merah): 0.61 to 0.69 micrometers, dan band 4 (Inframerah dekat): 0.76 to 0.89 micrometers.

#### f. IKONOS

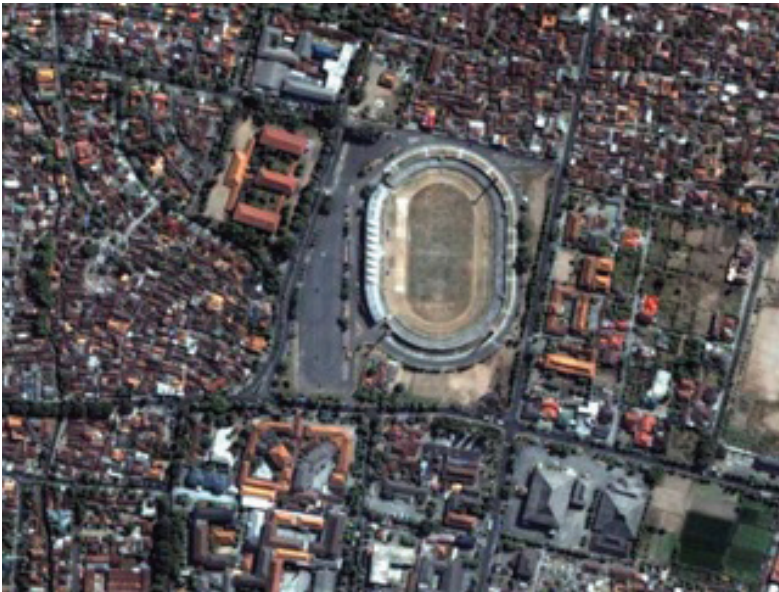
Ikonos adalah satelit milik Space Imaging (USA) yang diluncurkan pada 24 September 1999 di Vandenberg Air Force Base, California, mengorbit pada ketinggian 681 km di atas permukaan bumi, melintasi equator pada jam 10.30 waktu setempat. Tujuan operasional satelit ini adalah menyediakan data untuk tujuan

komersial pada awal 2000. Ikonos adalah satelit dengan resolusi spasial tinggi (4 meter) pada mode multispektral 4 band (biru, hijau, merah, infra merah dekat) dan satu band pankromatik dengan resolusi 1 meter. Bahkan pada titik nadir memiliki resolusi spasial 0,82 meter pada mode pankromatik dan 3,2 meter pada mode multispektral. Ini berarti Ikonos merupakan satelit komersial pertama yang dapat membuat image beresolusi tinggi. Spesifikasi ini memberikan kemampuan dapat merekam objek lebih detail. Kelebihan ikonos adalah resolusi spasial yang tinggi (1 meter) sehingga mampu mengenali objek di permukaan bumi yang mempunyai ukuran 1 m<sup>2</sup>, mempunyai resolusi temporal yang sangat tinggi (14,7 kali tiap hari mengelilingi bumi) sehingga dapat digunakan untuk memantau banyak kejadian di permukaan bumi.

#### g. Quickbird

Quickbird diluncurkan pada Oktober 2001 di Vandenberg Air Force Base, California AS, dengan wahana pengangkut Boeing Delta II. Quickbird mengorbit pada ketinggian 450 km, secara sikron matahari dengan periode orbit 93,4 menit. Lebar sapuannya adalah 16,5 kilometer di atas nadir dan kemampuan sapuan tanah sekitar 544 km di pusat daerah lintasan satelit (hingga 30° di luar nadir). Resolusi temporalnya adalah 1–3,5 hari tergantung lintang (30° di luar nadir). Saat ini Quickbird merupakan salah satu satelit komersial (di samping Ikonos, worldview, dan Geo-Eye). Quickbird mempunyai 2 sensor utama, yaitu sensor pankromatik dengan resolusi spasial yang paling tinggi, yaitu 61 cm dan sensor multispektral dengan resolusi 2,5 meter. Citra ini bersama dengan citra ikonos digunakan oleh Google Earth untuk menampilkan data permukaan bumi, sehingga untuk keperluan pembelajaran bisa menggunakan citra tersebut.

Resolusi spasialnya yang tinggi menjadikan citra Quickbird pada sebagian aplikasinya mampu menggeser foto udara. Pekerjaan-pekerjaan yang membutuhkan peta detail lebih suka menggunakan citra ini. Contoh aplikasi adalah untuk penilaian kualitas permukiman, penentuan nilai pajak bumi dan bangunan (PBB), penyusunan rencana tata ruang wilayah, pembuatan peta penggunaan lahan detail (level IV), dan lain-lain. Karena tingginya resolusi citra ini, bahkan di kalangan para pegiat penginderaan jauh, citra Quickbird digunakan sebagai pengganti kerja lapangan. Observasi lapangan pada kondisi tertentu dapat terhalang oleh hal tertentu, seperti pagar atau gedung yang tinggi, sungai besar, tanah milik instansi tertentu yang tidak bisa dijangkau, tetapi dengan memanfaatkan citra ini hal-hal tersebut dapat diatasi.



Gambar 3.5 Contoh Citra Quickbird Stadion Mandalakrida  
Kota Yogyakarta

#### h. Geoeye

Satelit GeoEye-1 pertama kali diluncurkan pada 6 September 2008, mengorbit searah matahari (*sun synchronous*) pada ketinggian 684 km di atas permukaan bumi. GeoEye merupakan satelit pencitraan yang mengakuisisi dan memproses citra dengan menggunakan sensor canggih dalam sistem penginderaan jarak jauh komersial. Memiliki lebar liputan 15,2 km, sekali liputan 225 km.

Citra GeoEye-1 memiliki dua mode, yakni mode pankromatik (Black & White) mempunyai resolusi spasial 0,41 m dan mode multispektral mempunyai resolusi spasial 1,65 m. Resolusi temporal kurang dari tiga hari, serta kemampuan untuk menemukan objek dalam waktu hanya 3 m dari lokasi fisik. Sensor ini baru dikembangkan untuk proyek-proyek besar karena bisa mengumpulkan lebih dari 350.000 km<sup>2</sup> citra *multispectral pansharpened* setiap hari. Pemanfaatan citra untuk keperluan perencanaan, eksplorasi, inventarisasi, monitoring aset dan konstruksi. Skala peta maksimum yang lazim dihasilkan adalah 1:2.000 (sangat detail).



Gambar 3.6 Citra GeoEye Stadion Andi Mattalata Kota Makassar

## 2. Citra dari Penginderaan Jauh Sistem Aktif

Penginderaan jauh sistem aktif disebut demikian sebab sistem tidak mengandalkan energi alamiah, tetapi menggunakan energi buatan. Penginderaan jauh sistem aktif yang menggunakan gelombang mikro disebut penginderaan jauh sistem radar (*Radio Detection and Ranging*). Radar pertama yang menghasilkan citra dikembangkan selama Perang Dunia II, bernama B-Scan yang antenanya selalu berputar. Pada 1950 dikembangkan radar baru yang antenanya tidak berputar, yang dapat dipasang di bawah pesawat. Radar menggunakan tenaga elektromagnetik yang dibangkitkan sensor radar. Tenaga berupa pulsa bertenaga tinggi dengan kecepatan pulsa 10<sup>-6</sup> detik. Intensitas pulsa balik (*back-scatter*) direkam oleh sensor. Berdasarkan waktu dapat diperkirakan jarak dan berdasarkan intensitas tenaga balik dapat diperkirakan jenis objek.

Bentuk data radar adalah citra dan non citra. Umumnya radar noncitra digunakan untuk menghitung kecepatan kendaraan (sistem radar Doppler). Data radar berupa citra mempunyai resolusi spasial relatif, ditentukan oleh panjang antena, semakin panjang semakin baik resolusinya. Kesulitan pemasangan antena panjang yang berputar pada pesawat melahirkan Radar SLAR (*Side Looking Aperture Radar*) yang dipasang pada bagian bawah pesawat dan diarahkan menyamping. SLAR mempunyai dua jenis: Sistem *Real Aperture Radar* (RAR) dan Sistem *Synthetic Aperture Radar* (SAR). Perbedaannya adalah pada antenanya yang membuahkan beda resolusi spasial, antena SAR lebih pendek tetapi menghasilkan citra dengan resolusi spasial yang baik.

Berikut ini beberapa contoh citra yang diperoleh dari sensor sistem aktif.

## a. Citra Satelit Radar

### 1) Seasat

Seasat adalah satelit pertama yang dirancang untuk mengindera lautan dengan menggunakan sensor *radar aperture sintetis* (SAR). Misi ini dirancang untuk menunjukkan kemampuan satelit dalam melakukan pemantauan fenomena oseanografi global dan untuk membantu menentukan persyaratan untuk sistem laut operasional satelit penginderaan jauh. Tujuan khusus adalah untuk mengumpulkan data tentang permukaan laut angin, suhu permukaan laut, ketinggian gelombang, gelombang internal, air atmosfer, fitur es laut, dan topografi laut. Misi ini berakhir pada 10 Oktober 1978 karena kegagalan sistem tenaga listrik wahana. Meskipun hanya sekitar 42 jam data *real time* diterima, misi ini menunjukkan kemampuan menggunakan sensor *microwave* untuk memantau kondisi laut, dan meletakkan dasar untuk misi SAR masa depan. Perbedaan utama antara satelit Bumi Seasat-A dan pengamatan sebelumnya adalah penggunaan sensor gelombang mikro aktif dan pasif untuk mencapai kemampuan semua cuaca.

Data laser yang diperoleh oleh stasiun pelacakan harian (sebelum pembentukan ILRS) digunakan oleh NASA GSFC untuk pembangunan model gravitasi. Seasat disesuaikan PGS-S1-S2 dan PGS (terdiri atas 16.500 pengamatan), memiliki instrumentasi: radar altimeter, sistem scatterometer, synthetic aperture radar (SAR), radiometer visible dan inframerah, *scanning multi-channel microwave radiometer*, dan *retroreflector array*.

Satelit milik AS mengorbit pada ketinggian 800 km dengan periode ulang selama 14 kali sehari dengan orbit hampir polar, dan kembali ke posisi semula pada setiap 152 hari. Satelit ini dapat merekam 95% lautan (termasuk permukaan bumi terekam). Seasat

dilengkapi dengan lima sensor, yakni dua radiometer dan satu radar jenis SAR. Sistem pencitraan SAR ini membantu dalam deteksi kenampakan es lautan, gunung es, batas air-lahan dan membantu dalam penetrasi badai hujan lebat.

## 2) TerraSAR-x

Citra Radar pada awalnya memiliki banyak kelemahan dibandingkan dengan citra spektral, tetapi kini telah memberikan sumbangan nyata bagi dunia survei dan pemetaan. Salah satu citra satelit dengan sensor Radar, yang memiliki kemutakhiran teknologi adalah Terra SAR-X, satelit yang dioperasikan oleh Infoterra. Kemampuan dan kelebihanannya untuk menembus awan dapat menjadi solusi sulitnya pemetaan karena gangguan awan. Aplikasi penggunaan data yang dihasilkan oleh Terra SAR-X di antaranya untuk pembuatan peta dasar berbagai skala mulai dari 1:25.000 hingga lebih kecil, pembuatan peta tematik berbagai bidang, pemutakhiran peta sampai dengan skala besar misalnya 1:10.000 hingga 1:2.500, untuk mitigasi bencana dan lain-lain.

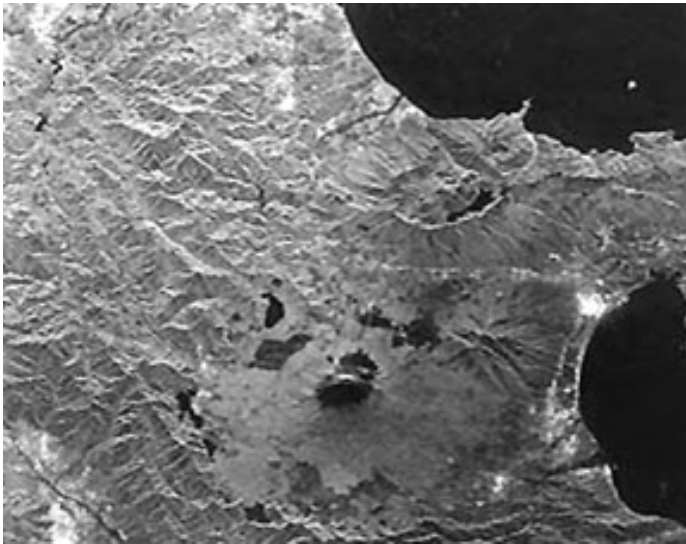
## 3) JERS

JERS (*Japan Earth Resources Satellite*) adalah satelit pengamatan Bumi milik Jepang yang diluncurkan pada 11 Februari 1992 di Tanegashima oleh NASDA (*National Space Development Agency*), yang juga dikenal dengan nama Fuyo membawa dua sensor optik dan satu sensor radar. Sensor radar yang digunakan adalah SAR (*Syntetic Aperture Radar*). Satelit ini diluncurkan setelah pada keberhasilan MOS, JERS menguji kinerja sensor optik dan radar aperture sintetis, dan melakukan observasi untuk digunakan dalam survei tanah, pertanian, kehutanan, perikanan, pelestarian lingkungan, pencegahan bencana, dan pengawasan

pesisir. Sensor SAR pada JERS-1 memiliki resolusi tinggi pada segala cuaca, pencitraan radar yang dapat memetakan karakteristik topografi dan geologi permukaan bumi.

Ada dua macam sensor yang dibawa pada JERS, yakni:

- a) Sensor Optik: Sensor optik adalah sensor resolusi tinggi yang mengukur radiasi matahari yang dipantulkan dari permukaan bumi dalam terlihat, dekat inframerah, dan pendek panjang gelombang inframerah. Dari data ini, gambar stereoskopik dapat dibuat.
- b) SAR dan OPS Recorder dan Transmitter yang memiliki perekam pita digital densitas tinggi untuk data observasi bumi.



Gambar 3.7 Contoh Citra JERS-1



#### 4) ASTER

Program ASTER di bawah naungan *Earth Observing System* (EOS) bertujuan untuk melakukan observasi permukaan bumi untuk memantau kondisi lingkungan hidup secara global dan sumber daya alam. Sensor ASTER yang dikembangkan oleh Kementerian Ekonomi, Perdagangan, dan Industri (METI) Jepang, merupakan salah satu sensor yang terpasang dalam satelit Terra yang diluncurkan pada 18 Desember 1999.

Sensor ini terdiri atas *Visible and Near Infrared Radiometer* (VNIR), *Short Wavelength Infrared Radiometer* (SWIR), *Thermal Infrared Radiometer* (TIR), *Intersected Signal Processing Unit* dan *Master Power Unit*. VNIR digunakan untuk mendeteksi pantulan cahaya dari permukaan bumi dengan range dari spektrum visibel sampai inframerah (520–860 mikrometer) dengan 3 bands. SWIR digunakan untuk mendeteksi pantulan energi dari permukaan bumi dengan spektrum inframerah pada julat 1.6–2.43  $\mu\text{m}$ . Penggunaan radiometer ini memungkinkan menerapkan ASTER untuk identifikasi jenis batuan dan mineral, serta untuk monitoring bencana alam seperti monitoring gunung berapi yang masih aktif. TIR adalah untuk observasi radiasi infra merah termal (800–1.200  $\mu\text{m}$ ) dari permukaan bumi dengan menggunakan 5 bands. Band ini dapat digunakan untuk memantau jenis tanah dan batuan di permukaan bumi. Sensor Infra merah multi-band pada satelit ini adalah pertama kali di dunia. Ukuran citra yang diperoleh adalah 60 km dengan resolusi spatial 90 meter.

Pemanfaatan citra ASTER antara lain untuk analisis geologi foto, analisis spektral, interpretasi sintetis, pembuatan peta dasar umum untuk pertambangan dan eksplorasi daerah pesisir, studi pemanasan global (*global warming*), monitoring area hidrologi, investigasi sumber daya alam, klasifikasi tumbuhan, monitoring

bencana alam. Kesemua aplikasi tersebut tidak memerlukan tingkat kedetailan informasi yang rinci, sehingga citra Aster mampu memenuhinya. Contoh citra Aster dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Contoh Citra SWIR Aster

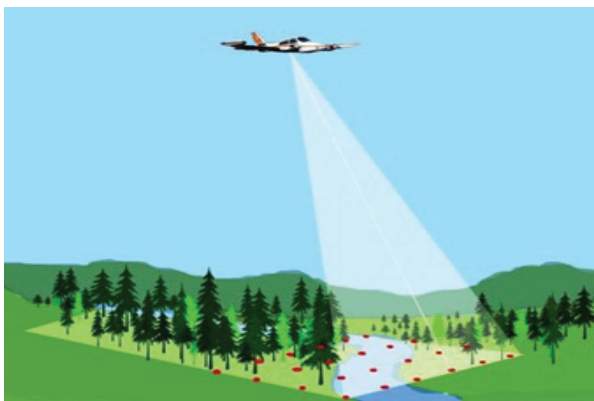
#### 5) Citra Satelit ALOS (Advanced Land Observing Satellite)

ALOS didesain untuk dapat beroperasi selama 3–5 tahun, dengan membawa tiga sensor, yaitu *Panchromatic Remote Sensing Instrument for Stereo Mapping* (PRISM) dengan resolusi 2,5 m, *Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type-2* (AVNIR-2) resolusi 10 m dan *Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar* (PALSAR) resolusi 10 m dan 100 m. Periode kunjungan ulang (*revisiting period*) dari satelit ALOS adalah 46 hari, tetapi untuk kepentingan pemantauan bencana alam atau kondisi darurat, satelit ALOS ini mampu melakukan observasi dalam waktu dua hari. Dari ketiga sensor tersebut, yang termasuk sensor aktif adalah PALSAR.

Sensor PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*) merupakan pengembangan dari sensor SAR yang dibawa oleh satelit JERS-1. Sensor ini merupakan sensor gelombang mikro aktif yang dapat melakukan observasi siang dan malam tanpa terpengaruh pada kondisi cuaca. Melalui salah satu mode observasinya, yaitu ScanSAR, sensor ini memungkinkan dapat melakukan pengamatan permukaan bumi dengan cakupan area yang cukup luas, yaitu 250–350 km.

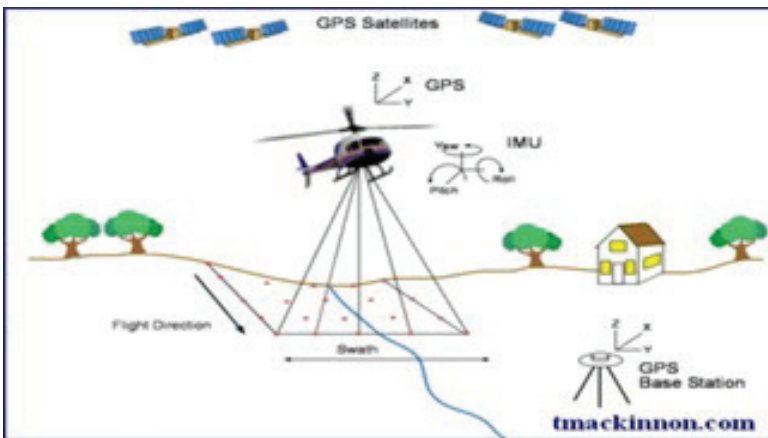
#### a) Lidar

Lidar (*Light Detection and Ranging*) adalah suatu teknologi perekam jarak jauh optik yang mengukur properti cahaya yang tersebar untuk menemukan jarak dan/atau informasi lain dari target yang jauh. Metode untuk menentukan jarak menuju objek atau permukaan adalah dengan menggunakan pulsa laser. Sebagaimana teknologi radar yang menggunakan gelombang mikro, jarak menuju objek ditentukan dengan mengukur selang waktu antara transmisi pulsa dan deteksi sinyal yang dipancarkan.



Gambar 3.9 Proses perekaman permukaan bumi menggunakan Lidar

Lidar memanfaatkan GPS, INS, dan laser scanner dengan memanfaatkan wahana udara (pesawat terbang) dalam pelaksanaan perekamannya. Lidar juga menjadi salah satu metode penentuan posisi 3 dimensi yang hasil akhirnya adalah data points yang mempunyai nilai koordinat (X, Y, dan Z) pada sistem koordinat GPS (WGS 84) (lihat gambar 3.9), yang selanjutnya dapat diolah menjadi *Digital Terrain Model (DTM)*.



Gambar 3.10 Pengukuran tiga dimensi menggunakan laser

Akuisisi Lidar modern dimulai dengan sebuah "pesawat fotogrametri" dilengkapi dengan GPS Airborn (untuk lokasi sensor x, y, Z), IPU (Unit Pengukuran Inertial) (untuk mengukur orientasi sudut sensor sehubungan dengan tanah), pulsa berkecepatan tinggi (20.000 sampai 50.000 pulsa/det), jam yang sangat akurat, dukungan komputer *on board* yang besar, elektronik yang andal, dan penyimpanan data yang besar. Perencanaan penerbangan untuk akuisisi Lidar membutuhkan pertimbangan khusus. Penerbangan dilakukan dengan perencanaan penerbangan digital tanpa visibilitas tanah, seringkali di malam hari. Jalur penerbangan individu

direncanakan dengan tumpang tindih (*overlay*) yang memadai (30 sampai 50 persen) untuk memastikan bahwa kesenjangan data tidak terjadi di daerah terjal. Area dengan tutupan vegetasi yang lebat biasanya memerlukan medan pandang (IFOV) yang sempit sehingga sebagian besar pulsa lidar mengarah lurus ke bawah. Jarak antara titik sampling atau jarak pos berasal dari ketinggian dan kecepatan pesawat terbang, sudut pemindaian, dan tingkat pemindaian (Lillesand, et. al, 2007).

Teknologi LIDAR memiliki aplikasi dalam bidang arkeologi, geografi, geologi, geomorfologi, seismologi, dan atmosfer. Sebutan lain untuk LIDAR adalah ALSM (*Airborne Laser Swath Mapping*) dan altimetri laser. Di dunia militer, LIDAR sering disebut sebagai LADAR (*Laser Detection and Ranging*). Istilah *radar laser* kadang digunakan tetapi tidak berkaitan dengan radar sebenarnya, karena radar menggunakan gelombang mikro. LADAR atau secara lengkap disebut sebagai Flash Ladar menggunakan serat optik untuk memetakan atau mendeteksi musuh yang tidak terlihat oleh mata.



Gambar 3.11 Contoh Citra LIDAR daerah perkotaan

Kelebihan citra non-foto adalah:

1. Data hasil penyiaman citra non-foto dapat dikirim ke bumi secara elektronik, tidak memerlukan persediaan film pada wahana yang harus dikirim.
2. Mampu menyajikan gambaran permukaan bumi secara lebih luas, karena cakupan luas.
3. Mampu menyajikan kenampakan yang tidak dapat direkam dengan mata juga kenampakan yang tidak dapat direkam oleh kamera. Contohnya adalah merekam persebaran populasi hewan dengan memanfaatkan pancaran panas hewan. Citra inframerah termal dapat digunakan untuk berbagai keperluan yang sebenarnya mustahil dilakukan dengan mata biasa atau citra lain. Begitu ekstrordinarinya sistem ini sehingga kalangan militer sangat sering memanfaatkannya, apalagi didukung oleh sensor multispektral sehingga citra satelit mampu menyajikan satu area dengan saluran yang berbeda-beda.
4. Resolusi temporalnya lebih tinggi. Data terbaru di permukaan bumi ini dapat diperoleh kapan saja sehingga kenampakan-kenampakan yang baru saja terjadi dapat diamati.
5. Proses perekaman dapat dilakukan siang dan malam karena pada beberapa sensornya tidak tergantung pada pantulan (karena spektrum yang digunakan bukan spektrum tampak atau pantulan).
6. Pemanfaatan gelombang mikro dengan memanfaatkan teknologi radar tingkap sintetis atau *Side looking Aperture Radar* (SLAR) sebagai sensornya dan pendekatan multi-spektral memungkinkan penggunaan panjang gelombang

lebih panjang. Hal ini memberikan keuntungan besar pada terapan eksplorasi dan evaluasi sumber daya. Menurut Lillesand and Kiefer (1994), pada panjang gelombang yang sangat panjang kenampakan permukaan bumi menjadi tembus oleh sinyal radar dan mengakibatkan hasil balik yang diterima dari kenampakan bawah permukaan.





## BAB IV

# INTERPRETASI CITRA

### A. Definisi Interpretasi Citra

Interpretasi citra adalah perbuatan mengkaji foto udara dan atau citra dengan maksud untuk mengidentifikasi objek dan menilai arti penting objek tersebut (Estes dan Simonet, 1975 dalam Sutanto, 1994). Definisi tersebut mengandung elemen aktivitas, citra, dan identifikasi dan pemaknaan objek. Dari definisi tersebut dapat dimaknai bahwa untuk dapat mengidentifikasi dan memaknai arti penting suatu objek maka hanya orang-orang yang memahami objek-objek tersebut. Dengan kata lain, seorang ahli geomorfologi akan lebih mudah memahami objek-objek geomorfologi pada citra, seorang ahli kota dapat lebih mudah memahami dan menilai arti penting objek-objek terkait kota. Seorang ahli penginderaan jauh tidak dapat menjadi ahli geologi, tetapi seorang ahli geologi dapat menjadi ahli penginderaan jauh dalam bidang geologi.

Citra berisi catatan rinci tentang fitur di lapangan pada saat perekaman data. Seorang penafsir gambar secara sistematis memeriksa citra dan menggunakan bahan pendukung lainnya seperti peta dan laporan lapangan. Berdasarkan penelitian ini, interpretasi dibuat sebagai dengan sifat fisik benda dan fenomena yang

muncul dalam gambar. Interpretasi terjadi pada sejumlah tingkat kompleksitas, dari pengenalan sederhana benda-benda di permukaan bumi terhadap derivasi informasi rinci mengenai interaksi kompleks di antara permukaan bumi dan fitur bawah permukaan. Kesuksesan dalam interpretasi gambar bervariasi dengan pelatihan dan pengalaman penafsir, sifat objek atau fenomena yang ditafsirkan, dan kualitas citra yang digunakan. Umumnya, penafsir citra yang paling cakap memiliki kekuatan pengamatan yang tinggi ditambah dengan imajinasi dan kesabaran (Lillesand, et. al, 2007).

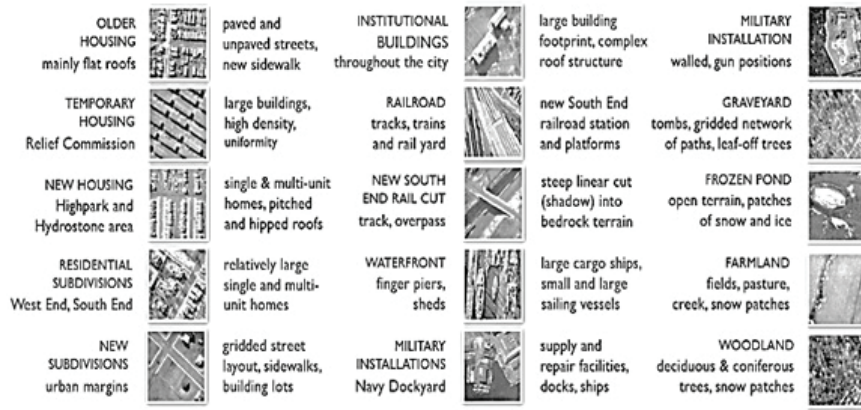
## B. Kunci-kunci Interpretasi

Proses interpretasi citra seringkali dapat didukung oleh penggunaan kunci interpretasi citra (*image interpretation key*). Kunci tersebut dapat menjadi alat bantu pelatihan yang berharga bagi para penafsir pemula dan memberikan bahan referensi yang berguna bagi penafsir yang berpengalaman. Kunci interpretasi citra membantu penafsir mengevaluasi informasi yang disajikan pada citra secara teratur dan konsisten. Kunci dapat menjadi panduan untuk identifikasi fitur atau kondisi citra secara benar. Idealnya, sebuah kunci terdiri atas dua bagian dasar: (1) kumpulan citra atau potongan citra beranotasi atau citra yang telah diberi keterangan (lebih disukai stereopairs) berupa ilustrasi dari fitur atau kondisi yang akan diidentifikasi dan (2) deskripsi grafis atau kata secara sistematis. karakteristik pengenalan citra dari fitur atau kondisi tersebut (Lillesand et. al., 2007). Ada dua jenis kunci interpretasi citra secara umum, dibedakan dengan metode penyajian fitur yang dikaji. Kunci selektif berisi banyak contoh citra dengan teks pendukung. Penafsir memilih contoh yang hampir menyerupai fitur atau kondisi yang ditemukan pada citra yang diteliti.

Kunci eliminasi disusun sedemikian rupa sehingga interpretasi berjalan selangkah demi selangkah dari hal yang bersifat umum ke yang spesifik dan mengarah pada penghapusan semua fitur atau kondisi kecuali yang diidentifikasi. Kunci penghilangannya sering mengambil bentuk kunci dikotomi di mana penafsir membuat serangkaian pilihan antara dua alternatif dan secara progresif menghilangkan semua kecuali satu jawaban yang mungkin. Penggunaan kunci eliminasi dapat menghasilkan jawaban yang lebih positif daripada kunci selektif namun dapat menghasilkan jawaban yang salah jika penafsir dipaksa membuat pilihan yang tidak pasti antara dua karakteristik citra yang tidak biasa. Sebagai contoh, jika penafsir diharuskan mengelimasi dua alternatif pilihan antara kelapa sawit dan sagu. Jika pilihan penafsir salah, maka hasil interpretasinya salah.

Menurut Lillesand, et. al (2007), sebagai suatu generalisasi, kunci interpretasi lebih mudah dibangun dan lebih andal digunakan untuk tujuan identifikasi fitur budaya (rumah, jembatan, jalan, menara air) daripada untuk identifikasi vegetasi atau bentuk lahan. Beberapa kunci berhasil digunakan untuk identifikasi tanaman pertanian dan identifikasi spesies pohon. Kunci semacam itu biasanya dikembangkan dan digunakan dengan basis wilayah per wilayah dan musim demi musim karena tampilan vegetasi dapat sangat bervariasi sesuai dengan lokasi dan musim.

Sutanto (1994) membagi kunci interpretasi menjadi beberapa kategori berdasarkan aspek tertentu. Kunci interpretasi dapat berupa objek secara individual maupun berupa kumpulannya. Dalam hal ini kunci interpretasi dikategorikan menjadi kunci interpretasi atas dasar lingkup dan atas dasar lainnya. Berdasarkan lingkungannya, kunci interpretasi dibedakan menjadi empat macam: kunci individual, kunci subjek, kunci regional, dan kunci analog.



Gambar 4.1 Contoh kunci interpretasi untuk kajian penggunaan lahan wilayah urban (Werle, 2016)

Kunci individual (*item key*), adalah kunci interpretasi citra yang digunakan untuk objek atau kondisi individual, misal objek bangunan. Kunci subjek (*subject key*) adalah kunci interpretasi citra yang digunakan untuk identifikasi objek-objek atau kondisi penting dalam suatu subjek/kategori tertentu, misalnya bangunan perkantoran, bangunan perumahan. Kunci Regional (*regional key*) adalah himpunan kunci individu atau kunci subjek untuk identifikasi objek-objek atau wilayah tertentu, contohnya objek urban, objek daerah aliran sungai, objek area terdampak banjir. Kunci analog (*analogue key*), adalah kunci subjek atau kunci regional suatu daerah yang tidak terjangkau secara terestrial, tetapi dipersiapkan untuk daerah lain yang serupa. Misalnya hasil interpretasi objek-objek terdampak erupsi di sekitar Gunungapi Merapi digunakan untuk interpretasi daerah terdampak erupsi di sekitar Gunung Sinabung. Cara yang demikian ini meskipun boleh dilakukan tetapi tidak dianjurkan dilakukan kecuali hanya untuk keadaan darurat.

Kunci interpretasi atas dasar lainnya, yakni atas dasar karakter dasar atau karakteristik intrinsiknya. Berdasarkan karakter instrinsik tersebut, kunci interpretasi dibedakan menjadi dua: kunci langsung (*direct key*) dan kunci asosiatif (*associative key*). Kunci langsung adalah kunci interpretasi yang disiapkan untuk objek atau kondisi yang tampak langsung. Misalnya bentuk lahan, pola aliran permukaan. Kunci asosiatif, adalah kunci interpretasi yang digunakan untuk deduksi informasi yang tidak tampak langsung pada citra, misalnya kepadatan penduduk, potensi air tanah, situs arkeologi, dan lain-lain. Untuk kunci tak langsung ini seorang penafsir membutuhkan kemampuan dalam bidangnya dan pengalaman yang cukup, mengingat ekstraksi data dengan kunci tak langsung ini memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi.

Tabel 4.1 Contoh Kunci Interpretasi Citra Landsat

	Band 4	Band 5	Band 6	Band 7	457 (BHM)	457 (MHB)
Salju	Putih murni	Putih murni	Putih murni	Putih murni	Putih murni	Putih murni
Awan	Putih	Putih	-	-	Putih	Putih
Kabut	Abu-abu gelap	Hitam	Putih	Putih	Merah	Abu-abu
Hutan	Abu-abu gelap	Hitam	Putih	Putih	Merah	Hijau
Rumput	Abu-abu	Abu-abu gelap	Putih	Putih	Pink	Kuning brendi
Lahan kosong	Abu-abu	Putih	Putih	Putih	Putih	Putih
Lahan basah	Abu-abu	Putih	Abu-abu	Abu-abu gelap	Biru muda	Ungu kemerahan

	Band 4	Band 5	Band 6	Band 7	457 (BHM)	457 (MHB)
Kota	Abu-abu	Putih	Abu-abu	Abu-abu gelap	Biru muda	Ungu kemerahan
Air	Abu-abu gelap	Hitam	Hitam	Hitam	Biru	Ungu kebiruan
Bayangan	Hitam	Hitam	Hitam	Hitam	Hitam	Hitam

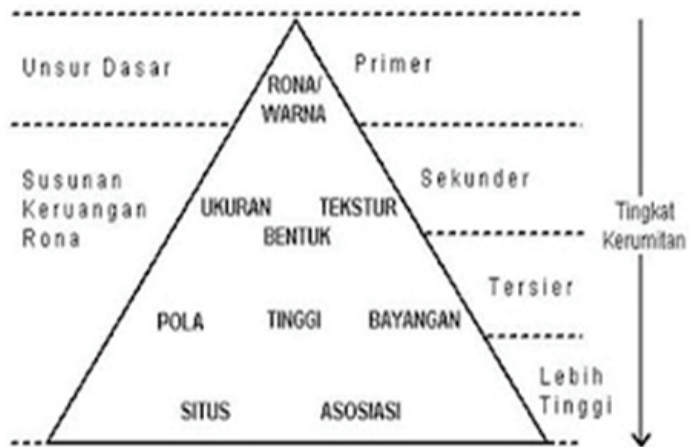
Sumber: <http://wtlab.iis.utokyo.ac.jp/~wataru/lecture/rsgis/rsnote/cp7>

### C. Unsur-unsur Interpretasi Citra

Menurut Sutanto (1994) untuk memudahkan interpretasi objek yang tergambar pada citra memerlukan pemahaman tentang karakteristik atau atribut objek pada citra. Karakteristik objek yang tergambar pada citra dan digunakan untuk mengenali objek disebut unsur interpretasi citra. Adapun unsur-unsur interpretasi citra mencakup sembilan aspek, yakni rona/warna, bentuk, ukuran, tekstur, pola, tinggi, bayangan, situs, asosiasi.

Sutanto (1994) menambahkan satu unsur, yakni konvergensi bukti. Unsur-unsur interpretasi ini dapat digunakan secara individual maupun secara bersama-sama. Ada objek tertentu pada citra yang dapat diinterpretasi hanya dengan dua atau tiga unsur interpretasi, tetapi ada pula objek yang memerlukan semua unsur interpretasi digunakan. Semakin sulit suatu objek diinterpretasi, maka semakin banyak unsur interpretasi yang digunakan.

Kesembilan unsur tersebut oleh Estes, et.al (dalam Sutanto, 1994) diklasifikasikan berdasarkan tingkat kerumitannya menjadi unsur primer, sekunder, tersier, dan lebih tinggi. Hierarki tingkat kerumitan unsur interpretasi diilustrasikan oleh gambar 4.2 berikut ini.



Gambar 4.2 Susunan hierarki unsur interpretasi  
(Estes et.al., 1983 dalam Sutanto, 1994)

Untuk dapat lebih memahami unsur-unsur tersebut, perhatikan penjelasannya berikut ini.

### 1. Rona dan Warna

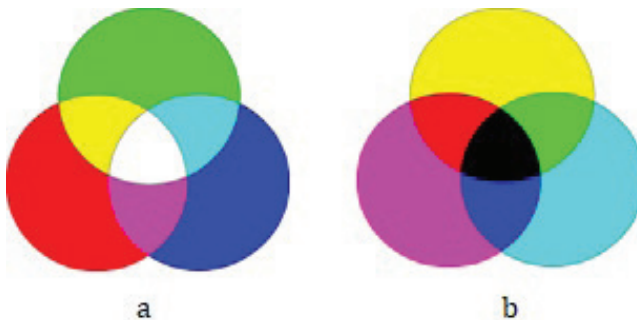
Rona adalah tingkat kecerahan (kegelapan) suatu objek yang terdapat pada citra. Rona dalam penginderaan jauh sistem fotografik terutama ditentukan oleh nilai pantulan objek.

Karakteristik objek yang mempengaruhi rona:

- a. Permukaan kasar akan cenderung menimbulkan rona gelap pada foto karena sinar yang datang mengalami hamburan hingga mengurangi sinar yang dipantulkan.
- b. Warna objek yang gelap/lembab cenderung menimbulkan rona gelap.
- c. Objek yang basah cenderung menimbulkan rona yang gelap karena air bersifat menyerap gelombang elektromagnetik.

Air termasuk benda yang menyerap gelombang elektromagnetik, tetapi sangat sedikit memantulkan kembali pada seluruh band/spektrum. Pada citra hitam putih, objek air tampak gelap pekat sampai sedikit terang (terpengaruh tingkat kejernihan dan kedalaman) dan pada citra berwarna tingkat kegelapannya menyesuaikan dengan warnanya. Contohnya, tanaman di sawah tampak hijau, tetapi karena banyak mengandung air maka sawah tampak hijau gelap. Rona pada sawah yang berair akan tampak gelap dari pada sawah yang tidak berair akan tampak lebih terang.

Warna merupakan unsur dasar/primer dan non spasial (tidak menunjukkan tempat) yang mudah dipahami. Warna ialah wujud yang tampak oleh mata dengan menggunakan spektrum sempit, lebih sempit dari spektrum tampak. Spektrum tampak terdiri atas band biru, hijau, dan merah. Biru memiliki lebar spektrum (0,4-0,5)  $\mu\text{m}$ , hijau (0,5-0,6)  $\mu\text{m}$ , dan merah (0,6-0,7)  $\mu\text{m}$  tetapi warna dapat hanya pada pada spektrum 0,40-0,41  $\mu\text{m}$ . Contohnya, objek tampak biru muda, hijau tua atau merah muda, dan lain-lain. Jika objek menyerap sinar biru, maka ia akan memantulkan warna hijau dan merah, akibatnya objek akan tampak dengan warna kuning. Perhatikan gambar 4.3 yang menyajikan pola warna berikut ini:



Gambar 4.3 Komposisi warna aditif (a) dan warna substraktif (b)



Estes, et.al (1983) menyatakan bahwa mata manusia dapat membedakan 200 rona dan 20.000 warna. Pernyataan ini menunjukkan bahwa pembedaan objek pada foto udara berwarna lebih mudah bila dibanding dengan pembedaan objek pada foto udara hitam putih. Warna pada citra berwarna (misalnya Citra Quick-bird asli) menunjukkan kesesuaian dengan keadaan warna yang sebenarnya.

## 2. Bentuk

Bentuk mencerminkan konfigurasi atau kerangka objek, baik bentuk umum (*shape*) maupun bentuk rinci (*form*) untuk mempermudah pengenalan data. Bentuk merupakan variabel kuantitatif yang memberikan konfigurasi atau kerangka suatu objek (Lo, 1976), bentuk menjadi atribut yang jelas, sehingga dengan bentuknya saja dapat dikenali objeknya. Misalnya gedung sekolah umumnya bentuknya I, L, U atau empat persegi panjang, gunung berapi dapat dikenali dari bentuknya yang kerucut, sungai dapat dikenali dengan bentuknya yang berkelok-kelok.



Gambar 4.4 Citra yang menampilkan bentuk gedung perkantoran dan gunung

### 3. Ukuran

Termasuk dalam unsur ukuran adalah jarak, luas, volume, ketinggian tempat dan kemiringan. Ukuran objek pada citra merupakan fungsi skala, maka di dalam memanfaatkan ukuran sebagai unsur interpretasi citra harus selalu diingat skalanya. Ukuran dapat mencirikan objek sehingga dapat dijadikan sebagai ciri pembeda dengan objek lainnya.

Contoh pengenalan objek berdasarkan ukuran:

- ▶ Ukuran rumah sering mencirikan apakah rumah itu rumah mukim, kantor, atau industri. Rumah mukim umumnya lebih kecil bila dibanding dengan kantor atau industri.
- ▶ Lapangan sepak bola di samping dicirikan oleh bentuk segi empat, juga dicirikan oleh ukurannya sekitar 100 m x 80 m dan sekitar 30 m x 15 m bagi lapangan tenis. Maka pada foto udara skala 1:10.000, lapangan sepak bola berukuran 10 mm x 8 mm dan lapangan tenis 3 mm x 1,5 mm.



Gambar 4.5 Ukuran objek pada citra

- a. Dilihat dari ukurannya lahan terbuka pada citra di atas ini merupakan lapangan olahraga, karena ukurannya yang besar.
- b. Ukuran pabrik dapat dikenali dengan ukurannya yang lebih besar dari pada permukiman yang relatif kecil-kecil. Pabrik biasanya juga dapat dikenali dengan warnan atapnya yang abu-abu sampai putih, karena atap yang biasanya terbuat dari bahan logam.

#### 4. Tekstur

Tekstur adalah frekuensi perubahan rona pada citra (Lillesand, Kiefer, Chipman, 2006) atau pengulangan rona kelompok objek yang terlalu kecil untuk dibedakan secara individual (Estes dan Simonett, 1975). Tekstur sering dinyatakan dengan tingkat kekasaran (kasar, halus) suatu objek. Tekstur dibedakan menjadi tiga tingkatan yaitu tekstur halus, sedang dan kasar. Tingkat kekasaran objek pada citra ditentukan oleh kerapatan objek, ketinggian, dan homogenitas objek. Objek yang rapat, ketinggian rendah, dan homogen akan tampak halus. Pengenalan objek berdasarkan tekstur misalnya: hutan bertekstur kasar dibandingkan dengan semak belukar yang bertekstur sedang dan rerumputan yang bertekstur halus. Tanaman yang rapat bertekstur lebih halus dibanding tanaman yang jarang (perhatikan gambar 4.6). Permukaan air yang tenang bertekstur halus dibanding air yang beriak.



Gambar 4.6 Tekstur objek pada citra Quick Bird  
(A: tekstur halus, B: tekstur kasar)

## 5. Pola

Pola bersama dengan unsur tinggi, dan bayangan dikelompokkan ke dalam tingkat kerumitan tertier. Tingkat kerumitannya setingkat lebih tinggi dari tingkat kerumitan bentuk, ukuran, dan tekstur sebagai unsur interpretasi citra. Pola adalah kecenderungan bentuk suatu objek, misal pola aliran sungai, jaringan jalan, dan pemukiman penduduk.



Gambar 4.7 Pola permukiman linier sungai (a),  
pola lahan pertanian berteras (b)

## 6. Tinggi dan Kedalaman

Suatu objek dapat dikenali dari ketinggiannya, hal ini dapat diketahui secara baik pada foto udara berpasangan yang diamati menggunakan stereoskop. Objek-objek tersebut dapat dikenali dengan mudah berdasarkan ketinggian, apalagi pada pengamatan stereoskopis terjadi fenomena *vertical exaggeration* (pembengkakan ke atas), maka objek menjadi terkesan lebih tinggi dari aslinya. Objek gunung atau gedung tampak menjulang tinggi, sementara lembah, sungai, ngarai tampak berbeda secara kontras.

## 7. Bayangan

Bayangan bersifat menyembunyikan detail atau objek yang berada di daerah gelap. Objek yang berada di daerah gelap biasanya tidak terlihat atau hanya samar-samar. Meski demikian bayangan sering menjadi kunci penting pada pengenalan beberapa objek yang justru lebih tampak pada bayangannya. Perhatikan gambar berikut ini.



Gambar 4.8 Bayangan menara air (a) dan pohon yang melingkari gedung (b)

## 8. Situs

Merupakan tempat kedudukan suatu objek terhadap objek lain di sekitarnya (Estes dan Simonett, 1975). Situs bukan merupakan ciri objek secara langsung, melainkan dalam kaitannya dengan lingkungan sekitarnya. Makna situs dalam hal ini adalah:

- a. Letak suatu objek terhadap objek lain di sekitarnya.
- b. Letak objek terhadap bentang darat, misal situs objek di rawa, di puncak bukit yang kering, di sepanjang sungai dan sebagainya, yang oleh Van Zuidam disebut sebagai situs topografi. Situs ini berupa unit terkecil dalam suatu sistem wilayah morfologi yang dipengaruhi oleh faktor seperti beda tinggi, kemiringan lereng, keterbukaan terhadap sinar matahari, keterbukaan terhadap angin, ketersediaan air permukaan dan air tanah.



Gambar 4.9 Lereng pegunungan sebagai situs bagi kebun teh

## 9. Asosiasi

Asosiasi adalah keterkaitan antara objek yang satu dengan objek yang lain. Karena adanya keterkaitan ini maka terlihatnya suatu objek pada citra sering merupakan petunjuk bagi adanya objek lain. Contoh: Gedung sekolah di samping berbentuk huruf I, L, U juga berasosiasi (ditandai) dengan adanya lapangan olahraga di sekitarnya. Lapangan sepak bola ditandai dengan adanya gawang dan bentuk yang persegi panjang maupun elips. Kolam renang ditandai dengan warna biru dan ditepinya terdapat payung istirahat. Sungai besar berasosiasi dengan dermaga atau kapal-kapal yang berlabuh.

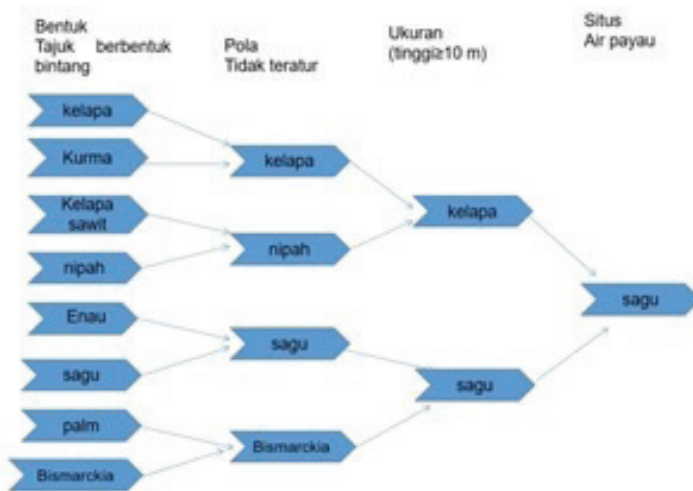


Gambar 4.10 Sungai yang berasosiasi dengan kapal kecil/perahu mesin

## 10. Konvergensi Bukti

Di dalam mengenali sebuah objek pada foto udara atau citra lainnya dianjurkan tidak hanya menggunakan satu unsur interpretasi citra, tetapi sebaiknya menggunakan unsur-unsur yang lainnya sekaligus. Semakin banyak jumlah unsur yang digunakan, semakin menciut lingkungannya ke arah titik simpul tertentu.

Sebagai upaya terakhir untuk interpretasi objek secara individual dapat dilakukan konvergensi bukti. Sutanto (1994) memasukkan konvergensi bukti ini sebagai tambahan untuk memudahkan cara mengenali suatu objek. Konvergensi bukti dilakukan seperti bagan kompetisi berikut (lihat gambar 4.11).



Sumber: Sutanto (1994) dengan modifikasi

Gambar 4.11 Cara melakukan interpretasi objek dengan konvergensi bukti

Sebagai catatan tambahan, perlu diketahui bahwa dalam hal penggunaan unsur interpretasi ini yang perlu diperhatikan adalah:

- Penggunaan unsur-unsur interpretasi tidak dapat hanya menggunakan satu unsur saja, semakin sulit objek untuk diinterpretasi, maka semakin banyak unsur-unsur interpretasi yang dilibatkan.
- Unsur-unsur interpretasi tersebut lebih tepat digunakan untuk menginterpretasi objek-objek secara individual (objek-objek pada foto udara dan citra resolusi sangat



tinggi). Untuk keperluan interpretasi objek yang bersifat area, blok atau poligon, sebagaimana objek-objek yang tergambar pada citra resolusi rendah-sedang (Landsat), penggunaan unsur-unsur interpretasi sulit dilakukan.

Cara menggunakan unsur-unsur interpretasi tersebut dapat dilakukan dengan menyusun tabel yang berisi deskripsi objek yang hendak diinterpretasi. Perhatikan contoh pada tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4.2 Contoh Penggunaan Unsur Interpretasi

Unsur	Terminologi	Contoh
Rona/warna	Gelap, terang, cerah	Biru gelap (air)
Tekstur	Halus, kasar	Kasar (daerah perkotaan), halus (rumput) – fungsi skala
Bentuk	Persegi panjang, elips, beraturan, tidak beraturan	Persegi panjang (tanaman pertanian)
Ukuran	Relatif atau absolut	Kecil/besar atau 100 x 200 m
Pola	Teratur, acak, menyerupai grid	Berulang linier (kebun teh)
Bayangan	Ada, tidak ada	Bayangan panjang menunjukkan objek yang tinggi
Situs/asosiasi	Deskripsi relasi spasial	Taman parkir luas yang berada di samping bangunan besar, kemungkinan menunjukkan pusat perbelanjaan daripada pabrik

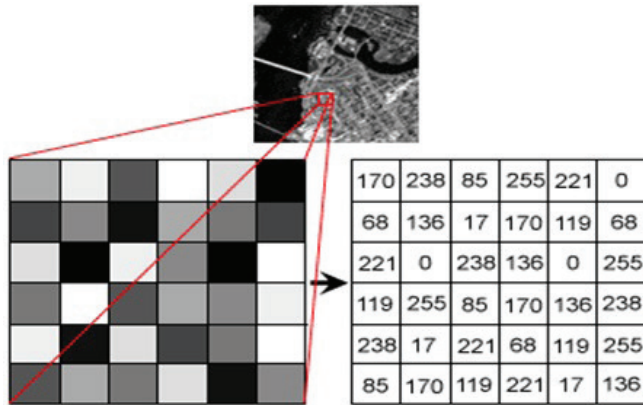
Di samping unsur interpretasi di atas, aspek yang harus digunakan untuk interpretasi citra digital dan bukan untuk objek

secara individual adalah dengan menggunakan pembacaan nilai spektral dan pola spektral. Pembacaan nilai spektral dapat dilakukan dengan menggunakan komputer dengan *software* tertentu. Pembacaan pola spektral dapat dipandu dengan memanfaatkan *spectral library*.

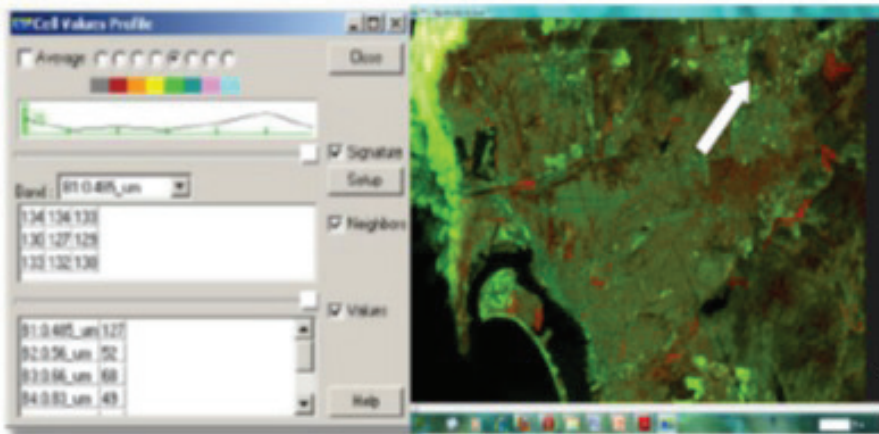
## 1. Nilai Spektral

Nilai spektral suatu objek pada citra digital penginderaan jauh dapat diketahui dengan menggunakan komputer yang telah diinstal program pemroses citra digital penginderaan jauh (program pengolah citra digital konvensional seperti Corel Draw, Adobe Photoshop, Paint Shop, dan sebagainya tidak dapat digunakan untuk menganalisis citra penginderaan jauh). Untuk mengetahui bagaimana gambaran nilai digital objek, perhatikan gambar 4.12.

Jika seorang pengolah citra digital membuka file citra, dan menghendaki untuk mengetahui nilai spektral suatu objek apa saja yang tampil pada layar monitor, maka akan tampil nilai digital spektral objek tersebut. Tentu saja dengan mengklik citra tidak serta merta keluar nilai digitalnya, tetapi dengan melalui beberapa langkah. Sebagai contoh pembacaan nilai digital suatu sel pada citra (*cell values*) ditunjukkan oleh gambar 4.12. Pada contoh tersebut digunakan perangkat lunak ERMapper, langkahnya: buka citra (*open file*), lalu setelah citra tampil di layar, pilih *edit data set* dari *tool bar*. Letakkan cursor pada RGB, gantilah band 321 menjadi 432. Dari menu *tool bar* pilih *view* lalu pilih *cell values*. Ubahlah kursor menjadi *pointer tools*, selanjutnya klik objek yang dikehendaki untuk diketahui nilai digitalnya, maka akan tampil pada layar sebagaimana terlihat pada gambar 4.13.



Gambar 4.12 Nilai digital suatu objek



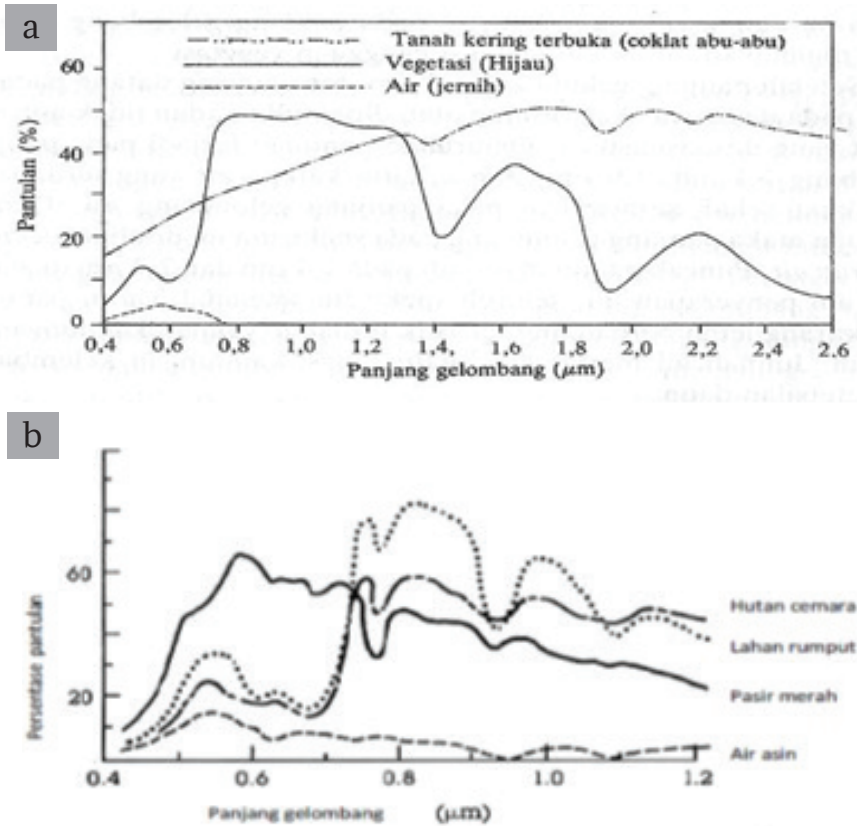
Gambar 4.13 Contoh pembacaan nilai digital suatu objek dengan menggunakan software ERMapper

## 2. Pola Spektral

Nilai spektral suatu objek pada masing-masing spektrum menunjukkan perbedaan atau persamaan, sehingga seorang penafsir citra harus cermat dalam membaca nilai spektral. Seorang penaf-

sir citra sebaiknya memiliki gambar pola spektral suatu objek sebagai alat bantu untuk mengidentifikasi suatu objek. Ada banyak gambar pola spektral yang sudah dibuat oleh para peneliti. Untuk membantu menafsirkan jenis vegetasi, penafsir memerlukan pola spektral vegetasi, untuk menafsirkan jenis batuan diperlukan pola spektral batuan, dan pola spektral lain sesuai dengan tujuan kajian. Sebagai contoh perhatikan nilai pantulan objek-objek pada gambar 4.14. Pada gambar tersebut seorang penafsir pemula dapat terbantu untuk mengidentifikasi objek berdasarkan nilai pantulannya pada setiap spektrum/band tertentu. Objek vegetasi pada spektrum tampak ( $0,4 \mu\text{m}$ - $0,7 \mu\text{m}$ ) memiliki nilai pantulan di bawah 15%, tetapi dari panjang gelombang  $0,7 \mu\text{m}$  ke arah spektrum infra merah (sampai  $1,3 \mu\text{m}$ ) nilai pantulan vegetasi mencapai rata-rata 50%, selebihnya ditransmisikan, karena serapan pada daerah spektral ini minimal. Hal ini terjadi karena pantulan vegetasi pada spektrum ini lebih dihasilkan oleh struktur internal daun. Struktur internal berbagai vegetasi yang berbeda-beda ini, maka seringkali pembacaan nilai pantulan vegetasi ini dapat digunakan untuk membedakan berbagai macam spesies tumbuhan (Lillesand, Kiefer, dan Chipman, 2006). Untuk keperluan pengolahan citra untuk tujuan tertentu seorang penafsir citra dapat memilih citra dari band tertentu yang memiliki perbedaan pantulan yang signifikan pada setiap band. Misalnya untuk menginterpretasi tanah kering dan vegetasi, hindari menggunakan band merah (sekitar  $0,7 \mu\text{m}$ ) dan inframerah dekat (sekitar band  $1,3 \mu\text{m}$ ), karena pada kedua band tersebut tampak kedua objek mempunyai nilai pantulan yang hampir sama, perhatikan gambar 4.14 a, terlihat bahwa kurva nilai pantulan kedua objek berhimpit. Kondisi yang sama tampak pada gambar 4.14 b, objek rumput dan hutan cemara pada band merah tampak berhimpit.

Dengan demikian, untuk keperluan interpretasi tanah kering, rumput, dan hutan pinus, hindari band merah, hindari band merah.



Gambar 4.14 Curve Pantulan/Pola Spektral beberapa objek (Sumber: Lillesand, Kiefer, and Chipman, 2007)

Pemanfaatan curve pantulan tersebut untuk membantu interpretasi citra digital sangat perlu sebagai pemandu. Amati gambar 3.24, sebagai contoh, untuk membedakan objek tanah kering dengan vegetasi, hindari menggunakan ujung band merah (0,7  $\mu\text{m}$ ) dan inframerah (1,3  $\mu\text{m}$ ) karena pada kedua band tersebut vegetasi

dan tanah kering mempunyai nilai pantulan spektral yang hampir sama, sehingga kedua objek pada citra sulit dibedakan.

Curve pantulan tersebut dapat pula digunakan untuk membantu pengenalan objek berdasarkan perbandingan nilai pantulan dengan objek lain, meskipun kenyataan di lapangan tidak selalu demikian. Sebagai contoh (mengacu ke gambar 3.24b), bila suatu objek pada citra hasil rekaman band hijau diklik dan menunjukkan nilai pantulan antara 20-22%, lebih tinggi dari air asin tetapi sedikit lebih rendah dari nilai pantulan lahan rumput dan jauh lebih rendah dari pasir merah), maka patut diduga bahwa objek tersebut berupa hutan cemara.

Curve pola spektral di atas hanyalah sedikit contoh dari berbagai pola spektral objek-objek. Banyak sekali pola spektral yang dapat dimanfaatkan untuk memandu interpretasi citra. Misalnya curve spektral vegetasi, curve spektral batuan, curve spektral air, dan lain-lain. Sekumpulan curva-curve tersebut terangkum dalam suatu kompilasi yang disebut *spectral library*. Kurva pola spektral ini dapat dipasang di dinding-dinding laboratorium pengolahan citra digital penginderaan jauh, sehingga dapat memudahkan pekerjaan interpretasi citra.

## D. Interpretasi Visual dan Digital

Interpretasi objek-objek yang tergambar pada citra secara visual dilakukan baik dengan bantuan alat maupun tanpa alat. Interpretasi secara visual dilakukan dengan mengandalkan kemampuan visual mata dengan bantuan alat-alat manual. Alat-alat manual tersebut dapat dibagi menjadi dua, yakni *alat non stereoskopik* dan *alat stereoskopik*. Alat non stereoskopik antara lain: lensa pembesar (loupe), meja sinar, proyektor. Alat-alat stereoskopik

contohnya adalah stereoskop lensa (saku), stereoskop cermin (meja), stereoskopik mikroskopik, stereoskop geoscope. Akurasi hasil interpretasi sangat ditentukan oleh kemampuan penafsir dalam mengenali objek. Interpretasi objek dilakukan dengan mendelineasi objek-objek pada citra. Pengetahuan mengenai *landscape* wilayah yang diinterpretasi, pemahaman karakteristik objek yang dikaji, dan kemampuan berpikir spasial sangat diperlukan oleh penafsir untuk menghasilkan hasil interpretasi yang akurat.

Interpretasi secara digital dilakukan pada citra digital (*soft-copy*). Interpretasi secara digital merupakan kegiatan untuk memperoleh informasi dari data citra digital dengan teknik-teknik analisis tertentu berbantuan komputer sehingga diperoleh makna tertentu. Teknik analisis ini telah berkembang pesat seiring dengan perkembangan teknologi komputer. Dalam hal kegiatan interpretasi citra secara digital ini kita dapat memilih berbagai perangkat lunak yang tersedia di pasaran, baik yang berbayar maupun yang disediakan secara bebas (*open source*).

Perangkat lunak yang tersedia bebas antara lain ILWIS, Quantum GIS, SNAP, INTERIMAGE (dapat diunduh dari website penyedia). Perangkat lunak berbayar seperti ENVI, ArcGIS, ERDAS ERMapper, IDRISI.

## E. Model Pembelajaran

Model pembelajaran yang memberi ruang kepada peserta didik untuk belajar menginterpretasi citra adalah metode demonstrasi, proyek, praktikum, dan *problem solving*. Peserta didik pada awalnya ditunjukkan demonstrasi mengenai tata cara menginterpretasi baik secara visual maupun digital. Kemudian peserta didik diminta untuk mempelajari modul baik secara individual

maupun kelompok. Peserta didik diminta untuk mengidentifikasi hal-hal yang belum dipahami dari modul.

Pendidik menginventarisasi hal-hal yang ditanyakan oleh peserta didik, selanjutnya pendidik menjelaskan atau menegaskan semua yang ditanyakan oleh peserta didik. Selanjutnya pendidik memberikan tugas atau permasalahan tertentu untuk diperoleh jawabannya, dapat berupa tugas menginterpretasi, tugas membandingkan kelebihan dan kekurangan antarperangkat lunak yang tersedia, menilai kesesuaian hasil interpretasi.



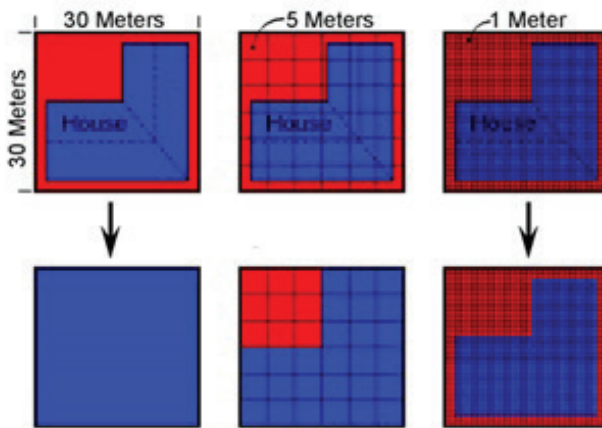
# BAB V

## RESOLUSI CITRA DAN IMPLEMENTASI

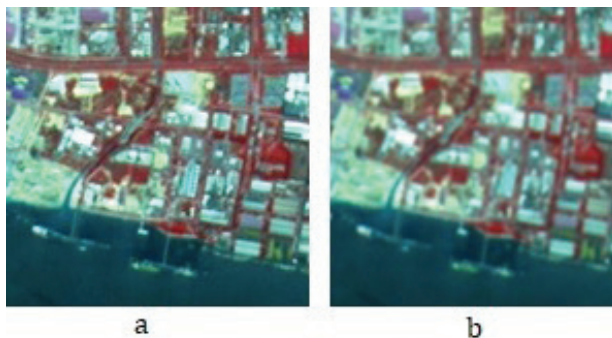
Data penginderaan jauh memiliki karakteristik berupa resolusi. Ada 4 macam resolusi yang biasa digunakan sebagai parameter sensor: *resolusi spasial*, *resolusi spektral*, *resolusi radiometrik*, dan *resolusi temporal*. Keempat resolusi tersebut memiliki karakteristik tertentu yang dapat digunakan untuk keperluan penyajian informasi.

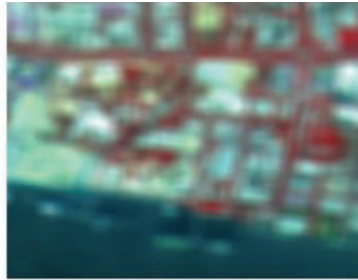
Resolusi spasial didefinisikan sebagai ukuran objek terkecil yang masih dapat dideteksi oleh sistem pencitraan (Danoedoro, 2012). Semakin kecil ukuran yang dapat terdeteksi, disajikan, dibedakan, dan dikenali pada citra, semakin halus atau tinggi resolusi spasial citra. Misalnya, resolusi spasial citra SPOT 10 m, artinya objek terkecil yang dapat dibedakan dan dikenali secara individual adalah objek yang berukuran 10 m x 10 m. Resolusi spasial citra SPOT sebesar 10 meter dapat dinyatakan lebih besar daripada citra Landsat yang memiliki resolusi spasial 30 meter. Resolusi spasial berpengaruh terhadap tingkat kerincian objek yang tergambar pada citra. Tingkat kerincian berpengaruh terhadap jumlah informasi yang bisa disadap, misalnya pada citra SPOT sebuah rumah tipe 120 dapat dikenali, tetapi pada citra Landsat rumah tersebut tidak dapat dikenali. Jumlah informasi menentukan *output* yang diperoleh.

Citra dibuat dengan resolusi spasial yang berbeda-beda karena masing-masing memiliki tujuan yang berbeda. Kualitas citra tidak dapat dinilai dari tingginya resolusi spasial. Citra Landsat yang memiliki resolusi spasial 30 meter tidak berarti lebih buruk dari citra Quickbird yang memiliki resolusi spasial 0,63 meter. Sebagai bukti, jika seseorang peneliti hendak membuat peta bentuk lahan, maka penggunaan citra Quickbird sangat tidak tepat, karena bentuk lahan tidak dapat disajikan secara cepat pada lembar citra.



Gambar 5.1 Ilustrasi resolusi spasial citra yang menggambarkan objek rumah pada citra dengan resolusi spasial 30 meter, 5 meter, dan 1 meter





c

Gambar 5.2 Kenampakan objek yang sama pada citra berbeda resolusi spasial



Gambar 5.3 Perbedaan tingkat kedetailan informasi pada citra yang berbeda resolusi spasial

Implikasi dari penggunaan citra yang berbeda resolusi spasial adalah pada *output* peta yang dihasilkan. Contoh yang paling mudah dimengerti mengenai implikasi resolusi spasial terhadap hasil interpretasi adalah pada bidang penggunaan lahan/tutupan lahan. Penggunaan lahan/tutupan lahan memiliki klasifikasi yang jelas, sehingga kerincian klasifikasi penggunaan lahan harus menyesuaikan dengan tingkat kerincian citra.

Klasifikasi citra berdasarkan resolusi spasial:

- a. 0,4 – 4 m disebut citra bersolusi tinggi

Contoh: Citra satelit resolusi tinggi: GeoEye-1, WorldView-2, WorldView-1, QuickBird, IKONOS, FORMOSAT-2, and SPOT-5.

- b. 4 – 30 m disebut menengah (sedang)

Contoh citra satelit resolusi sedang/menengah: ASTER, LANDSAT 7 dan CBERS-2.

- c. 30 m hingga > 1000 m disebut beresolusi rendah

Contoh citra satelit beresolusi rendah: citra NOAA AVHRR, Terra MODIS dan Aqua MODIS

Menurut Wado R. Tobler, cara untuk mengetahui skala optimum yang dihasilkan oleh suatu citra dengan resolusi spasial tertentu adalah dengan cara membagi bilangan penyebut skala peta dengan 1.000 (penggunaan angka 1.000 dimaksudkan agar terdeteksi dalam satuan meter) maka resolusi citra yang sepadan adalah setengah dari hasil pembagian tersebut. Contoh berapa besar resolusi citra yang secara efektif diperlukan untuk mendeteksi objek pada skala peta 1:50.000, maka sesuai aturan Tobler, resolusi citra yang diperlukan adalah 25 m. Angka ini diperoleh dari  $50.000 / (1.000 \times 2)$ .

Jika kita memiliki data citra satelit beresolusi 1 m, maka berapa besar skala peta yang optimum dihasilkan? Masih sesuai aturan Tobler, jawabnya adalah sebagai berikut:

Skala peta = Resolusi spasial citra (dalam meter) \* 2 \* 1.000

Skala peta =  $1 * 2 * 1.000 = 2.000$ , atau 1:2.000

Tabel 5.1 Klasifikasi Resolusi Citra dan Skala Peta Optimum yang Dihasilkan

<b>Resolusi (m)</b>	<b>Definisi</b>	<b>Skala Peta</b>
0.5 – 1	Sangat tinggi	1:1.000 – 1:10.000
1 – 4	Tinggi	1:10.000 – 1:15.000
4 – 12	Menengah	1:15.000 – 1:25.000
12 – 50	Menengah/Rendah	1:25.000 – 1:100.000
50 – 250	Rendah	1:100.000 – 1:500.000
>250	Sangat Rendah	< 1:500.000

Resolusi spasial yang sangat terkait dengan ukuran ini mengharuskan penafsir untuk memiliki kemampuan berpikir spasial, kemampuan mempersepsi, mengasosiasi, menalar suatu objek berdasarkan ukurannya. Pada berbagai kasus, pemilihan jenis citra untuk suatu tujuan tertentu, seorang peneliti tidak cermat, sehingga efektivitas citra menjadi rendah, karena banyak informasi yang terbuang atau tidak mencukupi. Sebaliknya citra multi resolusi spasial ini dapat digunakan sebagai media untuk pembelajaran yang bertujuan untuk meningkatkan kemampuan berpikir spasial.



Gambar 5.3 Tiga jenis citra berbeda resolusi yang menggambarkan objek/area yang sama

Keterangan:

- a. Citra LandsatETM+ mempunyai resolusi spasial kategori rendah, yakni 30 meter.
- b. Citra ATLAS mempunyai resolusi spasial dengan kategori menengah, yakni 10 meter.
- c. Citra Quickbird mempunyai resolusi spasial dalam kategori tinggi, yakni 2,4 meter (mode multispektral).

Kesetaraan resolusi spasial citra dengan skala (numerik) dapat dihitung dengan cara yang telah disebut di atas. Selanjutnya untuk mengetahui contoh-contoh citra dengan resolusi spasial tertentu dan kesepadannya dalam skala numerik dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Skala numerik peta, resolusi, dan contoh citra

Skala Peta	Terdeteksi dalam meter	Resolusi citra (m)	Citra satelit yang spadan dan resolusinya dalam meter <sup>+</sup>
1:1.000	1	0,5	QuickBird: p=0,6 WorldView-2: p=0,5 GeoEye-1: p=0,4
1:2000	2	1	Ikonos: p=1 GeoEye: m=1,65 WorldView-2: m=1,8
1:5.000	5	2,5	QuickBird: m=2,4 & 2,8 SPOT-5: p=2,5 - 5 Formosat-2: p=2 ALOS: p=2,5
1:10.000	10	5	SPOT-5: p=2,5-5 Ikonos: m=4
1:15.000	15	7,5	Formosat-2: m=8
1:25.000	25	12,5	SPOT-5: m=10 Landsat TM: p=15 ALOS: m=10 ASTER: VNIR=15
1:50.000	50	25	Landsat TM: m=30 ASTER: SWIR=30
1:100.000	100	50	Landsat TM: m=30

<sup>+) resolusi citra yang sepadan dan yang mendekati, p = pankromatik, m = multispektral</sup>

### Kegiatan

Berdasarkan gambar 5.3, Amatilah suatu objek permukiman, lahan pertanian, atau lahan terbangun lainnya pada 3 citra yang berbeda resolusi spasialnya. Dalam hal ukuran objek dan kedetailan objek, apa yang dapat Anda simpulkan?

Jika Anda diminta untuk membuat peta penggunaan lahan tingkat detail (level III-IV), citra apa yang akan Anda gunakan?

Jika Anda diminta untuk membuat peta penggunaan lahan tingkat makro (level I-II), citra apa yang akan Anda gunakan?

## B. Pengolahan Citra

Citra menyajikan berbagai nilai spektral yang merepresentasikan berbagai macam objek yang direkam oleh sistem sensor. Objek-objek tersebut tampak berbeda-beda pada citra karena memiliki interval nilai piksel yang berbeda-beda, dan perbedaan kesan pola spasial yang dihasilkannya (Danoedoro, 2012). Untuk keperluan aplikasi, perwujudan objek pada citra perlu diperjelas agar lebih ekspresif dan sesuai dengan tujuan aplikasi. Untuk keperluan berbagai macam aplikasi citra diperlukan pengolahan citra digital, sehingga diperoleh citra baru yang lebih berkualitas. Seorang penafsir citra dapat memahami citra yang akan digali informasinya dapat terbantu dengan melihat histogram citra tersebut, misalnya aspek kecerahan atau ketajamannya dan saluran yang digunakan. Ada beberapa macam langkah yang dilakukan untuk keperluan peningkatan kualitas citra tersebut, salah satu atau beberapa dapat dipakai tergantung pada tujuan dan kepentingan penafsir (Mather & Koch, 2012).

### 1. Pembuatan Citra Komposit (RGB=Red Green Blue)

Sebelum dilakukan interpretasi terhadap citra multispektral, baik secara manual maupun digital perlu dilakukan pengolahan citra yang berupa pembuatan citra komposit. Menurut Purwadhi & Sanjoto (2008), pembuatan citra komposit ini bermanfaat pula untuk menguji apakah posisi setiap citra telah sama, mengingat bahwa proses koreksi radiometrik dan geometrik setiap citra dilakukan secara sendiri-sendiri. Untuk mengatasinya, ketika hendak menyusun komposit citra multispektral perlu dilakukan registrasi dan *resampling*. Registrasi dilakukan agar posisi lokasi dari setiap piksel pada beberapa citra dapat saling sesuai. Beberapa citra



dapat diregistrasi dengan cara meregistrasi setiap citra dengan peta yang sama secara terpisah, atau citra dengan citra lain yang telah teregistrasi. Hal penting dari proses registrasi adalah penentuan jarak spasial (*spatial distance*) antara titik-titik pada citra dengan citra referensi atau peta dasar. Jarak spasial tersebut dapat berwujud jarak translasi (pergeseran), jarak rotasi (pemutaran), dan jarak skala. Menurut Purwadhi (2001) masalah lain yang terjadi pada citra digital adalah kondisi piksel dari semua citra yang akan diregistrasi tidak berada pada titik referensi yang sama, yang terjadi karena perbedaan sampling data dan titik referensi sampel. Jika terjadi keadaan tersebut, maka perlu dilakukan *re-sampling*. *Resampling* atau *fussy* citra merupakan suatu proses transformasi citra dengan cara memberikan nilai piksel citra terkoreksi. Registrasi beberapa citra menghasilkan citra yang memiliki piksel yang berada pada koordinat yang sama. Citra multi-spektral yang telah diregistrasi dapat ditampilkan dengan cara tumpang-susun (*overlay*), sehingga diperoleh citra komposit tiga saluran, misal citra komposit 123 atau 542, dan lain-lain.

## 2. Penajaman Citra

Penajaman citra meliputi semua operasi yang menghasilkan citra baru dengan kenampakan visual dan karakteristik spektral yang berbeda (Danoedoro, 2012). Penajaman citra (*image enhancement*) bertujuan untuk meningkatkan kualitas citra agar tampak lebih indah dan mudah dianalisis. Purwadhi & Sanjoto (2008) membagi teknik penajaman citra menjadi tiga, yakni penajaman kontras spektral, penajaman kenampakan secara spasial, dan penajaman multicitra.

Danoedoro (2012) menjelaskan algoritma penajaman kontras menjadi dua, yakni perentangan kontras (*contrast stretching*) dan

ekualisasi histogram (*histogram equalization*). Kekontrasan citra dapat dimanipulasi dengan cara merentangkan nilai kecerahan piksel. Citra asli yang memiliki julat nilai sempit (0-255) dapat direntang sehingga menjadi lebih lebar, hal ini akan tampak pada bentuk histogramnya. Perentangan kontras dapat dilakukan melalui beberapa cara, yakni dengan mengalikan citra, pengondisian, dan pemampatan kontras (*contrast compression*).

### 3. Pemfilteran Spasial

Pemfilteran spasial (*spatial filtering*), ada penulis yang menyebut langkah ini sebagai bagian dari teknik penajaman citra, sebagaimana perentangan kontras; adapula penulis yang menyebutnya sebagai operasi yang tersendiri (bukan hanya penajaman) (Danoedoro, 2012). Menurut Swain dan Davis (1978) sebagaimana dikutip Danoedoro (2012), pemfilteran merupakan mekanisme yang dapat mengubah sinyal-sinyal optis, elektronis, maupun digital, sesuai dengan kriteria tertentu. Pemfilteran adalah suatu cara untuk ekstraksi bagian data tertentu dari suatu himpunan data, dengan menghilangkan bagian-bagian data yang tidak diinginkan. Purwadhi (2001) menyebut operasi pemfilteran spasial ini sebagai operasi lokal, karena pengubahan nilai piksel dilakukan dengan mempertimbangkan nilai piksel sekelilingnya. Penggunaan filter berguna untuk mengurangi bising random yang disebabkan karena perubahan frekuensi nilai kecerahan. Ada beberapa filter digital, di antaranya filter frekuensi terdiri atas filter frekuensi tinggi (*high pass*) dan filter frekuensi rendah (*low pass*). Pemfilteran dapat dilakukan dengan tiga jenis metode, yakni filter konvolusi dengan jendela bergerak, filter mayoritas, dan filter tekstur (Danoedoro, 2012).

#### 4. Spektral Rasio Citra Multispektral (Band Rationing)

Citra rasio dibentuk dengan menghitung perbandingan nilai digital piksel (DN values) setiap saluran. Rasio tersebut dapat dihi-tung berdasarkan kondisi kenampakan, yakni kenampakan objek tanpa gangguan dan kenampakan objek yang memperoleh gangguan (tertutup kabut atau terkena bayangan objek lainnya) (Purwadhi, 2001). Perbandingan tersebut dapat dicontohkan dengan sesama objek yang berada pada tempat yang berbeda kondisinya. Misalnya, objek lahan pertanian yang berada di lahan terbuka dan lahan pertanian yang sebagian tertutup oleh perbukitan. Lahan pertanian terbuka dapat memperoleh penyinaran matahari secara penuh, sementara lahan pertanian yang sebagian tertutup oleh bukit tinggi tidak dapat sepenuhnya memperoleh penyinaran matahari sehingga pada citra keduanya memiliki nilai digital yang tidak sama.

Nilai rasio ( $DN'$ ) dihitung dari intensitas keabuan ( $DN_1$ ) objek lahan pertanian yang tidak tertutup bayangan bukit, dibagi intensitas keabuan ( $DN_2$ ) objek yang tertutup bukit. Penghitungan dengan model tersebut kadang mengalami kendala, jika  $DN_1=0$  atau kondisi  $DN_2$  lebih besar dari  $DN_1$ . Untuk mengatasinya, digunakan logaritma rasio dan *arcus tangen* (*arctan*), dengan rumus:

$$DN' = R \arctan (DN_A/DN_B)$$

**Keterangan:**

$DN'$  = nilai digital rasio citra keluaran

R = faktor skala rasio data kisaran panjang gelombang

$\arctan DN_A/DN_B$  = tangen sudut (radian) yang dibentuk oleh rasio nilai digital citra A dan B

## C. Strategi Interpretasi Citra

Citra satelit sebagaimana peta, penuh dengan informasi yang berguna dan menarik, dengan syarat penafsir memiliki kunci. Citra dapat menunjukkan kepada khalayak berapa banyak kota telah berubah, bagaimana lahan pertanian dan perkebunan tumbuh dengan baik, di mana ada kepadatan lalu lintas dan atau kapan banjir akan datang. Menurut Tim Earth Observatory NASA (2013) untuk dapat menyadap informasi yang kaya pada citra satelit, penafsir perlu menggunakan 5 strategi: (1) mengetahui skala, (2) mencari pola, bentuk, dan tekstur, (3) menentukan warna (termasuk bayangan), (4) menemukan arah utara, (5) mempertimbangkan pengetahuan sebelumnya. Strategi tersebut dapat membantu kita mendapatkan orientasi cukup untuk memperoleh informasi berharga dari citra satelit.

### 1. Mengetahui Skala

Salah satu hal utama yang orang lakukan ketika mereka ingin melihat sebuah citra satelit mengidentifikasi tempat-tempat yang akrab bagi mereka: rumah mereka, sekolah, atau tempat usaha; taman favorit atau daya tarik wisata; itu adalah fitur alam seperti danau, sungai, atau punggung gunung. Beberapa citra dari satelit militer atau komersial yang cukup detail untuk menunjukkan banyak hal. Satelit seperti *zoom in* pada daerah kecil untuk mengumpulkan rincian halus sampai ke skala rumah individu atau mobil. Resolusi citra menentukan apakah sebuah kota dapat tercakup pada satu grid citra satelit seluruh grid. Sebelum memulai untuk menafsirkan citra, hal ini membantu untuk mengetahui apa ukuran skala.

Penafsir citra dapat belajar hal-hal yang berbeda pada setiap

skala yang berbeda. Misalnya, ketika hendak dilakukan penilaian kualitas lingkungan permukiman, maka penafsir membutuhkan citra dengan resolusi spasial tinggi, karena data yang diperlukan, seperti ukuran bangunan, keteraturan bangunan, jenis atap, lebar jalan lingkungan, dan variabel lainnya hanya akan tampak pada citra yang memiliki resolusi spasial tinggi. Pada aspek lain dari permukiman, seperti pola distribusi spasial permukiman memerlukan citra dengan resolusi spasial menengah karena data yang diperlukan untuk keperluan analisis pola distribusi spasial adalah titik-titik rumah dalam ukuran kecil (tetapi masih dapat dikenali sebagai bangunan) sehingga dapat dilakukan analisis tetangga terdekat (*nearest neighborhood analysis*). Selanjutnya, ketika hendak melakukan analisis lahan untuk membedakan penggunaan lahan untuk permukiman dan non-permukiman pada wilayah yang luas diperlukan citra dengan resolusi spasial rendah. Untuk keperluan prediksi ancaman banjir pada lansekap yang luas, citra resolusi spasial rendah dapat menunjukkan bagian mana dari daerah atau wilayah permukiman yang riskan terhadap banjir. Sebuah pandangan yang luas akan menunjukkan seluruh wilayah-sistem sungai banjir atau pegunungan dan lembah yang mengendalikan aliran.

## 2. Mencari Pola, Bentuk, dan Tekstur

Teknik visual memanfaatkan kemampuan dari pikiran manusia untuk mengevaluasi secara kualitatif pola spasial dalam citra. Kemampuan untuk membuat penilaian subjektif berdasarkan elemen citra secara selektif sangat penting dalam banyak upaya penafsiran. Pola menunjukkan keteraturan susunan yang berulang mengikuti kekhasan tertentu. Pola berkaitan dengan tata ruang objek. Pengulangan tertentu bentuk umum atau hubungan yang khas dari banyak objek, baik alami dan dibangun, dan memberi-

kan benda pola yang membantu penafsir citra dalam mengenali objek. Misalnya, penataan pepohonan di area gedung perkantoran berbeda dengan tegakan pepohonan di hutan (Lillesand, Kiefer, and Chipman, 2006).

Manusia mempunyai kemampuan yang berbeda dalam mengenali pola suatu fenomena, khususnya fenomena alami yang polanya seringkali sulit dikenali. Kemampuan ini berguna dalam menafsirkan citra satelit karena pola khas dapat dicocokkan dengan peta eksternal untuk mengidentifikasi fitur kunci. Tubuh air-sungai, danau, dan lautan merupakan fitur sederhana untuk mengidentifikasi karena mereka cenderung memiliki bentuk yang unik dan mereka muncul pada peta. Pola lain yang tampak jelas tampak pada penggunaan lahan. Ketika orang menebang hutan, membuat jalan, atau membuat saluran air, biasanya berupa garis, sehingga garis lurus di mana saja pada citra hampir pasti buatan manusia.

Pemahaman tentang bentuk suatu objek pada citra sangat membantu penafsir untuk mengasosiasi objek sebenarnya. Geologi membentuk lanskap dengan cara yang sering lebih mudah untuk dikenali pada citra satelit. Gunung berapi dan kawah yang melingkar dan pegunungan cenderung memanjang mengikuti garis berlekuk dan kadang bergelombang. Jurang tampak ditunjukkan oleh garis berlekuk-lekuk yang dibingkai oleh bayangan. Gunung terlihat seperti keriput atau benjolan. Fitur-fitur ini juga dapat mempengaruhi awan dengan mempengaruhi aliran udara di atmosfer. Gunung yang menjulang ke atas, di mana semakin ke atas suhu semakin mendingin dan membentuk awan. Kepulauan di vortisitas berputar-putar membuat turbulensi. Ketika Anda melihat garis awan atau vortisitas, mereka dapat menjadi petunjuk tentang topografi tanah di bawah.

Tekstur adalah frekuensi perubahan tonal pada citra. Tekstur yang dihasilkan oleh agregasi unit fitur mungkin terlalu kecil untuk dilihat secara individual pada citra, seperti daun pohon dan bayangan daun. Tekstur merupakan produk kombinasi dari bentuk, ukuran, pola, bayangan, dan rona. Hal Ini menentukan

tampilan keseluruhan visual yang menghasilkan "kehalusan" atau "kekasaran" fitur citra. Semakin rendah skala citra, tekstur dari setiap objek tertentu atau daerah menjadi semakin halus dan akhirnya menghilang. Penafsir citra sering dapat membedakan antara fitur yang mempunyai pantulan yang sama berdasarkan perbedaan tekstur. Sebuah contoh tekstur halus rumput hijau kontras dengan tekstur kasar mahkota pohon hijau pada citra skala menengah (Lillesand, Kiefer, and Chipman, 2007).

Tekstur ialah bantuan penting dalam interpretasi citra visual, terutama untuk citra resolusi spasial tinggi. Contoh ditunjukkan di bawah ini. Hal ini juga memungkinkan untuk mengarakterisasi fitur tekstur numerik, dan algoritma untuk diskriminasi otomatis dibantu komputer tekstur yang berbeda digambar yang tersedia.

### 3. Tentukan Warna

Warna pada suatu citra tergantung pada jenis gelombang elektromagnetik yang tertangkap oleh sensor. Citra berwarna menggunakan spektrum visibel, yakni merah, hijau dan biru, sehingga warna-warna yang mirip dengan apa yang orang akan melihat dari ruang angkasa. Citra warna palsu menggabungkan cahaya inframerah dan dapat mengambil warna yang lainnya. Dalam citra true color, fitur umum mempunyai karakteristik sebagai berikut:

### a. Air

Air menyerap cahaya, sehingga biasanya berwarna hitam atau biru gelap. Hal ini mencerminkan cahaya dan warna sedimen air. Ketika pasir ditanggihkan atau lumpur padat, air tampak berwarna coklat. Air sebagai pengangkut sedimen, menyebabkan warnanya berubah-ubah, warna air menjadi hijau dan biru. Perairan dangkal dengan dasar berpasir dapat menyebabkan efek yang sama. Sinar matahari terpantul permukaan air membuat air terlihat abu-abu, perak, atau putih. Fenomena ini, dikenal sebagai *sunlint*. Gelombang elektromagnetik dapat mengenai fitur atau *slicks* minyak, tetapi juga menutupi keberadaan sedimen atau fitoplankton. Aiiir, salju dan es-putih, abu-abu, dan kadang-kadang sedikit biru. Puing-puing glasial, kotoran atau salju dan es dapat memberikan warna cokelat.

### b. Tanaman

Tanaman muncul dalam berbagai nuansa hijau, dan perbedaan-perbedaan muncul dalam tampilan yang benar—warna dari udara. Padang rumput cenderung berwarna hijau pucat, sementara hutan hijau sangat gelap. Tanah yang digunakan untuk pertanian sering lebih terang dalam hal rona daripada vegetasi alami. Di beberapa lokasi (latitude tinggi dan pertengahan), warna tanaman tergantung pada musim. Vegetasi musim semi cenderung lebih pucat dari padat vegetasi musim panas. Vegetasi gugur bisa tampak berwarna merah, oranye, kuning, dan cokelat; vegetasi musim dingin berdaun coklat dan layu. Untuk alasan ini, akan sangat membantu untuk mengetahui kapan citra itu diperoleh.

Di lautan, fitoplankton mengambang menyebabkan warna air di berbagai lokasi menjadi biru dan hijau. Vegetasi terendam



seperti hutan kelp dapat memberikan rona hitam atau cokelat gelap ke air pantai.

### c. Tanah Kosong

Tanah kosong (tumbuhan) biasanya beberapa warna cokelat cerah atau cokelat. Warna tergantung pada kandungan mineral dari tanah. Dalam beberapa kasus seperti gurun di Australia dan barat daya Amerika Serikat, bumi berwarna merah atau pink karena mengandung oksida besi. Ketika tanah putih atau sangat pucat, terutama di tepi danau yang kering. Puing-puing vulkanik berwarna coklat, abu-abu, atau hitam. Lahan yang baru juga dibakar berwarna cokelat gelap atau hitam, tapi perlahan memudar ke arah coklat sebelum menghilang dari waktu ke waktu.

### d. Kota

Daerah terbangun yang padat biasanya berwarna perak atau abu-abu dari konsentrasi beton dan bahan bangunan lainnya. Beberapa kota memiliki rona yang lebih cokelat atau merah tergantung pada bahan yang digunakan untuk atap.

Jika kita mengamati citra satelit, akan terlihat segala sesuatu yang berada di antara satelit dan bumi, seperti awan, debu, kabut, permukiman, tanah dalam satu bidang datar. Ini berarti bahwa bagian putih mungkin awan, tetapi juga bisa menjadi salju atau garam atau *sunglint*. Kombinasi secara kontekstual antara bentuk dan tekstur akan membantu penafsir untuk membedakan. Misalnya fr, bayangan dilemparkan oleh awan atau pegunungan dapat mudah untuk kesalahan untuk fitur permukaan gelap lainnya seperti air, hutan, tanah atau dibakar. Melihat citra lain dari daerah yang sama diambil di lain waktu dapat membantu menghilang-

kan kebingungan. Sebagian besar waktu, konteks akan membantu Anda melihat sumber bayangan awan atau gunung serta membandingkan bentuk bayangan untuk fitur lainnya pada citra.

#### 4. Menemukan Arah Utara

Ketika kita tersesat, cara paling sederhana untuk mencari tahu di mana posisi kita berada adalah dengan menemukan tengara yang mudah dikenal dan mengorientasikan diri sehubungan dengan tengara itu. Teknik yang sama berlaku bagi citra satelit. Jika penafsir mengetahui arah utara, kita bisa mencari tahu apakah suatu pegunungan berada pada posisi utara ke selatan atau timur ke barat, apakah sebuah kota di sisi timur sungai atau barat. Rincian ini dapat membantu penafsir untuk mencocokkan fitur dengan peta.

#### 5. Pertimbangkan Pengetahuan Sebelumnya

Pengetahuan lokal dalam pengkajian citra satelit memungkinkan penafsir untuk mengorelasikan apa yang tampak pada citra dengan apa yang terjadi dalam kehidupan sehari-hari. Pengetahuan lokal penafsir merupakan sarana yang paling valid untuk menafsirkan citra satelit setempat. Jika penafsir tahu bahwa api membakar suatu hutan pada tahun lalu, maka dengan mudah untuk diketahui bahwa bagian cokelat gelap hutan dapat dipastikan sebagai bekas kebakaran, bukan bekas aliran vulkanik atau lainnya (<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/ColorImage>).

Pentingnya pengetahuan sebelumnya antara lain dapat digunakan untuk menginterpretasi objek yang terpengaruh oleh musim. Sebagai contoh, pada suatu citra tergambar objek yang memiliki indeks vegetasi (NDVI) yang tinggi, tetapi pada rekaman berikut-

nya pada daerah yang sama tidak menunjukkan NDVI yang sama. Penafsir yang tidak memiliki pengetahuan mengenai daerah yang diinterpretasi (*local knowledge*) akan dibingungkan oleh fenomena tersebut dan dapat berkesimpulan bahwa di wilayah tersebut telah terjadi penggundulan hutan. Hal yang sebenarnya terjadi adalah kedua citra yang merekam daerah yang sama pada waktu yang berbeda tersebut menunjukkan pengaruh musim. Pada citra rekaman pertama menunjukkan hutan jati pada musim penghujan, sedangkan pada citra rekaman berikutnya menunjukkan hutan jati yang meranggas.



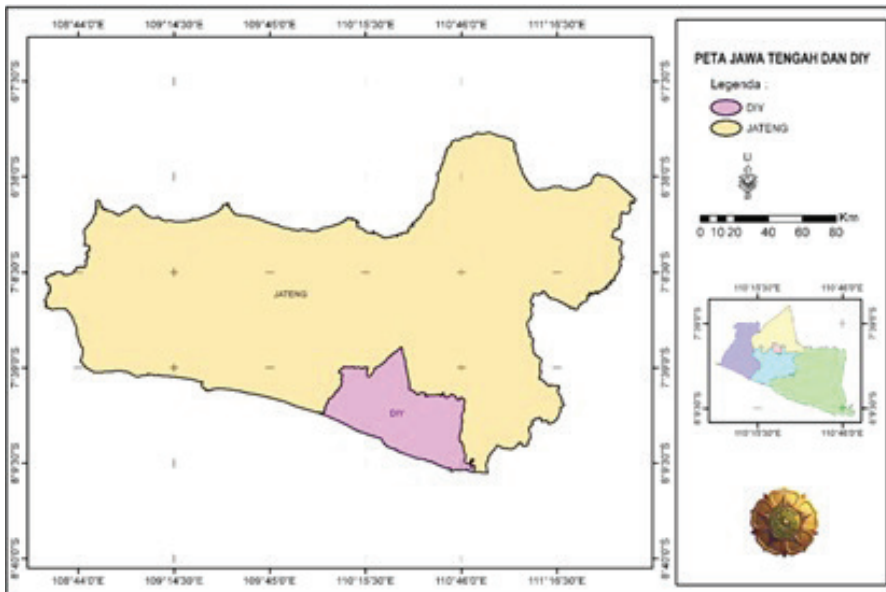
Gambar 5.4 Ilustrasi perbedaan resolusi spasial. Citra C paling detail dan citra A paling rendah resolusi spasialnya

Kegiatan:

1. Posisi citra pada gambar 5.4 belum mempunyai orientasi yang benar. Dengan bantuan peta, orientasikan citra sehingga mempunyai posisi yang benar!
2. Untuk menginterpretasi objek-objek pada citra, akan ditemui kesulitan-kesulitan. Menurut anda, objek di mana (tandai lingkaran) yang paling sulit diinterpretasi?
3. Strategi apa yang menurut anda paling tepat untuk menginterpretasi objek tersebut?
4. Tunjukkanlah dengan deliniasi, objek-objek berupa air, tanah, kosong, tanaman, dan permukiman.
5. Di antara objek-objek yang diminta untuk ditunjukkan (no. 4), manakah objek yang paling sulit diinterpretasi?
6. Strategi apa yang dapat anda gunakan untuk menginterpretasinya?



Gambar 5.6 Citra Landsat 321



Gambar 5.7 Peta buta Jawa Tengah dan DIY  
(Sumber: Fakultas Geografi UGM)

Strategi interpretasi citra dapat didefinisikan sebagai prosedur tertentu yang memungkinkan penafsir untuk menghubungkan pola geografis suatu objek di lapangan dengan kenampakan objek tersebut pada pada citra. Campbell (dalam Aronoff, 2005) telah mendefinisikan lima kategori strategi interpretasi citra sebagai berikut:

### 1. Observasi Lapangan

Observasi lapangan (*field observation*) diperlukan ketika hubungan antara citra dengan kondisi lapangan sangat sulit dipahami sehingga penafsir terpaksa harus pergi ke lapangan untuk melakukan identifikasi. Analisis tidak dapat menafsirkan citra berdasarkan pengetahuan dan pengalaman yang telah dimilikinya,

observasi lapangan dilakukan untuk memastikan hubungan antara lanskap dan kenampakannya pada citra. Observasi lapangan juga merupakan kegiatan rutin untuk menguji akurasi atau sarana sosialisasi wilayah tertentu. Observasi lapangan dalam kegiatan penginderaan jauh berbeda dengan observasi lapangan pada penelitian terestrial. Pada observasi lapangan sebagai rangkaian kegiatan penginderaan jauh hanya pada objek-objek yang dijadikan sebagai sampel untuk uji akurasi (bukan mengumpulkan data utama) serta untuk meyakinkan penafsir citra jika pengetahuan dan keterampilan tidak cukup untuk menginterpretasi suatu objek.

## 2. Rekognisi Langsung

Rekognisi langsung (*direct recognition*) adalah penerapan pengalaman, keterampilan, dan penilaian dari penafsir untuk mengasosiasikan pola citra dengan kelas informasi. Proses ini pada dasarnya kualitatif, analisis subjektif dari citra menggunakan unsur-unsur interpretasi citra sebagai petunjuk visual dan logis. Pengalaman sehari-hari merupakan rekognisi langsung yang dapat diterapkan secara intuitif; untuk analisis citra, itu harus menjadi proses yang ketat, yang melibatkan pemeriksaan sistematis sangat berhati-hati.

## 3. Interpretasi Berdasarkan Acuan

Interpretasi berdasarkan inferensi (*interpretation by inference*) adalah penggunaan distribusi objek yang tampak untuk memetakan suatu objek yang tidak terlihat secara langsung pada citra. Distribusi objek terlihat diposisikan sebagai pengganti (*proxy*), untuk pemetaan distribusi objek lain. Misalnya, untuk memetakan daerah-daerah yang berpotensi sebagai sumberdaya air atau

jebakan minyak bumi tidak dapat secara langsung diinterpretasi dari citra. Penerapan *proxy* secara tidak sempurna menghasilkan interpretasi yang tidak akurat.

#### 4. Interpretasi Probabilistik

Interpretasi probabilistik merupakan upaya untuk mempersempit berbagai kemungkinan interpretasi dengan cara mengintegrasikan informasi non-citra ke dalam proses klasifikasi, sering dengan cara algoritma klasifikasi kuantitatif. Misalnya, pengetahuan tentang kalender tanaman dapat membatasi pilihan kemungkinan ketika mengidentifikasi tanaman dari wilayah tertentu. Jika diketahui bahwa gandum musim dingin dipanen pada bulan Juni, pilihan seseorang mungkin tanaman untuk interpretasi citra dari bulan Agustus dapat dibatasi untuk menghilangkan gandum sebagai kemungkinan pilihan, dan dengan demikian menghindari kesalahan klasifikasi potensial. Seringkali pengetahuan tersebut dapat dinyatakan sebagai pernyataan probabilitas.

#### 5. Interpretasi Deterministik

Interpretasi deterministik atau *deterministic interpretation* didasarkan pada ekspresi ikatan hubungan kuantitatif yang menyatakan bahwa karakteristik citra dengan kondisi di lapangan. Berbeda dengan metode lain, sebagian besar informasi berasal dari citra itu sendiri sehingga informasi non-citra pada strategi ini sangat sedikit diperlukan. Rekonstruksi suatu objek menjadi model tertentu agar mudah dimaknai didasarkan pada informasi dari citra.

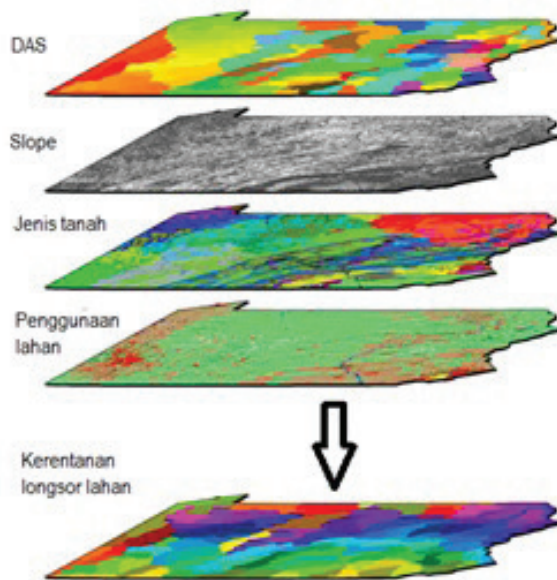
## 6. Pendekatan Tumpang-susun

Seringkali dalam interpretasi yang berorientasi sumber daya perlu untuk mencari asosiasi yang kompleks dari beberapa faktor terkait yang secara bersama-sama menentukan distribusi atau pola suatu objek. Misalnya, sering pola tanah dapat diungkapkan melalui hubungan yang khas antara pola terpisah dari vegetasi, kemiringan lereng, dan drainase. Pendekatan interpretif tumpang susun (*overlay*) untuk interpretasi citra adalah cara yang berasal dari hubungan timbal balik yang kompleks antara informasi distribusi terpisah direkam citra penginderaan jauh. Korespondensi antara beberapa pola yang terpisah dapat mengungkapkan pola lain yang tidak langsung terlihat pada citra.

Metode ini diterapkan dengan cara serangkaian lapisan individu untuk setiap citra yang akan dianalisis. Tumpang-susun pertama mungkin menunjukkan kelas utama vegetasi, atau mungkin terdiri atas hutan lebat, hutan terbuka, padang rumput, dan lahan basah. Tumpang-susun kedua akan diperoleh kelas lereng (landai sampai curam). Layer lainnya menunjukkan pola drainase atau penggunaan lahan dan geologi. Dengan demikian, untuk setiap citra, penafsir mungkin memiliki sebanyak lima atau enam layer, masing-masing menggambarkan pola terpisah. Dengan menumpang-susunkan layer-layer ini, penafsir dapat memperoleh informasi yang disajikan oleh beberapa pola. Dari informasi tersebut pengetahuan tentang medan lokal, penafsir tahu bahwa kondisi tanah tertentu dapat terjadi di mana lereng curam dan hutan lebat yang ditemukan bersama-sama, dan bahwa orang lain juga dapat mengetahui bahwa di mana jika kondisi hutan lebat, maka kemungkinannya terdapat di lereng landai. Dari informasi yang disajikan oleh beberapa pola, penafsir dapat memahami informasi yang tersaji oleh pola yang tidak tunggal.



Misalnya ketika penafsir hendak menganalisis lahan yang sesuai untuk lokasi permukiman. Klasifikasi pertama dapat berupa layer kemiringan lereng. Interpretasi layer berikutnya ialah aksesibilitas, yakni dengan menganalisis jaringan dan kondisi jalan sehingga menghasilkan kelas aksesibilitas. Kemudian interpretasi jarak dari pusat bencana. Layer-layer terpisah tersebut selanjutnya ditumpangsusun, sehingga menghasilkan lokasi yang berbeda-beda kesesuaiannya. Pada lahan yang kemiringan lerengnya relatif datar, aksesibilitas baik, dan jauh dari pusat bencana merupakan lahan yang baik untuk permukiman.



Gambar 5.8 Ilustrasi strategi tumpangsusun (*overlay*)

Metode *overlay* dapat pula untuk menilai potensi, kondisi, atau pendugaan terhadap suatu fenomena berdasarkan interpretasi parameter dari potensi suatu objek. Misalnya, untuk menilai

potensi longsor lahan dapat menginterpretasi per layer dari parameter potensi longsor. Parameter tersebut antara lain kemiringan lereng, penggunaan lahan, dan jenis tanah. Masing-masing parameter diinterpretasi dari citra dan diwujudkan dalam bentuk layer, selanjutnya masing-masing layer di-*overlay*, sehingga menjadi peta kerawanan longsor lahan.

# BAB VI

## APLIKASI CITRA UNTUK KAJIAN GEOSFIR

### A. Interpretasi Objek-objek pada Citra

#### 1. Interpretasi Objek Atmosfer

Pengukuran fenomena meteorologi di samping menggunakan alat-alat konvensional (barometer, termometer, anemometer, rain gage, sun shine recorder) yang terpasang pada berbagai stasiun meteorologi, seiring dengan perkembangan teknologi penginderaan jauh, berbagai fenomena tersebut dapat didukung oleh satelit penginderaan jauh. Contoh satelit penginderaan jauh untuk studi meteorologi adalah TIROS, NOAA, SMS/GOES, ESSA, Nimbus, METEOSAT, yang populer adalah NOAA.

Studi fenomena meteorologi yang dapat didukung oleh penginderaan jauh antara lain: budget radiasi sistem atmosfer bumi, struktur temperatur atmosfer bumi, radiasi permukaan, klasifikasi awan, estimasi hujan, prakiraan cuaca, prediksi badai, studi struktur atmosfer bumi. Untuk dapat memanfaatkan penginderaan jauh untuk studi atmosfer, maka seorang interpreter harus memiliki bekal ilmu meteorologi.

Citra rekaman awan dapat menunjukkan pola awan, dari pola itu dapat disusun struktur tiga dimensi tentang bidang tekanan

dan angin. Hal ini didasarkan pada empat faktor, yakni: (1) awan merupakan nada dari kondisi stabil di atmosfer; (2) pentingnya gerakan relatif vertikal atau horisontal yang dapat mempengaruhi pola awan; (3) awan yang berlapis kompleks dan kuat seringkali dihasilkan di sepanjang wilayah yang berhubungan dan bercampur antara alur-alur udara yang memiliki temperatur dan atau kelembaban yang berbeda; (4) awan pada berbagai level dapat dibedakan, sehingga variasi arah dan kecepatan angin pada level berbeda di troposfir dapat dideteksi (Lo, 1986).

Menurut Conover (dalam Lo, 1986), pengenalan awan pada citra satelit didasarkan pada enam karakteristik, yakni: (1) kecerahan awan, dikaitkan dengan kedalaman awan, sifat unsur utama dan sudut iluminasi; 2) tekstur awan, dikaitkan dengan derajat kehalusan awan; 3) struktur vertikal, dikaitkan dengan struktur dan ketinggian awan, disimpulkan dari bayangan awan; 4) bentuk elemen awan, dikaitkan dengan keteraturan awan; 5) pola elemen awan, dikaitkan dengan derajat organisasi awan; dan 6) ukuran elemen dan pola. Skema tersebut memang belum sempurna, sehingga banyak para ahli yang menambahkan faktor lainnya seperti genetika awan dan faktor kondisi permukaan bumi.

Citra spektrum visible inframerah termal dapat dimanfaatkan untuk estimasi hujan dengan menggunakan asumsi bahwa kecerahan awan tinggi pada umumnya menunjukkan kemungkinan hujan lebih besar. Asumsi tersebut boleh jadi mengandung ketidakakuratan karena kecerahan awan tidak hanya ditentukan oleh ketebalan awan, tetapi juga oleh rasio luas dengan volume dan orientasi sinar matahari. Awan berpotensi hujan dapat dibedakan dengan awan lainnya. Melalui citra inframerah dapat diketahui pula temperatur puncak awan rendah.

## 2. Interpretasi Objek Litosfer

### a. Kajian Geologi

Berkembangnya aplikasi penginderaan jauh pada kajian geologi difokuskan pada interpretasi struktural dan litologi, serta eksplorasi mineral. Pada bidang ini citra yang sesuai untuk keperluan ini adalah citra dengan resolusi spasial rendah, misalnya citra Landsat MSS, foto udara skala kecil, citra Seasat SAR, SIR-A. Fenomena geologi dapat dikenali melalui berbagai gejala secara tidak langsung terutama pada foto udara dan citra radar. Pemanfaatan foto udara untuk studi geologi telah dikembangkan dengan baik, sehingga muncul istilah fotogeologi atau aergeologi yang diciptakan untuk menjelaskan proses interpretasi foto tersebut (Lo, 1996).

Pendekatan yang dikembangkan untuk kajian ini lebih bersifat kualitatif dan pengambilan kesimpulan secara deduktif. Maka, untuk dapat menafsirkan gejala geologi dari foto udara dan citra lainnya dibutuhkan kemampuan dan pengetahuan geomorfologi, karena gejala geologi banyak berkaitan dengan gejala geomorfologi (keterkaitan struktur dengan relief). Pola-pola drainase penting untuk interpretasi struktural. Bentuk dan kerapatan jaringan drainase memberikan petunjuk tentang hidrologi dan geologi yang mendasarinya. Pola drainase dapat dikontrol secara struktural dan kerapatan drainase bergantung pada rasio run off-filtrasi yang dikontrol oleh resistensi dan permeabilitas material permukaan. Umumnya kerapatan drainase dapat diamati bahwa kerapatan paling tinggi terjadi pada batuan serpih, kerapatan menengah pada granit phylit, batu pasir, dan lanau (silstone), dan kerapatan paling rendah berada di batuan kapur (limestone) dan batuan gravel (Fezer dalam Lo, 1996).

Penggunaan citra digital dengan bantuan berbagai macam *software* untuk melakukan *image processing* dan klasifikasi berdasarkan nilai digital pantulan dan pancaran energi objek lebih mudah membantu pengenalan berbagai macam jenis batuan. Interpretasi jenis batuan ini dapat dengan menggunakan bantuan kurva pola spektral berbagai macam batuan.

### b. Kajian Geomorfologi

Foto udara, citra satelit, dan citra radar telah banyak dipakai untuk studi geomorfologi. Citra yang digunakan merupakan citra dengan resolusi spasial rendah sampai sedang. Berbagai gejala geomorfologi seperti gump pasir, gunung api (perubahan sebelum dan sesudah erupsi), konfigurasi pantai, daerah geotermal, daerah graben dan horst dapat dikenali pada berbagai citra.

Studi yang dikembangkan oleh El-Ashry (dalam Lo, 1996), melalui pandangan sinoptik, foto udara dapat mengungkap detail-detail kenampakan pantai dan pada sirkulasi air laut makroskopik, seperti ukuran dan jarak gelombang, arah depan gelombang dengan distribusi sedimen air dangkal sampai kedalaman 7 meter. Pengamatan kenampakan deposisional dan erosional dekat pantai dan di pantai (terbentuk secara alami maupun buatan) dapat dilakukan dengan mudah. Beberapa kenampakan geomorfologi pantai yang mudah dideteksi antara lain (1) eksistensi, ketinggian, dan gradien cliff laut; (2) runtuh batuan asosiasi dan areal longsoran; (3) material dan wahana pantai skala kecil (cusps, gisik, runnel); (4) kenampakan deposisional, seperti spit, gosong, tombolok, cusate foreland; (5) dataran lumpur pasang, rawa, dan dataran hasil reklamasi (Lo, 1996).

Pemanfaatan citra multitemporal dapat memudahkan untuk pengamatan perubahan bentuk lahan. Beberapa fenomena geo-

morfologi yang dinamis, seperti bentuk gunung api, bentuk meander, konfigurasi garis pantai, gumuk pasir, landslide, dapat diukur dengan akurasi tinggi. Dukungan citra radar memberikan kenampakan bentuk-bentuk lahan menjadi semakin nyata, sehingga pengenalan, pengukuran, dan pendeskripsian secara kualitatif lebih mudah dilakukan.

### 3. Interpretasi Objek Hidrosfir

Pemanfaatan penginderaan jauh untuk studi objek hidrosfir antara lain untuk kajian dataran banjir, pola aliran sungai, pemetaan air permukaan, sistem aliran air tanah, kajian pencemaran air, studi persebaran lokasi ikan, dan lain-lain. Air merupakan fenomena yang mempunyai respon spektral unik. Air memiliki sifat menyerap gelombang elektromagnetik, mentransmisikan, dan sedikit memantulkan. Pada air keruh terdapat material sedimen yang berfungsi memantulkan gelombang elektromagnetik sehingga rona objek air pada citra tergambar lebih cerah. Air memiliki sifat khusus berupa panas khusus daripada objek-objek lain. Sifat ini memudahkan deteksi air atau kelembaban dengan cara mengindera energi termal pada daerah dingin atau daerah panas pada hari-hari dingin. Citra IM termal menghasilkan kenampakan hidrologi yang jelas, seperti sungai, rawa, dan lain-lain.

### 4. Interpretasi Objek Biosfir

Vegetasi merupakan fenomena khas yang memiliki respon khusus terhadap gelombang elektromagnetik. Vegetasi memiliki sifat pantulan yang unik. Pantulan pada vegetasi lebih disebabkan oleh struktur internal daun dan klorofil. Pada spektrum visible, vegetasi mempunyai nilai pantulan yang rendah (<5%), karena

sinar matahari yang datang (terutama bagian spektrum visible) melalui sel kulit ari dan lapisan epidermal daun, sebagian diserap oleh chloroplast/klorofil, khususnya band biru dan merah. Pada band hijau nilai pantulan lebih tinggi daripada pantulan di kedua band tersebut, karena pada band hijau gelombang elektromagnetik yang mengenai daun diserap oleh carotens (puncaknya pada panjang gelombang 0,5  $\mu\text{m}$ ). Sinar yang tidak diserap kemudian dihamburkan dan dipantulkan ulang oleh dinding sel jaringan mesofil sebelum selanjutnya diserap oleh pigmen daun (Howard, 1999).

Pada spektrum inframerah dekat nilai pantulan menjadi sangat tinggi, puncaknya pada panjang gelombang 0,9  $\mu\text{m}$  (pada jenis pohon tertentu nilai pantulan melebihi 40%). Tingginya nilai pantulan ini terjadi karena sinar matahari (bagian spektrum infra merah dekat) yang mengenai daun oleh lapisan kulit ari diteruskan ke bagian dalam, tetapi struktur internal daun yang memiliki jaringan palisade dan jaringan mesofil memantulkan kembali spektrum IM dekat, sehingga nilai pantulan yang dapat direkam oleh sensor cukup besar.

Berdasarkan sifat khas vegetasi tersebut, aplikasi dapat dikembangkan untuk aplikasi bidang pertanian, seperti deteksi penyakit tanaman, estimasi volumen panen, kajian variasi tanaman, stusi potensi lahan pertanian, dan lain-lain. Untuk keperluan ini dapat dilakukan dengan metode sederhana, yakni dengan NDVI. NDVI diturunkan dari citra untuk menunjukkan tingkat kehijauan atau biomassa suatu jenis tanaman pertanian. Nilai NDVI diperoleh dari  $[(\text{NIR}) - \text{R}]/[(\text{NIR}) + \text{R}]$ .

Aplikasi untuk studi sebaran hewan dapat dilakukan dengan memanfaatkan citra inframerah termal hasil rekaman pada malam hari, dimana suhu hewan akan berbeda secara signifikan dengan



benda-benda di sekitarnya. Dengan demikian, hewan dapat lebih mudah diidentifikasi. Untuk identifikasi sebaran lokasi ikan di laut dapat pula dilakukan dengan memanfaatkan citra. Ikan-ikan umumnya terkonsentrasi pada tempat-tempat dimana banyak terdapat makanan (plankton). Tempat tersebut biasanya berada pada pertemuan arus hangat dan arus dingin. Citra inframerah termal dapat menyajikan secara jelas gejala tersebut.

## 5. Interpretasi Objek Antroposfir

Interpretasi objek antroposfir dapat dilakukan secara tidak langsung, yakni melalui kunci-kunci interpretasi yang dapat dipelajari. Misalnya untuk melakukan penaksiran jumlah penduduk dapat dilakukan dengan menginterpretasi kepadatan dan ukuran bangunan dilengkapi dengan pengujian sampel jumlah penduduk pada unit-unit penggunaan lahan. Pemanfaatan lainnya dalam bidang ini antara lain kajian penyebaran penyakit terkait lingkungan (penyakit malaria, demam berdarah, ISPA), permukiman penduduk (kepadatan, pola, kualitas, distribusi), karakteristik lingkungan, sosial ekonomi penduduk (penggunaan parameter yang terkait aspek fisik). Untuk keperluan kajian penduduk, telah ada beberapa formula yang dapat dipelajari secara tersendiri pada penginderaan jauh terapan.

## 6. Interpretasi Penggunaan Lahan

Kajian tentang penggunaan lahan sangat banyak menggunakan penginderaan jauh. Foto udara telah digunakan secara luas untuk pemetaan penggunaan lahan. Kemudian kehadiran citra satelit makin meningkatkan kemampuan penginderaan jauh dalam mengekstraksi informasi penggunaan lahan. Ekstraksi data peng-

gunaan lahan dari citra harus mempertimbangkan beberapa hal, yakni: (1) resolusi citra/ skala citra, perlu dipertimbangkan terkait dengan kebutuhan kerincian data yang dibutuhkan; (2) waktu perekaman, terkait dengan kapan penggunaan lahan sebagaimana tergambar; (3) cakupan wilayah, perlu dipertimbangkan terkait skala peta yang akan dibuat; (4) tingkat kerincian/ sistem klasifikasi yang digunakan, bila dikehendaki sistem klasifikasi level II maka tidak diperlukan citra dengan resolusi spasial tinggi; (5) peta akhir yang hendak dibuat, pemilihan resolusi spasial citra perlu mempertimbangkan skala optimum yang dapat dibuat dari suatu resolusi spasial tertentu. (lihat kembali pada pembahasan tentang padanan skala dan resolusi spasial citra pada bagian F di atas).

Penggunaan lahan mempunyai beberapa tingkatan, dari tingkat sederhana (level I) sampai tingkat rinci (level IV), atau dalam skala wilayah mencakup skala makro, meso, dan mikro. Klasifikasi penggunaan lahan banyak dikemukakan oleh para ahli seperti Malingreau, Krostowizsky, I Made Sandy, USGS, Sutanto, Projo Danoedoro dan lain-lain. Dari beberapa sistem klasifikasi yang sesuai untuk terapan penginderaan jauh adalah menurut USGS, Sutanto, dan Projo Danoedoro. Sistem klasifikasi yang lebih akurat karena tidak mencampuradukkan antara berbagai keperluan adalah menurut Projo Danoedoro, sementara yang paling sederhana dan mudah dipahami adalah menurut Sutanto (1981), lihat tabel 6.1. Oleh karena itu, untuk keperluan latihan bagi mahasiswa akan digunakan klasifikasi penggunaan lahan yang dikemukakan oleh Sutanto.

Tabel 6.1 Sistem Klasifikasi Penggunaan Lahan Kota

Tingkat Kerincian Klasifikasi			
Tingkat I	Tingkat II	Tingkat III	Tingkat IV
Daerah Kota	Permukiman	Pola Teratur	- Kepadatan rendah
			- Kepadatan sedang
		Pola setengah teratur	- Kepadatan rendah
			- Kepadatan sedang
			- Kepadatan tinggi
		Pola tidak teratur	- Kepadatan rendah
			- Kepadatan sedang
			- Kepadatan tinggi
			- Kepadatan sangat tinggi
		Khusus	- Asrama Militer
	Perdagangan	Pasar	
		Pom bensin	
		Pusat perbelanjaan	- Besar–Kecil
		Pertokoan	
	Industri	Pabrik/perusahaan	
		Gudang	
	Transportasi	Jalan	
		Stasiun/terminal	- Kereta api/Bis/ Angkutan
	Jasa	Kelembagaan	Perkantoran, kampus
		Non-Kelembagaan	Hotel

Tingkat Kerincian Klasifikasi			
Tingkat I	Tingkat II	Tingkat III	Tingkat IV
Daerah Kota	Rekreasi	- Kebun binatang	
		- Lapangan olahraga	
		- Stadion	
		- Gedung pertunjukan	
	Tempat ibadah	- Masjid	
		- Gereja	
	Pertanian	- Sawah	
		- Tegalan	
		- Kebun campuran	
	Hutan	- Hutan/Taman	
	Lain-lain	- Kuburan	Umum dan Makam pahlawan
		- Lahan kosong	
		- Lahan sedang dibangun	

Sumber: Sutanto, 1981 dengan sedikit modifikasi

## B. Akurasi Hasil Interpretasi

Pengujian ketelitian (akurasi) hasil interpretasi merupakan langkah yang sangat penting dalam aplikasi penginderaan jauh, karena suatu hasil interpretasi layak atau tidaknya untuk digunakan tergantung pada seberapa besar tingkat ketelitian hasil interpretasi. Hasil interpretasi citra mencerminkan kompetensi seorang penafsir citra, meskipun kompetensi ini bukan satu-satunya faktor yang menentukan akurasi. Faktor lainnya yang berperan terhadap

akurasi ini adalah kualitas citra, umur citra, dan faktor demografis (usia, jenis kelamin, pengalaman), aspek kognitif dan non kognitif (Coillie, et.al., 2014). Hasil interpretasi yang memenuhi syarat dapat dipercaya kebenarannya dan dapat dijadikan dasar untuk melakukan sejumlah keputusan. Uji ketelitian ini meliputi seluruh hasil interpretasi variabel penelitian. Bila hasil uji ketelitian ini memiliki persentase minimal yang ditetapkan berarti hasil interpretasi akurat.

Menurut Short (1982), terdapat empat metode untuk menguji ketelitian hasil interpretasi citra, yakni: *field checks at selected points, estimate of agreement between Landsat and reference maps or photos, statistical analysis, and confusion matrix calculation*. Cara pengujian ketelitian hasil interpretasi yang banyak digunakan penelitian penginderaan jauh adalah dengan menggunakan metode *confusion matrix calculation*. Metode-metode uji ketelitian tersebut sebenarnya digunakan untuk menguji ketelitian hasil interpretasi data citra digital Landsat, tetapi tidak tertutup kemungkinan untuk digunakan pada uji ketelitian hasil interpretasi citra lainnya yang memiliki resolusi spasial berbeda (lebih besar dari Landast) dengan cara memodifikasinya. Sutanto (1994) melakukan modifikasi terhadap matrik tersebut dengan cara mengubah piksel menjadi petak-petak bujur sangkar atau menjadi luas bagi masing-masing hasil interpretasi atau objek. Sebagaimana diketahui bahwa piksel pada citra menyerupai jaring-jaring bujur sangkar. Ketelitian hasil interpretasi ini meliputi uji ketelitian kategorik (masing-masing kategori objek) dan uji ketelitian hasil interpretasi secara keseluruhan atau tanpa melihat per kategori. Sebagai contoh dalam uji ketelitian hasil interpretasi penggunaan lahan, pada uji ketelitian kategorik penggunaan lahan permukiman, aspek yang diuji adalah bagian-bagian rinci dari

penggunaan lahan permukiman, seperti permukiman padat, permukiman sedang, dan permukiman jarang.

Untuk uji ketelitian secara keseluruhan, tidak hanya lahan permukiman, tetapi semua jenis penggunaan lahan yang telah diinterpretasi. Pada tulisan ini hanya dibahas uji ketelitian hasil interpretasi.

Tabel 6.2 Contoh Matrik Uji Ketelitian Hasil Interpretasi dan Pemetaan

Kategori Hasil Interpretasi Kategori Lapangan	Jagung	Kedelai	Hutan	Lain-lain	Total	Omisi	Komisi	Ketelitian Pemetaan
Jagung	25	5	10	3	43	$18/43 = 43\%$	$7 / 43 = 16\%$	$25/(25+18+7) = 50\%$
Kedelai	2	50	6	5	63	$13/63 = 21\%$	$11/63 = 17\%$	$50/(50+13+11) = 68\%$
Hutan	3	4	60	5	72	$12/72 = 17\%$	$18/72 = 25\%$	$60/(60+12+18) = 67\%$
Lain-lain	2	3	2	100	106	$6/100 = 6\%$	$13/106 = 12\%$	$100/(100+6+13) = 84\%$
<b>Total</b>	32	61	78	113	284	Sumber: Short, Nicholas M. (1982) dengan sedikit perubahan		

Keterangan:

32 = Jumlah seluruh kategori objek jagung

25 = Jumlah kategori hasil interpretasi objek

284 = Jumlah seluruh kategori dari seluruh kelas hasil interpretasi untuk objek-objek yang diinterpretasi sesuai dengan kategori lapangan

Ketelitian hasil interpretasi setiap kategori (misalnya jagung)=

$$\frac{25}{32} \times 100\% = 78\%$$

Ketelitian hasil interpretasi secara keseluruhan =

$$\frac{(25+50+60+100)}{284} = 83\%$$

Untuk menghitung indeks Kappa dapat dilakukan dengan menggunakan formula berikut ini:

$$\hat{k} = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})}$$

Keterangan

R = jumlah baris dalam matriks kesalahan

$x_{ii}$  = jumlah observasi pada baris i dan lapa i (pada diagonal utama)

$x_{i+}$  = jumlah observasi pada lajur i (jumlah tepian kanan matriks)

$x_{+i}$  = jumlah observasi pada lajur i (jumlah pada dasar matriks)

N = jumlah total pengamatan (piksel) pada matriks

Berdasarkan formula tersebut, maka nilai Kappa untuk matriks pada tabel 6.2 adalah :

$$N \sum_{i=1}^r x_{ii} = 25+50+60+100 = 235$$

$$\sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i}) = 43 \times 32 + 63 \times 61 + 72 \times 78 + 106 \times 113 = 22813$$

$$N = 284$$

$$\hat{k} = \frac{284 \times 235 - 22813}{(284)^2 - 22813}$$

$$= \frac{43927}{57843}$$

$$= 0,76$$

Nilai akurasi sepanjang diagonal utama pada tabel 6.2 adalah 0,83 dan nilai  $k = 0,76$ . Menurut Lillesand, Kiefer, dan Chipman (2007), kalau kedua nilai tersebut masing-masing mendekati 1, berarti kemungkinan akurasi tidak terjadi secara kebetulan atau kemungkinan terjadi secara kebetulan bernilai 0. Jika nilai  $k$  negatif, artinya akurasi hasil interpretasi sangat jelek.

### C. Strategi Pelatihan

Kegiatan yang harus dilakukan dalam pembelajaran materi ini dilakukan dengan pendekatan *scientific based learning*. Langkah-langkah yang harus dilakukan oleh mahasiswa adalah:

1. *Observing*, yakni kegiatan mahasiswa untuk membaca bahan kuliah, mengamati citra, dan membandingkan karakteristik beberapa citra (warna, ukuran/skala/resolusi spasial, jenis objek).
2. *Questioning*, berupa kegiatan (a) mahasiswa untuk mempertanyakan apa saja yang terkait dengan citra berdasarkan hasil observasi pada langkah pertama; (b) instruktur menginventarisasi semua pertanyaan yang telah dikemukakan oleh mahasiswa dan mengelompokkannya berdasarkan jenis atau tema pertanyaannya; (c) instruktur menyeleksi pertanyaan sesuai dengan tujuan pembelajaran yang telah dirumuskan oleh instruktur dalam satuan acara perkuliahan.
3. *Experimenting*, atau mencoba, berupa kegiatan mahasiswa mencoba melakukan langkah-langkah tertentu untuk mengumpulkan informasi untuk memperoleh jawaban atas masalah yang telah disepakati untuk dipecahkan secara bersama-sama. Kegiatan mencoba ini dapat berupa dengan mencari jawaban melalui bacaan, mencoba menginterpretasi citra, membanding-



kan beberapa karakteristik antar citra, dan lain-lain.

4. *Associating*, menalar/mengolah informasi, merupakan kegiatan berpikir yang dilakukan secara logis dan sistematis atas fakta kata empiris yang dapat diobservasi untuk memperoleh simpulan berupa pengetahuan. Dalam hal ini mahasiswa berusaha menjawab/memecahkan masalah yang telah ditetapkan pada langkah sebelumnya.
5. *Communicating* merupakan kegiatan menyampaikan hasil dari kegiatan belajar atau hasil percobaan yang telah dibahas melalui kegiatan penalaran. Bentuk komunikasi dapat berupa laporan praktikum, makalah, atau media lainnya dengan maksud agar pihak lain dapat mengetahuinya.

## D. Rangkuman

1. Citra penginderaan jauh secara garis besar dapat dibagi menjadi dua, yakni citra foto dan citra non-foto. Citra foto atau biasa disebut foto udara merupakan data hasil rekaman dari sensor fotografi (kamera) dengan memanfaatkan spektrum visible dan perluasannya. Citra non-foto diperoleh dari sensor nonfotografi (bukan kamera) dengan memanfaatkan spektrum visible dan perluasannya, serta spektrum inframerah dekat, inframerah termal, dan gelombang mikro.
2. Agar seorang penafsir citra dapat menginterpretasi citra secara akurat, maka penafsir harus memahami unsur-unsur interpretasi citra, yakni rona (warna), bentuk, pola, tekstur, bayangan, asosiasi, situs, dan koregensi bukti. Unsur-unsur tersebut dapat digunakan secara sendiri-sendiri maupun secara simultan (mengggunakan beberapa unsur).

3. Resolusi spasial citra didefinisikan sebagai ukuran objek terkecil yang masih dapat disajikan, dibedakan, dan dikenali pada citra. Resolusi spasial menunjukkan tingkat kedetailan suatu objek pada citra. Semakin tinggi resolusi spasial citra maka penafsir semakin banyak menyadap informasi secara lebih detail. Resolusi spasial tinggi tidak selalu lebih baik, karena pada resolusi spasial tinggi seorang penafsir tidak dapat mengekstrak data bentuk lahan, kemiringan lereng, topografi, dan kesan keruangan. Dengan demikian, sesungguhnya resolusi spasial yang baik adalah kesesuaiannya dengan tujuan kajian.
4. Strategi interpretasi merupakan prosedur tertentu yang memungkinkan penafsir untuk mengubungkan pola geografis suatu objek di lapangan dengan kenampakan objek tersebut pada pada citra. Strategi interpretasi menurut Menurut Tim Earth Observatory NASA (2013): (a) mengetahui skala, (b) mencari pola, bentuk, dan tekstur, (c) menentukan warna (termasuk bayangan), (d) menemukan arah utara, (e) mempertimbangkan pengetahuan sebelumnya. Strategi interpretasi menurut Campbell (dalam Aronoff, 2005) terdiri atas observasi lapangan (*field observation*), rekognisi langsung (*direct recognition*), interpretasi berdasarkan acuan (*Interpretation by inference*), Interpretasi probabilistik, dan interpretasi Deterministik (*Determenistic interpretation*). Di samping itu juga menggunakan pendekatan tumpang susun (*overlay*) untuk menginterpretasi objek-objek yang memiliki karakteristik tidak tunggal dan untuk mengetahui kondisi objek secara tidak langsung.
5. Penginderaan jauh mempunyai nilai terapan yang sangat luas, mencakup seluruh aspek geosfir (atmosfir, biosfir, litosfir, hidrosfir, dan antroposfir). Keluasan cakupan nilai terapan ini

memosisikan penginderaan jauh menjadi sangat penting dalam berbagai bidang, termasuk terapan dalam bidang pendidikan untuk mengembangkan kemampuan berpikir spasial.

6. Interpretasi penggunaan lahan merupakan terapan penginderaan jauh yang sangat banyak dilakukan, baik oleh peneliti profesional maupun oleh mahasiswa. Penggunaan lahan memiliki nilai strategis untuk pelatihan, karena sifatnya yang sistematis, dari yang paling sederhana sampai yang kompleks berdasarkan sistem klasifikasi yang telah disusun oleh para ahli. Interpretasi penggunaan lahan menuntut penafsir untuk mempertimbangkan resolusi spasial sesuai dengan peta out yang akan disusun dan kejelasan data pada citra.

## E. Latihan

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini secara singkat dan jelas!

1. Jenis citra apakah yang menurut Anda paling sesuai untuk kajian identifikasi hutan bakau di pantai utara Pulau Jawa?
2. Jika anda menemukan objek pada citra Quickbird pankromatik berupa persegi panjang berwarna biru dengan rona gelap, berukuran 1,2 cm x 1,6 cm dengan situs di lereng pegunungan, dan Anda tidak dapat mengidentifikasi objek tersebut. Maka strategi interpretasi apa yang akan Anda gunakan? sertai jawaban Anda dengan alasan logis!
3. Lakukanlah interpretasi penggunaan lahan pada citra ALOS, sampai pada level berapa anda mampu melakukannya?
4. Buatlah interpretasi penggunaan lahan dari 3 citra yang telah disediakan (Citra Landsat 7, citra ALOS, dan citra Quickbird). Bandingkan kedetailan informasi yang dapat Anda peroleh!

5. Lakukanlah interpretasi penggunaan lahan pada tiga macam citra yang berbeda resolusi spasial.
  - a. Buatlah urutan objek berdasarkan kesulitan dalam menginterpretasinya.
  - b. Buatlah daftar jenis objek dan unsur interpretasi yang digunakan pada setiap jenis objek.

# BAB VII

## PENGINDERAAN JAUH UNTUK PEMBELAJARAN BERPIKIR SPASIAL

### A. Pengertian

Penemuan teori *Multiple Intelligence* (kecerdasan ganda) telah memicu wacana baru di kalangan para ahli geografi dan sains informasi geografi (geosains). Hal ini terjadi karena salah satu dari jenis kecerdasan tersebut adalah kecerdasan spasial. Perhatian para ahli geosains dalam isu tersebut terutama sejak bermunculannya ide mengenai urgensi kecerdasan spasial untuk pengembangan geosains dan menyusun teknik pengukuran baru yang lebih representatif. Kemampuan berpikir spasial merupakan bagian terpenting dari kecerdasan spasial (Dutton, 2007).

Berpikir spasial (*spatial thinking*) merupakan salah satu bentuk berpikir yang sangat terkait dengan bidang kajian geografi. Sejak NRC (2005) mempublikasikan laporan berjudul *Learning to Think Spatially*, hubungan antara Sains Informasi Geografi (*GIScience*) dan berpikir spasial menjadi menarik perhatian, terutama di negara-negara berbahasa Inggris. Hal ini dapat diketahui dari munculnya berbagai artikel di jurnal-jurnal ilmiah yang mengandung kata kunci, judul, atau merujuk kata *spatial thinking* dari bibliografi yang disediakan secara *online* yang disediakan oleh

Scopus Elsevier, telah meningkat pesat sejak tahun 2005 (Wakabayashi dan Ishikawa, 2011).

Kemampuan berpikir spasial (KBS) merupakan sebuah diskursus yang relatif baru, sehingga konsep dan istilah *spatial thinking* sering dicampur aduk dengan istilah lain yang memiliki kemiripan, yakni *spatial ability* dan *spatial literacy*. Secara teoretik ketiga istilah tersebut berbeda secara signifikan. *Spatial thinking* merupakan subjek interdisipliner mulai dari psikologi dan pedagogi sampai geosains (geografi, kartografi, sains informasi geografi), belum ada konsensus yang jelas mengenai definisinya.

Sebagian ahli geografi bahkan lebih condong menggunakan istilah *geographical thinking* daripada istilah-istilah tersebut (Uhlenwinkle, 2011). Oleh karena itu, metode untuk menilai KBS juga belum cukup berkembang (Eliot & Czarnolewski, 2007). Para ilmuwan pada umumnya dan pendidik pada khususnya belum mencurahkan perhatian yang cukup untuk mengidentifikasi dan mengartikulasikan sifat, karakteristik, dan langkah-langkah apa yang bisa dilakukan terhadap ciri khas dari konsep ini melalui pendekatan ilmiah. Dengan demikian, hal ini berbeda dengan tradisi panjang pengembangan dan penggunaan tes kemampuan spasial (*spatial ability test*) dalam bidang psikologi (NRC, 2006).

Menurut NRC (2006), ada tiga tipe berpikir spasial. *Pertama*, berpikir spasial dalam ruang melibatkan berpikir tentang dunia sebagai tempat hidup. Hal ini dicontohkan dalam aktivitas menemukan jalan dan navigasi. Berjalan ke sekolah, mencari jalan pintas untuk menghindari kemacetan lalu lintas, bermain olahraga tim seperti sepakbola, mengevakuasi penduduk saat bencana, atau menata barang di dalam koper atau di rumah, merupakan kegiatan yang dilakukan dalam ruang dan membutuhkan pemikiran spasial dalam konteks dunia nyata. Jenis berpikir juga meluas

ke kegiatan sehari-hari lainnya: penyimpanan perabotan rumah tangga (furnitur, pot bunga, gambar gantung di dinding), pembangunan rumah, dan struktur lainnya. Berpikir spasial relevan dengan keselamatan, misalnya, dengan mengetahui cara untuk melarikan diri untuk menghindari bahaya mendekat.

*Kedua*, berpikir tentang ruang, membantu individu memahami bagaimana dunia bekerja, yaitu, sifat, struktur, dan fungsi fenomena yang berkisar dari skala mikroskopis sampai astronomi. Berpikir tentang ruang mendukung sejumlah besar pengetahuan dan kinerja. Hal ini memungkinkan individu untuk menggunakan peta, grafik, gambar, diagram, model, dan visualisasi yang menggambarkan dan menjelaskan fungsi, struktur, hubungan, dan operasi dari segala macam fenomena (Bednarz et.al. 2006). Dengan demikian, pemikiran spasial penting untuk sebagian besar dari ilmu-ilmu alam, ilmu sosial, dan humaniora.

*Ketiga*, berpikir dengan atau melalui media ruang. Kegiatan berpikir ini lebih abstrak tetapi inilah bentuk yang paling kuat dari pemikiran spasial. Spasialisasi data non-spasial atau menggunakan spasial sebagai kerangka pengorganisasian konsep untuk masalah tertentu dan membuat keputusan adalah strategi kognitif yang sangat efektif. Konteks ketiga ini adalah yang paling sedikit dipahami tetapi inilah konteks yang paling generatif untuk berpikir spasial. Seringkali, data non-spasial inheren dengan hasil spasialisasi dan grafis untuk membantu pemahaman dalam analisis.

Kemampuan spasial (*spatial ability*) lebih familier dibanding istilah kemampuan berpikir spasial (*spatial thinking*) dan literasi/melek spasial (*spatial literacy*) atau geoliterasi (Edelson, 2011). Mungkin yang paling akrab dari istilah dan konsep tersebut adalah kemampuan spasial (*spatial ability*) karena muncul lebih dahulu dan telah banyak dikembangkan, baik konsep, etodologi

pengukuran, maupun aplikasinya. Belakangan konsep ini banyak dikritisi oleh kalangan ahli sains kebumihan karena konsep dan metodologi pengukurannya kurang kompatibel dengan realitas dunia nyata dan tidak inheren dengan konsep spasial secara luas. Kemampuan spasial dikonseptualisasikan sebagai suatu kondisi yang dimiliki seseorang dan sebagai cara untuk mencirikan kemampuan seseorang untuk melakukan operasi seperti mental rotasi, perubahan perspektif, dan sebagainya. Konsep ini berasal dari tradisi psikometri untuk pengukuran dan pengujian kecerdasan. Konsep tersebut digunakan untuk mengidentifikasi jenis kemampuan spasial seperti orientasi spasial dan visualisasi. Dengan mengelompokkan proses kognitif yang digunakan untuk menyelesaikan tugas-tugas berpikir untuk mengukur kemampuan spasial. Psikologi mengidentifikasi tiga kategori kemampuan spasial, yaitu persepsi spasial, rotasi mental, dan visualisasi spasial. Sebagai contoh, visualisasi spasial diukur dengan tes, seperti tes melipat kertas (dalam kegiatan ini responden mencermati gambar potongan kertas terlipat yang memiliki lubang, memilih gambar yang menunjukkan bagaimana bentuk kertas akan tampak ketika terbuka), dan tes angka tersembunyi (responden diminta untuk menemukan bentuk sederhana dalam satu kompleksitas bentuk) (NRC, 2006).

## B. Kedudukan KBS

Kemampuan berpikir spasial (KBS) merupakan hal yang sangat penting untuk memecahkan berbagai permasalahan yang terkait spasial dalam kehidupan sehari-hari, di tempat kerja, dan bagi kepentingan ilmu dan teknologi (Injeong, 2012). Kenyataannya hingga kini KBS belum menjadi bagian yang penting dari kurikulum formal di berbagai level pendidikan, khususnya pada mata



pelajaran geografi, yang secara keilmuan bercorak spasial. Pada kurikulum KTSP (Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan) maupun kurikulum 2013 yang belum serentak diberlakukan, KBS baru ada secara tersirat pada mata pelajaran Geografi khususnya pada kompetensi dasar pemetaan, pemanfaatan penginderaan jauh dan SIG. Seharusnya pada era di mana dunia sedang menghadapi ketidakpastian dan perkembangan teknologi geospasial yang semakin canggih, kompetensi KBS memperoleh perhatian lebih, bahkan harus diarusutamakan. Hal ini mengingat, munculnya asosiasi-asosiasi perdagangan pada cluster negara-negara, cluster pertahanan, cluster pasar dunia, kajian kawasan dalam konflik wilayah, tumbuhnya berbagai pusat aktivitas manusia, dan lain-lain, semuanya membutuhkan pengetahuan tentang lokasi.

Di beberapa negara maju, khususnya di AS dan negara-negara di Benua Eropa. Di AS, KBS telah dirintis dan dicantumkan secara eksplisit dalam kurikulum formal (K12), yakni pada mata pelajaran geografi. Pemanfaatan teknologi geospasial telah diperkenalkan secara bertahap pada siswa sekolah dasar. Hal ini menunjukkan bahwa di negara maju, KBS ditempatkan pada posisi yang sangat penting. Di Indonesia, penerapan KBS dalam kurikulum sangat memungkinkan, mengingat sebagian masyarakat (terutama di perkotaan) sudah sangat familier dengan beberapa teknologi geospasial yang terintegrasi dalam perangkat gadget, seperti Navigator, GPS, Map, dan Google Earth. Penyedia jasa transportasi online maupun konsumennya telah terbiasa menggunakan (terutama Google Map) untuk keperluan penentuan arah, jarak, dan tarif.

Hasil studi NRC memberikan informasi menarik mengenai urgensi KBS, model pembelajaran, dan peran SIG untuk mengembangkan KBS. Dengan KBS memungkinkan seseorang untuk lebih

memahami karakteristik wilayah, penguasaan wilayah, melakukan perencanaan pengembangan wilayah, memantau perkembangan, dan melakukan evaluasi pembangunan wilayah. Menyadari sedemikian pentingnya posisi KBS bagi sains geografis maupun ilmu lainnya, maka beberapa kalangan ilmuwan memasukkan KBS pada wilayah kajian mereka.

### C. Konsep dan Komponen Kunci KBS

Berpikir spasial menggunakan representasi untuk membantu kita mengingat, memahami, alasan, dan berkomunikasi tentang sifat-sifat dan hubungan antara objek direpresentasikan dalam ruang, apakah atau tidak benda-benda itu sendiri secara inheren spasial. KBS ditunjukkan oleh kemampuan dalam. Berpikir spasial mencakup berbagai proses kognitif yang mendukung eksplorasi dan penemuan: kita dapat memvisualisasikan hubungan, bayangkan transformasi dari satu skala ke yang lain, memutar objek untuk melihat sisi lainnya, membuat sudut pandang baru atau perspektif, membangkitkan gambar tempat dan ruang, dan sebagainya (lihat Hanson dan Hanson, 1993). Di sisi lain, berpikir spasial memungkinkan kita untuk mengeksternalisasi operasi ini dengan menciptakan representasi spasial di berbagai media, bentuk, dan modalitas sensorik, seperti peta taktil atau grafik, peta pendengaran, permukaan *vibrotactile*, peta tradisional kartografi, grafik dua dimensi, link atau aliran diagram, diagram pohon hubungan hierarkis, tiga-dimensi (3-D) skala model, perspektif struktur, dan sebagainya.

Aspek-aspek kemampuan berpikir spasial telah dikemukakan oleh beberapa ahli. Dalam modul ini, aspek kemampuan berpikir yang dikaji adalah menurut Gersmehl and Gersmehl (2006); Gersmehl and Anthamatten (2008). Bandingkan konsep-konsep

KBS yang dikembangkan oleh para ahli tersebut sebagaimana tersaji pada tabel 7.1 berikut ini.

<b>Gersmehl and Gersmehl</b>	<b>Golledge, et.al.</b>	<b>Janelle and Goodchild</b>
Lokasi	Lokasi	Lokasi
Kondisi	Identitas	Objek dan bidang
Koneksi	Konektivitas	Jaringan
Komparasi	Jarak	Jarak
Aura (pengaruh)	Skala	Skala
Region	Kesamaan Pola	Lingkungan and region
Hirarki	Buffer	Ketergantungan spasial, heterogenitas spasial
Transisi	Kedekatan, klasifikasi	
Analogi	Lereng, profil	
Pola	Koordinat	
Asosiasi Spasial	Pola, pengaturan, persebaran, urutan, rangkaian	
	Asosiasi spasial, <i>overlay/ dissolve</i> , interpolasi proyeksi, transformasi	

Sumber: Gersmehl and Gersmehl (2007); Golledge, et.al. (2008); Janelle and Goodchild (2011)

Di antara konsep-konsep KBS yang dikembangkan oleh para ahli tersebut, salah satu di antaranya (menurut Gersmehl and Gersmehl) dapat dijabarkan contoh aktivitas yang menunjukkan komponen KBS dan contoh pertanyaan untuk pengukurannya sebagaimana tersaji pada tabel 7.2.

Tabel 7.2. Komponen *Spatial Thinking*,  
Contoh Aktivitas, dan Contoh Pertanyaan

Komponen KBS	Definisi	Contoh Aktivitas	Contoh Pertanyaan
Lokasi	Di mana fitur ini terletak	Berlatih cara menggambarkan dan menjelaskan lokasi (misalnya, menggunakan grid, kosakata deskriptif seperti "dekat" atau "jauh")	Dimana tempat ini? Apa atribut spasialnya?
Kondisi	Menunjukkan karakteristik tempat	Menggambarkan fitur dan karakteristik yang dilihat, dengar, bau, rasa, lokasi tertentu	Ada apa di tempat ini?
Koneksi	Cara yang menunjukkan bahwa tempat ini terkait dengan tempat-tempat lain	Menggambarkan link (baik alami maupun buatan) yang lokasinya terkait dengan lokasi lain, dekat dan jauh	Bagaimana tempat ini terkait dengan tempat-tempat lain?
Komparasi	Bagaimana tempat dibandingkan dengan tempat-tempat lain	Membandingkan satu tempat dengan yang lain	Apakah tempat ini sama atau berbeda dengan tempat lain?
Aura (Pengaruh)	Pengaruh suatu lokasi atau fitur yang diberikan pada tempat-tempat lain	Menggambarkan pengaruh bahwa tempat dapat memiliki lokasi tetangga	Apa efek suatu lokasi/ fitur pada daerah terdekat?

Komponen KBS	Definisi	Contoh Aktivitas	Contoh Pertanyaan
Region	Sekelompok lokasi yang berdekatan yang memiliki kondisi yang sama atau koneksi	Menggambar garis di sekitar semua tempat yang memiliki karakteristik serupa atau terkait dalam beberapa cara	Apa tempat yang mirip satu sama lain dan dapat dikelompokkan sebagai satu wilayah
Hirarki	Sekumpulan daerah dengan ukuran/tujuan yang berbeda	Mengidentifikasi hierarki objek secara spasial, berdasar derajat atau tingkatannya	Di mana tempat ini sesuai dalam hierarki tempat?
Transisi	Sifat perubahan kondisi antara dua tempat	Menggambarkan apa yang terjadi antara dua tempat dengan kondisi yang dikenal	Apakah terdapat sifat perubahan antara dua tempat?
Analog	Kesamaan dalam kondisi tempat sebagai konsekuensi dari sifat bersama yang lain	Mencari tempat di benua lain (atau di kota-kota lain, pegunungan, dan lain-lain) yang memiliki posisi yang sama dan kondisi yang sama	Apakah suatu tempat memiliki situasi yang sama dengan tempat lain, sehingga sama kondisinya?
Pola	Sebuah pengaturan non-acak fitur atau karakteristik	Menggambarkan pengaturan fitur atau kondisi pada sebuah area	Apakah fitur tersusun homogen, acak cluster, string, cincin,?
Asosiasi spasial	Tingkat dimana terjadi fenomena yang sama di lokasi yang sama	Mengidentifikasi sejauh mana fitur memiliki pola yang sama	Apakah fitur khusus cenderung terjadi secara bersamaan?

Sumber: Gersmehl and Gersmehl (2007); and Anthamatten (2008).

Penjelasan di atas belum memiliki argumentasi yang memadai untuk memberikan eksplanasi terhadap pengembangan KBS melalui pembelajaran dengan menggunakan citra penginderaan jauh. Untuk itu pada ruang yang terbatas ini, penulis coba untuk memberikan operasionalisasi komponen-komponen KBS dalam pembelajaran dengan menggunakan citra penginderaan jauh. Implementasi setiap komponen KBS pada citra penginderaan dapat dikembangkan oleh peneliti-peneliti dalam bidang pendidikan dan penginderaan jauh secara kreatif melalui pendekatan-pendekatan multi dalam penginderaan jauh.

## 1. Lokasi

Pengetahuan tentang lokasi memiliki makna sangat penting dalam dalam geografi dan menjadi konsep kunci. Pengetahuan lokasi dapat memacu pemikiran spasial, karena bukan hanya menghafal nama-nama tempat dan koordinatnya. Setiap lokasi memiliki beberapa jenis koordinat grid yang mengungkapkan informasi penting tentang tempat. Pertanyaan kunci dari kemampuan mengidentifikasi lokasi adalah “di mana tempat ini?”

Untuk menjawab pertanyaan di mana, dapat ditunjukkan dengan (1) koordinat (lokasi absolut) dan dengan tempat-tempat lain yang berdekatan (lokasi relatif) atau arah navigasi. Jawaban dengan koordinat mudah dilakukan, ketika seseorang memegang peta dan GPS, tetapi sangat sulit dilakukan jika tanpa panduan kedua alat tersebut. (2) Pedoman lokasi relatif, jawaban yang paling mudah adalah dengan petunjuk lokasi relatif dengan bantuan arah kardinal (utara, timur, selatan, barat). Misalnya lokasi wisata Taman Pintar berada di sebelah timur Kantor Pos Besar Yogyakarta dan sebelah selatan Pasar Bering Harjo. Lokasi dapat pula ditunjukkan dengan arah navigasi, misalnya jika kita hendak

menuju suatu tempat dengan berkendara. Petunjuk lokasi dapat dengan menggunakan “kanan kiri”. (3) Jurusan (*bearing*), azimuth, dan *back angel* (arah kebalikan) dari jurusan dan azimuth. Untuk keperluan sehari-hari arah cardinal lebih banyak digunakan. Penunjukkan arah dengan satuan-satuan tertentu lebih banyak digunakan untuk eksplanasi yang bersifat ilmiah.

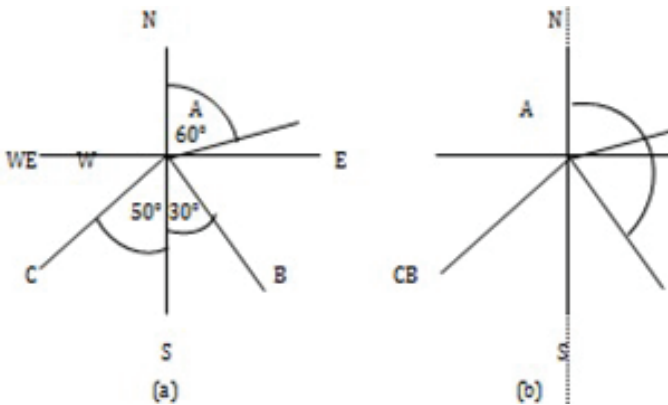
Jurusan adalah suatu sudut yang besarnya  $90^\circ$  atau kurang yang diukur baik dari utara ke timur/barat atau dari selatan menuju ke arah timur atau ke barat (boleh searah jarum jam dan boleh berlawanan dengan arah jarum jam. Oleh karena itu, dalam menyatakan jurusan selalu dimulai dengan simbol N (*North*) atau S (*South*), dan diakhiri dengan arah tujuan barat W (*West*) atau timur E (*East*), misalnya pada gambar 22, terdapat jurusan N  $50^\circ$  E, N  $30^\circ$  W, S  $45^\circ$  E, dan S  $70^\circ$  W. Jurusan sudutnya tidak lebih dari  $90^\circ$  dan diukur dari utara atau selatan, bukan dari barat atau timur.

Azimut adalah sudut yang besarnya  $0^\circ$  sampai  $360^\circ$  yang diukur dari arah utara searah jarum jam. Azimut hanya dinyatakan dengan derajat tanpa diberi awalan atau akhiran arah, karena azimuth selalu dimulai dari utara ( $0^\circ$ ) dan menuju ke arah utara ( $360^\circ$ ). Contoh sudut azimuth:  $30^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $70^\circ$ ,  $120^\circ$  dan lain-lain. Azimut dapat pula untuk mengganti sudut jurusan, misalnya S  $45^\circ$  E dapat dinyatakan dengan azimuth  $135^\circ$ , jurusan S  $70^\circ$  W dapat dinyatakan dengan azimuth  $250^\circ$ , jurusan N  $30^\circ$  W sama dengan azimuth  $330^\circ$ . Dalam praktiknya, adapula orang yang menyatakan sudut azimuth dengan akhiran arah, walaupun tidak lazim. Alasan digunakannya akhiran arah bagi para penggunanya adalah untuk memperjelas posisi, misalnya: N $280^\circ$ S, N $110^\circ$ SE.

Lokasi dapat pula ditunjukkan menggunakan *back angles*, Sudut balik adalah sudut perubahan arah  $180^\circ$  atau kebalikan yang sempurna dari arah yang asli. Suatu jurusan balik mempunyai nilai

angka yang sama besarnya dengan jurusan maju, tetapi dengan arah utama yang berkebalikan. Misalnya sebuah jurusan N 50° E sudut baliknya adalah S 50° W, jurusan S 70° W sudut baliknya adalah N 70° E, jurusan N 30° W sudut baliknya adalah S 30° E.

Sementara untuk memperoleh sudut balik dari suatu azimuth caranya adalah dengan menambahkan 180° untuk sudut azimuth yang kurang dari 180°, dan mengurangi 180° untuk sudut azimuth yang lebih dari 180° sampai 360°. Misalnya sudut azimuth 120°, maka sudut baliknya adalah 120° ditambah 180° sama dengan 300°, sudut azimuth 200° sudut baliknya adalah 200° dikurangi 180° atau sama dengan 20°. Cara menunjukkan posisi/lokasi dapat diilustrasikan melalui gambar 7.1 berikut ini.



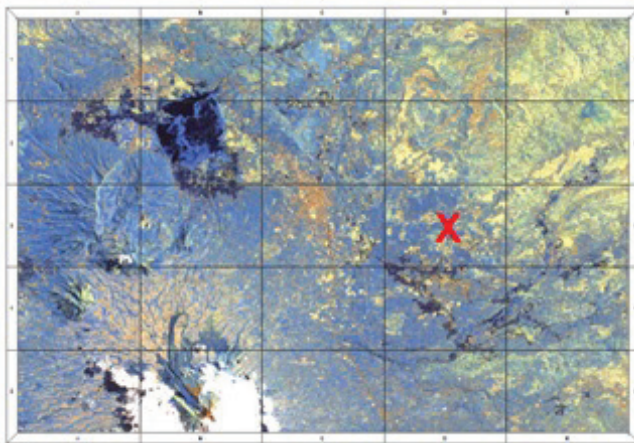
Gambar 7.1 Cara menunjukkan posisi/lokasi suatu objek dengan menggunakan arah jurusan (*bearing*) dan azimuth

Pada gambar 7.1a lokasi titik A dapat dinyatakan dengan suatu jurusan N 60° E, lokasi titik B dinyatakan dengan jurusan S 30° E, dan titik C dinyatakan dengan arah jurusan S 50° W. Pada gambar 7.1b, lokasi titik yang sama dapat dinyatakan dengan arah azimuth titik A = 60°, titik B = 120°, dan titik C = 230°.



Jika titik tersebut akan dinyatakan dengan menggunakan *back angle*, baik *back angle* jurusan maupun azimuth, maka pada gambar 7.1a, masing-masing titik dapat dinyatakan  $A = S 60^\circ W$ ,  $B = N 30^\circ W$ , dan  $C = N 50^\circ E$ . Gambar 7.1b yang menunjukkan arah azimuth apabila dinyatakan dengan *back angle* azimuth, maka masing-masing adalah  $A = 240^\circ$ ,  $B = 300^\circ$ , dan  $C = 230^\circ$ .

Penggunaan penginderaan jauh untuk menunjukkan lokasi secara absolut (koordinat) astronomis maupun secara relatif. Lokasi secara absolut (koordinat) dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak pengolah citra. Dapat pula dengan menumpang-susunkan citra dengan peta RBI/administrasi. Dengan demikian, lokasi suatu objek dapat diketahui koordinatnya secara tepat. Cara menunjukkan lokasi relatif dapat dilakukan dengan petunjuk navigasi kanan kiri dapat ditunjukkan dengan menggunakan letak objek secara relatif. Misalnya kita berdiri di titik X kemudian berjalan 2 grid ke selatan, selanjutnya belok kiri sebanyak 2 grid, maka objek apakah yang terletak di situ?



Gambar 7.2 Cara menunjukkan lokasi objek dengan navigasi kanan kiri atau dengan grid

Contoh mengetahui letak dengan menggunakan arah jurusan (*bearing*) maupun dengan koordinat pada citra dapat lebih akurat, karena pada citra bentuk objek dapat diketahui. Perhatikan cara menunjukkan lokasi suatu objek dengan panduan jurusan citra Quickbird berikut:



Gambar 7.3 Cara menunjukkan letak suatu objek dengan jurusan pada citra Quickbird

Jika titik sudut kiri lapangan merupakan pusat koordinat, maka pertigaan jalan (titik X) dapat ditunjukkan dengan menggunakan arah bearing S 50° E atau berada pada azimuth 50°. Bagaimanakah cara menyatakan lokasi *back angle* dari jurusan dan azimuth titik X tersebut?

## 2. Kondisi

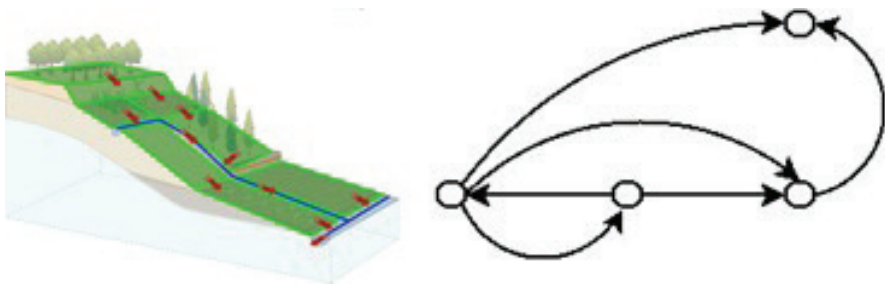
Kondisi adalah unsur *spatial thinking* yang berupa kemampuan menggambarkan fitur dan karakteristik lain yang mungkin dilihat, dengar, cium, rasa, atau sentuh di lokasi tertentu. Kemampuan ini diindikasikan kebenaran dalam menjawab pertanyaan “ada apa di tempat ini?” Untuk menjawab pertanyaan ini kita dapat menggunakan citra sebagai alat bantu. Resolusi spasial citra sangat menentukan kedetailan jawaban. Jika pertanyaannya “apakah di tempat ini ada lahan yang sesuai untuk mendirikan pertokoan?” apakah di wilayah yang tersaji pada citra Ikonos berikut terdapat area yang digunakan untuk lahan pertanian?



Gambar 7.4 Lahan pertokoan A & pertanian (B dan C) pada Ikonos sebagian Sleman

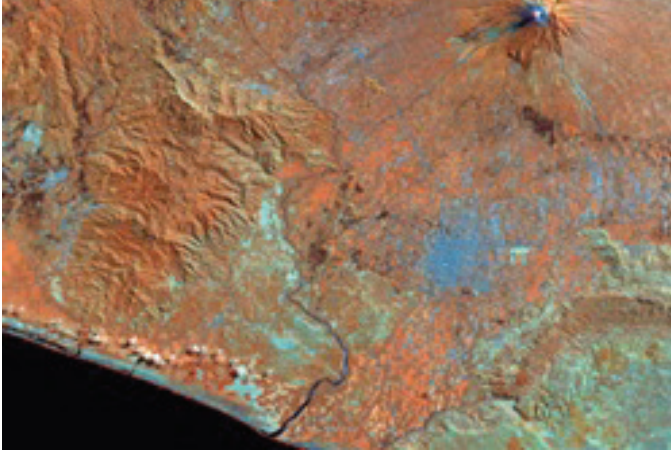
### 3. Koneksi

Koneksi merupakan konsep spasial yang menunjukkan bahwa tempat ini terkait dengan tempat-tempat lain. Aktivitas untuk melatih kemampuan koneksi adalah menggambarkan *link* (baik alami maupun buatan) yang lokasinya terkait dengan lokasi lain, dekat dan jauh. Contoh pertanyaan untuk melatih kemampuan ini di antaranya bagaimana tempat ini terkait dengan tempat-tempat lain? Keterkaitan ini dapat berupa keterkaitan secara fisik maupun keterkaitan non-fisik. Koneksi non-fisik dapat berupa koneksi kultural, ketenagakerjaan, dan lain-lain. Misalnya, wilayah Pekalongan merupakan daerah industri batik yang memiliki koneksi dengan wilayah Pemalang dan Batang sebagai wilayah pemasok sebagian besar tenaga kerjanya. Keterkaitan fisik lebih mudah dan seringkali dapat mudah diperoleh informasinya dari citra. Keterkaitan fisik dapat berupa keterkaitan hidrologis, keterkaitan geologi, geomorfologi, ekologi, dan lain-lain.



Gambar 7.5 Ilustrasi koneksi spasial

Koneksi spasial dapat pula diinterpretasi dari citra satelit, seperti disajikan pada gambar 7.6 berikut.



Gambar 7.6 Citra Landsat menampakkan Sungai Progo yang membentuk koneksi antar wilayah sejak dari Kabupaten Magelang sampai Sleman dan Kulonprogo

Amatilah daerah-daerah yang terkoneksi oleh sistem Sungai Progo! Bagaimana karakteristik umum penggunaan lahan di daerah-daerah tersebut?



Gambar 7.7 Koneksi spasial ditunjukkan oleh jalan raya pada citra Ikonos. Tempat-tempat penting terkoneksi oleh jalan

#### 4. Komparasi

Komparasi merupakan kemampuan membandingkan suatu tempat dengan tempat-tempat lain, apakah sama atau berbeda. Contoh aktivitas untuk melatih melatih kemampuan melakukan komparasi spasial adalah membandingkan karakteristik spasial satu tempat yang tergambar pada citra dengan tempat lain misalnya dalam hal ukuran luas, kepadatan, pola permukiman, lereng, iklim, ketinggian, atau aspek lainnya. Kegiatan komparasi spasial pada citra lebih mudah dilakukan khususnya untuk fenomena yang dapat diinterpretasi secara langsung. Contoh pertanyaan untuk mengukur kemampuan mengomparasi adalah apakah terdapat persamaan pola penggunaan lahan, kepadatan permukiman, aksesibilitas wilayah antara tempat X dengan tempat Y? Komparasi akan mengalami kesulitan jika memerlukan analisis lanjut atau mengomparasikan fenomena yang tidak dapat diinterpretasi secara langsung dari citra.

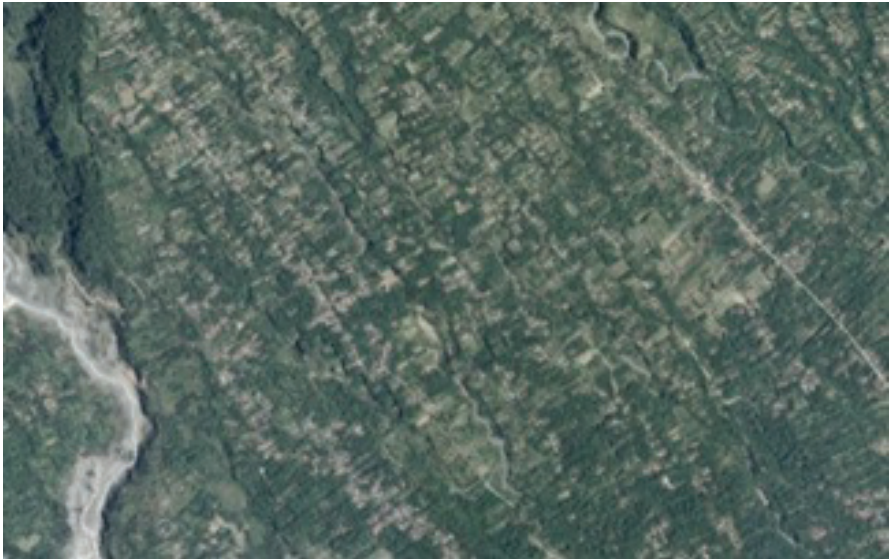
Perhatikan citra Ikonos pada gambar 7.7. Bandingkan bentuk penggunaan lahan di sekitar jalan raya di dua ruas jalan di Kota Yogyakarta! Apa yang berbeda?



Gambar 7.8 Perbandingan penggunaan lahan di dua jalur jalan



Gambar 7.9 Daerah lereng atas Gunungapi Merapi



Gambar 7.10 Sebagian lereng tengah Gunungapi Merapi



Gambar 7.11 Gambar sebagian lereng tengah Gunungapi Merapi

Bandingkan tingkat bahaya erupsi Gunungapi Merapi pada kedua lereng (atas dan tengah) pada gambar 7.9 dan 7.10, bandingkan pula tingkat bahaya antar region pada gambar 7.11.

## 5. Aura Spasial

Aura spasial adalah pengaruh suatu lokasi atau fitur yang ada pada suatu tempat terhadap tempat-tempat lain. Aura spasial pada citra tampak antara lain berupa perubahan tekstur (kepadatan), pola (perubahan penggunaan lahan yang makin bervariasi atau makin homogen), rona dan warna (semakin menjauhi/mendekati objek rona semakin terang/gelap). Inti dari kemampuan ini adalah menganalisis pengaruh bahwa tempat dapat memiliki lokasi tetangga. Contoh pertanyaan untuk mengukur kemampuan ini adalah apa efek suatu lokasi/fitur terhadap daerah terdekat? Ada dua pertanyaan yang dicontohkan oleh Gerhmel (2009), yakni: (1) Bagaimana pengaruh suatu tubuh perairan terhadap tempat-

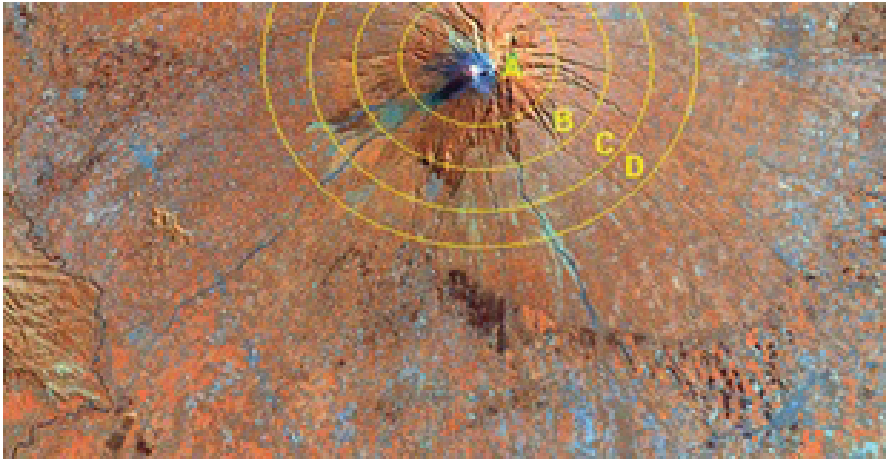


tempat di sekitarnya? (2) Apakah kota besar mempunyai pengaruh terhadap tempat-tempat di sekitarnya?



Gambar 7.12 Aura spasial pabrik ditunjukkan oleh sebuah pabrik dalam memengaruhi kualitas udara di sekitarnya

Pabrik merupakan objek yang mempunyai pengaruh terhadap kualitas lingkungan di sekitarnya (kualitas udara, kualitas air, dan kualitas tanah). Pada gambar 7.12 tampak bahwa pabrik mengeluarkan asap yang dapat mencemari udara di sekitar tempat itu. Semakin jauh dari lokasi pabrik, maka kadar polusi udara semakin rendah. Ini merupakan contoh yang menggambarkan aura spasial yang bersifat negatif. Contoh lain dari aura negatif adalah aura gunungapi. Perhatikan gambar 7.13 yang menggambarkan aura spasial Gunungapi Merapi.



Gambar 7.13 Aura spasial bahaya lahar dingin gunungapi Merapi terhadap tempat-tempat di sekitarnya berupa bahaya letusan dan lahar hujan (Sumber: BNPB, 2010).

Dari gambar 7.13 tampak Gunungapi Merapi sebagai tempat berbahaya dan pusat bencana, berupa bahaya letusan dan bahaya lahar hujan. Hal ini mempengaruhi minat orang untuk bertempat tinggal di sekitarnya. Dari citra tersebut tampak bahwa semakin ke arah puncak maka permukiman semakin jarang, bahkan menjadi tidak ada sama sekali. Hal ini menjadi contoh bahwa suatu tempat atau objek tertentu mempunyai aura spasial.

Aura spasial dapat pula bersifat positif, seperti aura spasial suatu kota besar yang menyebabkan daerah-daerah sekitarnya yang berbatasan langsung dengan kota menjadi lebih cepat berkembang. Sebagai contoh, perhatikan lahan di sekitar Kota Yogyakarta (gambar 7.14). Daerah-daerah bukan kota, seperti Condongcatur, Depok, Mlati, Gamping, yang merupakan wilayah suburban tapi memiliki karakteristik kota, bahkan secara fisik sulit dibedakan dengan wilayah kota. Mereka secara administratif bukan kota, tetapi secara fisik (kepadatan permukiman, fasilitas, kompleksitas

penggunaan lahan, harga lahan, aktivitas penduduk, dan lain-lain) merupakan wilayah kota.



Gambar 7.14. Kota Yogyakarta secara administratif dibatasi oleh garis-garis hijau, tetapi pengaruhnya menyebar melebihi batas administratif

## 6. Spatial Region

Region merupakan bagian dari permukaan bumi yang memiliki kesamaan tertentu sehingga dapat dibedakan dengan bagian lain yang berbatasan. Region dapat pula didefinisikan sebagai sekelompok tempat yang mempunyai lokasi berdekatan yang memiliki kondisi yang sama atau memiliki koneksi sehingga dapat didelineasi sebagai suatu polygon. Regionalisasi dapat dilakukan menggunakan 4 dasar, yakni: daerah aliran sungai (*river basin*), kesamaan gejala tertentu (*similarity*), kedudukan fungsi area (*functionality*), dan gejala tertentu untuk tujuan tertentu yang bersifat sementara (*ad hoc*).

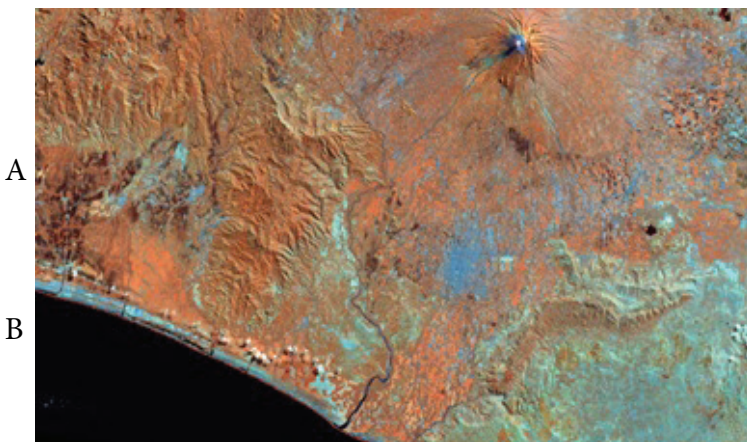


Gambar 7.15 Ilustrasi regionalisasi spasial

Aktivitas pembelajaran untuk melatih kemampuan ini antara lain menggambar garis di sekitar semua tempat yang mempunyai karakteristik serupa atau terkait dalam beberapa cara. Pertanyaan contoh untuk mengukur kemampuan ini adalah apakah tempat-tempat yang memiliki kemiripan kenampakan satu sama lain dapat dikelompokkan menjadi suatu region menurut aspek tertentu?



Gambar 7.16 Deliniasi suatu objek berdasarkan penggunaan lahan permukiman merupakan suatu contoh deliniasi untuk menentukan region

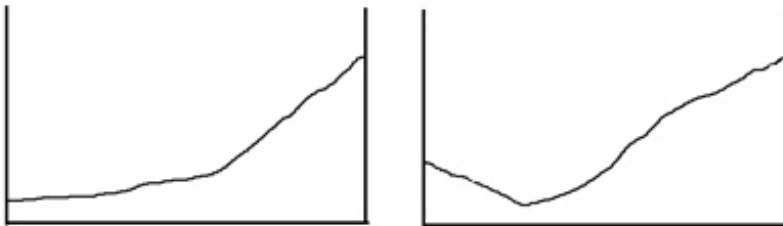


Gambar 7.17 Citra Landsat 5 cakupan wilayah Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta

## 7. Hierarki Spasial

Hierarki spasial menunjukkan sekumpulan daerah atau objek dengan ukuran atau tujuan yang berbeda tingkatannya. Aktivitas pembelajaran yang dapat dilaksanakan untuk melatih kemampuan ini adalah mengidentifikasi hierarki spasial, atau bagaimana fitur yang ada pada suatu wilayah yang berhubungan satu sama lain secara hierarki. Contoh pertanyaan untuk menguji kemampuan ini adalah di mana tempat yang sesuai dalam hierarki tempat? Bagaimana urutan tingkatan luas, kepadatan, kemiringan lereng yang terdapat di suatu wilayah yang tergambar pada citra?

Perhatikan gambar 7.17 di atas, garis AB dan AC merupakan garis imajiner yang menghubungkan wilayah yang berbeda-beda kemiringan lerengnya. Jika digambar dalam bentuk grafik, maka lereng tersebut tergambar sebagai berikut



Gambar 7.18 Lereng Merapi dapat dibagi-bagi berdasarkan derajat kemiringannya

Contoh lain pengenalan hierarki dapat dilakukan dengan mengenali bagian wilayah, kemudian mencoba meletakkan wilayah tersebut dalam wilayah yang lebih besar. Contoh: perhatikan wilayah Kota Yogyakarta (potongan dari citra Alos). Letakkanlah potongan Kota Yogyakarta tersebut dalam bingkai peta Daerah Istimewa Yogyakarta.



Gambar 7.19 Potongan Citra Alos yang menggambarkan Kota Yogyakarta



Gambar 7.20 Peta Daerah Istimewa Yogyakarta

## 8. Transisi

Transisi spasial menunjukkan sifat perubahan kondisi antara dua tempat. Kegiatan pembelajaran untuk melatih kemampuan ini antara lain menggambarkan apa yang terjadi antara dua tempat dengan kondisi yang dikenal. Contoh pertanyaan untuk mengukur kemampuan menganalisis transisi spasial adalah apa sifat perubahan antara dua tempat?

Amati fenomena transisi wilayah perkotaan dengan perdesaan, fenomena transisi yang berupa wilayah ini biasa secara berurutan dari kota ke arah desa yang disebut dengan *urban fringe*, *sub-urban fringe*, *rural urban*, *rural*. Pada citra tampak fenomena kota (Yogyakarta) dalam pengertian fisik bukan secara administratif.



Gambar 7.21 Citra ALOS menggambarkan transisi spasial berupa perubahan dari wilayah kota secara fisik ke wilayah suburban fringe, ditandai oleh perubahan penggunaan lahan yang kompleks dan padat menuju penggunaan lahan yang lebih sederhana dan jarang (perhatikan anak panah merah)



## 9. Analogi

Kemampuan analogi spasial merupakan kemampuan untuk menganalisis kesamaan dalam kondisi tempat sebagai konsekuensi dari sifat bersama yang lain. Aktivitas dalam pembelajaran untuk melatih kemampuan tersebut adalah mencari tempat di wilayah lain (di benua, negara, kota-kota lain, pegunungan, dataran) yang memiliki posisi yang sama dan kondisi yang sama. Contoh pertanyaan untuk mengetahui kemampuan analogi spasial adalah apakah tempat di benua, pulau, daerah perkotaan, daerah pedesaan atau lainnya yang memiliki situasi yang sama dengan tempat ini juga memiliki kondisi yang sama? Apakah fitur atau kondisi yang sama cenderung berada pada posisi yang sama?

Berikut dicontohkan suatu analogi, sungai-sungai besar di daerah perkotaan mengalami penyempitan karena digunakan untuk permukiman yang umumnya kumuh, perhatikan bagian dari Sungai Code yang melewati Kota Yogyakarta (gambar 7.22). Perhatikan pula gambar 7.23 yang merupakan sebagian dari Sungai Gajah Wong yang juga membelah Kota Yogyakarta. Tampak pada kedua bagian sungai menjadi permukiman kumuh.



Gambar 7.22  
Sebagian Sungai  
Code yang melewati  
Kota Yogyakarta,  
digunakan untuk  
permukiman kumuh



Gambar 7.23 Sebagian Sungai Gajah Wong yang melewati Kota Yogyakarta, digunakan oleh penduduk untuk permukiman kumuh

Analogi spasial yang dapat disimpulkan dari kedua citra tersebut adalah bahwa Sungai Code besar yang melewati kota dan mempunyai lahan di kanan kirinya (berfungsi sebagai tubuh perairan saat air pasang) banyak dimanfaatkan oleh penduduk miskin kota untuk lahan permukiman, sehingga dapat dianalogikan bahwa sungai besar lain yang melewati kota sebagian dimanfaatkan pula oleh penduduk miskin kota akibat keterbatasan lahan kota dan harga lahan yang tidak terjangkau penduduk miskin kota.

## 10. Pola

Pola merupakan suatu susunan fitur atau karakteristik yang tidak acak. Kemampuan membaca pola berarti. Contoh kegiatan dalam pembelajaran untuk melatih kemampuan memahami pola adalah menggambarkan susunan fitur atau objek yang memiliki susunan teratur pada sebuah area. Contoh pertanyaan apakah

fitur atau objek tersusun dalam ketidakseimbangan, mengelompok (*cluster*), string, cincin, atau cara-cara non-acak lain?

Untuk melatih kemampuan menganalisis pola distribusi objek pada citra, lakukanlah analisis pola pada contoh-contoh fenomena pada citra berikut ini.



Gambar 7.24 Pola agihan permukiman linier jalan



Gambar 7.25 Permukiman berkembang mengikuti jalur jalan



Gambar 7.26 Sawah dapat dikenali dari polanya

## 11. Asosiasi Spasial

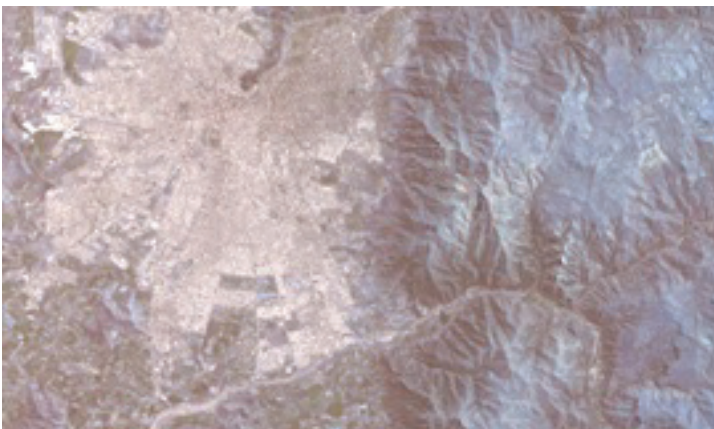
Objek spasial cenderung berhubungan dengan satu sama lain. Hal ini sesuai dengan hukum geografi pertama bahwa segala sesuatu saling terkait, tetapi hal-hal didekatnya lebih terkait daripada hal-hal jauh. Objek yang serupa dalam hal nilai-nilai dalam ruang tertentu cenderung mengelompok.

Jenis asosiasi spasial adalah asosiasi spasial titik (jarak sangat penting dalam menentukan titik asosiasi spasial), garis asosiasi spasial (jarak dan path), asosiasi spasial areal (jarak dan kedekatan). Asosiasi spasial menunjukkan tingkat hubungan antar-fenomena yang sama di lokasi yang sama. Contoh aktivitas dalam pembelajaran untuk melatih kemampuan mengasosiasi spasial antara lain mengidentifikasi sejauh mana fitur memiliki keterkaitan dengan objek lain, mengidentifikasi keberadaan objek lain berdasarkan keberadaan objek lainnya. Contoh pertanyaan dalam

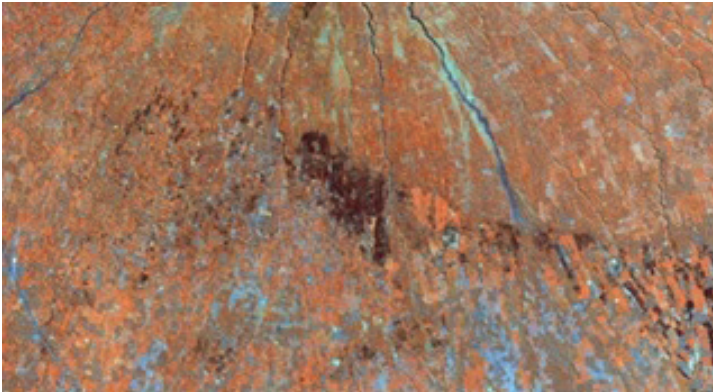
pembelajaran antara lain apakah fitur khusus cenderung terjadi bersamaan? Untuk melatih kemampuan asosiasi spasial ini, kajilah asosiasi spasial objek pada beberapa citra berikut ini.



Gambar 7.27 Sungai alami berasosiasi spasial jembatan (ditunjukkan anak panah kuning) dan dengan jalur hijau (*green belt*) ditunjukkan oleh anak panah merah.



Gambar 7.28 Lembah berasosiasi dengan pusat permukiman padat



Gambar 7.29 Tampak pola aliran yang rapat berasosiasi spasial dengan lereng pegunungan

## D. Rangkuman

Berpikir spasial didefinisikan sebagai koleksi konstruktif dari tiga unsur: konsep ruang, alat representasi, dan proses penalaran. Berpikir spasial menggunakan representasi untuk membantu mengingat, memahami, menalar, dan mengomunikasikan tentang sifat-sifat dan hubungan antara objek yang direpresentasikan dalam ruang, atau jika benda-benda itu sendiri secara inheren spasial. Citra penginderaan jauh menjadi media yang potensial untuk mengembangkan kemampuan berpikir tersebut, karena penginderaan jauh menyajikan data dalam skala (resolusi spasial) tertentu, merepresentasikan objek mirip aslinya, memberikan daya tarik bagi peserta didik untuk mengkajinya.

Kemampuan berpikir spasial mempunyai beberapa konsep kunci yang telah dirumuskan oleh beberapa ahli, di antaranya adalah menurut NRC, Bednardz & Bednardz Hegarty, Golledge, Jenelle & Goodchild, Gersmehl & Germehl. Untuk keperluan pengembangan kemampuan berpikir ini menurut pertimbangan

penulis, konsep kunci yang sangat baik adalah yang dikemukakan oleh Gersmehl & Gersmehl (2009). Konsep berpikir spasial yang dikemukakannya terdiri atas kemampuan mengenal lokasi, kondisi spasial, koneksi spasial, komparasi spasial, aura spasial, region spasial, transisi spasial, hierarki spasial, analogi spasial, pola spasial, dan asosiasi spasial. Semua unsur tersebut dapat terepresentasi dalam citra penginderaan jauh. Dalam hal ini, masing-masing unsur tersebut ada yang sesuai direpresentasikan dengan citra resolusi rendah, tetapi tidak sesuai dengan resolusi tinggi. Sebaliknya ada unsur-unsur *spatial thinking* yang sesuai direpresentasikan dengan menggunakan citra resolusi spasial tinggi, tetapi tidak cocok dengan menggunakan citra resolusi spasial rendah.

## E. Strategi Pembelajaran

Strategi pembelajarn yang sesuai keperluan pengembangan kemampuan berpikir spasial dengan bantuan citra penginderaan jauh adalah melalui model pembelajaran berbasis proyek (*project based learning*). Model pembelajaran tersebut merupakan salah satu model pembelajaran yang dapat digunakan oleh instruktur yang sekaligus menerapkan pendekatan saintifik atau *scientific approach* dalam pembelajarannya. Pendekatan saintifik merupakan pendekatan pembelajaran di mana siswa memperoleh pengetahuan berdasarkan cara kerja ilmiah.

Langkah-langkah (sintaks) pembelajaran berbasis proyek adalah sebagai berikut.

1. Menentukan pertanyaan dasar. Pertanyaan dasar dirumuskan oleh siswa setelah membaca konsep *spatial thinking* dan mengamati beberapa jenis citra.

2. Membuat desain proyek. Desain proyek merupakan rancangan kerja yang terdiri atas rumusan tujuan kerja, langkah-langkah kerja, dan rancangan teknik analisis untuk menjawab pertanyaan terkait kemampuan berpikir spasial.
3. Menyusun penjadwalan. Para peserta didik menyusun penjadwalan untuk menyelesaikan dan menjawab pertanyaan dasar sesuai dengan langkah-langkah kerja. Peserta didik harus menyelesaikan setiap langkah sesuai dengan jadwal yang telah disepakati.
4. Memonitor kemajuan proyek. Monitor kemajuan proyek dilakukan oleh instruktur dengan maksud agar langkah kerja sesuai, penyelesaian setiap langkah sesuai jadwal, dan menganalisis data secara tepat.
5. Melakukan penilaian hasil. Hasil kerja proyek dilaporkan atau dipresentasikan oleh peserta didik yang mewakili kelompok sehingga hasilnya dapat diketahui oleh kelompok lain maupun oleh instruktur. Berdasarkan laporan hasil ini instruktur dapat melakukan penilaian hasil.
6. Mengevaluasi pengalaman. Pengalaman yang diperoleh melalui kegiatan proyek (praktikum, observasi lapangan, maupun diskusi) dengan sesama anggota kelompok harus bermakna dalam pencapaian tujuan pembelajaran.



## F. Latihan

Untuk memperdalam kemampuan dan keterampilan hasil belajar keberhasilan peserta didik dalam belajar, maka diperlukan latihan soal. Berikut ini adalah latihan soal yang harus dikerjakan oleh semua peserta didik.

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini secara benar!

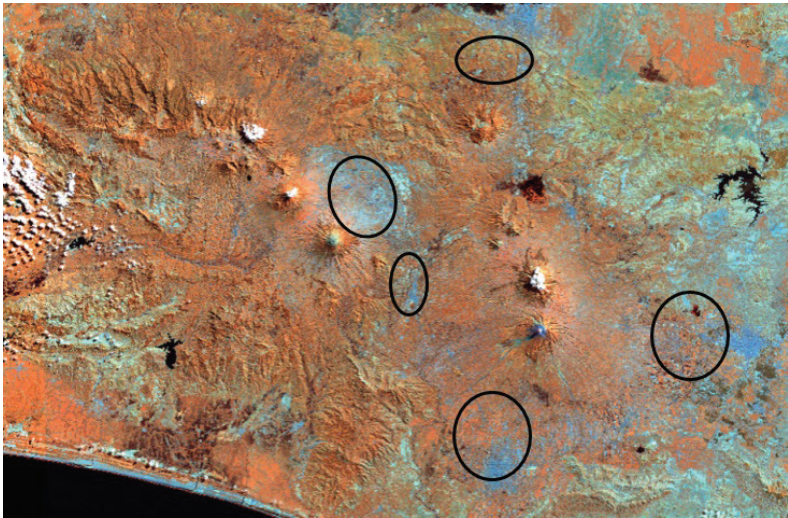
1. Jika Anda sedang berada di gedung tengah asrama mahasiswa UGM Baciro (titik X), maka lokasi GOR Amongrogo dapat dinyatakan dengan azimuth berapa?

X



2. Setelah Anda ketahui letak GOR Amongrogo dengan besaran azimuth tertentu, nyatakanlah letak tersebut dengan menggunakan jurusan, *back angle* azimuth, dan *back angle* jurusan!

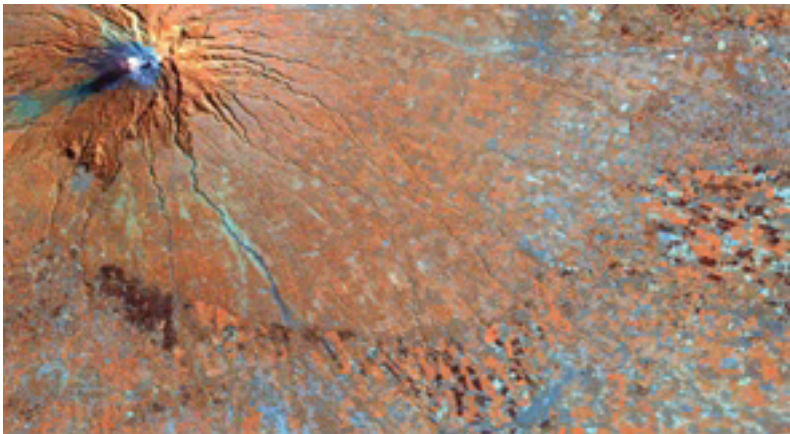
3. Pada citra Landsat 5 band 457 wilayah yang ditandai dengan lingkaran-lingkaran berwarna biru terdapat pada lembah-lembah. Objek apakah yang memiliki asosiasi spasial dengan lembah tersebut? Mengapa demikian?



4. Apa yang dapat Anda simpulkan dari objek-objek yang dilingkari pada citra Quickbird pankromatik berikut ini?



5. Pada pada setiap perubahan kemiringan lereng selatan Gunungapi Merapi terdapat perubahan kepadatan permukaan. Buatlah klasifikasi kepadatan tersebut dengan menggunakan garis/polygon.



6. Jika kondisi geomorfologi secara umum dari puncak Gunungapi Merapi sampai Bantul tergambar seperti di bawah ini, buatlah deliniasi pada citra Landsat berdasarkan gambar tersebut.



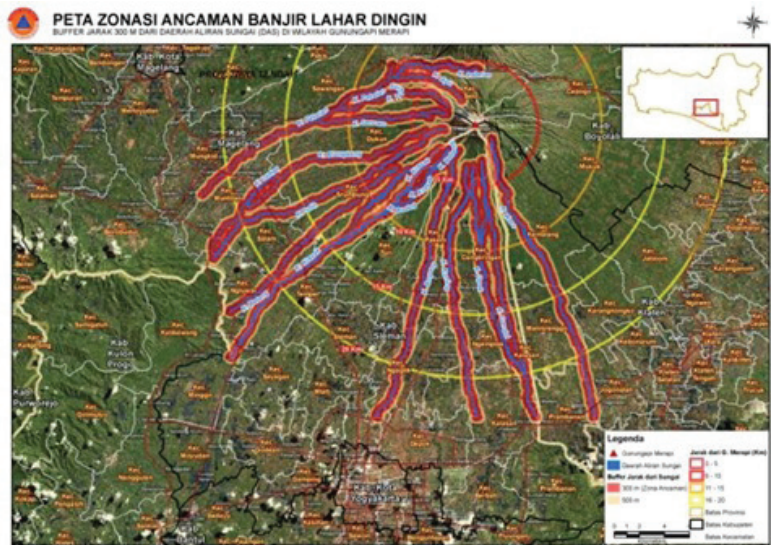
7. Erosi gully (*gully erosion*) terjadi pada lereng-lereng atas pegunungan, sebagaimana tergambar pada citra di atas. Gully erosion pada citra jika digambar terrestrial di antara 2 gambar berikut mana yang sesuai?



8. Jika anda mendapati objek yang tidak lazim pada citra QB di bawah ini, objek tersebut berupa bangunan setengah lingkaran lebih dengan rona gelap, maka strategi interpretasi apa yang akan anda gunakan? Berikan alasan penggunaan strategi tersebut!



9. Perhatikan peta zonasi ancaman banjir lahar dingin yang dibuat oleh BNPB. Perhatikan pula citra yang menggambarkan posisi Kota Yogyakarta. Sungai Code merupakan salah satu sungai yang berhulu di Merapi dan melewati Kota Yogyakarta. Buffer zona bahaya adalah 300 meter dari aliran sungai. Tunjukkanlah pada citra Alos wilayah di Kota Yogyakarta yang berisiko terkena banjir lahar dingin.



10. Jika gambar citra ALOS di atas dipasangkan pada peta daerah yang lebih luas (Peta Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta) seperti tercantum di bawah ini, buatlah garis-garis batas pada peta.



# BAB VIII

## PENGGUNAAN CITRA MULTIRESOLUSI SPASIAL<sup>1</sup>

### A. Latar Belakang

Aktivitas pembangunan dilakukan dengan tujuan besar untuk meningkatkan kesejahteraan hidup manusia, tetapi tidak sedikit kegiatan pembangunan yang mendatangkan dampak negatif dan permasalahan baru di berbagai ranah kehidupan manusia. Di antara sebab timbulnya permasalahan ini adalah kurang diperhatikannya aspek spasial dalam pembangunan. Banyak program pembangunan dan implementasinya lebih berorientasi pada aspek sektoral dan ekonomi. Contoh nyata dampak kurang diperhatikannya aspek spasial tersebut antara lain permasalahan banjir di Jakarta, sebagai efek dari pembangunan (perubahan penggunaan lahan) di wilayah hulu (Bogor dan sekitarnya), pembangunan perumahan di wilayah pantai Jakarta yang dapat menghambat aliran air sungai untuk menuju muara. Kurang diperhatikannya aspek spasial tersebut disebabkan minimnya pengetahuan spasial, sikap spasial, dan kemampuan berpikir spasial para pemangku kebijakan.

---

<sup>1</sup> Disarikan dari penelitian B. S. Hadi, "Pengaruh Penggunaan Citra Multi-resolusi Spasial dalam Pembelajaran Penginderaan Jauh terhadap Kemampuan Berpikir Spasial Mahasiswa Calon Guru Geografi" (2017).

Untuk mengatasi penyebab permasalahan spasial, sebagaimana diungkapkan di atas, maka perlu adanya topangan dari sumber daya manusia yang kompeten. Di antara syarat kompetensi tersebut adalah kemampuan berpikir geografi (*geographical thinking*), yakni suatu cara yang unik untuk melihat dunia, berpikir dengan menggunakan seperangkat konsep dan gagasan yang dapat membantu melihat hubungan antara tempat dan skala yang sering diabaikan oleh orang lain (Jackson, 2006 dalam Brooks, *et.al.*, 2017). Di samping wacana pengembangan *geographical thinking*, berkembang pula wacana mengenai berpikir spasial (*spatial thinking*), yang didefinisikan sebagai berpikir untuk menemukan makna dari bentuk, ukuran, orientasi, lokasi, arah atau lintasan, objek, proses atau fenomena, atau posisi relatif objek di antara objek-objek, proses atau fenomena (Cherleton, 2008). Kemampuan berpikir spasial (KBS) menjadi kajian interdisiplin yang belum memiliki konsensus dalam definisi dan komponen-komponen penyusunnya (Lee & Bednarz, 2011). Para ahli geografi menganggap bahwa berpikir spasial merupakan bagian dari *geographical thinking*, karena spasial merupakan salah satu bagian dari pendekatan geografi (Hadi, 2017).

Amstrong (2004), seorang yang mengembangkan lebih lanjut dari teori kecerdasan ganda atau *Multiple Intelegence* (MI) dalam bidang pendidikan menyatakan bahwa pada diri manusia terdapat spektrum kecerdasan yang luas, tidak hanya kecerdasan logika matematika dan verbal sebagaimana diyakini oleh teori kecerdasan lama. Di samping itu, menurut keyakinannya, kecerdasan dapat dikembangkan. Pernyataan ini memberi harapan baru kepada setiap orang untuk memiliki kecerdasan yang lebih tinggi dari apa yang telah dibawa sejak lahir. Penemuan teori atau teori kecerdasan ganda oleh Gardner (1986), di mana salah satu jenis



kecerdasan adalah kecerdasan spasial telah menginspirasi diskusi baru di kalangan para ahli geosains, terutama sejak bermunculannya ide mengenai urgensi kecerdasan spasial untuk pengembangan geosains dan menyusun teknik pengukuran baru yang lebih representatif dibanding model lama. Dalam berbagai studi, para ahli geosains kemudian lebih memilih kajian *spatial thinking ability* atau kemampuan berpikir spasial (KBS) yang merupakan unsur utama dari kecerdasan spasial, sementara ahli bahkan lebih memilih istilah geoliterasi (Edelson, 2011).

KBS merupakan bagian terpenting dari kecerdasan geospasial (Dutton, 2007). Kemampuan ini penting untuk dimiliki oleh setiap orang demi kelangsungan hidup dalam lingkungan di mana seseorang bergerak dan mengeksplorasi suatu fenomena tertentu di lingkungan tempat dia berada (Sarno, 2010). Untuk mengasah kemampuan tersebut diperlukan suatu disiplin ilmu yang secara epistemologis linier dengan KBS. Dalam banyak studi, geosains memiliki peran yang unggul dalam mengembangkan dan memberi eksplanasi hubungan antara manusia dengan ruang, oleh karena itu geografi menjadi disiplin akademik yang paling sesuai untuk membantu perkembangan kemampuan spasial melalui serangkaian kegiatan didaktik yang tepat (Sarno, 2012). Realitasnya pembelajaran geografi di sekolah-sekolah belum menekankan KBS. Hal ini tidak sesuai dengan rekomendasi para ahli pedagogi dan geografi bahwa KBS dapat dan harus diajarkan kepada semua tingkatan dalam sistem pendidikan (Lee & Bednarz, 2011). Kemampuan berpikir spasial ialah bagian yang penting bagi pembelajaran geografi dan menjadi aspek strategis untuk memahami fenomena-fenomena geografi. Hampir semua fenomena geografi dapat dipahami melalui sudut pandang spasial, baik itu fenomena fisik maupun fenomena non-fisik.

Geografi secara tradisional memiliki alat bantu untuk memahami berbagai fenomena dan menyajikannya, yakni dengan menggunakan teknologi geospasial. Teknologi geospasial yang dimaksud meliputi penginderaan jauh, sistem informasi geografis, kartografi, fotogrametri, dan GPS. Di antara teknologi yang dikaji dalam tulisan singkat ini adalah penginderaan jauh. Data penginderaan jauh memiliki potensi untuk dimanfaatkan di dalam kelas sebagai media pembelajaran untuk mengasah kemampuan berpikir spasial siswa (Cheung et.al., 2011). Alasan penggunaan citra untuk pengembangan kemampuan berpikir spasial di kelas adalah citra mengandung unsur visual spasial, peta, fotografi, simbol grafis, penggunaan warna, apresiasi seni, berkhayal kreatif, latihan berpikir visual dan mencari pola visual. Data penginderaan jauh memiliki fleksibilitas untuk diolah dengan perangkat lunak tertentu sehingga dapat dilakukan visualisasi, grafik, diagram, 3D, dan sebagainya.

Penggunaan citra penginderaan jauh agar lebih bermanfaat dan dapat meningkatkan kemampuan berpikir spasial tentu harus dipersiapkan melalui rencana pembelajaran dan model pembelajaran yang sesuai dengan karakteristik dan pola kerja sistem penginderaan jauh. Konsep berpikir spasial yang menurut pertimbangan subjektif penulis paling sesuai digunakan dalam penelitian dengan menggunakan penginderaan jauh adalah konsep yang diusulkan oleh Gersmehl & Gersmehl (2007). Pembaca dapat membandingkan beberapa konsep kemampuan berpikir spasial yang dikemukakan oleh ahli lain, sebagaimana tertuang pada tabel 7.1 (dalam bab VII).

Dalam studi terhadap KBS, para ilmuwan sering mengaitkan dengan aspek gender. Pada diskursus aspek tersebut terjadi silang pendapat. Tes fungsi psikologis pada bagian kemampuan

spasial untuk semua sub unsur menunjukkan laki-laki mendapat skor lebih tinggi daripada perempuan (Gaulin & Fitzgerald, 1986). Hasil studi Halpern dan Collaer (2005) menguatkan anggapan bahwa laki-laki lebih unggul dalam kemampuan spasial dari pada perempuan. Menurut Silverman (2007), dalam Hedley (2008), berdasarkan hasil kajian di beberapa negara diperoleh kesimpulan bahwa laki-laki memiliki hasrat bawaan untuk menjelajahi area yang lebih luas dari pada perempuan. Eksplorasi ini yang menyebabkan peningkatan kemampuan spasial pada laki-laki. Hasil studi yang berbeda dikemukakan oleh Lee (2005), ternyata dalam pembelajaran menggunakan SIG, tidak terdapat perbedaan signifikan dalam hal peningkatan KBS pada kedua kelompok jenis kelaminnya.

Menurut Lee (2006) hampir tidak ada penelitian mengenai interelasi spasial di bidang kognisi spasial yang representatif, yang sesuai situasi lapangan, sehingga diperlukan cara baru yang dapat mendekatkan alat representasi dengan dunia nyata (*real world*). Penginderaan jauh merupakan alat representasi yang baik dari dunia nyata. Oleh karena itu, penggunaan penginderaan jauh berpotensi untuk melejitkan KBS. Kerski (2008) menyatakan bahwa tanpa berpikir spasial, isu-isu kompleks yang dihadapi dunia tidak dapat secara efektif dan benar-benar ditangani. Tanpa berpikir spasial, skala sebagai aspek penting untuk memecahkan masalah terabaikan. Tanpa berpikir spasial, seseorang bisa mahir dalam bekerja dengan perangkat lunak tapi kemungkinan akan mengalami kesulitan dalam berpikir di luar kotak *software*.

Upaya strategis untuk membangun KBS adalah melalui pembelajaran geografi di sekolah-sekolah. Nilai strategis mata pelajaran geografi adalah khazanah konsep, pendekatan, media dan teknik yang digunakan dalam geografi yang bersifat dan berisi

konsep spasial. Di antara teknik dalam geografi yang paling memungkinkan untuk pembelajaran yang dapat mengembangkan kemampuan berpikir spasial adalah Sistem Informasi Geografi (SIG), kartografi, dan penginderaan jauh. Kajian yang telah banyak dilakukan oleh para peneliti geosains dalam upaya mengembangkan kemampuan berpikir spasial tetapi lebih tertuju pada penggunaan SIG. Penginderaan jauh belum digunakan untuk kepentingan pengembangan KBS, bahkan di beberapa negara hingga kini baru digunakan dalam proyek-proyek rintisan penerapan dan pengembangan di dunia pendidikan.

Manusia sebagai pengguna data penginderaan jauh sangat menentukan kualitas ekstraksi informasi dan kualitas terapan penginderaan jauh. Syarat utama yang harus dipenuhi oleh pengguna untuk mencapai keberhasilan penginderaan jauh adalah keahlian (*skill*) dan KBS (Allen, 2013). Perkembangan penginderaan jauh yang makin mengarah kepada automasi tidak berarti faktor manusia tidak penting lagi. Sebagus apapun sebuah sistem komputer, kualitas manusia sebagai penafsir atau operator memiliki peranan penting. Fakta adanya variasi hasil interpretasi citra di antara penafsir yang berbeda terhadap objek yang sama menunjukkan urgensi peran manusia (Coillie, 2014). Ini terjadi karena manusia sebagai penafsir memiliki persepsi visual dan ketelitian yang berbeda. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa metode ekstraksi fitur berdasarkan persepsi visual manusia aktif dan efektif untuk citra resolusi spasial tinggi, yang menghasilkan klasifikasi citra yang normal (Liu, He, & Yuan, 2009). Penginderaan jauh dan kemampuan berpikir spasial dapat saling mendukung. Manusia (sebagai pengguna data penginderaan jauh) merupakan komponen sistem penginderaan jauh. Kualitas manusia menentukan bagaimana kualitas penginderaan jauh. Manusia yang diperlukan

untuk menciptakan penginderaan jauh berkualitas, di antaranya adalah manusia yang memiliki keahlian dan kemampuan berpikir spasial. Hal ini sebagaimana dinyatakan Allen (2014), spesialis pendidikan di NASA: *“Both geography and land remote sensing depend on spatial thinking, skills, and technologies.”*

Citra potensial digunakan sebagai media untuk pengembangan KBS atas alasan yang dikemukakan para ahli: 1) Hoffman & Conway (1989) menyatakan bahwa kegiatan penginderaan jauh sangat tergantung pada proses psikologis, dan setiap kali seorang penafsir citra duduk di depan layar komputer grafis atau satu setcitra, maka persepsi, pembelajaran, dan proses penalaran akan memainkan peran penting; 2) Sutanto (1994) menyatakan bahwa kesan keruangan dari suatu wilayah dapat dihadirkan dalam pikiran sebagai mental map, citra penginderaan jauh dapat menyajikan kenampakan permukaan bumi sesuai dengan bentuk aslinya yang berkaitan dengan KBS, dan pendekatan multi, yakni multilevel, multitemporal dan multispektral. Pendekatan multi memungkinkan penginderaan jauh dapat berperan banyak dalam berbagai kajian; dan 3). Coillie et al. (2014) menyatakan bahwa terdapat variabilitas hasil interpretasi antar penafsir citra, sehingga perlu dilakukan penguatan kemampuan berpikir spasial.

Pernyataan para ahli di atas semakin memantapkan penulis untuk memfokuskan kajian pada penggunaan citra penginderaan jauh untuk mengembangkan kemampuan berpikir spasial mahasiswa Jurusan Pendidikan Geografi. Pembentukan di level pendidikan tinggi, Lembaga Pendidikan Tenaga Kependidikan (LPTK), ini merupakan perbaikan di bagian hulu, sehingga diharapkan setelah mereka menjadi guru geografi (berada di bagian hilir) dapat melakukan pembelajaran penginderaan jauh secara lebih menarik dan bermakna.

Salah satu karakteristik citra yang perlu diperhatikan oleh penididik (guru dan dosen) dalam pembelajaran untuk mengembangkan KBS dengan menggunakan citra penginderaan jauh adalah resolusi spasial citra. Belum ada teori yang menunjukkan resolusi berapa yang efektif untuk pembelajaran dan pengembangan kemampuan spasial pada berbagai usia jenjang sekolah. Dalam aplikasi penginderaan jauh untuk berbagai keperluan memang telah ada konsep yang dapat dijadikan acuan dalam hal resolusi ini (terutama untuk interpretasi *land use/land cover*) tapi belum ada acuan yang dapat digunakan dalam dunia pendidikan.

Jurusan pendidikan geografi di LPTK (Lembaga Pendidikan Tenaga Kependidikan) mempunyai tanggung jawab untuk menghasilkan calon guru geografi yang berkualitas. Di LPTK, mata kuliah penginderaan jauh memiliki bobot 3-5 SKS. Bobot tersebut sangat kurang jika dilihat cakupan penginderaan jauh yang sedemikian luas. Dengan kondisi demikian, sulit diharapkan bahwa dari pembelajaran tersebut mahasiswa memiliki kompetensi yang mencukupi untuk menjadi pengajar geografi yang di dalamnya terdapat materi penginderaan jauh.

Menurut Armstrong (2003), terdapat sejumlah model pembelajaran yang digunakan untuk mengembangkan kecerdasan ganda, termasuk kecerdasan spasial. Secara teoretik, model pembelajaran untuk mengembangkan kecerdasan tersebut harus variatif dan melibatkan banyak indera peserta didik. Hal ini menjadi konsekuensi dari variatifnya jenis kecerdasan yang dimiliki peserta didik. Salah satu model pembelajaran yang mendorong peserta didik untuk bereksplorasi menghadapi masalah adalah pembelajaran berbasis masalah (*problem solving learning*). Model ini memberi ruang kepada peserta didik untuk mengeksplorasi citra secara lebih terarah.

## B. Tujuan

1. Menguji pengaruh penggunaan citra multiresolusi spasial dalam pembelajaran penginderaan jauh terhadap kemampuan berpikir spasial mahasiswa calon guru geografi.
2. Menguji perbedaan pengaruh penggunaan citra multiresolusi spasial dalam pembelajaran penginderaan jauh terhadap kemampuan berpikir spasial mahasiswa laki-laki dan mahasiswa perempuan.
3. Menguji pengaruh penerapan metode penginderaan jauh dengan pembelajaran berbasis masalah terhadap kemampuan berpikir spasial mahasiswa calon guru geografi.

## C. Metode

### 1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain quasi eksperimen *pre-test* dan *post-test*. Populasi penelitian adalah mahasiswa Jurusan Pendidikan Geografi yang menjadi peserta mata kuliah Penginderaan Jauh, dari tiga universitas LPTK (yakni UPI, UNY, dan Unesa). Masing-masing universitas diambil dua kelompok, sebagai kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Bahan penelitian ini adalah citra multiresolusi spasial, yakni citra Quickbird (tinggi), Citra ALOS AVNIR-2 (menengah), dan Landsat 7/8 (rendah), cakupan wilayah DIY dan Jawa Tengah. Mahasiswa UPI dikenai perlakuan dengan citra resolusi tinggi, UNY memperoleh perlakuan dengan citra resolusi menengah, dan Unesa dikenai perlakuan dengan citra resolusi rendah.

## 2. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan metode tes, khususnya untuk memperoleh data KBS, kemampuan strategi interpretasi, dan kemampuan memecahkan masalah spasial. Metode praktikum digunakan untuk memperoleh data akurasi hasil interpretasi. Pengukuran uji akurasi diujicobakan interpretasi penggunaan lahan. Uji akurasi yang digunakan adalah *confusion matrix calculation* dan statistik Kappa. Untuk data pengetahuan penginderaan jauh menggunakan data nilai hasil ujian tengah semester.

## 3. Instrumen Penelitian

Untuk keperluan pengumpulan data, maka dibuat 4 set instrumen. Keempat set soal tersebut diberi kode set A, B, C, dan D. Set soal A, B, C dikembangkan dari citra multiresolusi spasial, dan set soal D dikembangkan dari variabel kemampuan memecahkan masalah spasial dan kemampuan menerapkan strategi interpretasi citra. Penyusunan instrumen didasarkan pada konsep berpikir spasial yang dikemukakan oleh Gersmehl & Gersmehl (2006). Struktur instrumen mengacu pada instrumen pengukuran STAT (*Spatial Thinking Ability Test*) yang dikembangkan oleh Lee (2006). Perbedaan instrument yang digunakan pada kajian ini dengan instrument Lee adalah (a) soal ini dikembangkan dengan menggunakan citra penginderaan jauh, (b) soal dikembangkan berdasarkan konsep KBS yang dikembangkan oleh Gersmehl & Gersmehl, sedangkan Lee dikembangkan sebelum konsep KBS menurut Gersmehl dikembangkan, (c) Soal ini berorientasi pada pengukuran KBS, sedangkan soal Lee dikembangkan berdasarkan konsep *spatial ability*, (d) instrumen soal ini dikembangkan menjadi 4 set soal (A, B, C, D). Pengembangan instrumen menjadi



4 set karena mengikuti klasifikasi resolusi spasial citra yang terdiri atas resolusi spasial rendah, menengah, dan tinggi, sementara soal D dibuat secara khusus untuk mengukur kemampuan memilih strategi, dan kemampuan memecahan masalah spasial.

Set soal A, B, dan C, masing-masing terdiri atas 33 butir soal KBS, dan set D terdiri atas 18 soal, mencakup 3 kelompok soal, yakni 9 soal untuk menguji kemampuan memilih strategi, dan kemampuan memecahan masalah spasial.

#### 4. Teknik Analisis Data

Untuk memperoleh jawaban atas hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini, maka digunakan beberapa teknik analisis data. Teknik analisis data yang digunakan adalah *analysis of covariance* (ANCOVA). Untuk keperluan analisis tersebut digunakan perangkat lunak SPSS.

### D. Hasil Penelitian dan Diskusi

#### 1. Daya Bantu Citra Multiresolusi Spasial terhadap KBS

Konsep KBS yang digunakan dalam studi yang dilakukan oleh penulis ini adalah mengacu pada taksonomi yang dikemukakan oleh Gersmehl & Gesmehl (2008) yang terdiri atas 8 komponen KBS. Masing-masing komponen yang telah dijabarkan menjadi soal-soal untuk pengukuran hasil pembelajaran penginderaan jauh diperoleh jawaban yang beragam. Setiap komponen KBS ini diukur dengan menggunakan 3 item soal, sehingga pengkelasan kualitas jawaban dilakukan berdasarkan jumlah jawaban setiap komponen. Selanjutnya berdasarkan seberapa banyak mahasiswa yang terbantu menjawab soal-soal komponen KBS pada tiap citra yang berbeda resolusi spasial inilah ditentukan daya bantu citra

terhadap setiap komponen KBS. Deskripsi data KBS yang dikemukakan di sini adalah persentase jumlah mahasiswa yang menjawab secara benar. Adapun pengkelasan itu dibuat berdasarkan jumlah jawaban benar pada setiap komponen KBS. Kelas baik, jika partisipan mampu menjawab tiga pertanyaan secara benar, kelas sedang jika partisipan mampu menjawab dua pertanyaan secara benar, kelas jelek jika partisipan hanya mampu menjawab 0-1 item pertanyaan. Berdasarkan prosedur tersebut diperoleh bobot daya bantu citra multiresolusi spasial terhadap KBS mahasiswa berdasarkan komponen-komponen penyusun KBS.

Tabel 8.1. Bobot Daya Bantu Citra Multiresolusi untuk Pembelajaran Setiap Komponen KBS

No	Komponen KBS	Bobot Daya Bantu untuk Pembelajaran		
		Resolusi Spasial Rendah	Resolusi Spasial Menengah	Resolusi Spasial Tinggi
1.	Lokasi	✓	✓✓	✓✓
2.	Kondisi spasial	✓✓	✓✓	✓✓✓
3.	Koneksi spasial	✓✓	✓✓	✓✓
4.	Komparasi spasil	✓✓	✓✓	✓✓
5.	Aura Spasial	✓✓	✓✓	✓
6.	Region	✓✓✓	✓✓✓	✓
7.	Hierarki spasial	✓	✓✓	✓
8.	Transisi spasial	✓✓	✓✓	✓
9.	Analogi spasial	✓	✓✓	✓✓
10.	Pola spasial	✓✓	✓✓	✓
11.	Asosiasi spasial	✓✓	✓✓	✓✓

Keterangan:

- ✓ = bobot daya bantu rendah
- ✓✓ = bobot daya bantu sedang
- ✓✓✓ = bobot daya bantu tinggi

## 2. Pengaruh Penggunaan Citra Multiresolusi Spasial pada KBS

Citra penginderaan jauh memiliki resolusi spasial yang berbeda-beda. Dalam penggunaannya pada kegiatan pembelajaran untuk mengembangkan KBS mahasiswa, perbedaan tersebut kemungkinan memiliki implikasi. Untuk keperluan menguji hipotesis yang menyatakan bahwa ada pengaruh perbedaan level resolusi spasial citra terhadap kemampuan berpikir spasial mahasiswa digunakan ANCOVA, dengan kovariat skor *pre-test*. Pengujian dengan ANCOVA ini menggunakan model SS (*Sum of Squares*) *type* III.

Hasil ANCOVA diperoleh koefisien nilai F untuk faktor KBS pretes sebesar 244,377 dengan nilai sig. = 0,000. Karena nilai sig. < 0,05, dengan demikian hipotesis nihil ditolak. Hal ini berarti bahwa pada tingkat kepercayaan 95% dapat dinyatakan bahwa ada hubungan linier antara skor *pre-test* dengan skor KBS yang dimiliki oleh mahasiswa. Pernyataan ini menunjukkan bahwa asumsi Ancova telah terpenuhi. Pengujian ini dilakukan dengan menghilangkan pengaruh perbedaan resolusi spasial terlebih dahulu dari model.

Langkah selanjutnya dilakukan pengujian untuk mengetahui pengaruh perbedaan resolusi spasial terhadap skor KBS mahasiswa. Pengujian ini dilakukan dengan menghilangkan pengaruh skor pra tes dari model. Dari hasil pengolahan terlihat bahwa untuk variabel resolusi spasial memiliki nilai F= 4,307 dengan koefisien signifikansi 0,015. Karena nilai signifikansi tersebut di bawah 0,05 maka  $H_0$  ditolak. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa tanpa pengaruh skor *pre-test*, pada tingkat kepercayaan 95% ada pengaruh perbedaan resolusi spasial terhadap skor KBS

yang diperoleh mahasiswa calon guru geografi.

Untuk mengetahui pengaruh *pre-test* dan perbedaan resolusi spasial citra yang digunakan terhadap nilai yang diperoleh mahasiswa secara simultan dapat dilihat dari angka signifikansi pada bagian *Corrected Model*. Dari *output* analisis tampak bahwa angka signifikansi=0,000. Nilai signifikansi tersebut jauh di bawah 0,05 maka  $H_0$  ditolak. Dengan demikian, pada tingkat kepercayaan 95% dapat disimpulkan bahwa secara simultan *pre-test* dan resolusi spasial citra yang digunakan dalam pembelajaran penginderaan jauh berpengaruh terhadap skor KBS yang diperoleh mahasiswa.

Selanjutnya, pada *output* juga tampak nilai  $R^2$  yang merupakan koefisien determinan yang menunjukkan besaran efektivitas model ANCOVA yang digunakan. Besaran efektivitas model ditunjukkan oleh nilai  $R^2= 0,652$  atau 65,2%. Dalam hal ini nilai  $R^2$  yang digunakan untuk menunjukkan bahwa model ini cukup efektif. Selebihnya, yakni 34,8% (dari 100%-65,2%) harus dijelaskan oleh faktor lain di luar model. Hal ini menunjukkan bahwa faktor *pre-test* dan gender cukup efektif untuk menjelaskan perbedaan kemampuan berpikir spasial akibat perbedaan resolusi spasial citra.

Penggunaan citra multiresolusi spasial untuk pembelajaran dengan pembelajaran berbasis masalah berpengaruh secara signifikan terhadap KBS. Hal ini telah dibuktikan dengan analisis ANCOVA. Pengujian pengaruh dilakukan dengan memperhitungkan nilai *pre-test* sebagai acuan sehingga dapat dibandingkan antara nilai *pre-test* dan *post-test*. Skor rata-rata KBS pada kelompok mahasiswa yang belajar dengan citra resolusi spasial berbeda menunjukkan kenaikan yang signifikan. Skor pada kelompok resolusi spasial rendah pada *pre-test* 55,27 menjadi 67,14 pada

*post-test* (skor naik 11,87), pada resolusi spasial menengah dari 54,71 menjadi 70,58 (skor naik 15,87), dan pada kelompok resolusi spasial tinggi dari 55,17 menjadi 70,72 (skor naik 15,55). Penggunaan citra Landsat 7 dan 8 dalam pembelajaran untuk mengembangkan KBS memiliki peningkatan yang paling rendah, hal ini berkaitan dengan kesulitan memahami komponen KBS pada citra tersebut, khususnya komponen kondisi spasial, koneksi spasial, aura spasial, dan analogi spasial.

Jika dilihat dari perbedaan antara skor rata-rata KBS *pre-test* dan *post-test*, maka pada kelompok mahasiswa yang belajar dengan citra resolusi spasial menengah mempunyai koefisien pengaruh yang paling besar. Kondisi ini dapat menjadi pertimbangan untuk menggunakan citra resolusi menengah. Penggunaan resolusi spasial rendah menghasilkan skor yang lebih rendah dan perubahan yang lebih rendah pula. Hal ini terjadi karena citra resolusi rendah lebih sulit diinterpretasi, sehingga komponen KBS pun sulit diinterpretasi. Dampak dari kesulitan menafsirkan komponen KBS adalah kurang optimalnya hasil pemanfaatan citra resolusi rendah, bukan karena nilai pemanfaatannya yang rendah tetapi karena pengguna belum mampu membaca bentang lahan secara makro, yang merupakan modal pokok dalam memahami citra resolusi rendah.

Skor KBS pada kelompok mahasiswa yang menggunakan resolusi spasial tinggi dan resolusi spasial menengah menunjukkan kondisi yang hampir sama. Hal ini terjadi karena komponen KBS yang dapat dengan lebih mudah dikenali pada kedua citra, seperti komponen yang agak sulit dikenali pada kedua resolusi spasial tersebut adalah pola, region, dan transisi spasial. Sebaliknya komponen-komponen yang sulit dikenali pada citra resolusi spasial tinggi dan menengah, justru mudah dikenali pada citra

resolusi spasial rendah. Komponen KBS yang mudah dikenali pada citra resolusi spasial rendah adalah region, aura spasial, asosiasi spasial, dan pola spasial.

### 3. Pengaruh Perbedaan Resolusi Spasial Citra terhadap KBS Mahasiswa Laki dan Perempuan

Untuk keperluan pengujian hipotesis yang menyatakan bahwa terdapat pengaruh perbedaan resolusi spasial citra terhadap KBS antara mahasiswa calon guru geografi laki dan perempuan menggunakan analisis ANCOVA. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai  $F = 6,178$  dengan koefisien signifikansi sebesar 0,014. Koefisien signifikansi  $< 0,05$ , sehingga dapat dinyatakan bahwa ada pengaruh perbedaan level resolusi spasial citra terhadap kemampuan berpikir spasial antara mahasiswa calon guru geografi laki dan perempuan.

Hasil analisis tersebut belum mampu menjawab pertanyaan apakah rata-rata skor KBS antara laki-laki dan perempuan pada setiap citra multiresolusi berbeda secara signifikan atau tidak. Oleh karena itu, perlu melihat interaksi antara citra multiresolusi dengan gender. Berdasarkan hasil analisis tersebut dengan interval kepercayaan 95% diketahui bahwa:

- a. Pada citra resolusi spasial tinggi, rata-rata skor KBS laki-laki adalah 66,801 dan perempuan adalah 65,514, berdasarkan interval kepercayaan tersebut dengan memperhatikan batas bawah dan batas atas, dapat dinyatakan bahwa KBS laki-laki dan perempuan tidak berbeda secara signifikan.
- b. Pada citra resolusi spasial menengah, rata-rata skor KBS laki-laki adalah 67,471 dan perempuan adalah 66,095. Berdasarkan interval kepercayaan tersebut dengan mem-

hatikan batas bawah dan atas, dapat dinyatakan bahwa KBS laki-laki berbeda dari perempuan pada batas atas.

- c. Pada citra resolusi spasial rendah, rata-rata skor KBS laki-laki (65,738) dan perempuan (64,123). Berdasarkan interval kepercayaan tersebut dengan memperhatikan batas bawah dan batas atas, dapat dinyatakan bahwa KBS laki-laki berbeda dari perempuan karena skor rata-rata KBS laki-laki di atas interval KBS perempuan (62,906–65,341).

Selanjutnya perlu diketahui juga perbandingan skor KBS antara laki-laki dan perempuan, apakah ada perbedaan rata-rata skor KBS antara laki-laki dan perempuan pada kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Untuk menjawab pertanyaan tersebut dilakukan pengujian dengan menggunakan ANCOVA pada interaksi antara variabel gender dan grup (gender\*grup). Berdasarkan analisis tersebut dapat diketahui bahwa:

- a. Laki-laki pada kelompok eksperimen memiliki rata-rata skor KBS = 70,547 yang berbeda dengan laki-laki pada kelompok kontrol yang memiliki skor = 62,793 pada interval kepercayaan 95%.
- b. Perempuan pada kelompok eksperimen memiliki skor rata-rata KBS = 67,838 dan pada kelompok kontrol memiliki skor rerata = 62,650. Berdasarkan interval kepercayaan 95%, dapat dinyatakan bahwa rerata skor perempuan antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol berbeda.
- c. Laki-laki dan perempuan pada kelompok eksperimen memiliki rerata skor KBS yang berbeda pada interval kepercayaan 95%. Laki-laki memiliki skor KBS = 70,547 dan perempuan 67,838.

- d. Laki-laki dan perempuan pada kelompok kontrol memiliki skor KBS yang tidak berbeda pada interval kepercayaan 95%.

Realitas informasi di atas yang menunjukkan perbedaan skor KBS antara laki-laki dan perempuan berimplikasi pada pembelajaran penginderaan jauh. Implikasi pada pembelajaran penginderaan jauh adalah (1) dalam pembelajaran penginderaan jauh yang bertujuan untuk mengembangkan KBS, maka penggunaan citra multiresolusi spasial mutlak diperlukan, karena fakta menunjukkan bahwa penggunaan citra multiresolusi spasial mempunyai pengaruh yang signifikan; (2) faktor gender perlu diperhatikan oleh pengampu mata kuliah penginderaan jauh, hal ini didasarkan pada relevansi berdasarkan hasil penelitian ini bahwa skor KBS laki-laki dan perempuan berbeda secara signifikan, baik pada kelas eksperimen maupun kontrol; (3) Perempuan tidak perlu diperlakukan secara khusus dengan citra dengan resolusi tinggi atau dengan resolusi rendah, demikian juga sebaliknya, khususnya dalam pembelajaran untuk meningkatkan KBS mahasiswa. Namun, pengampu baik dalam menjelaskan maupun memberikan contoh-contoh perlu memperhatikan karakteristik KBS perempuan, khususnya pada aspek lokasi, di mana perempuan lebih condong pada petunjuk arah yang bersifat kualitatif. Kesimpulan ini relevan dengan beberapa penelitian sebelumnya, seperti penelitian Lee (2005) yang membuktikan bahwa pada mahasiswa perempuan lebih memahami aspek lokasi pada peta dengan petunjuk arah kanan-kiri.

Penelitian ini berhasil menemukan bahwa melalui pengenalan objek-objek yang tampak pada citra daerah yang sama dengan ukuran resolusi spasial berbeda-beda, belum cukup efektif membantu mahasiswa perempuan untuk menerima petunjuk kuantitatif.



tatif untuk menemukan lokasi tertentu. Terbukti skor KBS mahasiswa perempuan yang diperoleh pada resolusi spasial menengah dan rendah terdapat perbedaan skor KBS yang signifikan dengan mahasiswa laki-laki pada interval kepercayaan 95%.

Pada tabel 8.2 menunjukkan bahwa berdasarkan hasil *pre-test* diketahui bahwa rerata skor KBS laki-laki pada awalnya lebih rendah daripada perempuan, tetapi setelah melalui proses pembelajaran dengan memanfaatkan penginderaan jauh rerata skor KBS laki-laki sedikit lebih tinggi. Pada mahasiswa laki-laki, pembelajaran dengan memanfaatkan penginderaan jauh dapat meningkatkan rerata skor 16,49 poin, sementara pada mahasiswa perempuan rerata kenaikan skor hanya 13,89 poin. Pola persebaran data berdasarkan nilai SD menunjukkan pola yang hampir sama antara KBS mahasiswa laki-laki dan perempuan.

Tabel 8.2. Perbandingan Skor KBS Pre-Test dan Post-Test Menurut Gender

Gender	Jumlah	Pre-Test		Post-Test		Score Difference	Sig. (paired sample test)
		Mean	SD	Mean	SD		
Laki-laki	52	53,45	8,900	69,94	6,515	16,49	0,000
Perempuan	74	55,96	8,914	69,85	6,732	13,89	0,000

Sumber: hasil analisis SPSS

## E. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian tersebut adalah:

1. Penggunaan citra penginderaan jauh multiresolusi spasial berpengaruh secara signifikan terhadap KBS mahasiswa calon guru geografi. Hal ini dibuktikan dengan meningkatkannya KBS setelah dilakukan pembelajaran dengan menggunakan citra multiresolusi spasial.
2. Berdasarkan pemberian perlakuan berupa pembelajaran dengan menggunakan citra multiresolusi spasial terhadap mahasiswa laki-laki dan perempuan diperoleh kesimpulan bahwa ada perbedaan pengaruh citra multiresolusi spasial citra terhadap KBS yang signifikan antara mahasiswa calon guru geografi laki-laki dan perempuan. Laki-laki menunjukkan skor KBS lebih tinggi daripada perempuan. Peningkatan KBS laki-laki dan perempuan setelah belajar dengan menggunakan citra multiresolusi spasial tidak berbeda secara nyata. Secara kuantitatif, rerata pengingatan skor KBS laki-laki sedikit lebih tinggi, meskipun pada awalnya laki-laki lebih rendah skornya.
3. Metode pembelajaran penginderaan jauh berbasis masalah berpengaruh terhadap KBS mahasiswa calon guru geografi. Hal ini ditunjukkan oleh adanya perbedaan rata-rata skor KBS yang signifikan antara sebelum dan sesudah pembelajaran menggunakan metode penginderaan jauh berbasis masalah. Pembelajaran penginderaan jauh berbasis masalah berhasil meningkatkan KBS mahasiswa secara signifikan. Mahasiswa dapat memecahkan masalah-masalah spasial dengan bantuan penginderaan jauh.

# DAFTAR PUSTAKA

- Allen, Jeannie. (2014). *Landsat Education Specialist at the AAG Meeting*. <http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=847>. Diakses pada 14 Januari 2014
- Bednarz, R.S & Bednarz, S.W (2008). "The Importance of Spatial Thinking in an Uncertain World." Sui, D.Z. (ed.) (2008). *Geospatial Technologies and Homeland Security: Research Frontiers and Future Chalanges*. Texas: Springer
- Coillie, F.M.B. Van, Soetkin Gardin, F. Anseel, W. Duyck, LVC. Verbeke, R.R. De Wulf (2014). Variability of Operator Performance in Remote-Sensing Image Interpretation: The Importance of Human and External Factors. *International Journal of Remote Sensing*, Vol 35, No.2, 754-778
- Campbell, James B. (2005). "Visual Interpretation of Aerial Imagery." Aronoff Stanley (ed.). *Remote Sensing for GIS Managers*. Redlends, Calif : Esri Press
- Danoedoro, Projo. (2012). *Pengantar Penginderaan Jauh*. Yogyakarta: Andi.
- Hadi, B.S (2017). "Pengaruh Penggunaan Citra Multiresolusi Spasial dalam Pembelajaran Penginderaan Jauh terhadap Kemampuan Berpikir Spasial Mahasiswa Calon Guru Geografi." *Disertasi*. Fakultas Geografi UGM

- Hoffman, Robert R., & Conway, J. (1989). "Psychological Factor in Remote Sensing: A Review of Some Recent Research." *Geo-carto International* (4) 1989: 3-21.
- Howard, John. A. (1996). *Penginderaan Jauh untuk Sumberdaya Hutan: Teori dan Aplikasi (Remote Sensing of Forest Resources: Theory and Application)*, terj. Hartono, dkk. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Germehl, Phil. (2009). *Thinking about Spatial Thinking*. New York: New York Center for Geographic Learning.
- Gersmehl, P.J., and C. A. Gersmehl (2007). "Spatial Thinking by Young Children: Neurologic Evidence for Early Development and Educability." *Journal of Geography*, 106: 5, 181-191.
- Lillesand, T.M, Kiefer, R.W, & Chipman, J.W. (2007). *Remote Sensing and Image Interpretation*. 6<sup>th</sup> Edition. New York: John Wiley and Sons.
- Lo, CP. (1996). *Penginderaan Jauh Terapan (Applied Remote Sensing)*, terj. Bambang Purbowaseso. Jakarta: UI Press.
- National Research Council. (2006). *Learning to Think Spatially: GIS as a Support System in the K-12 Curriculum*. Washington DC: National Academies Press.
- Sivakumar M.V.K, P.S. Roy, K. Harmsen, S.K. Saha. (2003). *Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology*. Jeneva: World Meteorological Association.
- Sutanto. (1994). *Penginderaan Jauh jilid 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Tafsir, Ahmad. (2009). *Filsafat Umum Akal dan Hati Sejak Thales Sampai Capra*. Bandung: Remaja Rosdakarya.
- Sutanto. (2013). *Metode Penelitian penginderaan Jauh*. Yogyakarta: Ombak.

- Weng, Qihao. (2010). *Remote Sensing and GIS Integration: Theories, Methods, and Application*. New York: McGraw Hill Book.
- Werle, Dirk (2016). "Early Aerial Photography and Contributions to Digital Earth: The Case of the 1921 Halifax Air Survey Mission in Canada." *Proceedings of the 9th Symposium of the International Society for Digital Earth*. Halifax, NS, Canada. October 5-9, 2015, Vol. 34 (2016).

