

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 MULTIRESPOLUSI 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.

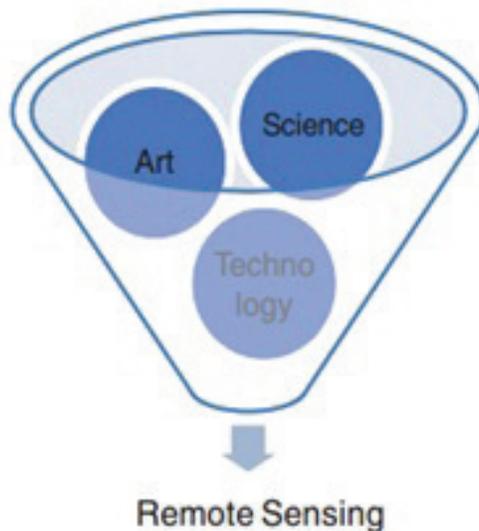
4. Pendapat yang Mendefinisikan Penginderaan Menurut Sudut Pandang Keperluan Praktis Tertentu

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 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.

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 km² : 100 km² : 500 km². 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 penjabarannya.

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.

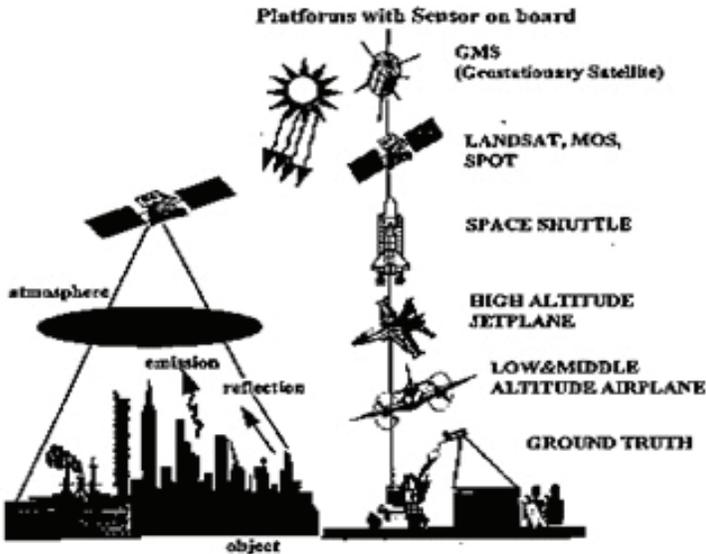
b. Tanpa Kontak

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 pengindera 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. Pengelompokan 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 μm (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.

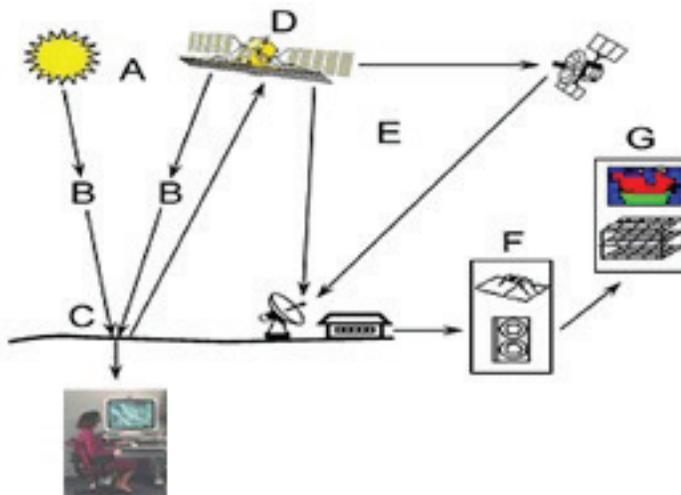
Cakupan penginderaan jauh dapat pula dilihat dari sumber tenaga yang digunakan, yakni penginderaan jauh yang menggunakan tenaga alami disebut penginderaan jauh sistem pasif, contohnya adalah penginderaan jauh sistem fotografi. Sistem pasif ini hanya dapat beroperasi pada siang hari, karena pada malam 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.

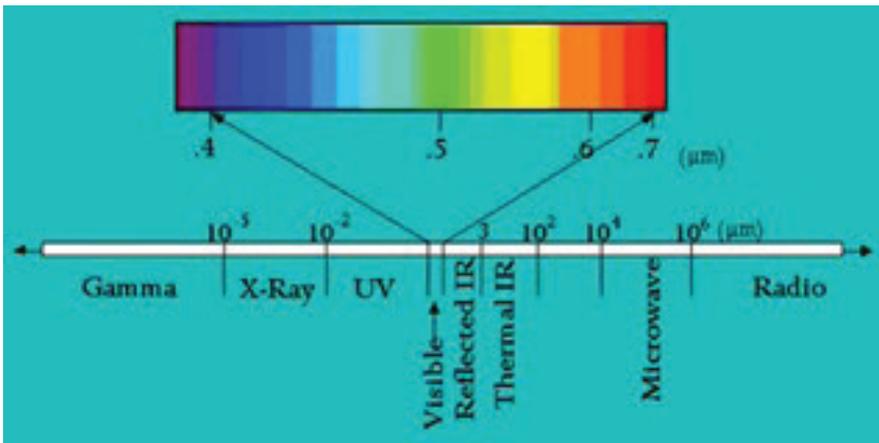
1. Sumber Tenaga

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 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 cm .



Gambar 2.4 Spektrum Gelombang Elektromagnetik

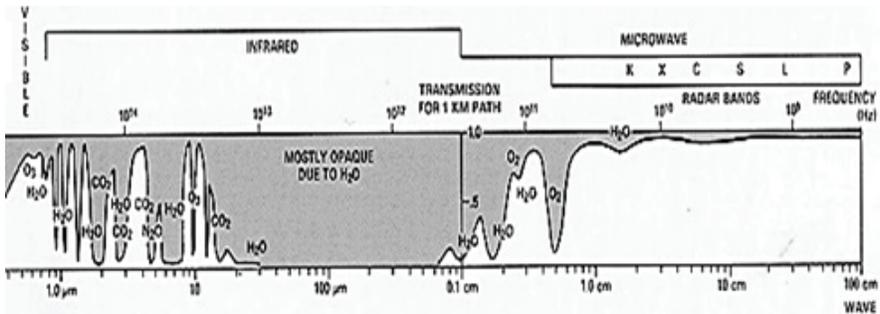
Umumnya istilah spektrum digunakan untuk sebutan bagian-

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 (O_3 , CO_2) dan uap air (H_2O) 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.



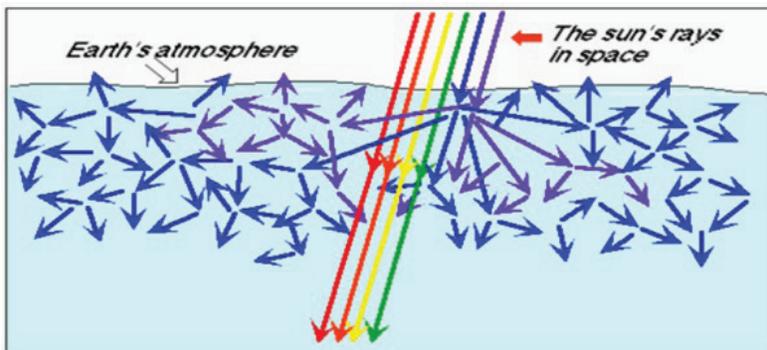
Gambar 2.5 Jendela Atmosfer

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



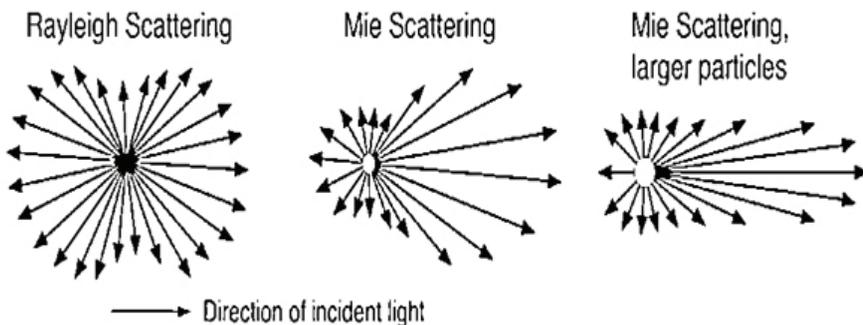
Sumber: www.fxsolver.com

Gambar 2.6 Ilustrasi Hamburan Rayleigh

Hamburan Reylaigh terjadi jika tenaga elektromagnetik berinteraksi dengan partikel yang diameternya lebih kecil dari panjang gelombang (λ) yang mengenainya λ 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

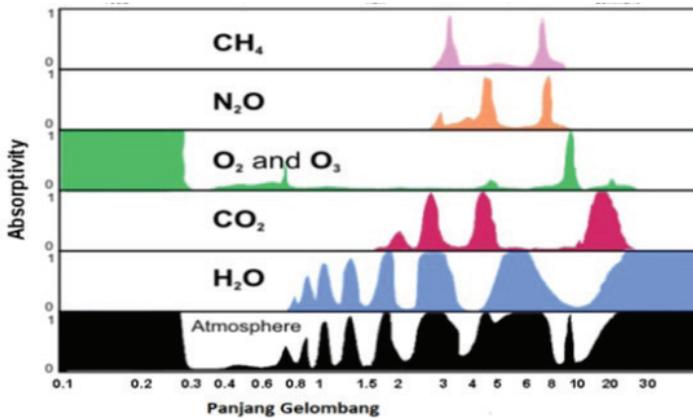
Terjadi ketika diameter partikel lebih besar dari λ yang menegenainya. Panjang gelombang berkisar 5–10 μm , disebut tidak selektif karena menghamburkan semua spektrum fotografi. Penyebab terjadinya hamburan ini adalah partikel-partikel di atmosfer berupa uap air atau air hujan. Hamburan ini terjadi di 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).

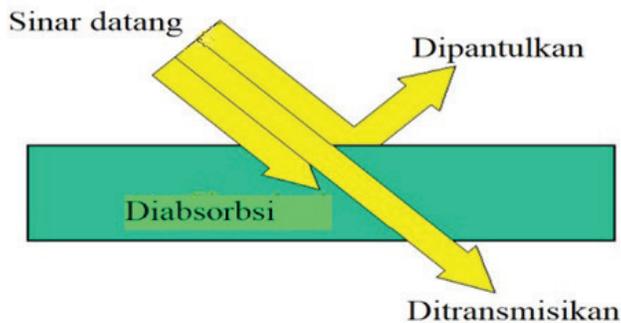
c. Pantulan (Reflection)

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.

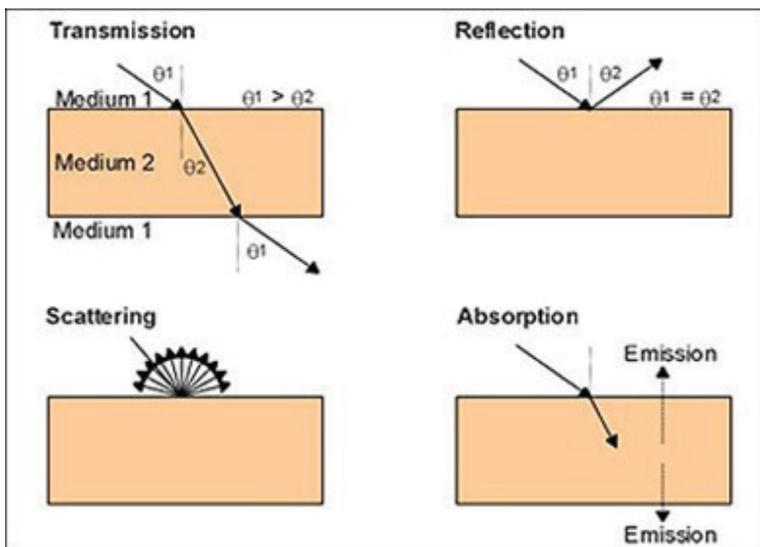


Gambar 2.10 Gelombang diabsorpsi, dipantulkan, dan ditransmisikan

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.



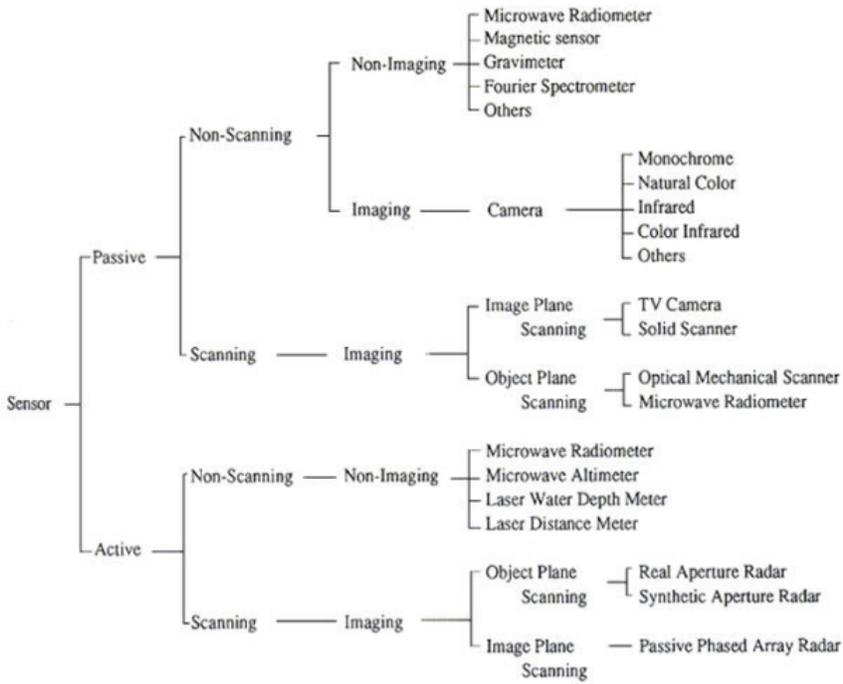
Gambar 2.11 Interaksi Tenaga dengan Objek

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?