

ANTENA

RADAR DAN NAVIGASI



Oleh ;

Dr. Ir. Yuliarman Saragih, S.T., M.T., IPU

Agatha Elisabet S, S.T., M.T.

Resi Sujiwo Bijokangko, S.T., M.T.

Dava Aulia Maulana

Carolann Ignatius Saragih

ANTENA RADAR DAN NAVIGASI

Penulis

**Yuliarman Saragih
Agatha Elisabet
Resi Sujiwo Bijokangko
Dava Aulia Maulana
Carolann Ignatius Saragih**

i

PENERBIT:



HADLA
MEDIA INFORMASI

i

UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta
Pasal 113

- 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 Rp1.000.000.000,00 (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).

ANTENA RADAR DAN NAVIGASI

Penulis :

**Yuliarman Saragih
Agatha Elisabet
Resi Sujiwo Bijokangko
Dava Aulia Maulana
Carolani Ignatius Saragih**

Desain Cover:

Sulaiman

Tata Letak:

Sulaiman

ISBN:

Cetakan Pertama:

Juni, 2025

Hak Cipta 2025, Pada Penulis

Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang

Copyright © 2025

by HADLA Media Informasi

All Right Reserved

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit

PENERBIT:



HADLA
MEDIA INFORMASI

Website: www.media.hadlacorp.com

Kata Pengantar

Segala rasa syukur penulis sampaikan atas terselesaikannya buku berjudul “Antena Radar dan Navigasi” dengan baik. Buku ini disusun sebagai upaya untuk menjawab kebutuhan akan materi pembelajaran yang komprehensif dan terkini mengenai konsep-konsep penginderaan jauh, sekaligus sebagai bentuk respon terhadap permintaan dari para pembaca, khususnya mahasiswa, agar materi ini dapat diterbitkan dan diakses lebih luas.

Pembahasan dalam buku ini mencakup konsep dasar penginderaan jauh, komponen-komponen utama, analisis data, klasifikasi, serta pemanfaatan citra penginderaan jauh dalam kajian berbagai fenomena geografis. Diharapkan, buku ini dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat bagi mahasiswa, pendidik, pengelola lembaga pendidikan, serta para profesional muda yang tertarik untuk memperdalam bidang ini.

Penyusunan buku ini diharapkan menjadi bagian dari kontribusi penulis dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang penginderaan jauh. Penulis menyadari bahwa buku ini masih memiliki berbagai kekurangan, oleh karena itu masukan, kritik, dan saran yang membangun sangat kami harapkan untuk penyempurnaan di edisi berikutnya.

Akhir kata, semoga buku ini dapat memberikan manfaat yang luas dan menjadi bagian dari upaya bersama dalam mendorong kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi di Indonesia.

Penulis

Daftar Isi

Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	iv
Daftar Gambar	vii
Daftar Tabel	x
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Konsep Dasar Pengindraan Jauh	1
B. Sejarah Perkembangan Teknologi Pengindraan jauh	5
C. Peran Pengindraan Jauh dalam Berbagai Bidang	13
D. Soal dan Latihan	17
BAB II PRINSIP FISIKA DALAM PENGINDRAAN JAUH	18
A. Sumber tenaga penginderaan jauh	18
B. Interaksi spektrum elektromagnetik dengan atmosfer	26
C. Interaksi Energi Elektromagnetik dengan Obyek di Permukaan Bumi	28
D. Soal dan Latihan	30
BAB III . SISTEM PENGINDRAAN JAUH	31
A. Komponen Utama Sistem Pengindraan Jauh	31
B. Kelebihan dan Kekurangan berbagai Sistem	41
C. Soal dan Latihan	45
BAB IV WAHANA DAN SENSOR DALAM PENGINDRAAN JAUH	46
A. Jenis wahana (satelit, drone, pesawat)	46
B. Perkembangan teknologi satelit	55
C. Sensor aktif dan pasif	59
D. Soal dan Latihan	62
BAB V JENIS DAN KARAKTERISTIK CITRA SATELIT	63
A. Resolusi spasial, spektral, temporal, dan radiometrik	63
B. Perbedaan citra multispektral, hiperspektral, dan radar	69
C. Contoh platform satelit utama	73
D. Soal dan Latihan	78
BAB VI KOREKSI DAN KALIBRASI CITRA SATELIT	79
A. Pengolahan awal citra penginderaan jauh	79
B. Koreksi geometrik dan radiometrik	84
C. Uji ketelitian citra satelit	88
D. Soal dan Latihan	92

BAB VII PENGOLAAN CITRA DIGITAL DALAM PENGINDRAAN JAUH	92
A. Teknik peningkatan kualitas citra.....	92
B. Pengolahan spektral dan spasial.....	95
C. Teknik segmentasi citra.....	99
D. Soal dan Latihan.....	103
BAB VIII TEKNIK INTERPRETASI CITRA.....	105
A. Unsur-unsur interpretasi citra	105
B. Teknik manual vs digital dalam interpretasi citra	109
C. Contoh hasil interpretasi citra	112
D. Soal dan Latihan.....	113
BAB IX KLASIFIKASI CITRA DALAM PENGINDRAAN JAUH.....	115
A. Metode supervised dan unsupervised classification	115
B. Perbandingan algoritma klasifikasi	119
C. Evaluasi hasil klasifikasi	120
D. Soal dan Jawaban	125
BAB X.. APLIKASI PENGINDRAAN JAUH DALAM MITIGASI BENCANA.....	126
A. Pemantauan kebakaran, banjir, tanah longsor	127
B. Studi kasus penggunaan citra satelit untuk tanggap darurat	131
C. Kelebihan dan Tantangan dalam Implementasi.....	136
D. Soal dan Jawaban.....	139
BAB XI PENGINDRAAN JAUH UNTUK PENGAMBILAN KEPUTUSAN.....	139
A. Peran penginderaan jauh dalam kebijakan tata ruang.....	140
B. Integrasi penginderaan jauh dengan sistem informasi geografis (SIG)	141
C. Contoh implementasi dalam perencanaan kota.....	142
D. Soal dan Latihan.....	143
BAB XII PENGINDRAAN JAUH UNTUK INFRASTRUTUR DATA SPASIAL (IDS).....	144
A. Konsep IDS dan data spasial	144
B. Penginderaan jauh dalam penyusunan peta tematik.....	146
C. Implementasi data spasial untuk pembangunan.....	147
D. Soal dan Latihan.....	151
BAB XIII TANTANGAN DAN KETERBATASAN PENGINDRAAN JAUH	152
A. Tantangan dalam akuisisi data citra satelit.....	152
B. Keterbatasan resolusi dan biaya.....	153
C. Etika dan regulasi dalam pemanfaatan penginderaan jauh	154
D. Soal dan Latihan	156

C. Prospek dan peluang di bidang penginderaan jauh.....	159
D. Soal dan Lathian.....	160
DAFTAR PUSTAKA	161

Daftar Gambar

Gambar 1. Konsep Dasar INDERAJA.....	1
Gambar 2. Contoh Resolusi	3
Gambar 3. Fotografi Udara.....	5
Gambar 4. Kolase burung merpati dengan kamera Julius Neubronner dan tiga foto udara yang diambil dengan metode tersebut. Foto-foto tersebut diambil pada awal tahun 1900-an di Jerman.	6
Gambar 5. Foto "San Fransisco dalam Reruntuhan", oleh George Lawrence 1906	6
Gambar 6. Ilustrasi Landsat 1	8
Gambar 7. Citra Kondisi Wilayah Sebelum dan Sesudah Bencana	14
Gambar 8. Citra satelit Banjir Pakistan.....	15
Gambar 9. Gambar Citra.....	16
Gambar 10. Denah Perencanaan Kota	16
Gambar 11. Gelombang elektromagnetik yang meliputi.....	19
Gambar 12. Spektrum Elektromagnetik	22
Gambar 13. Hamburan (Scattering) dan Serapan (Absorption)	27
Gambar 14. Pantulan spectral energi elektromagnetik matahari	28
Gambar 15. Kurva pantulan spektral yang mencirikan obyek vegetasi, tanah dan air.....	29
Gambar 16. Komponen Dasar INDERAJA.....	31
Gambar 17. Interpretasi Data Manual	37
Gambar 18. Interpretasi Data Digital	38
Gambar 19. Sistem Pengindraan Jauh.....	39
Gambar 20. Satelit	46
Gambar 21. Satelit Geotasioner	47
Gambar 22. Satelit Polar	48
Gambar 23. Satelit Orbit Menengah.....	48
Gambar 24. Drone Sayap Tetap	50
Gambar 25. Drone Sayap Putar	51
Gambar 26. Pesawat Berawak.....	53
Gambar 27. Pesawat Tanpa Awak.....	54

Gambar 28. Perkembangan Satelit Indonesia.....	57
Gambar 29. Sensor Lidar dan Radar	59
Gambar 30. Landsat sebagai sensor pasif.....	60
Gambar 31. Contoh visualisasi obyek pada beberapa macam tingkat resolusi spasial.....	65
Gambar 32. Visualisasi Resolusi Spektral.....	66
Gambar 33. Visualisasi Resolusi Temporal.....	67
Gambar 34. Visualisasi Citra Multispektral	69
Gambar 35. Visualisasi Citra Hiperspektral	70
Gambar 36. Visualisasi Citra Radar	71
Gambar 37. Satelit Quickbird	74
Gambar 38. Satelit LANDSAT	74
Gambar 39. Satelit MODIS.....	75
Gambar 40. Satelit Sentinel-1	76
Gambar 41. Satelit PRISMA.....	76
Gambar 42. Visualisasi Pengolahan Citra	79
Gambar 43. Perbaikan Kualitas Citra Pada Program Matlab.....	80
Gambar 44. Contoh Koreksi Geometrik	85
Gambar 45. Koreksi Radiometrik	86
Gambar 46. Visualisasi Interpretasi Citra di Kabupaten Tuban	106
Gambar 47. Ilustrasi Unsur Rona dan Warna.....	106
Gambar 48. Ilustrasi Unsur Ukuran	107
Gambar 49. Ilustrasi Unsur Bentuk	107
Gambar 50. Ilustrasi Unsur Tekstur.....	108
Gambar 51. Ilustrasi Unsur Pola	108
Gambar 52. Ilustrasi Unsur Bayangan	108
Gambar 53. Ilustrasi Unsur Situs.....	109
Gambar 54. Ilustrasi Unsur Asosiasi	109
Gambar 55. Visualisasi Klasifikasi Supervised dan Unsupervised	115
Gambar 56. Analisis Banjir di Sukabumi menggunakan Satelit.....	126
Gambar 57. Visualisasi Inderaja mendeteksi Kebakaran	128
Gambar 58. Zona Rawan Longsor Terdeteksi.....	131
Gambar 59. Hasil Identifikasi Titik Banjir di Jakarta.....	132

Gambar 60. Peta Deformasi Permukaan akibat Gempa Ambon	135
Gambar 61. Visualisasi Peta Sebaran Abu Vulkanik	136

Daftar Tabel

Tabel 1. Perbedaan Macam Resolusi.....	4
Tabel 2. Tabel Frekuensi Gelombang	19
Tabel 3. Tabel Perbandingan Sistem	44
Tabel 4. Perbandingan Sensor Pasif dan Aktif	61
Tabel 5. Tabel Perbandingan Citra.....	72
Tabel 6. Perbandingan Koreksi Geometrik dan Radiometrik.....	87
Tabel 7. Tabel Perbandingan Manual dan Digital.....	111
Tabel 8. Tabel Perbandingan Algoritma Klasifikasi	119

Biografi Penulis



Dr.Ir. Yuliarman Saragih, S.T., M.T., IPU, lahir di Rantau-Kabupaten Aceh Timur pada Tahun 1971, anak dari pasangan Saragih-Damanik yang merupakan rumpun keluarga Batak Simalungun di Sumatera Utara. Menyelesaikan Program S1 untuk Sarjana Teknik Program Studi Teknik Elektro di Universitas Mercu Buana Jakarta pada tahun 2002. Berhasil menyelesaikan Magister Teknik, Program Studi Magister Teknik Elektro di Universitas Trisakti Jakarta pada tahun 2008. Pada tahun 2009 diterima sebagai Mahasiswa Program Doktor (S3) Program Studi Doktor Teknik Elektro di Universitas Indonesia. Pada tahun 2013 menjadi mahasiswa S3

Fakultas Interdisiplin Bidang Teknik Elektro dan menyelesaikan Studi Doktor tersebut dengan Nilai Sangat Memuaskan dengan konsentrasi penelitian adalah telekomunikasi berbiaya murah di Universitas Kristen Satya Wacana (UKSW) Salatiga. Dr.Ir. Yuliarman Saragih, S.T., M.T., IPU pernah bekerja di PT ARCO Indonesia, Perusahaan Tambang Minyak Lepas Pantai di Laut Jawa sebagai Teknisi Telekomunikasi hingga tahun 1994, Lalu diterima sebagai karyawan PT Freeport McMorran Indonesia di Tembagapura dan Timika hingga tahun 1996 sebagai senior teknisi telekomunikasi dan radio bandar udara. Sebagai Engineer AT&T dan Lucent Technologies di bidang radio dan wireless CDMA dan GSM, Yuliarman Saragih dipercayakan bertugas sebagai engineer certified untuk support internasional project di asia pasifik sejak 1996 hingga tahun 2003 dan bertugas di banyak negara sebagai Internasional Engineer of CDMA. Bidang Managerial di Samsung Electronic terkhusus di bidang Jaringan CDMA untuk wilayah Indonesia dan Australia hingga tahun 2005. Masa perjalanan tahun 2006 hingga saat ini berfokus di dunia pendidikan terkhusus dalam pengajaran dan penelitian serta pengabdian masyarakat di berbagai universitas. Mulai dari Dosen Tetap di LP3I Jakarta dan pada akhirnya memilih menjadi Dosen Tetap Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro di Perguruan Tinggi Negeri (PTN) Universitas Singaperbangsa Karawang sejak 2015 hingga saat ini.

Kontak:

yuliarman@yahoo.com

Biografi Penulis



Agatha Elisabet S., S.T., M.T. adalah peneliti muda dan akademisi yang memiliki ketertarikan besar dalam bidang teknik elektro dan teknologi rekayasa. Ia menyelesaikan pendidikan sarjananya di Universitas Singaperbangsa Karawang pada tahun 2020 dengan gelar Sarjana Teknik, dan melanjutkan studi magister di Universitas Trisakti pada tahun 2022. Saat ini, Agatha tengah melanjutkan studi lanjutan di Pusan National University, Korea Selatan, dalam bidang Engineering, yang menunjukkan komitmennya terhadap pengembangan keilmuan teknik di kancah internasional. Kiprah akademis Agatha tercermin dalam berbagai publikasi ilmiah yang dapat ditemukan melalui profil Google Scholar-nya. Riset-riset yang ia lakukan banyak menyoroti topik-topik mutakhir seperti teknologi radio frekuensi drive test optimasi jaringan selular, antena pintar microstrip dan juga meneliti bagaimana memakai penggunaan fNIRs dalam bidang Kesehatan di Korea Selatan. Keaktifannya dalam publikasi menunjukkan konsistensinya dalam menyumbangkan pemikiran untuk kemajuan ilmu teknik, baik di tingkat nasional maupun internasional. Sebagai seorang peneliti yang sedang berkembang, Agatha juga menunjukkan dedikasi yang tinggi terhadap kolaborasi riset lintas negara serta penerapan ilmu teknik dalam menjawab tantangan era industri 4.0. Dengan semangat muda dan latar belakang akademik yang kuat, ia diharapkan terus berkontribusi dalam kemajuan teknologi dan pendidikan teknik ke depan.

Kontak:

agatha@pusan.ac.kr

Biografi Penulis



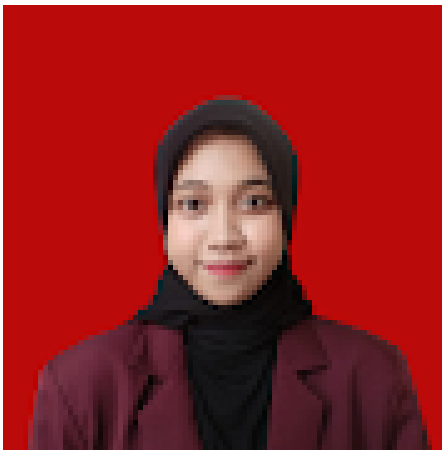
Resi Sujiwo Bijokangko, S.T., M.T., Resi Sujiwo Bijokangko, S.T., M.T. merupakan akademisi muda yang aktif dalam dunia riset dan pengembangan teknologi, khususnya pada bidang teknik elektro dan Internet of Things (IoT). Ia menyelesaikan pendidikan sarjana di Universitas Singaperbangsa Karawang pada tahun 2022 dengan fokus pada teknik elektro, dan melanjutkan studi magister di Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, yang berhasil dirampungkannya pada tahun 2024. Perjalanan

akademiknya mencerminkan komitmen tinggi terhadap penguasaan ilmu teknik dan penerapannya dalam kehidupan nyata. Fokus risetnya meliputi pengembangan sistem otomatisasi berbasis IoT, rekayasa kontrol, serta aplikasi komputasi untuk efisiensi sistem teknis. Berdasarkan profil Google Scholar, Resi telah menghasilkan sejumlah publikasi yang menyoroti pengembangan teknologi dalam sektor pemantauan lingkungan, otomasi industri, dan pengoptimalan jaringan sensor. Salah satu karya ilmiahnya membahas tentang penerapan sistem otomatisasi berbasis IoT untuk monitoring lingkungan secara real-time, yang menunjukkan kepeduliannya terhadap isu-isu keberlanjutan. Dengan latar belakang pendidikan dan pengalaman riset yang kuat, ia berkomitmen untuk terus berkontribusi dalam pengembangan teknologi tepat guna di Indonesia, khususnya dalam bidang akademik dan penerapan teknologi digital yang inovatif. Saat ini, ia aktif sebagai peneliti dan kontributor dalam berbagai kegiatan ilmiah di tingkat nasional.

Kontak:

suiwobijo@gmail.com

Biografi Penulis



Dava Aulia Maulana adalah seorang mahasiswa aktif dari Program Studi Teknik Elektro, Universitas Singaperbangsa Karawang (UNSIKA), yang memiliki minat dan fokus kuat dalam pengembangan teknologi jaringan, otomasi rumah tangga, serta sistem energi kelistrikan. Dalam perjalanan akademiknya, Dava telah mengembangkan dan menyelesaikan beberapa penelitian yang mencerminkan integrasi teknologi mutakhir dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu karya ilmiahnya yang berjudul “Smart Home: Kendali Lampu Rumah dan CCTV Berbasis Android-WiFi” menunjukkan kemampuannya dalam merancang sistem rumah pintar berbasis konektivitas nirkabel yang memudahkan pengguna dalam mengelola keamanan dan efisiensi energi dari jarak jauh. Selain itu, Dava juga menaruh perhatian pada infrastruktur energi, yang diwujudkan melalui penelitiannya berjudul “Analisa Pembangunan Gardu Jenis Cantol Guna Menunjang Pasang Baru Daya 66 kVA di PT PLN (Persero) – Karawang Kota”. Penelitian ini menyoroti aspek teknis pembangunan gardu distribusi listrik sebagai bagian penting dari penyediaan daya listrik bagi pelanggan industri. Tak hanya itu, ia juga mengeksplorasi dunia telekomunikasi dalam penelitiannya “Peran Fiber Optik dalam Revolusi Teknologi Jaringan Telekomunikasi”, yang membahas pentingnya infrastruktur serat optik dalam mendukung era digital dan transformasi komunikasi. Melalui karya-karyanya, Dava menunjukkan dedikasi sebagai generasi muda yang siap berkontribusi dalam kemajuan teknologi dan infrastruktur di Indonesia.

Kontak:

dava.aulia@gmail.com

Biografi Penulis



Carolan Ignatius Saragih adalah seorang mahasiswa aktif pada Program Studi Teknik Elektro di Sekolah Tinggi Teknologi Bina Tunggal Bekasi yang tengah menempuh pendidikan jenjang Sarjana (S1). Ia memiliki fokus riset pada bidang electrical engineering dan power engineering, serta ketertarikan mendalam dalam teknologi otomasi, sistem navigasi, dan Internet of Things (IoT). Rekam jejak penelitiannya mencerminkan minatnya terhadap integrasi teknologi cerdas ke dalam sistem elektro modern. Beberapa karya yang telah ia hasilkan antara lain: “Pedestrian Object Distance Prediction on Robot Car Using YOLOv4 and Bounding Box Analysis”, yang membahas pemanfaatan deep learning untuk deteksi dan prediksi jarak objek pejalan kaki; “Development of an Autonomous Navigation System Using Google Maps API for a Package Delivery Device”, yang mengkaji sistem navigasi robot berbasis peta digital; serta “Implementation of an ESP-32 Wi-Fi CAM & Arduino-Based Robot for IoT Surveillance”, yang mengeksplorasi pengawasan jarak jauh menggunakan perangkat IoT. Carolan juga aktif mengikuti berbagai praktikum dan seminar teknis untuk memperdalam keahliannya dalam sistem tenaga listrik dan embedded systems. Sebagai pelajar yang tekun dan inovatif, ia bercita-cita menjadi insinyur elektro yang mampu merancang solusi teknologi untuk kebutuhan energi, transportasi, dan keamanan berbasis digital di masa depan.

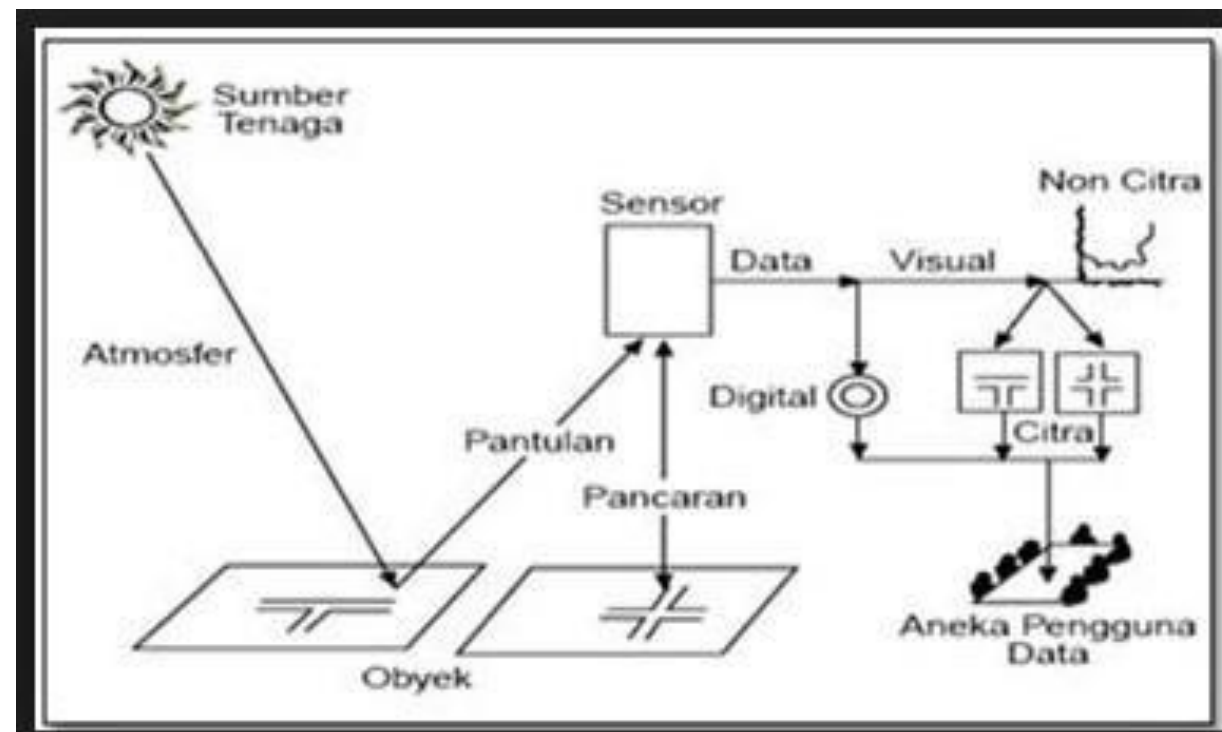
Kontak:

carolan.saragih@gmail.com

BAB I

PENDAHULUAN

A. Konsep Dasar Pengindraan Jauh



Gambar 1. Konsep Dasar INDERAJA

(sumber : ringkasanbukugeografi.blogspot.com)

Penginderaan jauh adalah disiplin ilmu dan teknik yang bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai suatu objek, wilayah, atau fenomena tanpa melakukan kontak langsung, melainkan melalui analisis data yang dikumpulkan oleh alat pengindra (Lillesand & Kiefer, 1990). Tujuan utama dari penginderaan jauh adalah mengumpulkan data dan informasi dari citra, baik foto maupun nonfoto, yang diperoleh dari berbagai objek di permukaan bumi menggunakan sensor buatan.

Pemahaman dasar mengenai interpretasi data penginderaan jauh sangat penting sebelum melakukan analisis citra dalam berbagai bidang. Penginderaan jauh memungkinkan identifikasi dan analisis objek atau fenomena menggunakan sensor yang ditempatkan pada lokasi tertentu untuk mengamati area kajian (Avery, 1985).

Teknik penginderaan jauh dikembangkan untuk memperoleh dan menganalisis informasi mengenai bumi, terutama berdasarkan radiasi elektromagnetik yang dipantulkan atau dipancarkan dari permukaan bumi (Lindgren, 1985). Sensor dalam penginderaan jauh meliputi perangkat seperti kamera, pemindai (scanner), dan radiometer, yang masing-masing dilengkapi

dengan detektor. Sensor ini dapat ditempatkan pada berbagai wahana, seperti balon udara, pesawat terbang, satelit, atau platform lainnya.

Dalam bahasa Inggris, istilah "citra" dapat diterjemahkan sebagai "image" atau "imagery." Menurut Ford (1989), "image" merujuk pada representasi suatu objek atau bentuk visual, yang biasanya berupa peta, gambar, atau foto. Sementara itu, "imagery" mengacu pada representasi visual dari energi yang direkam melalui perangkat penginderaan jauh.

Secara umum penginderaan jauh menunjukkan aktifitas perekaman, pengamatan dan penangkapan fenomena obyek atau peristiwa dari jarak tertentu. Dalam penginderaan jauh, sensor tidak langsung berkontak dengan obyek yang diamati. Hal tersebut membutuhkan alat penghantar secara fisik atau media untuk menyampaikan informasi dari obyek ke sensor melalui medium.

Penginderaan jauh memiliki empat konsep utama yang menjadi ciri khasnya sebagai suatu disiplin ilmu, yaitu diskriminasi, resolusi, strategi jamak, dan peranannya dalam pengelolaan.

Diskriminasi

Diskriminasi dalam penginderaan jauh adalah proses membedakan objek dalam suatu citra berdasarkan tingkat kerinciannya. Proses ini terbagi menjadi tiga tahap utama:

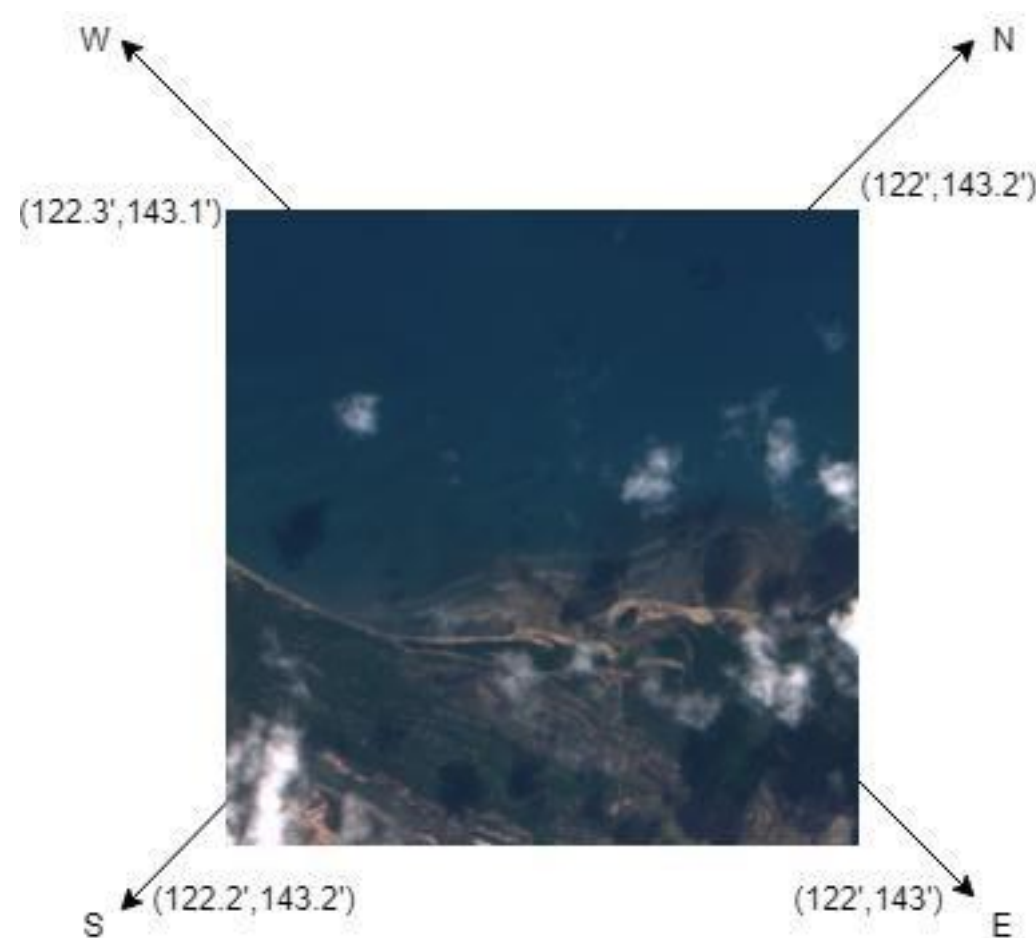
- **Deteksi (global):** Tahap awal dalam diskriminasi yang bertujuan untuk mengetahui apakah suatu objek ada atau tidak dalam suatu area. Misalnya, dalam suatu citra satelit, deteksi dapat digunakan untuk menentukan apakah terdapat savana di suatu wilayah tanpa melihat detailnya.
- **Identifikasi :** Pada tahap ini, objek yang telah terdeteksi mulai dikenali lebih spesifik. Sebagai contoh, setelah savana terdeteksi, langkah berikutnya adalah mengidentifikasi jenis pohon yang tumbuh di dalamnya, seperti pohon akasia.
- **Analisis (rinci):** Analisis dilakukan untuk memperoleh informasi lebih mendalam mengenai objek yang telah teridentifikasi, misalnya menghitung jumlah pohon akasia per hektar di dalam savana.

Berdasarkan tingkat detailnya, deteksi digunakan untuk tujuan umum, identifikasi untuk analisis skala regional, dan analisis untuk kajian detail atau operasional.

Dalam pendekatan multi-tingkat, deteksi setara dengan level 1, identifikasi dengan level 2, dan analisis dengan level 3.

Resolusi

Resolusi dalam penginderaan jauh menentukan tingkat ketelitian informasi yang diperoleh dari citra atau data sensor. Resolusi ini terbagi menjadi empat jenis utama:



Gambar 2. Contoh Resolusi

- **Resolusi spasial:** Menunjukkan seberapa kecil objek yang dapat dikenali dalam citra. Resolusi spasial yang lebih tinggi memungkinkan pengenalan objek yang lebih kecil. Misalnya, citra dengan resolusi 2 meter dapat membedakan mobil di jalan, sedangkan citra dengan resolusi 80 meter hanya dapat mendeteksi area perkotaan secara umum.
- **Resolusi spektral:** Mengacu pada jumlah dan lebar pita spektrum elektromagnetik yang dapat direkam oleh sensor. Resolusi spektral tinggi memungkinkan sensor menangkap lebih banyak detail warna dan panjang gelombang cahaya yang dipantulkan oleh objek. Misalnya, sensor dengan resolusi spektral tinggi dapat membedakan jenis tanaman berdasarkan perbedaan reflektansi cahaya inframerah.
- **Resolusi radiometrik:** Mengukur kemampuan sensor dalam membedakan perbedaan kecil dalam intensitas cahaya atau radiasi yang diterima. Resolusi radiometrik yang lebih tinggi memungkinkan sensor menangkap gradasi

BAB II

PRINSIP FISIKA DALAM PENGINDRAAN JAUH

A. Sumber tenaga penginderaan jauh

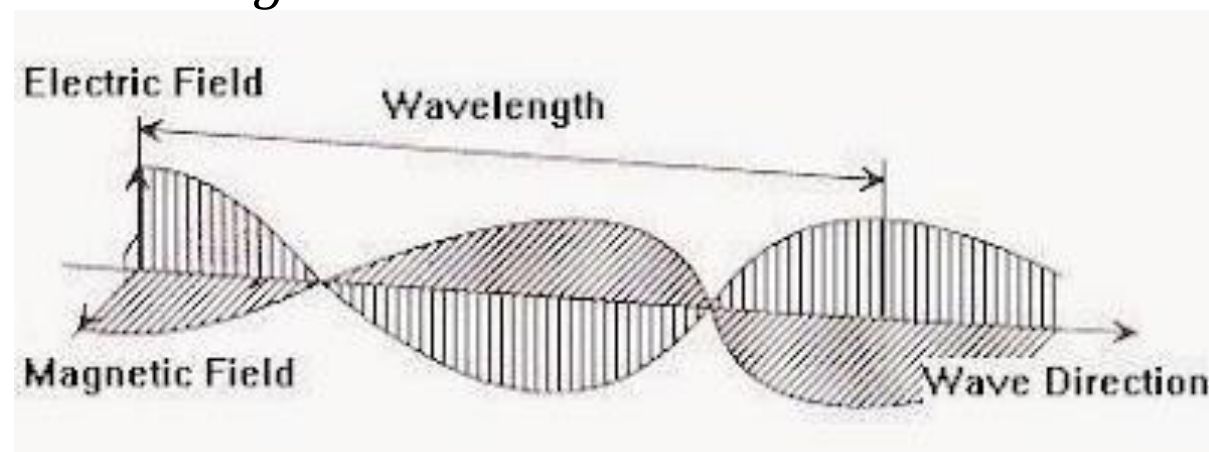
Salah satu metode utama dalam penginderaan jauh berbasis satelit adalah transmisi energi elektromagnetik. Contoh dari energi ini adalah cahaya tampak yang bisa dilihat oleh mata manusia. Penginderaan jauh (Inderaja) adalah teknologi yang memanfaatkan gelombang elektromagnetik untuk memperoleh informasi tentang suatu objek atau wilayah dari jarak jauh. Proses ini melibatkan pemancaran, pantulan, dan penangkapan energi elektromagnetik oleh sensor yang kemudian diolah menjadi data yang dapat dianalisis. Gelombang elektromagnetik terdiri dari berbagai rentang frekuensi dan panjang gelombang, mulai dari gelombang radio hingga sinar gamma. Energi elektromagnetik menunjukkan gejala gelombang yang ditransmisikan secara transversal. Pada dasarnya gejala gelombang ini dapat digambarkan sebagai gerak berayun yang harmonis memiliki frekuensi dan kecepatan tertentu serta dapat diilustrasikan sebagai gerak sinusoidal. Berdasarkan konsep fisika dasar, gelombang mempunyai persamaan umum sebagai berikut :

$$c = f \times \lambda$$

c = Kecepatan Cahaya (3×10^8 m/dtk)

f = frekuensi

λ = Panjang Gelombang



Gambar 11. Gelombang elektromagnetik yang meliputi

gelombang elektrik sinusoidal (E) dan Gelombang magnetik sinusoidal (M)
(Sumber : <https://geoscience-indonesia.blogspot.com>)

Energi elektromagnetik bergerak dengan kecepatan tertentu yaitu 3×10^8 m/detik. Karena kecepatan atau C tetap, maka frekuensi f dan panjang gelombang λ selalu berbanding terbalik. Frekuensi atau panjang gelombang tertentu mempunyai karakteristik tertentu pula sehingga dikelompok-kelompokkan sebagai spektrum.

Rentang Frekuensi Gelombang Elektro magnetik dalam INDERAJA

Tabel 2. Tabel Frekuensi Gelombang

Nama Pita Frekuensi	Singkatan	Frekuensi (HZ)	Panjang Gelombang (m)	Penggunaan dalam Pengindraan Jauh
Extremely Low Frequency	ELF	3 Hz - 30 Hz	$10^4 - 10^5$ m	Tidak digunakan dalam Inderaja
Super Low Frequency	SLF	30 Hz - 300 Hz	$10^3 - 10^4$ m	Tidak digunakan dalam Inderaja
Ultra Low Frequency	ULF	300 Hz - 3 kHz	$10^2 - 10^3$ m	Tidak digunakan dalam Inderaja
Very Low Frequency	VLF	3 kHz - 30 kHz	10 - 100 km	Tidak digunakan dalam Inderaja
Low Frequency	LF	30 kHz - 300 kHz	1 - 10 km	Tidak digunakan dalam Inderaja
Medium Frequency	MF	300 kHz - 3 MHz	100 m - 1 km	Tidak digunakan dalam Inderaja
High Frequency	HF	3 MHz - 30 MHz	10 - 100 m	Tidak digunakan dalam Inderaja
Very High Frequency	VHF	30 MHz - 300 MHz	1 - 10 m	Digunakan untuk komunikasi satelit, tetapi bukan utama dalam Inderaja
Ultra High Frequency	UHF	300 MHz - 3 GHz	10 cm - 1 m	Digunakan dalam komunikasi satelit & GPS
Super High Frequency	SHF	3 GHz - 30 GHz	1 cm - 10 cm	Radar pengindraan jauh (SAR, Sentinel-1, RISAT)
Extremely High Frequency	EHF	30 GHz - 300 GHz	1 mm - 1 cm	Radar resolusi tinggi, sensor atmosfer (CloudSat, GPM, MWIR)

Terahertz (Sub-Millimeter)	THz	300 GHz - 3 THz	0.1 mm - 1 mm	Deteksi atmosfer & gas (ALMA, TES, SMILES)
Infrared	IR	3 THz - 400 THz	750 nm - 100 μ m	Pemetaan suhu, vegetasi, dan air (MODIS, Landsat, ASTER)
Cahaya Tampak	Visible	400 THz - 750 THz	400 - 750 nm	Citra satelit optik (Landsat, Sentinel-2, WorldView)
Ultraviolet	UV	750 THz - 30 PHz	10 nm - 400 nm	Analisis atmosfer (Ozone Monitoring, TOMS, Aura OMI)
Sinar-X	X-ray	30 PHz - 30 EHz	0.01 nm - 10 nm	Eksplorasi geologi & angkasa (Chandra, XMM-Newton)
Sinar Gamma	Gamma	> 30 EHz	< 0.01 nm	Observasi astronomi (Fermi, INTEGRAL, Swift)

Pengindraan jauh (Inderaja) memanfaatkan berbagai rentang gelombang elektromagnetik tergantung pada tujuan pengamatan dan karakteristik objek yang diamati. Rentang frekuensi yang paling banyak digunakan dalam sistem Inderaja meliputi Super High Frequency (SHF) dan Extremely High Frequency (EHF) (3 GHz - 300 GHz), yang banyak diterapkan dalam sistem radar aktif seperti Synthetic Aperture Radar (SAR) dan LIDAR. Frekuensi tinggi ini memungkinkan penetrasi awan, kabut, dan bahkan sebagian lapisan tanah, sehingga cocok untuk pemetaan permukaan bumi dalam kondisi cuaca apa pun dan pada malam hari. Beberapa contoh satelit yang menggunakan radar aktif dengan frekuensi ini adalah Sentinel-1 (C-band), TerraSAR-X (X-band), dan RISAT (L-band). Selain itu, Infrared (IR) (3 THz - 400 THz) digunakan untuk pemetaan suhu permukaan, vegetasi, dan distribusi kelembaban. Gelombang inframerah menangkap radiasi termal yang dipancarkan oleh objek di permukaan bumi, sehingga memungkinkan analisis kesehatan tanaman, pemantauan kekeringan, serta deteksi kebakaran hutan. Contoh sistem yang menggunakan rentang ini adalah MODIS, ASTER, dan Landsat Thermal Infrared Sensor (TIRS), yang berfungsi untuk mengamati perubahan suhu secara global maupun lokal.

Sementara itu, cahaya tampak (Visible) (400 THz - 750 THz) digunakan dalam pencitraan optik resolusi tinggi. Rentang ini paling sering dimanfaatkan karena mata

manusia juga dapat melihat dalam spektrum ini, sehingga citra yang dihasilkan mudah diinterpretasi. Satelit seperti Landsat-8, Sentinel-2, dan WorldView-3 menggunakan spektrum ini untuk pemetaan vegetasi, kondisi lahan, urbanisasi, serta analisis perubahan lingkungan dari waktu ke waktu.

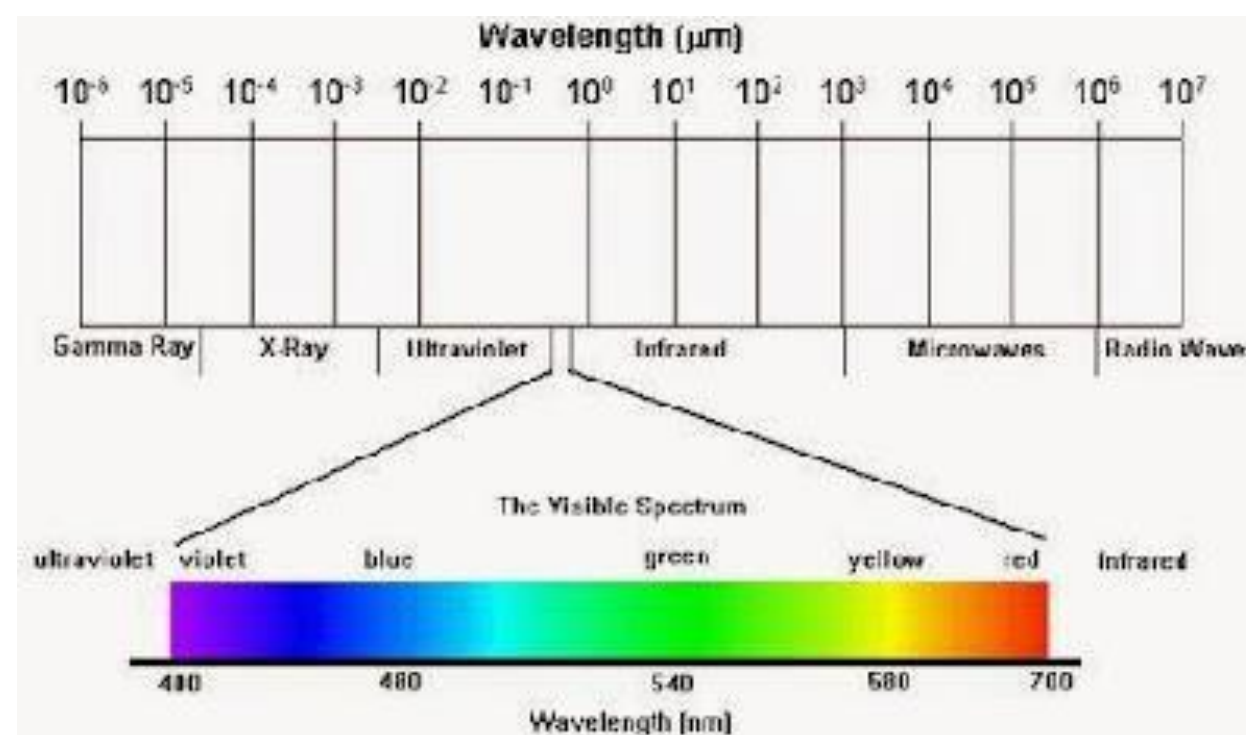
Terakhir, Ultraviolet (UV) (750 THz - 30 PHz) digunakan terutama dalam pemantauan atmosfer, khususnya dalam analisis kandungan ozon dan polusi udara. Gelombang UV memiliki karakteristik yang memungkinkan deteksi gas-gas tertentu di atmosfer yang tidak terlihat dalam spektrum cahaya tampak. Beberapa misi satelit seperti Aura OMI dan TOMS menggunakan rentang ini untuk mengamati distribusi ozon stratosfer serta mendeteksi perubahan lingkungan akibat aktivitas manusia.

Pemilihan frekuensi dalam Inderaja didasarkan pada kebutuhan spesifik dari aplikasi pengamatan. Radar menggunakan SHF dan EHF karena gelombangnya dapat menembus awan dan digunakan dalam kondisi cuaca buruk. Inframerah bermanfaat dalam mendeteksi suhu dan kelembaban, terutama untuk studi lingkungan dan perubahan iklim. Cahaya tampak ideal untuk pencitraan resolusi tinggi yang dapat dibandingkan dengan pengamatan langsung oleh manusia. Sedangkan ultraviolet penting dalam pemantauan atmosfer karena dapat mendeteksi komponen kimia yang tidak terlihat oleh sensor lain. Dengan kombinasi rentang frekuensi ini, teknologi penginderaan jauh dapat memberikan informasi yang akurat dan beragam untuk berbagai keperluan, mulai dari pemetaan lahan hingga pemantauan perubahan iklim secara global.

Pancaran Gelombang Elektromagnetik Dalam Penginderaan Jauh

Pemancaran gelombang elektromagnetik dalam penginderaan jauh dapat dilakukan dengan dua metode utama, yaitu penginderaan aktif dan penginderaan pasif. Dalam penginderaan aktif, sistem seperti radar dan LIDAR memancarkan gelombang elektromagnetik ke permukaan bumi, kemudian menangkap kembali pantulan gelombang tersebut untuk dianalisis. Contoh teknologi yang menggunakan metode ini adalah *Synthetic Aperture Radar* (SAR) yang bekerja pada frekuensi SHF dan EHF untuk menghasilkan citra permukaan bumi, bahkan dalam kondisi berawan atau malam hari. Sementara itu, dalam penginderaan pasif, sensor hanya menangkap radiasi alami yang dipancarkan atau dipantulkan oleh objek tanpa memancarkan sinyal sendiri. Misalnya, satelit pencitraan optik seperti Landsat dan Sentinel-2 menggunakan cahaya tampak dan inframerah untuk menangkap pantulan sinar matahari dari permukaan bumi, sementara sensor termal seperti MODIS dan ASTER mendeteksi radiasi panas yang dipancarkan oleh objek. Pemilihan metode pemancaran ini bergantung pada kebutuhan pengamatan; radar lebih cocok untuk kondisi cuaca ekstrem atau malam hari, sementara sensor optik dan termal efektif dalam pemetaan vegetasi, suhu, dan perubahan lingkungan berdasarkan cahaya alami.

Spektrum Elektromagnetik



Gambar 12. Spektrum Elektromagnetik

(Sumber : geoscience-indonesia.blogspot.com)

Spektrum elektromagnetik mencakup berbagai jenis gelombang seperti inframerah, gelombang mikro, dan radio. Spektrum cahaya tampak ($\pm 0,4 - 0,7 \mu\text{m}$) adalah bagian kecil dari spektrum elektromagnetik yang dapat dilihat oleh manusia. Radiasi elektromagnetik dapat dijelaskan dengan teori gelombang, tetapi interaksi energi dengan objek di permukaan bumi lebih sesuai dijelaskan dengan teori partikel. Menurut teori kuantum, energi elektromagnetik terdiri dari paket-paket kecil yang disebut foton. Hubungan antara energi dan panjang gelombang dinyatakan dalam persamaan:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Karena energi berbanding terbalik dengan panjang gelombang, semakin panjang gelombangnya, semakin rendah energinya.

Karakteristik Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik memiliki beberapa karakteristik utama yang memengaruhi bagaimana energi dipancarkan, ditransmisikan, dan berinteraksi dengan objek di permukaan bumi maupun atmosfer. Karakteristik ini mencakup polarisasi, koherensi, refleksi, refraksi, dan difraksi, yang semuanya memainkan peran penting dalam teknologi penginderaan jauh.

1. Polarisasi

Polarisasi adalah arah getaran medan listrik dalam gelombang elektromagnetik saat merambat. Gelombang elektromagnetik terdiri dari dua komponen:

- Medan listrik (E), yang berayun dalam satu arah tegak lurus dengan arah rambat.
- Medan magnet (B), yang juga berayun tegak lurus terhadap arah rambat dan terhadap medan listrik.

Berdasarkan arah getaran medan listriknya, polarisasi dapat dibagi menjadi beberapa jenis:

- Polarisasi Linier → Medan listrik hanya berosilasi dalam satu bidang tetap (horizontal atau vertikal).
- Polarisasi Sirkular → Medan listrik berputar membentuk spiral saat gelombang bergerak.
- Polarisasi Elips → Kombinasi antara polarisasi linier dan sirkular, di mana medan listrik berayun dalam bentuk elips.

Dalam penginderaan jauh, polarisasi digunakan dalam sistem radar seperti Synthetic Aperture Radar (SAR) untuk mengamati karakteristik objek di permukaan bumi. Misalnya:

- HH (Horizontal-Horizontal): Gelombang radar dikirim dan diterima dalam polarisasi horizontal, sering digunakan untuk analisis permukaan tanah dan air.
- VV (Vertical-Vertical): Gelombang dikirim dan diterima dalam polarisasi vertikal, cocok untuk mendeteksi struktur vegetasi.

- HV (Horizontal-Vertical) & VH (Vertical-Horizontal): Polarisasi silang untuk meningkatkan kontras dan mendeteksi struktur yang lebih kompleks seperti vegetasi lebat.

2. Koherensi

Koherensi mengacu pada hubungan fase antara gelombang elektromagnetik pada titik yang berbeda dalam ruang dan waktu. Jika fase antar gelombang tetap konstan, maka gelombang tersebut dikatakan koheren. Jika tidak, gelombang tersebut tidak koheren. Koherensi sangat penting dalam penginderaan jauh berbasis radar dan interferometri, seperti:

- Interferometric SAR (InSAR): Menggunakan dua atau lebih citra radar dengan perbedaan waktu untuk mengukur deformasi permukaan bumi, misalnya untuk mendeteksi pergeseran tanah atau gempa bumi.
- Laser Radar (LIDAR): Memanfaatkan sinar laser dengan tingkat koherensi tinggi untuk menghasilkan model topografi permukaan bumi dengan resolusi tinggi.

Gelombang dengan tingkat koherensi tinggi memberikan informasi lebih akurat karena perbedaan fase dapat digunakan untuk mengukur perubahan ketinggian atau struktur suatu objek dengan presisi tinggi.

3. Refleksi, Refraksi, dan Difraksi dalam Penginderaan Jauh

Refleksi (Pantulan Gelombang)

Refleksi terjadi ketika gelombang elektromagnetik bertemu dengan permukaan dan dipantulkan kembali ke arah tertentu. Ada dua jenis refleksi utama dalam penginderaan jauh:

Refleksi Spekular (Mirror-like reflection):

- Terjadi ketika gelombang elektromagnetik bertemu dengan permukaan yang sangat halus dan rata.
- Contoh: Air tenang atau permukaan kaca yang memantulkan hampir seluruh sinyal.
- Dalam penginderaan jauh, refleksi spekular menyebabkan sinyal radar sulit ditangkap karena sinyal dipantulkan jauh dari sensor.

Refleksi Difus (Diffuse reflection):

- Terjadi ketika gelombang mengenai permukaan kasar dan dipantulkan ke

berbagai arah.

- Contoh: Permukaan tanah, vegetasi, atau bangunan.
- Refleksi ini lebih umum dalam penginderaan jauh karena memungkinkan sensor menangkap sinyal dari berbagai sudut.

Refraksi (Pembelokan Gelombang)

Refraksi adalah perubahan arah rambat gelombang elektromagnetik saat melewati medium dengan indeks bias berbeda. Dalam penginderaan jauh, refraksi terjadi saat sinyal melewati atmosfer, yang memiliki variasi kepadatan dan komposisi:

- Lapisan atmosfer menyebabkan pembelokan gelombang saat melewati udara dengan kepadatan yang berbeda.
- Sensor optik dan inframerah harus memperhitungkan efek refraksi atmosfer untuk mengoreksi distorsi pada citra satelit.
- Contoh penerapan refraksi dalam penginderaan jauh:
- Pengukuran atmosfer dengan sensor hiperspektral: Mendeteksi kandungan gas berdasarkan bagaimana cahaya dibiaskan oleh molekul atmosfer.
- Radar atmosfer (Radio Occultation): Digunakan dalam satelit cuaca untuk mengukur indeks bias atmosfer dan memprediksi kondisi cuaca.

Difraksi (Penyebaran Gelombang)

Difraksi adalah fenomena ketika gelombang elektromagnetik menyebar saat melewati celah sempit atau saat bertemu dengan ujung suatu objek.

Dalam penginderaan jauh, difraksi dapat memengaruhi kualitas citra karena menyebabkan efek blur atau distorsi, terutama pada sensor dengan panjang gelombang pendek.

Contoh penerapan difraksi dalam penginderaan jauh:

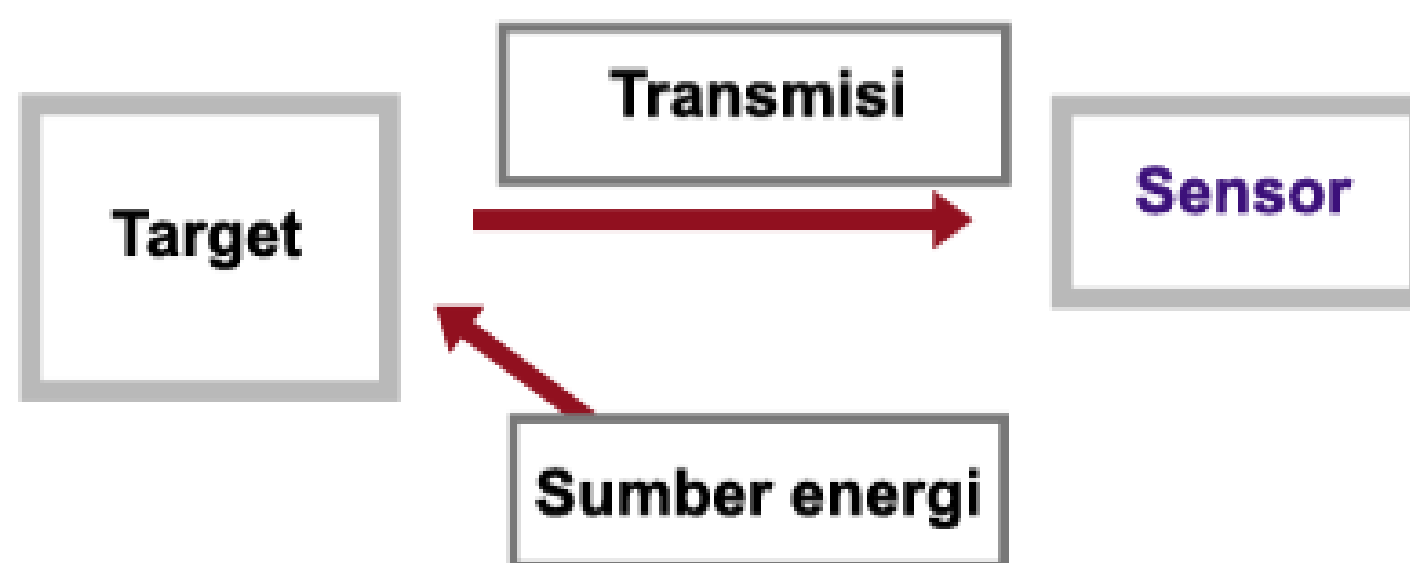
- Gelombang mikro dalam radar penginderaan jauh dapat mengalami difraksi ketika melewati rintangan seperti gedung atau pegunungan, sehingga memungkinkan deteksi objek yang tersembunyi di balik hambatan.
- Difraksi dalam sensor optik dapat menyebabkan penyebaran cahaya di sekitar batas objek, yang dikenal sebagai efek "halo" dalam pencitraan satelit

BAB III

SISTEM PENGINDRAAN JAUH

A. Komponen Utama Sistem Pengindraan Jauh

Sistem Pengindraan Jauh (PJ) terdiri dari empat komponen utama, yaitu target, sumber energi, alur transmisi, dan sensor. Keempat komponen ini bekerja secara terpadu untuk memperoleh dan merekam informasi tentang target tanpa melakukan kontak langsung. Sumber energi berperan penting dalam memancarkan atau menyinari target dengan energi elektromagnetik. Energi tersebut berinteraksi dengan target dan sekaligus menjadi perantara dalam mentransfer informasi menuju sensor. Sensor berfungsi untuk mendeteksi serta merekam radiasi elektromagnetik yang dipancarkan atau dipantulkan oleh target. Setelah data terekam, informasi tersebut dikirim ke stasiun penerima untuk diproses menjadi format yang dapat digunakan, seperti citra. Citra yang dihasilkan kemudian dianalisis dan diinterpretasikan guna mengekstraksi informasi mengenai target. Proses interpretasi ini umumnya dilakukan melalui kombinasi metode visual dan otomatis, dengan dukungan komputer serta perangkat lunak pengolah citra.



Gambar 16. Komponen Dasar INDERAJA

Pengindraan jauh adalah teknik yang digunakan untuk memperoleh informasi mengenai suatu objek, area, atau fenomena tanpa melakukan kontak langsung. Teknik ini memanfaatkan energi elektromagnetik yang dipancarkan, dipantulkan, atau dipancarkan ulang oleh target, lalu direkam oleh sensor untuk dianalisis lebih lanjut. Dalam sistem pengindraan jauh, terdapat empat

komponen utama yang berperan penting, yaitu **target**, **sumber energi**, **alur transmisi**, dan **sensor**. Keempat komponen ini bekerja secara terintegrasi untuk menghasilkan data yang akurat dan dapat digunakan dalam berbagai bidang.

1. Target

Target adalah objek atau fenomena yang menjadi sasaran pemantauan dalam penginderaan jauh. Target memiliki sifat fisik dan spektral yang menentukan bagaimana energi elektromagnetik berinteraksi dengannya. Berdasarkan jenisnya, target dalam penginderaan jauh dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori:

Objek Permukaan bumi

- Lahan: termasuk tanah pertanian, hutan, padang rumput, gurun, dan daerah terbuka lainnya.
- Vegetasi: meliputi hutan hujan tropis, perkebunan, hutan bakau, dan tanaman budidaya.
- Badan air: mencakup sungai, danau, laut, rawa, dan waduk yang dapat diamati untuk keperluan hidrologi.
- Permukiman: mencakup kota, desa, serta pemukiman manusia yang dapat dipantau untuk analisis tata guna lahan dan perencanaan wilayah.
- Infrastruktur buatan manusia: seperti jalan raya, jembatan, pelabuhan, bandara, dan bangunan industri yang dapat dianalisis untuk studi perkembangan wilayah dan perencanaan tata kota.

Atmosfer, mencakup unsur-unsur yang terdapat di lapisan udara

- Gas-gas atmosfer: seperti nitrogen, oksigen, karbon dioksida, dan ozon yang berpengaruh terhadap penyebaran energi elektromagnetik.
- Awan: yang dapat berperan dalam refleksi dan penyerapan energi elektromagnetik.
- Aerosol: berupa partikel-partikel kecil di atmosfer yang berasal dari aktivitas alam maupun manusia, seperti abu vulkanik, asap kebakaran hutan, dan polusi udara.
- Debu: yang dapat berasal dari badai pasir atau aktivitas industri dan dapat mengubah pola penyerapan energi elektromagnetik.

Fenomena Lingkungan, meliputi kejadian alam yang dapat diamati dengan penginderaan jauh

- Kebakaran hutan: yang dapat dideteksi menggunakan sensor inframerah untuk mengidentifikasi titik panas.
- Erosi: yang dapat dianalisis melalui perubahan pola lahan akibat pengikisan oleh air atau angin.
- Banjir: yang dapat dipantau dengan citra satelit untuk mengetahui luas genangan dan dampaknya terhadap wilayah terdampak.
- Perubahan iklim: yang dapat dianalisis melalui perubahan pola vegetasi, suhu permukaan, dan ketebalan lapisan es.
- Pencemaran air: yang dapat dideteksi dengan sensor multi-spektral untuk mengidentifikasi tingkat kekeruhan atau keberadaan zat pencemar.
- Aktivitas vulkanik: yang dapat dipantau menggunakan citra satelit termal untuk mendeteksi perubahan suhu di sekitar gunung berapi.

Setiap target memiliki karakteristik unik dalam menyerap, memantulkan, atau memancarkan energi elektromagnetik. Sensor yang digunakan dalam penginderaan jauh dirancang untuk menangkap karakteristik ini agar dapat dievaluasi lebih lanjut.

2. Sumber Energi

Sumber energi dalam penginderaan jauh berfungsi untuk menyediakan radiasi elektromagnetik yang akan berinteraksi dengan target. Tenaga matahari yang mencapai ke permukaan bumi dipengaruhi oleh banyak hal, antara lain waktu, (jam, musim), lokasi dan kondisi cuaca. Jumlah tenaga yang diterima pada siang hari akan berbeda dengan jumlah 13 Penginderaan Jauh tenaga yang diterima pada malam hari dan pagi hari. Kedudukan matahari terhadap tempat dipermukaan bumi berubah sesuai dengan perubahan musim. Disamping itu jumlah tenaga yang diterima juga dipengaruhi oleh letak di permukaan bumi. Tempat di ekuator menerima tenaga lebih banyak bila dibandingkan terhadap tempat-tempat yang lintangnya lebih tinggi. Untuk waktu dan letaknya yang sama, jumlah sinar yang mencapai permukaan bumi dapat berbeda bila kondisi cuaca berbeda. Semakin banyak penutupan oleh kabut dan awan, maka akan sedikit tenaga yang dapat mencapai permukaan bumi.

Sumber energi ini dapat dibedakan menjadi dua jenis utama:

Sumber Energi Alami

Sumber energi alami yang paling umum adalah **matahari**. Matahari memancarkan radiasi elektromagnetik dalam berbagai panjang gelombang, mulai dari sinar ultraviolet hingga inframerah. Energi ini dipantulkan atau diserap oleh target, kemudian direkam oleh sensor pasif.

Sumber Energi Buatan

Pada sistem penginderaan jauh aktif, sumber energi yang digunakan berasal dari perangkat buatan manusia, seperti **radar** dan **LiDAR**. Sistem ini memancarkan gelombang elektromagnetik ke arah target, lalu menangkap pantulan dari target untuk dianalisis lebih lanjut. Teknologi ini berguna dalam kondisi minim cahaya atau untuk mengamati objek yang tidak dapat dideteksi dengan sensor pasif.

3. Alur Transmisi

Alur transmisi adalah jalur yang dilalui oleh energi elektromagnetik dari sumber energi hingga mencapai target dan kembali ke sensor. Selama proses ini, energi dapat mengalami perubahan akibat interaksi dengan atmosfer dan objek lainnya. Beberapa faktor yang mempengaruhi alur transmisi meliputi:

- **Hamburan atmosfer:** Hamburan Rayleigh merupakan salah satu penyebab utama adanya kabut tipis pada citra. Secara visual, kabut tersebut mengurangi kejelasan atau kontras suatu citra. Pada fotografi berwarna, kabut ini nampak kelabu kebiruan pada citra, terutama bila dipotret dari ketinggian yang tinggi. Jenis hamburan yang lain ialah hamburan Mie yang terjadi bila garis tengah partikel atmosfer sama dengan panjang gelombang tenaga yang diindera. Penyebab utama timbulnya hamburan Mie ialah uap air dan debu atmosfer. Jenis hamburan ini cenderung mempengaruhi panjang gelombang yang lebih panjang bila dibandingkan dengan hamburan Rayleigh. Walaupun hamburan Rayleigh cenderung terjadi pada sebagian besar kondisi atmosfer, hamburan Mie cukup berarti pada saat sebagian besar kondisi atmosfer, hamburan Mie cukup berarti pada saat cuaca cukup gelap. Partikel di atmosfer, seperti debu dan uap air, dapat menyebarkan energi elektromagnetik sehingga mengurangi

kejelasan sinyal yang diterima sensor.

- **Penyerapan oleh atmosfer:** Berbeda dengan hamburan, penyerapan atmosfer menyebabkan berkurangnya energi secara efektif ke elemen pembentuk atmosfer. Biasanya, proses ini terjadi pada panjang gelombang tertentu. Faktor utama yang berkontribusi terhadap penyerapan radiasi matahari adalah uap air, karbon dioksida (CO₂), dan ozon. Gas-gas ini memiliki kecenderungan untuk menyerap energi elektromagnetik pada panjang gelombang tertentu, sehingga berdampak besar terhadap bagian spektrum yang dapat diamati menggunakan sistem penginderaan jauh tertentu.

Rentang panjang gelombang di mana atmosfer memungkinkan energi untuk melewati disebut **jendela atmosfer**. Namun, aspek yang lebih penting adalah pemilihan rentang spektral pada sensor, yang harus disesuaikan dengan bagaimana energi berinteraksi dengan objek yang sedang diamati. Faktor ini menjadi elemen yang sangat krusial dalam penginderaan jauh.

Gas-gas tertentu dalam atmosfer, seperti ozon, karbon dioksida, dan uap air, dapat menyerap sebagian energi elektromagnetik, terutama dalam spektrum inframerah.

- **Kondisi cuaca:** Awan, kabut, dan hujan dapat menghalangi atau mengubah sinyal yang ditransmisikan ke sensor.
- **Sudut datang energi:** Sudut datangnya cahaya matahari atau gelombang radar terhadap target dapat mempengaruhi jumlah energi yang diterima dan dipantulkan kembali ke sensor.

4. **Sensor**

Sensor adalah perangkat yang berfungsi untuk menangkap dan merekam radiasi elektromagnetik yang telah berinteraksi dengan target. Berdasarkan cara kerjanya, sensor dalam penginderaan jauh dibedakan menjadi dua jenis:

Sensor Pasif

Sensor pasif bekerja dengan mendeteksi dan merekam energi alami yang dipancarkan atau dipantulkan oleh target. Contoh sensor pasif meliputi:

- **Kamera optik** yang menangkap citra dalam spektrum tampak.

BAB IV

WAHANA DAN SENSOR DALAM PENGINDRAAN JAUH

A. Jenis wahana (satelit, drone, pesawat)

Wahana adalah kendaraan atau alat transportasi yang digunakan untuk membawa sensor dalam proses penginderaan jauh. Wahana ini berfungsi sebagai platform yang memungkinkan sensor merekam data dari permukaan bumi, atmosfer, atau luar angkasa. Wahana dapat berupa satelit, pesawat terbang, atau drone, tergantung pada kebutuhan dan jenis penginderaan jauh yang dilakukan.

Tujuan penggunaan wahana dalam penginderaan jauh adalah untuk mengumpulkan data secara efektif dengan memungkinkan sensor merekam citra atau informasi dalam skala luas tanpa pengamatan langsung. Selain itu, wahana dapat menjangkau wilayah yang sulit diakses, seperti hutan lebat, pegunungan tinggi, atau samudra luas, sehingga tetap memungkinkan pengambilan data dari daerah tersebut. Wahana juga berperan dalam memantau perubahan lingkungan dan cuaca, seperti mengamati pola cuaca, badai, kebakaran hutan, atau perubahan garis pantai akibat abrasi. Dalam berbagai bidang penelitian dan industri, wahana mendukung berbagai keperluan, seperti pemantauan kesehatan tanaman dalam pertanian serta pemetaan topografi dalam eksplorasi sumber daya alam. Selain itu, penggunaan wahana juga meningkatkan kecepatan dan efisiensi pemetaan wilayah dibandingkan metode konvensional, sehingga hasil yang diperoleh lebih akurat dan cepat.

1. Satelit dalam Penginderaan Jauh

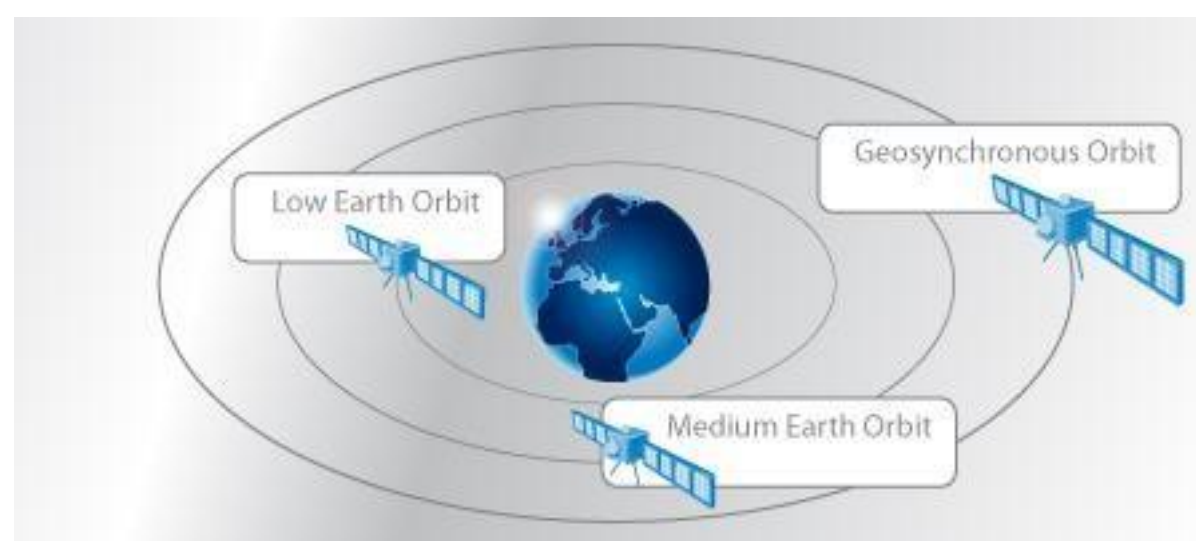


Gambar 20. Satelit

Satelit adalah wahana buatan yang mengorbit bumi dan berfungsi untuk mengumpulkan berbagai data, terutama dalam bidang penginderaan jauh. Satelit membawa sensor yang mampu merekam informasi tentang permukaan bumi, atmosfer, serta berbagai fenomena alam yang terjadi. Keunggulan utama dari satelit adalah kemampuannya untuk melakukan pemantauan dalam jangka panjang dengan cakupan wilayah yang luas, bahkan hingga skala global.

Satelit dalam penginderaan jauh diklasifikasikan berdasarkan orbitnya menjadi tiga jenis utama:

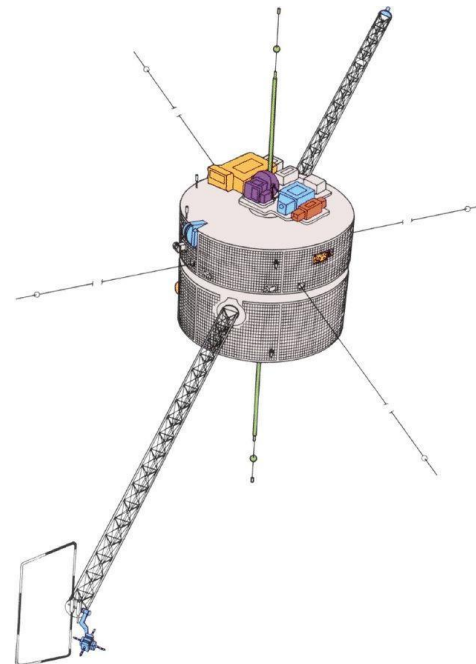
Satelit Geostasioner



Gambar 21. Satelit Geotasioner

Satelit geostasioner mengorbit bumi pada ketinggian sekitar 35.786 km di atas garis ekuator. Satelit ini bergerak dengan kecepatan yang sama dengan rotasi bumi, sehingga tampak tetap berada di satu posisi tertentu jika diamati dari permukaan bumi. Fungsi utama satelit geostasioner adalah dalam bidang komunikasi, pemantauan cuaca, serta pengamatan lingkungan dalam skala luas. Karena posisinya yang tetap, satelit ini dapat menyediakan data secara terus-menerus untuk wilayah tertentu. Contoh satelit geostasioner yang terkenal adalah GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) dan Himawari, yang berfungsi untuk pemantauan cuaca secara real-time.

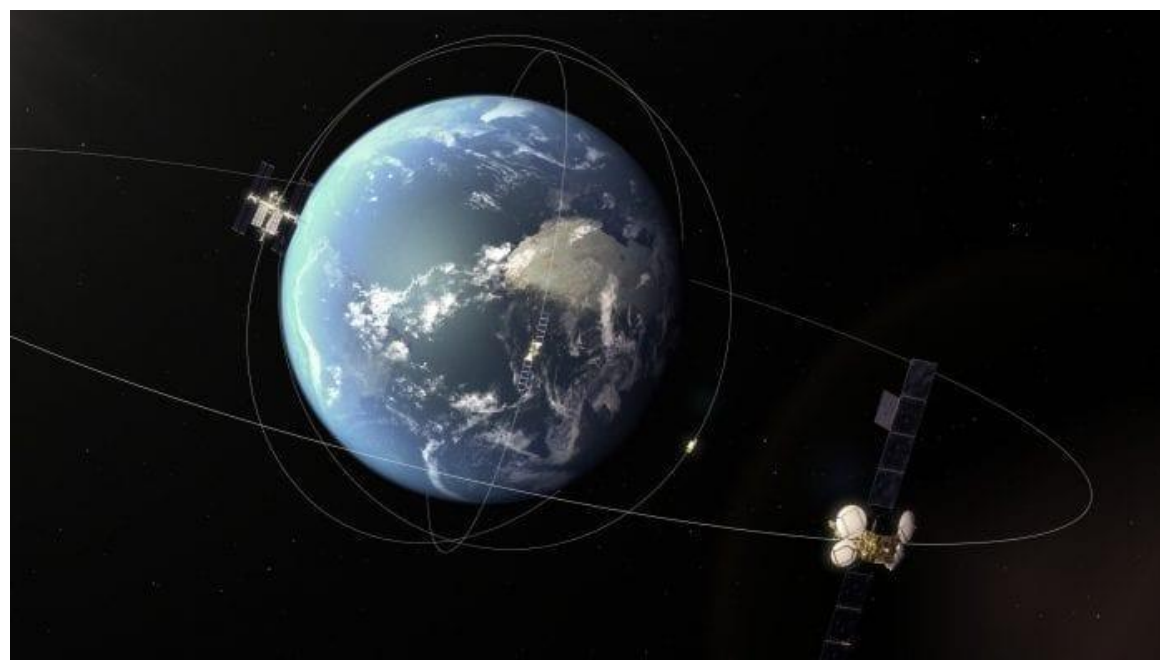
Satelit Polar (Low Earth Orbit/LEO – Orbit Rendah)



Gambar 22. Satelit Polar

Satelit polar mengorbit bumi pada ketinggian sekitar 500 – 2.000 km dan melintasi kutub dalam jalur orbitnya. Keunggulan utama dari satelit ini adalah cakupan global, karena setiap hari satelit akan merekam berbagai wilayah bumi pada waktu yang berbeda-beda. Satelit orbit rendah sering digunakan dalam penginderaan jauh untuk pemetaan wilayah, pemantauan lingkungan, observasi perubahan iklim, serta penelitian ilmiah. Contoh satelit polar yang banyak digunakan antara lain Landsat, Sentinel, Terra/Aqua, SPOT, dan NOAA.

Satelit Orbit Menengah (Medium Earth Orbit/MEO)



Gambar 23. Satelit Orbit Menengah

Satelit yang berada di orbit menengah memiliki ketinggian sekitar 2.000 – 35.000 km dari permukaan bumi. Orbit ini merupakan perantara antara orbit rendah dan orbit geostasioner. Satelit MEO banyak digunakan untuk sistem navigasi global, seperti GPS (Global Positioning System), Galileo, dan GLONASS. Keunggulannya adalah mampu mencakup wilayah yang luas dengan tingkat ketelitian yang lebih baik dibandingkan satelit geostasioner.

Keunggulan dan Kelemahan Satelit dalam Penginderaan Jauh

Keunggulan Satelit:

- Mampu melakukan pemantauan dalam jangka panjang tanpa intervensi manusia secara langsung.
- Cakupan luas, bahkan hingga skala global.
- Mampu mendeteksi berbagai fenomena di darat, laut, dan atmosfer dengan berbagai jenis sensor.

Kelemahan Satelit:

- Tidak fleksibel karena memiliki jalur orbit tetap yang tidak bisa diubah setelah peluncuran.
- Biaya peluncuran dan pemeliharaan sangat tinggi.
- Resolusi gambar terbatas dibandingkan dengan wahana berawak seperti pesawat

2. Drone (UAV - Unmanned Aerial Vehicle) dalam Penginderaan Jauh

Drone atau UAV (Unmanned Aerial Vehicle) adalah wahana udara tanpa awak yang dikendalikan dari jarak jauh oleh operator atau dapat beroperasi secara otomatis menggunakan sistem navigasi berbasis GPS dan sensor tertentu. Drone telah mengalami perkembangan pesat dalam beberapa tahun terakhir, terutama dalam bidang penginderaan jauh karena kemampuannya dalam mengumpulkan data secara efisien dan akurat.

Salah satu keunggulan utama drone dibandingkan satelit dan pesawat berawak adalah fleksibilitas dan biaya operasional yang lebih rendah. Drone dapat terbang pada ketinggian rendah, sehingga mampu menangkap gambar dengan resolusi sangat tinggi, lebih detail dibandingkan citra satelit. Selain itu, drone juga lebih mudah dikendalikan untuk pengambilan data spesifik sesuai kebutuhan, seperti pemetaan lahan pertanian, pemantauan bencana, serta survei infrastruktur dan lingkungan.

Jenis Drone berdasarkan Desainnya : Drone dapat dikategorikan berdasarkan desain aerodinamisnya, yaitu Fixed-Wing (Sayap Tetap) dan Rotary-Wing (Multirotor - Sayap Putar). Setiap jenis memiliki keunggulan dan kelemahannya masing-masing sesuai dengan kebutuhan penggunaannya dalam penginderaan jauh.

Fixed-Wing (Sayap Tetap)



Gambar 24. Drone Sayap Tetap

Drone jenis ini memiliki bentuk menyerupai pesawat kecil dengan sayap tetap yang memungkinkan drone untuk terbang dengan lebih stabil dan dalam waktu yang lebih lama.

Keunggulan:

- Lebih efisien dalam penggunaan energi, sehingga dapat terbang dalam durasi yang lebih lama dan menjangkau area yang luas.
- Cocok untuk pemetaan wilayah besar seperti survei lahan pertanian, pemetaan topografi, dan pemantauan lingkungan dalam skala besar.
- Mampu terbang dengan kecepatan lebih tinggi dibandingkan drone jenis multirotor.

Kelemahan:

- Tidak bisa hovering (diam di tempat) seperti drone rotary-wing, sehingga kurang fleksibel untuk pengambilan gambar detail dari satu titik.
- Membutuhkan ruang lebih luas untuk lepas landas dan mendarat, sehingga tidak dapat digunakan di area sempit.

Contoh drone fixed-wing:

- eBee (digunakan dalam survei pemetaan)
- WingtraOne (digunakan untuk pemetaan topografi dan analisis pertanian)

Rotary-Wing (Multirotor - Sayap Putar)



Gambar 25. Drone Sayap Putar

Drone jenis rotary-wing memiliki baling-baling seperti helikopter dan umumnya berbentuk quadcopter (empat baling-baling) atau hexacopter (enam baling-baling). Keunggulan utama drone jenis ini adalah kemampuannya untuk melayang di tempat (hovering), sehingga lebih fleksibel dalam mengambil gambar atau video dari sudut yang sulit dijangkau. Selain itu, drone rotary-wing dapat digunakan di area sempit, sehingga sangat cocok untuk inspeksi infrastruktur, survei bangunan, dan pemantauan hutan. Kelebihan lainnya adalah kemudahan dalam pengoperasian, karena drone ini tidak memerlukan landasan panjang untuk lepas landas dan mendarat. Namun, drone rotary-wing juga memiliki beberapa kelemahan. Salah satunya adalah jangkauan yang terbatas, karena konsumsi daya baterainya lebih tinggi dibandingkan dengan drone fixed-wing. Selain itu, drone ini memiliki kecepatan terbang yang lebih rendah, sehingga kurang efektif untuk survei wilayah yang luas dalam satu kali penerbangan. Efisiensi energinya juga lebih rendah dibandingkan drone fixed-wing, yang membuatnya lebih cocok untuk tugas-tugas yang membutuhkan manuver fleksibel tetapi tidak untuk pemantauan dalam skala besar. Beberapa contoh drone rotary-wing yang sering digunakan dalam penginderaan jauh antara lain DJI Phantom untuk pemetaan dan inspeksi infrastruktur, DJI Mavic untuk survei bangunan, serta Parrot Anafi yang digunakan dalam pemantauan lingkungan dan analisis pertanian.

Dalam penginderaan jauh, drone memiliki berbagai aplikasi yang mencakup berbagai sektor seperti pertanian, mitigasi bencana, survei infrastruktur, dan konservasi lingkungan. Dalam bidang pemetaan lahan dan pertanian, drone

BAB V

JENIS DAN KARAKTERISTIK CITRA SATELIT

A. Resolusi spasial, spektral, temporal, dan radiometrik

Citra satelit adalah gambaran permukaan bumi yang diperoleh dari sensor yang dipasang pada satelit yang mengorbit bumi. Sensor ini menangkap energi elektromagnetik yang dipantulkan atau dipancarkan oleh objek di permukaan bumi dalam berbagai panjang gelombang, kemudian mengubahnya menjadi data digital yang dapat dianalisis.

Citra satelit merupakan bagian dari teknologi penginderaan jauh, yaitu teknik pengambilan data tanpa kontak langsung dengan objek yang diamati. Teknologi ini memungkinkan pemantauan wilayah yang luas dengan efisiensi tinggi dan membantu dalam berbagai bidang seperti lingkungan, pertanian, mitigasi bencana, dan pemetaan geospasial.

Berdasarkan cara pengambilannya, citra satelit dapat dibagi menjadi:

- Citra Satelit Pasif – Sensor menangkap cahaya matahari yang dipantulkan oleh permukaan bumi. Contoh: Landsat, Sentinel-2.
- Citra Satelit Aktif – Sensor mengirimkan gelombang elektromagnetik ke bumi dan menangkap pantulan dari permukaan. Contoh: Sentinel-1 (Radar), TerraSAR-X.

Dalam citra satelit ada yang namanya resolusi, Resolusi dalam citra satelit merujuk pada tingkat ketajaman atau kemampuan suatu sistem sensor untuk membedakan detail objek yang diamati. Semakin tinggi resolusinya, semakin banyak informasi yang bisa diperoleh dari citra tersebut.

Ada empat jenis resolusi utama dalam citra satelit:

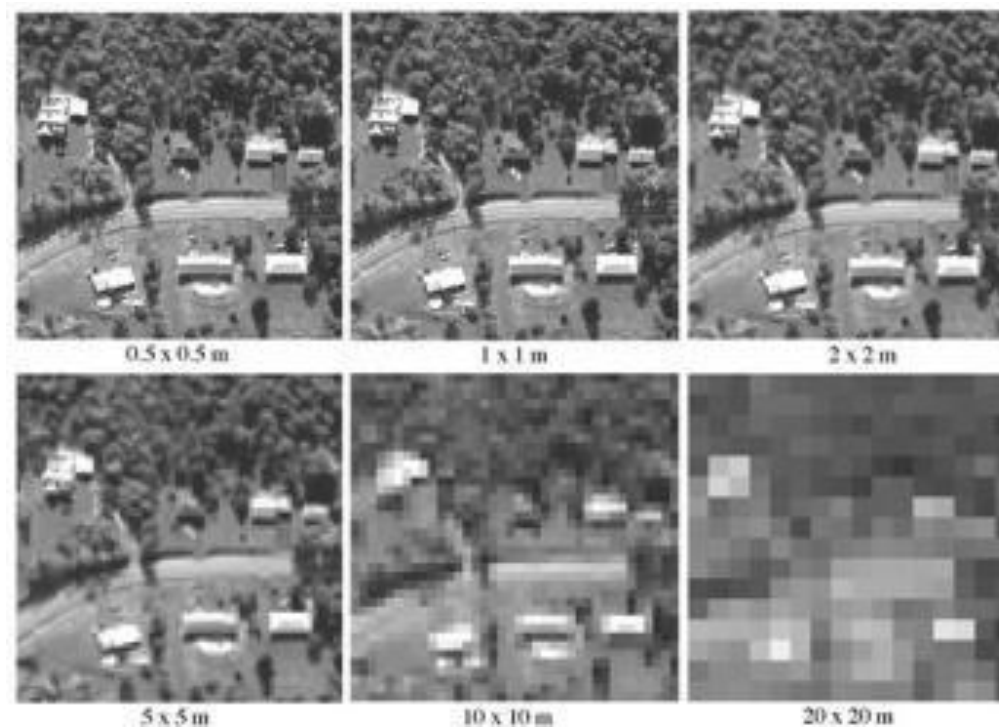
1. Resolusi Spasial

Resolusi spasial adalah ukuran terkecil suatu objek di permukaan bumi yang masih dapat dibedakan dalam citra satelit. Resolusi ini biasanya dinyatakan dalam satuan meter (m), yang menunjukkan ukuran piksel pada citra satelit.

Dalam citra digital, setiap gambar terdiri dari piksel-piksel yang merepresentasikan area di permukaan bumi. **Semakin kecil nilai resolusi**

spasial, semakin tinggi detail yang dapat diamati dalam citra. Dengan kata lain, citra dengan resolusi tinggi mampu menangkap objek yang lebih kecil dengan lebih jelas, sementara citra dengan resolusi rendah hanya dapat menampilkan objek besar tanpa detail spesifik.

Berdasarkan tingkat ketajaman detail yang dapat diidentifikasi, resolusi spasial dibagi menjadi tiga kategori utama:



Gambar 31. Contoh visualisasi obyek pada beberapa macam tingkat resolusi spasial.

Resolusi Tinggi (≤ 5 meter)

Citra satelit dengan resolusi tinggi mampu membedakan objek dengan ukuran sangat kecil, biasanya di bawah 5 meter per piksel. Artinya, setiap piksel pada citra mewakili area kurang dari 5 meter di permukaan bumi.

Contoh satelit:

- Quickbird (0,61 – 2,44 meter)
- Ikonos (1 – 4 meter)

Karakteristik dan penggunaan:

- Dapat menangkap detail kecil seperti bangunan, kendaraan, jalur jalan, dan bahkan kapal kecil di perairan.
- Berguna untuk pemetaan perkotaan, perencanaan infrastruktur, pemantauan lalu lintas, keamanan, dan militer.
- Digunakan dalam pemetaan bencana seperti analisis kerusakan pasca-gempa atau kebakaran hutan dengan akurasi tinggi.

Resolusi Menengah (5 – 30 meter)

Citra satelit dengan resolusi menengah memiliki tingkat ketajaman yang cukup baik untuk mengidentifikasi perubahan besar di permukaan bumi tetapi kurang

detail untuk objek yang lebih kecil.

Contoh satelit:

- Landsat (15 – 30 meter, tergantung sensor)
- ASTER (15 meter)

Karakteristik dan penggunaan:

- Mampu mengidentifikasi perubahan penggunaan lahan dalam cakupan yang luas, seperti deforestasi, ekspansi kota, atau perubahan pola pertanian.
- Digunakan dalam pemantauan vegetasi, kehutanan, dan kesehatan ekosistem.
- Berguna dalam perencanaan tata ruang dan zonasi perkotaan.

Resolusi Rendah (>250 meter)

Citra dengan resolusi rendah memiliki piksel yang mewakili area sangat luas di permukaan bumi, sehingga hanya dapat menangkap perubahan skala besar tanpa detail spesifik.

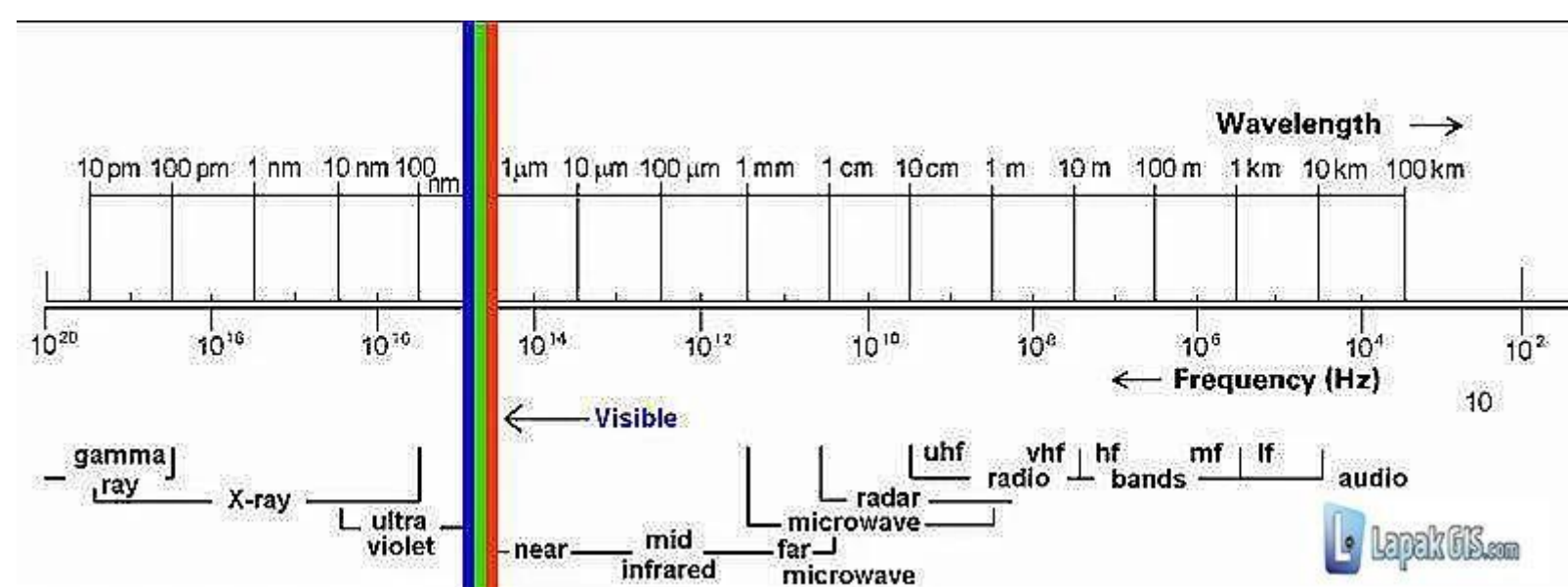
Contoh satelit:

- MODIS (250 – 1000 meter)
- NOAA AVHRR (1100 meter)

Karakteristik dan penggunaan:

- Cocok untuk analisis skala besar seperti pemantauan perubahan iklim global, distribusi vegetasi, suhu permukaan laut, dan pola angin atmosfer.
- Digunakan untuk mengamati pola curah hujan, penyebaran asap dari kebakaran hutan, dan pergerakan massa udara dalam analisis cuaca dan iklim.

2. Resolusi Spektral



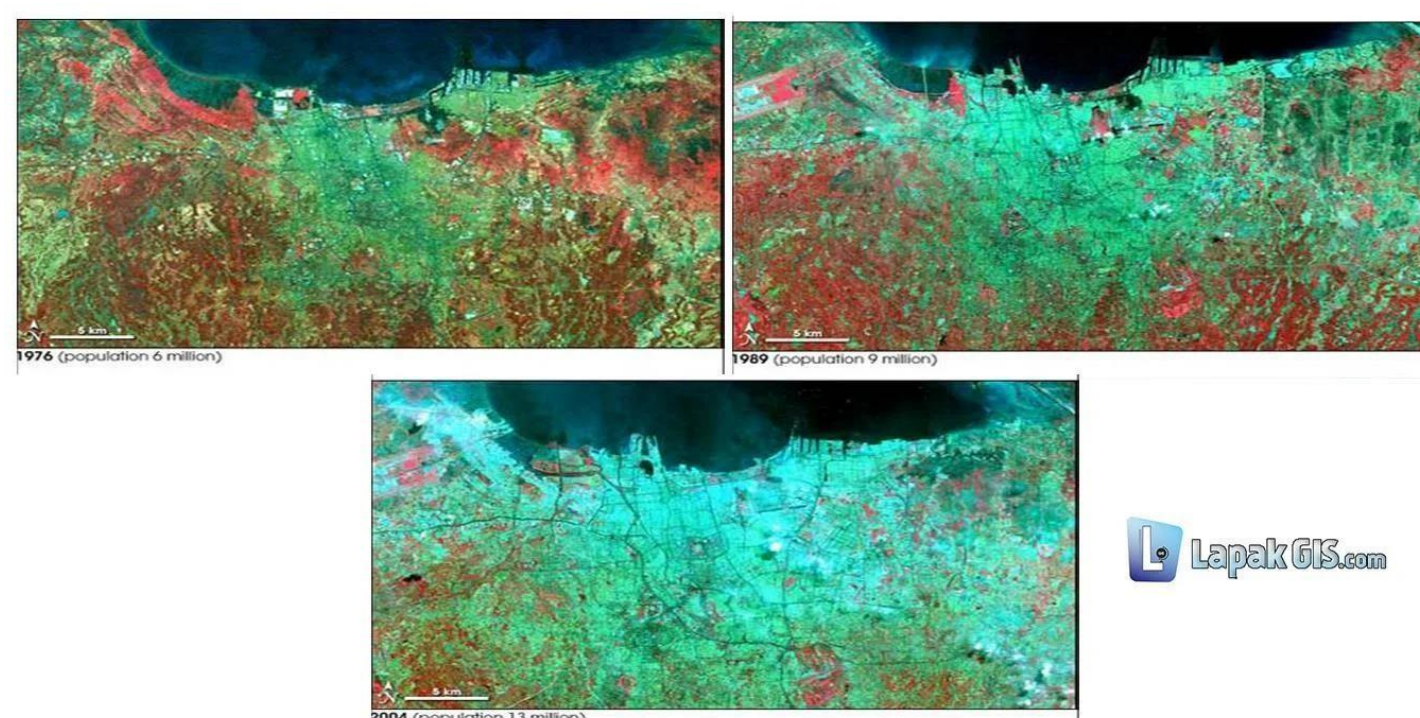
Gambar 32. Visualisasi Resolusi Spektral

Resolusi spektral adalah kemampuan sensor dalam membedakan berbagai panjang gelombang cahaya yang dipantulkan atau dipancarkan oleh suatu objek

di permukaan bumi. Resolusi ini menentukan seberapa baik sensor dapat menangkap informasi dalam spektrum elektromagnetik. yakni banyaknya jumlah saluran/band spektral yang digunakan pada citra. dalam resolusi spektral ini, citra satelit digolongkan menjadi 2 jenis, yakni citra multispektral dan citra hyperspektral. Citra multispektral adalah citra satelit yang memiliki jumlah saluran/band kurang dari 30. Contoh citra multispektral seperti Landsat 8 (11 band), SPOT 4 dan 5 (4 band), ALOS AVNIR (4 band), dll. Sedangkan citra hyperspektral adalah satelit yang memiliki jumlah band > 30 pada sensornya, contohnya adalah citra Modis dan citra Hyperion.

3. Resolusi Temporal

Resolusi temporal adalah frekuensi atau seberapa sering satelit dapat merekam ulang gambar pada area yang sama dalam rentang waktu tertentu. Dimana yakni waktu ulang satelit kembali merekam di area yang sama. Contoh citra satelit yang tergolong memiliki resolusi temporal tinggi, yakni NOAA (4 kali dalam sehari), Modis (1 hari), TRMM (1 hari), dll. Sedangkan citra satelit yang tergolong memiliki resolusi temporal rendah antara lain ALOS (46 hari), Landsat 8 (31 hari), SPOT (26 hari), dll. Biasanya citra satelit yang memiliki resolusi temporal tinggi tersebut adalah satelit yang digunakan untuk mengidentifikasi kondisi atmosfer dan cuaca. Hal tersebut tentu dimaksudkan karena kondisi atmosfer dan cuaca sangat dinamis perubahannya. Satelit yang memiliki resolusi temporal tinggi umumnya memiliki resolusi spasial yang sangat rendah.



Gambar 33. Visualisasi Resolusi Temporal

Resolusi Temporal Harian

Satelit dengan resolusi temporal harian mampu mengamati perubahan yang terjadi setiap hari.

Contoh satelit:

- GMS (satelit cuaca)
- NOAA (satelit pemantauan atmosfer)

Karakteristik dan penggunaan:

- Digunakan dalam pemantauan awan, angin, dan cuaca global.
- Membantu dalam prediksi cuaca dan mitigasi bencana alam seperti badai dan siklon tropis.

Resolusi Temporal 16 Hari

Beberapa satelit memiliki interval perekaman yang lebih panjang, seperti setiap 16 hari sekali.

Contoh satelit:

- Landsat (16 hari)

Karakteristik dan penggunaan:

- Digunakan untuk memantau perubahan lingkungan jangka panjang seperti perubahan penggunaan lahan, deforestasi, dan urbanisasi.

4. Resolusi Radiometrik

Resolusi radiometrik adalah kemampuan sensor dalam mendeteksi variasi tingkat kecerahan atau intensitas energi yang dipantulkan oleh suatu objek. Ukuran sensitivitas sensor dalam membedakan spektral maupun radiasi suatu objek. Contoh, citra Landsat 7 memiliki sensor dengan resolusi radiometrik 8 bit, artinya sensor tersebut dapat membedakan suatu objek sebanyak $2^8 = 256$ variasi. Sehingga nilai piksel pada Landsat 7 memiliki interval 0-255. Sedangkan generasi Landsat selanjutnya yakni Landsat 8 memiliki resolusi radiometrik 16 bit, artinya sensor Landsat 8 lebih sensitif dalam membedakan objek sebanyak $2^{16} = 65536$ variasi dibandingkan Landsat 7.

Resolusi 8-bit (256 tingkat keabuan)

Contoh satelit: Landsat lama (8-bit)

Karakteristik dan penggunaan:

- Kurang sensitif dalam membedakan perbedaan kecil dalam intensitas pantulan cahaya.

- Digunakan untuk analisis yang tidak memerlukan tingkat detail tinggi.

Resolusi 16-bit (65.536 tingkat keabuan)

Contoh satelit: Quickbird, WorldView

Karakteristik dan penggunaan:

- Memungkinkan analisis lebih akurat dalam membedakan variasi warna dan intensitas cahaya.
- Berguna untuk pemetaan lahan dengan tingkat akurasi tinggi, seperti deteksi kebakaran hutan atau pemantauan perubahan lingkungan secara lebih rinci.

B. Perbedaan citra multispektral, hiperspektral, dan radar

Dalam penginderaan jauh, citra satelit dikategorikan berdasarkan bagaimana sensor menangkap dan merekam energi yang dipantulkan atau dipancarkan oleh permukaan bumi. Tiga jenis utama citra yang sering digunakan adalah citra multispektral, citra hiperspektral, dan citra radar. Masing-masing memiliki karakteristik, keunggulan, serta aplikasi yang berbeda.

1. Citra Multispektral



Gambar 34. Visualisasi Citra Multispektral

Citra multispektral adalah citra yang menangkap informasi dalam beberapa rentang panjang gelombang cahaya yang berbeda. Rentang panjang gelombang ini disebut juga sebagai saluran atau band spektral, dan biasanya terdiri dari spektrum tampak (merah, hijau, biru) serta inframerah dekat dan termal.

Karakteristik Citra Multispektral

- Memiliki beberapa saluran spektral (biasanya antara 3 hingga 10 band spektral).

BAB VI

KOREKSI DAN KALIBRASI CITRA SATELIT

A. Pengolahan awal citra penginderaan jauh

Pengolahan citra penginderaan jauh adalah serangkaian proses yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas citra serta mengekstrak informasi yang terkandung di dalamnya. Data yang diperoleh dari satelit atau wahana udara sering mengalami berbagai distorsi akibat gangguan atmosfer, kondisi topografi, serta karakteristik sensor itu sendiri. Oleh karena itu, pengolahan awal sangat penting agar citra yang dihasilkan dapat merepresentasikan kondisi sebenarnya di lapangan dan dapat digunakan dalam berbagai aplikasi seperti pemetaan, pemantauan lingkungan, dan analisis geospasial.



Gambar 42. Visualisasi Pengolahan Citra

Pengolahan citra penginderaan jauh dapat dibagi menjadi beberapa tahapan utama, yaitu pra-pengolahan data, peningkatan kualitas citra, transformasi citra, dan klasifikasi citra.

Tahapan Pengolahan Citra Satelit

1. Pra-Pengolahan Data

Pra-pengolahan data merupakan langkah awal dalam pengolahan citra yang bertujuan untuk memperbaiki berbagai distorsi yang terjadi saat akuisisi data. Pada tahap ini dilakukan berbagai koreksi agar informasi yang diperoleh sesuai dengan kondisi sebenarnya di lapangan.

Koreksi Geometrik

Koreksi geometrik bertujuan untuk menyesuaikan posisi objek dalam citra dengan koordinat geografis aslinya. Distorsi geometri dapat terjadi akibat pergerakan satelit, sudut pengambilan gambar, serta kondisi topografi. Koreksi ini dilakukan dengan teknik **image rectification** dan **geo-referencing** yang mencocokkan citra dengan peta referensi menggunakan titik kontrol tanah (Ground Control Points/GCP).

Koreksi Georeferensi

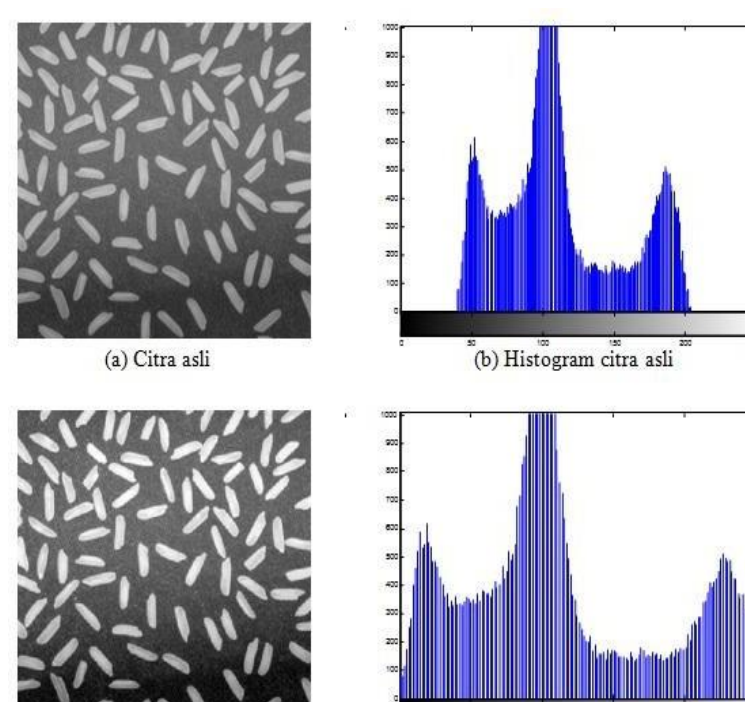
Koreksi georeferensi dilakukan untuk memastikan bahwa setiap piksel dalam citra memiliki koordinat geografis yang sesuai. Proses ini penting agar citra dapat digabungkan dengan data spasial lainnya dalam Sistem Informasi Geografis (SIG).

Koreksi Radiometrik

Koreksi radiometrik bertujuan untuk memastikan akurasi nilai piksel akibat adanya gangguan dari atmosfer atau perbedaan kondisi pencahayaan. Beberapa metode koreksi radiometrik meliputi:

- **Koreksi atmosferik**, yang menghilangkan efek hamburan dan penyerapan cahaya oleh atmosfer.
- **Normalisasi histogram**, yang menyesuaikan tingkat kecerahan citra agar lebih kontras.
- **Kalibrasi radiometrik**, yang menyamakan tingkat pencahayaan antara beberapa citra yang diambil pada waktu berbeda.

2. Peningkatan Kualitas Citra



Gambar 43. Perbaikan Kualitas Citra Pada Program Matlab

Setelah dilakukan koreksi, langkah berikutnya adalah peningkatan kualitas citra agar lebih jelas dan mudah dianalisis. Proses ini bertujuan untuk mengurangi noise atau distorsi serta meningkatkan kontras dan ketajaman citra.

Teknik peningkatan kualitas citra meliputi:

- Reduksi noise, menggunakan filter spasial seperti Low Pass Filter untuk menghaluskan citra.
- Penyesuaian kontras, dengan teknik seperti histogram equalization agar detail lebih terlihat.
- Sharpening (penajaman citra), yang menggunakan High Pass Filter untuk memperjelas tepi objek.
- Resampling, yang mengubah ukuran piksel menggunakan metode Nearest Neighbor, Bilinear Interpolation, atau Cubic Convolution.

3. Transformasi Citra

Transformasi citra adalah proses mengubah nilai piksel untuk mendapatkan informasi tambahan yang lebih spesifik dari citra. Transformasi ini dilakukan dengan berbagai teknik, seperti:

Transformasi Spektral

Transformasi spektral bertujuan untuk mengekstrak informasi berdasarkan reflektansi objek dalam berbagai panjang gelombang. Salah satu metode yang sering digunakan adalah Indeks Vegetasi seperti:

- NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

NDVI merupakan indeks yang digunakan untuk mengukur tingkat kehijauan vegetasi dengan membandingkan reflektansi cahaya pada spektrum **inframerah dekat (NIR)** dan **merah (Red)**. Vegetasi yang sehat cenderung menyerap sebagian besar cahaya merah dan memantulkan cahaya inframerah dekat, sehingga memiliki nilai NDVI yang tinggi.

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

Yang digunakan untuk mendeteksi kesehatan vegetasi

Interpretasi Nilai NDVI

NDVI memiliki rentang nilai antara **-1 hingga +1**, di mana:

NDVI < 0: Tidak ada vegetasi (perairan, bangunan, tanah kosong).

0 < NDVI < 0.2: Lahan terbuka dengan sedikit vegetasi atau tanah kering.

0.2 < NDVI < 0.5: Vegetasi sedang, seperti lahan pertanian dan padang rumput.

NDVI > 0.5: Vegetasi sangat sehat dan rapat, seperti hutan lebat.

- SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index): SAVI merupakan pengembangan dari NDVI yang bertujuan untuk mengurangi pengaruh pantulan cahaya dari tanah dalam perhitungan indeks vegetasi. NDVI dapat dipengaruhi oleh kondisi tanah yang cerah atau berpasir, sehingga SAVI dikembangkan untuk memberikan koreksi terhadap efek latar belakang tanah. Digunakan untuk mengatasi efek pantulan tanah dalam analisis vegetasi.

$$SAVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red) \times L} \times 1 + L$$

Interpretasi Nilai SAVI

SAVI memiliki rentang nilai yang mirip dengan NDVI, tetapi lebih sensitif terhadap kondisi tanah.

Nilai SAVI tinggi (> 0.5): Menunjukkan vegetasi yang sehat dan rapat.

Nilai SAVI sedang (0.2 - 0.5): Vegetasi dengan kepadatan menengah.

Nilai SAVI rendah (< 0.2): Area dengan sedikit atau tanpa vegetasi.

Transformasi Geometris

Transformasi ini dilakukan untuk mengubah bentuk atau posisi objek dalam citra, misalnya dengan teknik rotasi, scaling, atau warping agar citra dapat disesuaikan dengan sistem koordinat yang diinginkan.

Transformasi Ruang

Transformasi ruang bertujuan untuk meningkatkan fitur tertentu dalam citra, misalnya dengan teknik principal component analysis (PCA) yang menggabungkan informasi dari berbagai saluran spektral untuk mengurangi jumlah data tanpa kehilangan informasi penting.

4. Klasifikasi Citra

Klasifikasi citra merupakan proses pengelompokan piksel berdasarkan karakteristik spektralnya untuk memetakan berbagai objek atau tutupan lahan dalam suatu wilayah. Terdapat dua metode utama dalam klasifikasi citra, yaitu:

Klasifikasi Terbimbing (Supervised Classification)

Klasifikasi ini dilakukan dengan bantuan data referensi dari lapangan atau citra sebelumnya. Beberapa algoritma yang sering digunakan adalah:

- **Maximum Likelihood Classification (MLC):** Menggunakan pendekatan probabilistik untuk mengelompokkan piksel berdasarkan distribusi spektralnya.
- **Support Vector Machine (SVM):** Menggunakan algoritma berbasis vektor untuk memisahkan kelas dengan margin optimal.
- **Random Forest:** Algoritma berbasis pohon keputusan yang memberikan hasil akurat dengan menangani variasi spektral secara efektif.

Klasifikasi Tak Terbimbing (Unsupervised Classification)

Metode ini mengelompokkan piksel secara otomatis berdasarkan pola spektral yang serupa tanpa memerlukan data referensi. Algoritma yang sering digunakan meliputi:

- K-Means Clustering, yang mengelompokkan piksel berdasarkan kesamaan nilai spektralnya.
- ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique), yang dapat menyesuaikan jumlah kelas berdasarkan variasi dalam data.

5. Ekstraksi Informasi dan Analisis Data

Setelah dilakukan klasifikasi, tahap berikutnya adalah analisis hasil untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan. Beberapa metode analisis data dalam penginderaan jauh meliputi:

- Ekstraksi tekstur, yang menganalisis pola dan variasi tekstur dalam citra untuk membedakan jenis tutupan lahan.
- Integrasi dengan Sistem Informasi Geografis (SIG), yang menggabungkan

data citra dengan data spasial lainnya untuk analisis yang lebih komprehensif.

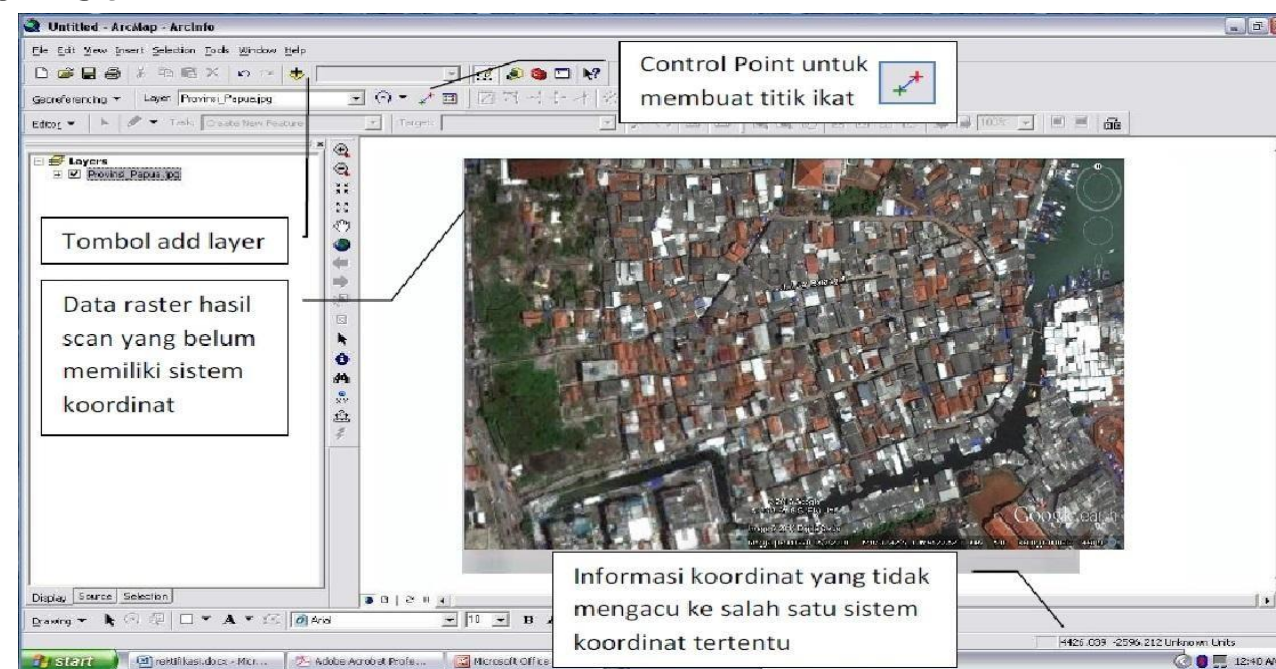
- Penggunaan Data SAR (Synthetic Aperture Radar), yang dapat memberikan informasi tambahan tentang struktur permukaan bumi dalam kondisi berawan atau malam hari.

Pengolahan awal citra penginderaan jauh merupakan tahap yang sangat penting dalam memastikan bahwa data yang diperoleh akurat dan dapat digunakan dalam berbagai aplikasi. Dimulai dengan pra-pengolahan data, yang mencakup koreksi geometrik, georeferensi, dan radiometri, kemudian dilanjutkan dengan peningkatan kualitas citra untuk mengurangi noise dan meningkatkan ketajaman gambar. Transformasi citra memungkinkan ekstraksi informasi tambahan melalui teknik spektral, geometris, dan ruang. Sementara itu, klasifikasi citra membantu dalam pengelompokan objek berdasarkan karakteristik spektralnya, baik dengan metode terbimbing maupun tak terbimbing. Dengan menerapkan langkah-langkah pengolahan citra yang tepat, analisis data menjadi lebih akurat dan dapat digunakan untuk berbagai keperluan, seperti pemantauan lingkungan, pemetaan sumber daya alam, dan perencanaan wilayah.

B. Koreksi geometrik dan radiometrik

Dalam pengolahan citra penginderaan jauh, terdapat beberapa tahapan yang harus dilakukan untuk memastikan bahwa data yang diperoleh akurat dan dapat diinterpretasikan dengan benar. Salah satu tahap penting adalah koreksi citra, yang terbagi menjadi dua jenis utama, yaitu **koreksi radiometrik** dan **koreksi geometrik**. Kedua koreksi ini bertujuan untuk memperbaiki kualitas citra sebelum digunakan dalam analisis lebih lanjut.

1. Koreksi Geometrik



Gambar 44. Contoh Koreksi Geometrik

Koreksi geometrik adalah proses perbaikan citra agar memiliki koordinat spasial yang sesuai dengan lokasi sebenarnya di permukaan bumi. Proses ini diperlukan karena citra yang diperoleh dari sensor sering kali mengalami distorsi akibat pergerakan wahana, medan yang tidak rata, atau sudut pengambilan gambar.

Penyebab Distorsi Geometrik

Beberapa faktor yang menyebabkan distorsi geometrik dalam citra satelit antara lain:

- **Variasi topografi bumi**, di mana perbedaan ketinggian menyebabkan perubahan perspektif dalam citra.
- **Gerakan wahana penginderaan**, baik akibat rotasi bumi maupun pergerakan satelit yang tidak selalu stabil.
- **Distorsi sensor**, yang terjadi karena sistem pemindaian satelit dapat mengalami kesalahan dalam menangkap koordinat objek.

Metode Koreksi Geometrik

Koreksi geometrik dilakukan dengan menggunakan titik kontrol tanah (*Ground Control Points* - GCP) yang memiliki koordinat yang diketahui. Beberapa

metode yang umum digunakan meliputi:

- **Rektifikasi (Image-to-Map Rectification)** Proses ini menyelaraskan citra dengan peta referensi yang telah memiliki sistem koordinat standar.
- **Registrasi Citra (Image-to-Image Registration)** Proses ini menyelaraskan satu citra dengan citra lainnya yang sudah terkoreksi sebelumnya, menggunakan metode interpolasi untuk menyesuaikan posisi piksel.

Transformasi Koordinat

Proses ini menggunakan model matematis untuk mengubah sistem koordinat citra menjadi koordinat geografis yang benar, seperti menggunakan transformasi *polynomial* (orde satu, dua, atau tiga).

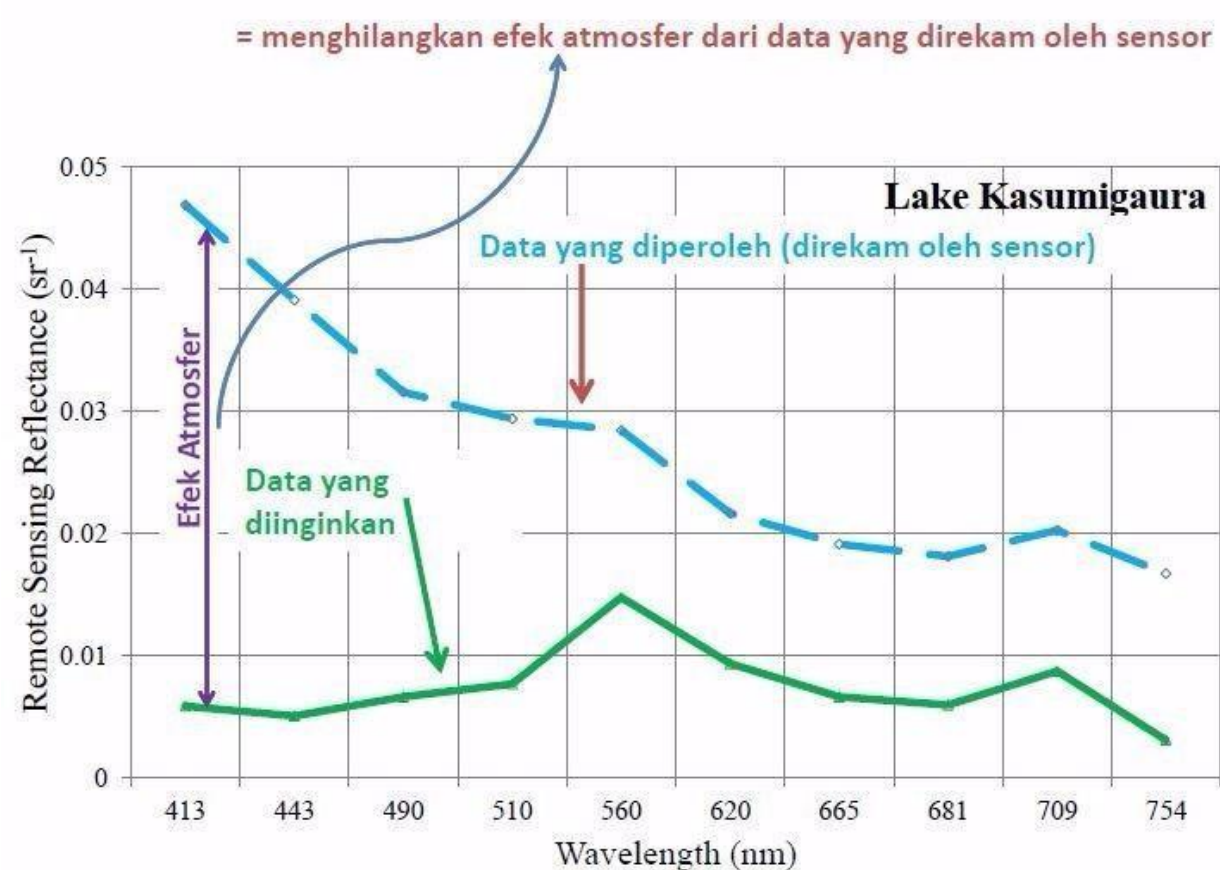
Interpolasi Resampling

Setelah koreksi koordinat dilakukan, nilai piksel baru dihitung menggunakan metode seperti:

- **Nearest Neighbor** (mengambil nilai piksel terdekat),
- **Bilinear Interpolation** (menggunakan rata-rata empat piksel terdekat),
- **Cubic Convolution** (memanfaatkan 16 piksel terdekat untuk menghasilkan transisi yang lebih halus).

2. Koreksi Radiometrik

Koreksi radiometrik adalah proses perbaikan nilai piksel pada citra yang disebabkan oleh gangguan atmosfer, variasi sensor, atau efek lain yang mempengaruhi pencatatan energi dari objek di permukaan bumi. Koreksi ini penting agar nilai reflektansi atau emisi yang diukur oleh sensor sesuai dengan kondisi sebenarnya.



Gambar 45. Koreksi Radiometrik

Gambar diatas menjelaskan bahwa garis putus-putus biru adalah data yang diperoleh oleh satelit (Top of Atmosphere), sedangkan garis hijau adalah data yang diinginkan (Bottom of Atmosphere). Untuk merubah data ToA menjadi data BoA maka diperlukan koreksi atmosfer sehingga efek atmosfer dapat dihilangkan.

Faktor Penyebab Distorsi Radiometrik

Beberapa faktor utama yang menyebabkan gangguan radiometrik pada citra satelit meliputi:

- **Hamburan atmosfer**, seperti partikel debu, uap air, dan gas atmosfer yang mengganggu pencatatan sensor.
- **Variasi sensor**, termasuk kalibrasi yang tidak sempurna atau kepekaan sensor yang berubah seiring waktu.
- **Pengaruh bayangan**, yang menyebabkan nilai reflektansi tidak merata pada berbagai bagian citra.

Metode Koreksi Radiometrik

Koreksi radiometrik dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu:

Koreksi Atmosferik

Koreksi ini bertujuan untuk mengurangi pengaruh atmosfer dalam pencatatan citra. Salah satu metode yang umum digunakan adalah *Dark Object Subtraction (DOS)*, yang mengasumsikan bahwa piksel dengan nilai pantulan terendah (misalnya area air) seharusnya memiliki reflektansi nol.

Koreksi Kalibrasi Sensor

Sensor satelit memiliki karakteristik unik, dan perlu dilakukan kalibrasi

berdasarkan data sensor yang telah dikonversi ke unit fisik seperti *radiance* atau *reflectance*.

Normalisasi Histogram

Teknik ini digunakan untuk memperbaiki kontras dan distribusi nilai piksel agar lebih seragam, sehingga memudahkan interpretasi citra.

Interpolasi Data Hilang

Jika terdapat gangguan seperti *scan line corrector failure*, interpolasi dapat digunakan untuk memperbaiki data yang hilang atau tidak terbaca oleh sensor.

Jika dibandingkan dalam bentuk tabel

Tabel 6. Perbandingan Koreksi Geometrik dan Radiometrik

Aspek	Koreksi Geometrik	Koreksi radiometrik
Tujuan	Menyesuaikan koordinat spasial citra dengan peta atau citra lainnya	Memperbaiki nilai piksel agar sesuai dengan reflektansi atau emisi sebenarnya
Penyebab Distorsi	Pergerakan satelit, medan topografi, distorsi sensor	Gangguan atmosfer, variasi sensor, bayangan
Metode Koreksi	Rektifikasi, registrasi citra, transformasi koordinat, interpolasi, resampling	Koreksi atmosferik, kalibrasi sensor, normalisasi histogram, interpolasi data
Hasil Akhir	Citra dengan posisi spasial yang sesuai dengan lokasi sebenarnya	Citra dengan nilai pantulan atau emisi yang lebih akurat

C. Uji ketelitian citra satelit

Interpretasi citra dalam penginderaan jauh merupakan proses mengidentifikasi dan mengklasifikasikan objek atau fenomena yang terekam dalam citra satelit atau udara. Agar hasil interpretasi memiliki akurasi tinggi, diperlukan uji ketelitian interpretasi citra. Uji ketelitian ini bertujuan untuk memastikan bahwa hasil

klasifikasi atau interpretasi sesuai dengan kondisi sebenarnya di lapangan, sehingga dapat digunakan secara valid dalam berbagai analisis dan pengambilan keputusan.

Ketelitian dalam interpretasi citra sangat penting karena berbagai faktor dapat mempengaruhi keakuratan hasil interpretasi, seperti resolusi citra, kondisi atmosfer, jenis sensor, serta metode klasifikasi yang digunakan. Jika tidak dilakukan uji ketelitian, hasil analisis citra dapat mengandung kesalahan yang berdampak pada ketidakakuratan dalam pemetaan, pemantauan lingkungan, dan perencanaan tata ruang.

Uji ketelitian diperlukan dalam berbagai aplikasi, seperti:

- Pemetaan penggunaan lahan (misalnya, membedakan antara hutan, perkotaan, dan lahan pertanian).
- Pemantauan perubahan lingkungan, seperti deforestasi, urbanisasi, dan perubahan garis pantai.
- Pengelolaan sumber daya alam, termasuk analisis tutupan vegetasi dan degradasi lahan.
- Mitigasi bencana, seperti pemetaan wilayah terdampak banjir atau kebakaran hutan

Jenis Ketelitian dalam Interpretasi Citra

Dalam pengujian ketelitian interpretasi citra, terdapat dua jenis utama ketelitian yang dianalisis, yaitu ketelitian posisi (spasial) dan ketelitian klasifikasi (tematik).

1. Ketelitian Posisi (Spasial)

Ketelitian posisi mengacu pada kesesuaian lokasi objek yang diinterpretasikan dalam citra dengan lokasi sebenarnya di lapangan. Kesalahan posisi dapat terjadi akibat distorsi geometrik, kesalahan referensi koordinat, atau kualitas resolusi citra. Koreksi geometrik diperlukan untuk meminimalkan kesalahan posisi ini.

2. Ketelitian Klasifikasi (Tematik)

Ketelitian klasifikasi mengacu pada seberapa akurat kelas tutupan lahan atau objek yang diinterpretasikan dalam citra sesuai dengan kondisi di lapangan. Uji ketelitian tematik biasanya dilakukan dengan membandingkan hasil interpretasi dengan data referensi yang diperoleh dari survei lapangan atau citra resolusi

tinggi.

Metode Uji Ketelitian Interpretasi Citra

Untuk menilai ketepatan interpretasi citra, digunakan beberapa metode uji ketelitian, antara lain:

1. Confusion Matrix (Matriks Kesalahan)

Confusion matrix atau matriks kesalahan adalah metode yang paling umum digunakan dalam uji ketelitian interpretasi citra. Matriks ini membandingkan hasil klasifikasi citra dengan data referensi dari lapangan atau citra lain yang telah dikoreksi.

Matriks kesalahan menyajikan empat parameter utama:

- **True Positive (TP):** Kelas yang benar diinterpretasikan sesuai dengan data referensi.
- **True Negative (TN):** Kelas yang tidak termasuk dalam interpretasi dan sesuai dengan data referensi.
- **False Positive (FP):** Kesalahan klasifikasi di mana objek diinterpretasikan ke dalam suatu kelas padahal sebenarnya bukan.
- **False Negative (FN):** Kesalahan klasifikasi di mana objek sebenarnya termasuk dalam suatu kelas tetapi tidak diklasifikasikan dengan benar.

Berdasarkan confusion matrix, beberapa ukuran ketelitian dapat dihitung:

- **Overall Accuracy (Ketelitian Keseluruhan)**

$$OA = \frac{\sum TF}{\sum Total Sampel} \times 100\%$$

Mengukur persentase keseluruhan klasifikasi yang benar dibandingkan dengan total sampel.

- **Producer's Accuracy (Ketelitian Produsen)**

$$PA = \frac{TP}{TP + FN} \times 100\%$$

Mengukur seberapa baik suatu kelas dapat direpresentasikan dalam klasifikasi.

- **User's Accuracy (Ketelitian Pengguna)**

$$UA = \frac{TP}{TP + FP} \times 100\%$$

Menunjukkan seberapa akurat kelas yang telah diklasifikasikan dalam citra.

- **Kappa Coefficient (Koefisien Kappa)**

Koefisien kappa digunakan untuk mengukur sejauh mana hasil klasifikasi lebih baik dibandingkan dengan klasifikasi yang dilakukan secara acak. Nilai kappa berkisar antara **-1 hingga 1**, di mana:

Nilai mendekati 1 menunjukkan hasil klasifikasi sangat akurat.

Nilai 0 menunjukkan klasifikasi sama saja dengan tebakan acak.

Nilai negatif menunjukkan hasil klasifikasi lebih buruk dibandingkan tebakan acak.

2. Survei Lapangan (Ground Truthing)

Survei lapangan dilakukan dengan mengambil sampel lokasi yang telah diklasifikasikan dalam citra dan memverifikasi kondisi sebenarnya di lapangan. Data ini kemudian dibandingkan dengan hasil interpretasi untuk menilai tingkat ketelitian.

Metode ground truthing yang sering digunakan meliputi:

- Pengambilan sampel secara acak di berbagai lokasi.
- Penggunaan citra resolusi tinggi sebagai referensi.
- Pengecekan langsung menggunakan GPS untuk mengonfirmasi koordinat dan jenis tutupan lahan.

3. Analisis Statistik

Analisis statistik digunakan untuk mengukur seberapa signifikan perbedaan antara hasil interpretasi dan data referensi. Uji statistik seperti Chi-Square Test dapat digunakan untuk menilai apakah perbedaan dalam klasifikasi terjadi secara signifikan atau tidak.

Faktor yang Mempengaruhi Ketelitian Interpretasi Citra

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi akurasi hasil interpretasi citra meliputi:

Resolusi Citra

- Resolusi spasial tinggi memungkinkan identifikasi objek yang lebih detail.
- Resolusi rendah dapat menyebabkan kesalahan dalam membedakan objek.

Metode Klasifikasi

- Metode klasifikasi terbimbing (supervised) cenderung lebih akurat dibandingkan klasifikasi tak terbimbing (unsupervised).

Pengaruh Atmosfer

- Hamburan dan penyerapan atmosfer dapat menyebabkan kesalahan dalam nilai reflektansi objek.

Topografi dan Sudut Sensor

- Daerah dengan medan yang kompleks atau perbedaan sudut pencahayaan dapat menyebabkan kesalahan interpretasi.

Uji ketelitian interpretasi citra adalah tahap yang sangat penting dalam penginderaan jauh untuk memastikan bahwa hasil klasifikasi atau interpretasi benar-benar mencerminkan kondisi di lapangan. Metode yang paling umum digunakan adalah confusion matrix, ground truthing, dan analisis statistik. Dengan melakukan uji ketelitian yang baik, tingkat akurasi hasil klasifikasi dapat ditingkatkan sehingga dapat digunakan secara valid dalam berbagai aplikasi seperti pemetaan, pemantauan lingkungan, dan perencanaan tata ruang.

D. Soal dan Latihan

1. Jelaskan perbedaan utama antara koreksi geometrik dan koreksi radiometrik dalam pengolahan citra penginderaan jauh! Sertakan masing-masing contoh kasus yang memerlukan koreksi tersebut.
2. Dalam pengujian ketelitian interpretasi citra, digunakan confusion matrix. Sebutkan dan jelaskan empat parameter utama dalam confusion matrix serta bagaimana parameter tersebut digunakan dalam menilai akurasi klasifikasi!
3. Sebuah citra satelit memiliki nilai reflektansi inframerah dekat (NIR) = 0.65 dan nilai reflektansi merah (Red) = 0.35. Hitung nilai NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) dan jelaskan apakah wilayah tersebut memiliki vegetasi yang sehat atau tidak!
4. NDVI dan SAVI adalah dua indeks vegetasi yang digunakan dalam penginderaan jauh. Jelaskan perbedaan utama antara keduanya dan dalam kondisi seperti apa penggunaan SAVI lebih direkomendasikan dibandingkan NDVI!

BAB VII

PENGOLAAN CITRA DIGITAL DALAM PENGINDRAAN JAUH

Pengolahan citra digital dalam penginderaan jauh adalah serangkaian proses yang dilakukan untuk meningkatkan kualitas citra, mengekstrak informasi, serta mengklasifikasikan objek dalam citra satelit atau udara. Citra digital yang diperoleh dari sensor satelit sering kali mengalami gangguan atau distorsi, sehingga memerlukan pengolahan agar data yang dihasilkan lebih akurat dan mudah dianalisis.

Proses pengolahan citra ini dapat dibagi menjadi beberapa tahapan utama:

- Teknik peningkatan kualitas citra, yang bertujuan untuk memperbaiki tampilan citra agar lebih mudah dianalisis.
- Pengolahan spektral dan spasial, yang berfokus pada pemrosesan informasi berdasarkan karakteristik spektral dan spasial citra.
- Teknik segmentasi citra, yang digunakan untuk membagi citra menjadi bagian-bagian yang lebih kecil berdasarkan karakteristik tertentu.

A. Teknik peningkatan kualitas citra

Teknik peningkatan kualitas citra dalam penginderaan jauh merupakan proses yang bertujuan untuk memperbaiki tampilan visual dan meningkatkan informasi yang dapat diperoleh dari citra satelit atau udara. Citra hasil penginderaan jauh sering kali mengalami gangguan akibat faktor lingkungan, atmosfer, dan sensor, sehingga diperlukan pengolahan agar data yang diperoleh lebih jelas dan mudah dianalisis.

Peningkatan kualitas citra dapat dilakukan dengan berbagai metode, antara lain peningkatan kontras, penajaman citra (sharpening), pengurangan noise, dan filtering. Setiap metode memiliki fungsi spesifik untuk mengoptimalkan tampilan dan informasi dari citra.

1. Peningkatan Kontras

Kontras dalam citra menentukan perbedaan antara area terang dan gelap. Semakin tinggi kontras, semakin jelas perbedaan antara objek yang berbeda dalam citra. Peningkatan kontras sangat penting dalam penginderaan jauh

karena membantu mengidentifikasi objek yang sulit dibedakan dalam kondisi normal.

Metode Peningkatan Kontras

Histogram Equalization (Penyamaan Histogram)

- Teknik ini menyebarkan nilai intensitas piksel secara lebih merata dalam rentang dinamis yang tersedia.
- Berguna untuk citra dengan kontras rendah, seperti citra yang diambil dalam kondisi pencahayaan buruk atau tertutup kabut.
- Contoh penerapan: meningkatkan kontras citra satelit dalam analisis tutupan lahan dan deteksi batas wilayah.

Contrast Stretching (Peregangan Kontras)

- Teknik ini memperlebar rentang nilai piksel agar perbedaan antara area terang dan gelap menjadi lebih jelas.
- Biasanya digunakan pada citra yang memiliki rentang nilai intensitas yang sempit sehingga tampak kusam atau buram.
- Contoh penerapan: meningkatkan visibilitas detail medan dalam pemetaan topografi.

2. Penajaman Citra (Sharpening)

Penajaman citra bertujuan untuk meningkatkan ketajaman detail objek, terutama pada tepi objek, sehingga lebih mudah dikenali dan dipisahkan dari latar belakang. Teknik ini digunakan dalam berbagai analisis seperti pemetaan jalan, deteksi garis pantai, dan identifikasi struktur bangunan.

Metode Penajaman Citra

High-Pass Filtering (Penyaringan Frekuensi Tinggi)

- Menonjolkan detail kecil dan meningkatkan kontras pada batas atau tepi objek.
- Digunakan untuk memperjelas garis-garis batas antara objek yang berbeda dalam citra, seperti batas antara vegetasi dan permukiman.
- Contoh penerapan: digunakan dalam pemetaan perkotaan untuk membedakan jalan dari area sekitarnya.

Laplacian Filter

- Menggunakan perbedaan intensitas piksel untuk mempertegas batas

objek.

- Teknik ini berguna dalam deteksi tepi, terutama pada objek dengan perubahan gradien yang tajam.
- Contoh penerapan: digunakan dalam analisis geologi untuk mengidentifikasi struktur batuan dari citra satelit.

3. Pengurangan Noise

Noise dalam citra adalah gangguan yang muncul akibat sensor, atmosfer, atau kondisi pencahayaan yang tidak stabil. Noise dapat mengaburkan detail dan mengurangi akurasi interpretasi citra. Oleh karena itu, teknik reduksi noise diperlukan untuk menghasilkan citra yang lebih bersih dan mudah diinterpretasikan.

Metode Pengurangan Noise

Low-Pass Filtering (Penyaringan Frekuensi Rendah)

- Mengurangi variasi nilai piksel secara drastis untuk menghaluskan citra.
- Teknik ini digunakan untuk mengurangi noise dengan cara menghapus perubahan nilai piksel yang sangat tajam.
- Contoh penerapan: digunakan dalam pemetaan suhu permukaan laut untuk menghasilkan data yang lebih seragam.

Median Filtering (Penyaringan Median)

- Mengganti nilai piksel dengan nilai median dari piksel sekitarnya untuk menghilangkan noise tanpa mengurangi detail objek.
- Lebih efektif dibandingkan low-pass filtering dalam menghilangkan noise tipe "salt and pepper" (bintik hitam dan putih acak pada citra).
- Contoh penerapan: digunakan dalam citra radar untuk menghilangkan noise akibat gangguan atmosfer.

4. Filtering Citra

Filtering dalam pengolahan citra digital bertujuan untuk memodifikasi nilai piksel berdasarkan pola tertentu sehingga menghasilkan citra dengan kualitas yang lebih baik. Filtering dapat dilakukan dalam domain spasial atau domain frekuensi.

Metode Filtering

Spatial Filtering (Penyaringan Spasial)

- Menggunakan kernel atau mask (sebuah matriks kecil) untuk melakukan operasi perhitungan pada nilai piksel citra.
- Dapat digunakan untuk meningkatkan kontras, menajamkan tepi, atau menghaluskan citra.
- Contoh penerapan: digunakan dalam pemetaan lahan pertanian untuk memperjelas batas ladang dan sawah.

Frequency Filtering (Penyaringan Frekuensi)

- Menggunakan transformasi Fourier untuk mengubah citra ke dalam domain frekuensi, lalu memodifikasi komponen frekuensinya sebelum mengembalikan citra ke domain spasial.
- Digunakan dalam pemrosesan citra satelit untuk mengurangi noise dan menonjolkan pola spektral tertentu.
- Contoh penerapan: digunakan dalam pemantauan perubahan lingkungan, seperti deteksi pencemaran air berdasarkan perbedaan spektral.

B. Pengolahan spektral dan spasial

Pengolahan citra dalam penginderaan jauh bertujuan untuk meningkatkan kualitas data, mengekstrak informasi, dan melakukan analisis terhadap objek yang diamati. Secara umum, pengolahan citra dapat dilakukan berdasarkan dua aspek utama, yaitu pengolahan spektral dan pengolahan spasial.

- Pengolahan spektral berfokus pada karakteristik spektral objek dalam berbagai panjang gelombang elektromagnetik. Analisis spektral sangat penting untuk mendeteksi perbedaan material di permukaan bumi berdasarkan reflektansi objek.
- Pengolahan spasial berfokus pada hubungan antar piksel dalam citra, termasuk analisis pola, struktur, dan bentuk objek yang diamati.

Dengan menggunakan teknik pengolahan spektral dan spasial, citra satelit dapat digunakan untuk berbagai aplikasi, seperti pemetaan lahan, pemantauan vegetasi, deteksi perubahan lingkungan, serta analisis geospasial lainnya.

Transformasi spektral adalah teknik yang digunakan untuk menggabungkan atau memisahkan informasi dari berbagai kanal spektral agar lebih mudah dianalisis. Beberapa contoh transformasi spektral yang umum digunakan adalah:

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

NDVI adalah indeks yang digunakan untuk mengukur kesehatan vegetasi berdasarkan pantulan cahaya merah (Red) dan inframerah dekat (NIR).

Rumus NDVI:

$$NDVI = (NIR - Red)/(NIR + Red)$$

-
- Nilai NDVI berkisar antara -1 hingga 1.
- Nilai mendekati 1 menunjukkan vegetasi yang sehat karena memiliki reflektansi tinggi di NIR dan rendah di Red.
- Nilai negatif menunjukkan keberadaan air atau daerah tanpa vegetasi

Aplikasi NDVI:

- Pemantauan kesehatan tanaman dalam pertanian.
- Deteksi perubahan hutan akibat deforestasi.
- Pemantauan kondisi lahan basah dan ekosistem lainnya.

SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)

SAVI adalah indeks vegetasi yang diperbaiki untuk mengurangi pengaruh latar belakang tanah, yang biasanya menjadi masalah pada daerah dengan vegetasi yang jarang.

Rumus SAVI:

$$SAVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red + L)} \times (1 + L)$$

- **L** adalah faktor koreksi yang disesuaikan dengan kondisi vegetasi. Biasanya, $L = 0.5$ digunakan untuk area semi-arid.
- SAVI lebih efektif daripada NDVI di daerah yang memiliki sedikit vegetasi atau banyak tanah terbuka.

Aplikasi SAVI:

- Analisis pertumbuhan vegetasi di daerah semi-arid.
- Pemantauan degradasi tanah dan perubahan penggunaan lahan.

Klasifikasi Spektral

Klasifikasi spektral adalah proses mengelompokkan piksel berdasarkan pola reflektansi yang dimilikinya. Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi jenis tutupan lahan, seperti hutan, air, perkotaan, dan lahan pertanian.

Klasifikasi Terbimbing (Supervised Classification)

- Dalam metode ini, pengguna menentukan kelas-kelas yang diinginkan berdasarkan sampel yang telah diketahui.
- Data dari citra kemudian dibandingkan dengan sampel untuk mengelompokkan piksel ke dalam kelas yang sesuai.
- Contoh algoritma: Maximum Likelihood Classification (MLC), Support Vector Machine (SVM), dan Random Forest.

Klasifikasi Tak Terbimbing (Unsupervised Classification)

- Sistem secara otomatis mengelompokkan piksel berdasarkan kesamaan nilai spektralnya tanpa masukan dari pengguna.
- Teknik ini sering digunakan dalam eksplorasi awal untuk mengetahui pola umum dalam citra.
- Contoh algoritma: K-Means Clustering dan ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique).

Aplikasi Klasifikasi Spektral:

- Pemetaan penggunaan lahan.
- Pemantauan degradasi hutan dan perubahan lingkungan.
- Identifikasi daerah yang terkena dampak bencana seperti banjir dan kebakaran hutan.

Pengolahan Spasial

Pengolahan spasial berfokus pada analisis hubungan antar piksel dalam suatu citra untuk mengekstrak pola dan struktur objek. Metode ini digunakan untuk meningkatkan kualitas tampilan citra dan mengidentifikasi karakteristik fisik objek yang ada.

Transformasi Morfologi

Transformasi morfologi adalah operasi matematika yang digunakan untuk **menganalisis bentuk dan struktur objek** dalam citra. Teknik ini sering digunakan dalam deteksi tepi dan pemisahan objek dari latar belakang.

1. Dilasi (Dilation)

- Menambah ukuran atau memperbesar area objek dalam citra.
- Berguna untuk mengisi celah kecil di dalam objek.
- Contoh aplikasi: Menyambungkan garis jalan dalam pemetaan transportasi.

2. Erosi (Erosion)

- Mengurangi ukuran objek dengan menghilangkan piksel tepi.
- Digunakan untuk memisahkan objek yang berdekatan atau menghilangkan noise.
- Contoh aplikasi: Deteksi batas bangunan dalam citra perkotaan.

3. Opening dan Closing

- Opening: Menggunakan erosi lalu dilasi untuk menghilangkan noise kecil tanpa mengubah bentuk utama objek.
- Closing: Menggunakan dilasi lalu erosi untuk mengisi celah dalam objek.

Aplikasi Transformasi Morfologi:

- Deteksi batas garis pantai dalam pemetaan pesisir.
- Pemisahan jaringan jalan dari latar belakang.
- Analisis struktur geologi dalam eksplorasi sumber daya alam.

Analisis Tekstur dan Pola

Tekstur adalah distribusi intensitas piksel yang menunjukkan pola tertentu dalam citra. Analisis tekstur digunakan untuk mengenali perbedaan antar objek yang memiliki warna serupa tetapi struktur berbeda.

Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM)

- GLCM adalah metode statistik yang digunakan untuk menganalisis hubungan antar piksel berdasarkan nilai intensitasnya.
- Menghasilkan fitur tekstur seperti kontras, homogenitas, entropi, dan korelasi.

Aplikasi GLCM:

- Identifikasi jenis vegetasi berdasarkan tekstur daun.
- Analisis jenis batuan dalam citra geologi.
- Pemantauan urbanisasi berdasarkan pola bangunan.

C. Teknik segmentasi citra

Segmentasi citra merupakan salah satu teknik utama dalam pengolahan citra digital yang bertujuan untuk membagi citra menjadi beberapa area atau bagian yang memiliki karakteristik serupa. Proses ini penting untuk mengekstrak objek atau fitur spesifik berdasarkan warna, tekstur, atau batas tepi.

Dalam penginderaan jauh, segmentasi citra digunakan untuk berbagai keperluan, seperti pemetaan lahan, deteksi perubahan lingkungan, analisis vegetasi, serta pemantauan infrastruktur dan permukiman. Dengan menerapkan segmentasi, informasi yang diperoleh dari citra dapat lebih terorganisir dan lebih mudah diinterpretasikan.

Segmentasi citra dapat dilakukan dengan berbagai metode, yang dapat dikelompokkan berdasarkan pendekatan matematis dan algoritmik yang digunakan dalam pemisahan objek dari latar belakangnya.

Metode Segmentasi

Terdapat beberapa metode utama dalam segmentasi citra, yaitu segmentasi berbasis ambang (thresholding), segmentasi berbasis tepi (edge detection), segmentasi berbasis region growing, dan segmentasi berbasis clustering.

Segmentasi Berbasis Ambang (Thresholding)

Segmentasi berbasis ambang (thresholding) adalah metode paling sederhana dalam segmentasi citra. Teknik ini membagi citra menjadi dua atau lebih bagian berdasarkan nilai ambang tertentu.

Prinsip kerja thresholding adalah menentukan nilai ambang (threshold) yang membedakan antara objek dan latar belakang. Jika nilai intensitas piksel lebih

BAB VIII

TEKNIK INTERPRETASI CITRA



Gambar 46. Visualisasi Interpretasi Citra di Kabupaten Tuban

Teknik interpretasi citra adalah metode yang digunakan untuk mengenali, menganalisis, dan menafsirkan objek atau fenomena yang terdapat dalam citra, baik dari citra satelit, foto udara, maupun citra hasil pemindaian lainnya. Teknik ini bertujuan untuk memperoleh informasi yang berguna dalam berbagai bidang seperti pemetaan, lingkungan, geologi, dan perencanaan tata ruang.

Interpretasi citra dapat dilakukan dengan cara manual, yaitu melalui pengamatan visual oleh seorang analis, maupun dengan cara digital menggunakan perangkat lunak pemrosesan citra. Keakuratan hasil interpretasi bergantung pada pemahaman terhadap unsur-unsur interpretasi citra.

A. Unsur-unsur interpretasi citra

Interpretasi citra adalah proses mengidentifikasi dan menganalisis objek atau fenomena yang terekam dalam citra. Agar hasil interpretasi akurat, diperlukan pemahaman terhadap unsur-unsur interpretasi citra, yaitu:

Rona dan Warna



Gambar 47. Ilustrasi Unsur Rona dan Warna

(Sumber : <https://geohepi.wordpress.com/>)

- Rona adalah tingkat kecerahan suatu objek dalam citra hitam-putih. Objek yang memiliki reflektansi tinggi akan tampak lebih terang, sedangkan objek dengan reflektansi rendah akan tampak lebih gelap.
- Warna menunjukkan variasi spektral dalam citra berwarna, di mana warna yang berbeda mencerminkan perbedaan jenis material atau objek di permukaan bumi. Misalnya, vegetasi sehat tampak hijau, air tampak biru atau hitam, dan daerah terbangun tampak abu-abu atau coklat.

Ukuran



Gambar 48. Ilustrasi Unsur Ukuran

Ukuran ini berkaitan dengan skala citra, bisa berupa luas, panjang, tinggi atau volume. Ukuran juga merupakan faktor pengenalan objek yang dapat digunakan untuk membedakan obyek yang sejenis yang ada pada citra. Misalnya ukuran lapangan sepak bola memiliki ukuran yang lebih luas dibandingkan dengan lapangan tenis. Ukuran mengacu pada panjang, lebar, tinggi, atau luas suatu objek yang tampak dalam citra. Misalnya, jalan raya cenderung lebih panjang dan sempit dibandingkan dengan lapangan parkir yang berbentuk lebih lebar.

Bentuk



Gambar 49. Ilustrasi Unsur Bentuk

Bentuk merupakan ciri objek yang dapat dengan jelas terlihat sehingga mudah untuk mengenali objek berdasarkan bentuk objek, misalnya adalah lapangan sepak bola yang terlihat berbentuk elips atau rumah yang rata-rata memiliki bentuk persegi panjang. Berkaitan dengan bentuk, terdapat dua istilah bentuk yaitu bentuk umum atau luar (shape) dan bentuk rinci (form). Bentuk mengacu pada karakteristik geometri dari suatu objek. Misalnya, bangunan cenderung berbentuk persegi atau persegi panjang, sedangkan danau bisa berbentuk melingkar atau tidak beraturan.

Tekstur



Gambar 50. Ilustrasi Unsur Tekstur

Tekstur adalah pola keteraturan atau kekasaran suatu objek dalam citra. Objek dengan tekstur kasar memiliki variasi rona yang tinggi, seperti hutan lebat, sementara objek dengan tekstur halus memiliki rona yang lebih seragam, seperti perairan atau ladang pertanian.

Pola



Gambar 51. Ilustrasi Unsur Pola

Pola adalah susunan spasial atau distribusi suatu objek di dalam citra. Contohnya, area pemukiman di perkotaan sering memiliki pola grid yang teratur, sementara sungai biasanya memiliki pola yang berkelok-kelok.

Bayangan



Gambar 52. Ilustrasi Unsur Bayangan

Bayangan muncul akibat adanya perbedaan ketinggian suatu objek dan sumber pencahayaan. Bayangan dapat membantu mengidentifikasi objek dengan dimensi tinggi seperti gedung pencakar langit, pohon besar, atau pegunungan. Namun, bayangan yang terlalu pekat dapat menutupi detail objek di sekitarnya.

Situs dan Asosiasi

- Situs adalah lokasi suatu objek dalam hubungannya dengan lingkungan sekitarnya. Misalnya, pelabuhan biasanya terletak di sepanjang garis pantai, dan gunung api biasanya berada di zona tektonik aktif. Situs ini merupakan posisi suatu obyek terhadap obyek yang lain yang ada di sekitarnya. Misalnya adalah pemukiman yang memiliki pola linier dengan mengikuti panjang jalan atau pantai dan sekolah yang berada di dekat lapangan sepak bola.



Gambar 53. Ilustrasi Unsur Situs

- Asosiasi adalah keterkaitan suatu objek dengan objek lain yang sering muncul bersamaan. Misalnya, sawah sering ditemukan berdekatan dengan sungai atau sistem irigasi, dan area pemukiman sering terhubung dengan jaringan jalan. Asosiasi merupakan keterkaitan antara obyek yang satu dengan obyek yang lainnya. Contoh dari asosiasi ini adalah keberadaan stasiun kereta api yang berasosiasi dengan rel kereta api.



Gambar 54. Ilustrasi Unsur Asosiasi

B. Teknik manual vs digital dalam interpretasi citra

1. Teknik Manual

Teknik manual dalam interpretasi citra dilakukan dengan cara pengamatan langsung oleh analis menggunakan mata dan alat bantu sederhana seperti kaca pembesar, stereoskop, atau alat optik lainnya. Teknik ini mengandalkan pengalaman, intuisi, serta pengetahuan analis dalam mengenali pola, bentuk, dan karakteristik objek pada citra.

Langkah-langkah dalam Teknik Manual:

- Mengamati citra secara keseluruhan untuk memahami komposisi dan karakteristik umum.
- Menggunakan alat bantu seperti stereoskop untuk mendapatkan efek tiga dimensi.

- Mengidentifikasi objek berdasarkan unsur-unsur interpretasi citra seperti rona, warna, tekstur, dan pola.
- Membandingkan dengan peta atau data referensi lain untuk meningkatkan akurasi.

Keuntungan Teknik Manual:

- **Memanfaatkan pengalaman dan intuisi manusia** dalam mengidentifikasi objek secara lebih kontekstual.
- **Dapat dilakukan tanpa perangkat lunak khusus**, sehingga lebih sederhana dan murah.
- **Fleksibel untuk berbagai jenis citra**, termasuk foto udara dan citra satelit dengan resolusi rendah.

Kelemahan Teknik Manual:

- **Prosesnya memerlukan waktu lebih lama** karena dilakukan secara manual.
- **Hasil interpretasi dapat bersifat subjektif**, tergantung pada pengalaman analis.
- **Kurang efisien untuk analisis dalam skala besar** atau data yang kompleks.

2. Teknik Digital

Teknik digital dalam interpretasi citra menggunakan perangkat lunak komputer untuk mengolah dan menganalisis citra secara otomatis atau semi-otomatis.

Teknik ini memanfaatkan berbagai metode pemrosesan citra, seperti:

- Klasifikasi berbasis piksel, yaitu mengelompokkan piksel berdasarkan nilai spektralnya.
- Segmentasi objek, yaitu pemisahan objek dalam citra berdasarkan bentuk dan tekstur.
- Analisis multi-spektral, yaitu pemanfaatan panjang gelombang tertentu untuk mengidentifikasi objek secara lebih akurat.

Langkah-langkah dalam Teknik Digital:

- Menginput citra ke dalam perangkat lunak pengolahan citra seperti ArcGIS, ENVI, atau QGIS.
- Menggunakan filter atau algoritma tertentu untuk meningkatkan kualitas citra.

BAB IX

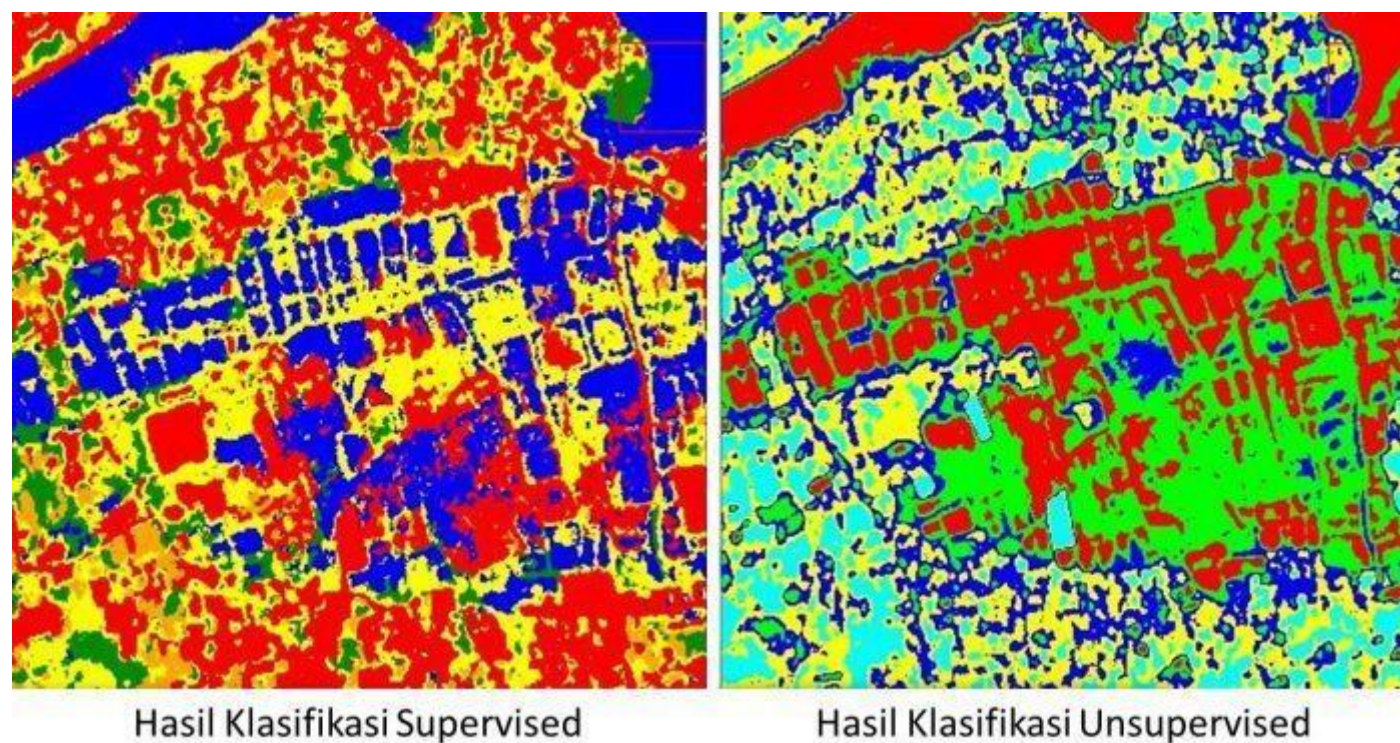
KLASIFIKASI CITRA DALAM PENGINDRAAN JAUH

A. Metode supervised dan unsupervised classification

Penginderaan jauh (*remote sensing*) merupakan teknologi yang memungkinkan pengambilan informasi permukaan bumi tanpa kontak langsung, menggunakan sensor dari satelit atau pesawat udara. Salah satu tahap penting dalam pengolahan citra penginderaan jauh adalah klasifikasi citra, yang bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengelompokkan objek atau tutupan lahan berdasarkan karakteristik spektralnya.

Klasifikasi citra terbagi menjadi dua metode utama, yaitu:

- Supervised Classification, di mana pengguna menentukan kelas referensi terlebih dahulu.
- Unsupervised Classification, di mana sistem secara otomatis mengelompokkan piksel berdasarkan kesamaan spektral.



Gambar 55. Visualisasi Klasifikasi Supervised dan Unsupervised

Sumber : mbd-geo.web.id

Setiap metode memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing serta dapat dievaluasi menggunakan berbagai teknik seperti *confusion matrix* dan *overall accuracy*.

Berikut adalah pembahasan lebih lanjut mengenai metode klasifikasi citra dalam

penginderaan jauh.

1. *Supervised Classification*

Supervised classification adalah metode di mana pengguna terlebih dahulu memilih training sample untuk menentukan kelas-kelas yang akan diidentifikasi dalam citra satelit. Algoritma akan menggunakan data ini untuk mengklasifikasikan seluruh citra berdasarkan karakteristik spektral dari tiap kelas. Klasifikasi terbimbing (*supervised*) dapat di artikan sebagai metode untuk mentransformasikan data citra satelit multispektral ke dalam kelas-kelas unsur spasial. Kelas-kelas tersebut seperti area pemukiman, badan air, lahan kosong, vegetasi, dan lainnya.

Langkah-langkah Supervised Classification:

- Pemilihan Training Sample: Pengguna memilih area representatif untuk tiap kelas, misalnya air, tanah, vegetasi, dan pemukiman.
- Ekstraksi Signature Spektral: Sistem menganalisis karakteristik spektral dari setiap kelas yang telah dipilih.
- Penerapan Algoritma Klasifikasi: Algoritma seperti *Maximum Likelihood*, *Minimum Distance*, atau *Support Vector Machine (SVM)* digunakan untuk memetakan seluruh citra berdasarkan *signature spektral*.
- Validasi dan Evaluasi: Hasil klasifikasi dibandingkan dengan data referensi atau lapangan untuk menilai akurasi.

Algoritma yang Umum Digunakan dalam Supervised Classification:

- Maximum Likelihood Classification (MLC): Metode **Maximum Likelihood Classification (MLC)** adalah teknik klasifikasi berbasis statistik yang menggunakan parameter seperti rata-rata, varians, dan kovarians untuk menentukan probabilitas suatu piksel termasuk dalam kelas tertentu. MLC mengasumsikan bahwa distribusi nilai spektral setiap kelas mengikuti distribusi normal. Piksel kemudian dikategorikan ke dalam kelas dengan probabilitas tertinggi.

$$p(X | w_i) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}} |V_i|^{\frac{1}{2}}} \exp \left[-\frac{1}{2} (X - M_i)^T V_i^{-1} (X - M_i) \right]$$

Keunggulan utama MLC adalah kemampuannya mengevaluasi korelasi antarband spektral secara kuantitatif, sehingga menghasilkan klasifikasi yang lebih akurat dibandingkan metode lainnya. Teknik ini memerlukan *training area* untuk menentukan nilai probabilitas optimal.

- Minimum Distance Classification (MDC): Metode **Minimum Distance Classification (MDC)** adalah teknik klasifikasi yang menentukan kelas suatu piksel berdasarkan jarak terpendek antara nilai kecerahannya dan rata-rata spektral dari masing-masing kelas. Piksel akan diklasifikasikan ke dalam kelas dengan jarak terdekat dari nilai rata-rata tersebut. MDC termasuk metode **supervised classification** yang sederhana, menggunakan *mean vector* untuk setiap kelas. Namun, metode ini memiliki akurasi rendah karena tidak mempertimbangkan varians data. Kekurangannya termasuk kemungkinan interpretasi data yang dipaksakan dan keterbatasan dalam menangani kelas spektral yang tidak teridentifikasi.
- Support Vector Machine (SVM): Menggunakan metode pembelajaran mesin untuk memisahkan kelas secara optimal.
- Artificial Neural Network (ANN): Jaringan saraf tiruan yang dapat menangani pola yang lebih kompleks.

2. Klasifikasi Unsupervised

Unsupervised classification dilakukan tanpa *training sample*. Algoritma secara otomatis mengelompokkan piksel berdasarkan kesamaan spektralnya tanpa perlu campur tangan pengguna. Metode unsupervised classification bekerja secara otomatis dengan mengelompokkan piksel ke dalam kelas spektral menggunakan algoritma klusterisasi, tanpa memerlukan *training sample*. Pada awalnya, analis dapat menentukan jumlah kelas atau membiarkan sistem menentukannya secara otomatis berdasarkan pola spektral citra.

Setelah hasil klasifikasi diperoleh, analis kemudian menyesuaikan dan memberi label pada kelas yang terbentuk. Beberapa algoritma yang sering digunakan dalam metode ini adalah K-Means Clustering dan ISODATA, yang memungkinkan penyesuaian jumlah kelas secara dinamis sesuai dengan distribusi data.

Langkah-langkah Unsupervised Classification:

- **Pemrosesan Data Awal:** Citra diperbaiki untuk mengurangi kesalahan akibat atmosfer atau sensor.
- **Pengelompokan Piksel:** Algoritma membagi piksel berdasarkan kesamaan nilai spektral tanpa panduan dari pengguna.
- **Penamaan Kelas:** Setelah terbentuk kelompok kelas, pengguna menganalisis dan menamainya berdasarkan data referensi.
- **Evaluasi Hasil:** Hasil dibandingkan dengan data lapangan atau citra lainnya untuk validasi.

Algoritma yang Umum Digunakan dalam Unsupervised Classification:

- **K-Means Clustering:** Algoritma K-Means Clustering mengelompokkan piksel ke dalam K kelas berdasarkan kesamaan spektral. Prosesnya dimulai dengan menentukan jumlah kluster (K) dan memilih pusat awal (*centroid*) secara acak. Kemudian, setiap piksel dihitung jaraknya ke centroid terdekat dan dikelompokkan sesuai dengan hasil tersebut. Setelah itu, centroid diperbarui berdasarkan rata-rata nilai spektral dalam kluster, dan proses ini berulang hingga kluster stabil atau batas iterasi tercapai. Keunggulan metode ini adalah kecepatannya dalam menangani dataset besar, namun kelemahannya adalah hasilnya bergantung pada pemilihan centroid awal serta jumlah kluster yang harus ditentukan sebelumnya. Dalam penerapannya, K-Means cocok digunakan jika jumlah kelas sudah diketahui dan hasil yang cepat dibutuhkan
- **ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique):** Sebagai pengembangan dari K-Means, algoritma ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) lebih fleksibel karena dapat menyesuaikan jumlah kluster secara otomatis. Prosesnya diawali dengan jumlah kluster awal, lalu piksel dikelompokkan menggunakan prinsip K-Means. Algoritma ini dapat menggabungkan kluster yang terlalu mirip, membagi kluster yang terlalu besar, dan menghapus kluster dengan jumlah piksel yang sedikit. Proses ini terus berlanjut hingga hasilnya stabil atau mencapai batas iterasi tertentu. Kelebihan ISODATA adalah kemampuannya menyesuaikan jumlah kluster

tanpa batasan awal yang kaku, tetapi metode ini lebih kompleks dan membutuhkan waktu pemrosesan yang lebih lama dibandingkan K-Means. sementara ISODATA lebih efektif jika data memiliki variasi tinggi dan jumlah kelas tidak dapat ditentukan sejak awal.

B. Perbandingan algoritma klasifikasi

Klasifikasi citra dalam penginderaan jauh terbagi menjadi dua jenis utama, yaitu klasifikasi terbimbing (supervised classification) dan klasifikasi tidak terbimbing (unsupervised classification). Klasifikasi terbimbing memerlukan data pelatihan (*training area*), sedangkan klasifikasi tidak terbimbing mengelompokkan piksel secara otomatis berdasarkan kesamaan spektral. Berikut adalah perbandingan beberapa algoritma yang umum digunakan dalam kedua metode tersebut:

Tabel 8. Tabel Perbandingan Algoritma Klasifikasi

Metode	Jenis Klasifikasi	Kelebihan	Kekurangan
Maximum Likelihood Classification (MLC)	Supervised	Akurasi tinggi karena mempertimbangkan statistik data (rata-rata, varians, kovarians)	Kompleks dan membutuhkan asumsi distribusi normal
Minimum Distance Classification (MDC)	Supervised	Sederhana, cepat, dan mudah diterapkan	Akurasi rendah, tidak mempertimbangkan variasi data dalam kelas
Support Vector Machine (SVM)	Supervised	Tidak memerlukan asumsi distribusi data, cocok untuk dataset kecil	Sensitif terhadap pemilihan parameter dan komputasi lebih lama
Artificial Neural Network (ANN)	Supervised	Mampu mengenali pola kompleks dan	Membutuhkan banyak data

		bekerja baik untuk data non-linear	pelatihan dan waktu komputasi tinggi
K-Means Clustering)	Unsupervised	Cepat dan efisien untuk dataset besar	Jumlah kluster harus ditentukan sejak awal, hasil tergantung pemilihan awal centroid
ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique)	Unsupervised	Fleksibel karena jumlah kluster dapat berubah secara otomatis	Proses lebih kompleks dan membutuhkan waktu pemrosesan lebih lama dibanding K-Means

C. Evaluasi hasil klasifikasi

Setelah proses klasifikasi dilakukan, evaluasi hasil sangat penting untuk memastikan keakuratan dan validitas data. Tanpa evaluasi yang tepat, hasil klasifikasi dapat menghasilkan informasi yang tidak akurat dan berpotensi menyesatkan dalam pengambilan keputusan. Evaluasi ini bertujuan untuk mengukur sejauh mana hasil klasifikasi mendekati kondisi sebenarnya.

1. Metode Evaluasi Hasil Klasifikasi

Berikut adalah beberapa metode utama yang digunakan dalam mengevaluasi hasil klasifikasi citra penginderaan jauh:

Confusion Matrix (Matriks Kesalahan)

Matriks kesalahan adalah metode evaluasi yang membandingkan hasil klasifikasi dengan data referensi (ground truth). Dalam matriks ini, setiap kelas hasil klasifikasi dibandingkan dengan kelas yang sebenarnya. Matriks ini menyajikan berbagai parameter evaluasi, seperti:

Overall Accuracy (OA):

- Mengukur persentase total piksel yang diklasifikasikan dengan benar.

- Dihitung dengan membagi jumlah piksel yang benar diklasifikasikan dengan jumlah total piksel dalam data.

- Semakin tinggi nilai OA, semakin baik akurasi klasifikasi.

Producer's Accuracy (PA):

- Menggambarkan sejauh mana kelas sebenarnya dapat terwakili dalam hasil klasifikasi.
- Dihitung dengan membandingkan jumlah piksel yang benar diklasifikasikan dalam suatu kelas terhadap total piksel dalam kelas tersebut berdasarkan data referensi.
- Menunjukkan kemungkinan bahwa piksel dari kelas tertentu akan terdeteksi dengan benar.

User's Accuracy (UA):

- Mengukur kepercayaan pengguna terhadap hasil klasifikasi suatu kelas.
- Dihitung dengan membandingkan jumlah piksel yang benar diklasifikasikan dalam suatu kelas terhadap total piksel yang diklasifikasikan sebagai kelas tersebut.
- Semakin tinggi nilai UA, semakin kecil kemungkinan adanya kesalahan klasifikasi (misclassification).

Kappa Coefficient:

- Menilai keakuratan klasifikasi dengan memperhitungkan kemungkinan klasifikasi yang benar secara acak.
- Nilai Kappa berkisar antara 0 hingga 1, dengan nilai mendekati 1 menunjukkan akurasi yang tinggi.

Validasi dengan Data Lapangan (Ground Truthing)

Metode ini membandingkan hasil klasifikasi dengan data yang dikumpulkan langsung dari lapangan. Data ini dapat berupa pengukuran langsung atau observasi terhadap objek yang ada di wilayah yang diklasifikasikan.

Proses validasi lapangan mencakup:

- Menentukan titik sampel yang akan digunakan untuk validasi.
- Mengumpulkan informasi nyata dari wilayah tersebut, seperti jenis tutupan lahan, vegetasi, atau kondisi permukaan tanah.

- Membandingkan hasil klasifikasi dengan data lapangan untuk mengidentifikasi perbedaan dan kesalahan klasifikasi.

Keuntungan validasi lapangan:

- Menyediakan data referensi yang akurat.
- Mengurangi kesalahan interpretasi citra satelit.
- Meningkatkan pemahaman terhadap pola klasifikasi dalam citra.

Tantangan dalam validasi lapangan:

- Memerlukan waktu dan biaya yang besar.
- Sulit dilakukan di wilayah yang luas atau sulit diakses.

Perbandingan dengan Data Sekunder

Selain validasi lapangan, hasil klasifikasi juga dapat dibandingkan dengan data referensi lain seperti:

- **Citra satelit resolusi tinggi** yang sudah divalidasi.
- **Peta tematik** yang sebelumnya telah dibuat oleh lembaga resmi.
- **Data survei atau sensus** yang memberikan informasi tambahan tentang wilayah yang diklasifikasikan.

Metode ini lebih cepat dibandingkan validasi lapangan tetapi memiliki keterbatasan jika data sekunder kurang akurat atau tidak diperbarui.

Analisis Visual

Evaluasi ini dilakukan dengan menampilkan hasil klasifikasi dalam bentuk peta dan membandingkannya secara visual dengan citra asli. Jika pola yang dihasilkan tidak sesuai dengan ekspektasi atau terdapat anomali yang mencurigakan, maka hasil klasifikasi dapat diperbaiki dengan melakukan perubahan parameter atau algoritma.

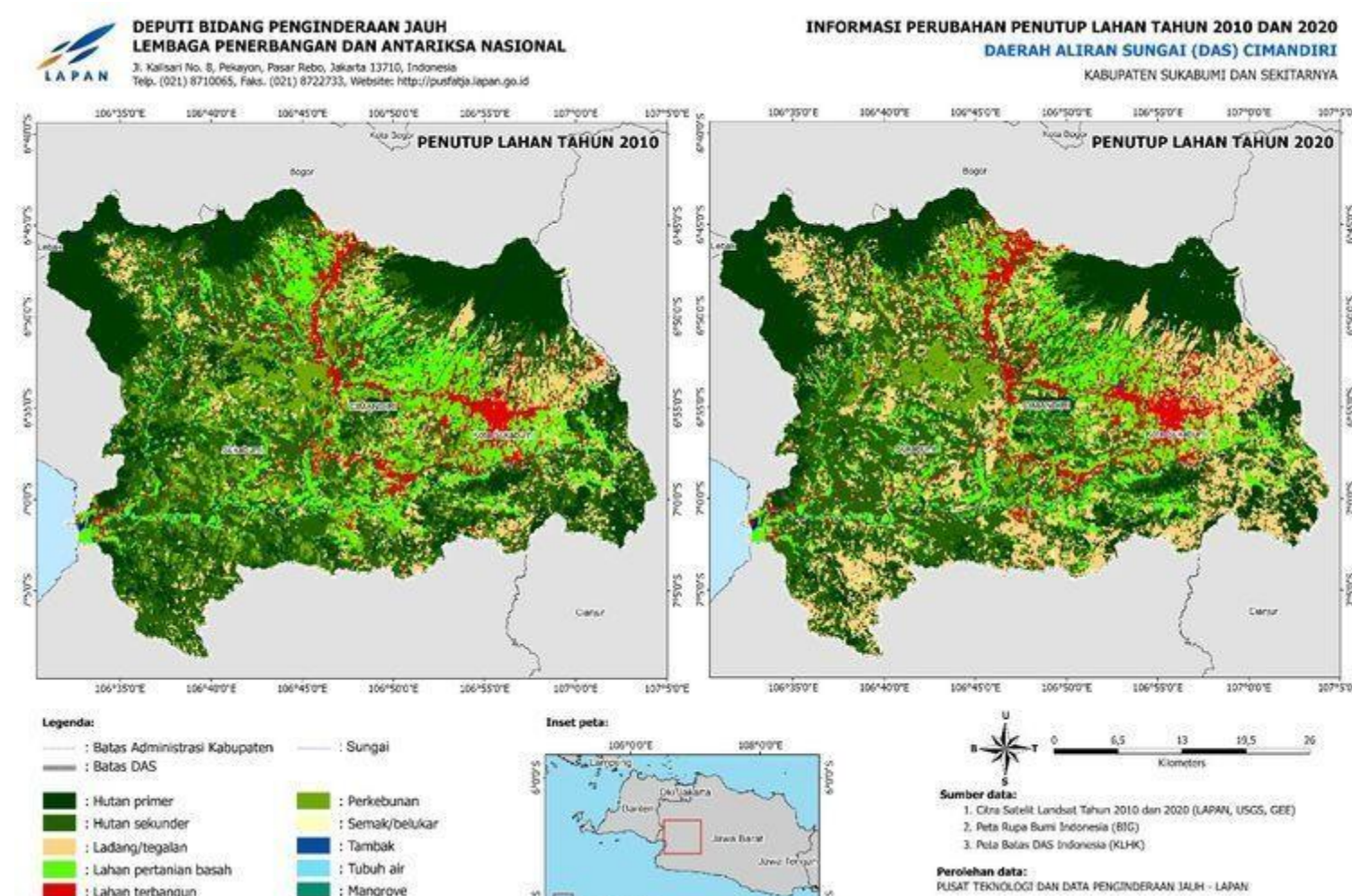
Langkah-langkah analisis visual:

- Membandingkan citra hasil klasifikasi dengan citra asli untuk melihat kesesuaian pola.
- Menganalisis wilayah yang mengalami kesalahan klasifikasi dengan membandingkan warna, bentuk, dan pola yang muncul dalam citra.
- Menggunakan teknik overlay untuk menampilkan perbedaan antara hasil

BAB X

APLIKASI PENGINDRAAN JAUH DALAM MITIGASI BENCANA

Penginderaan jauh adalah teknologi yang memungkinkan pengamatan suatu objek, gejala, atau daerah tanpa kontak langsung, melainkan melalui sensor yang dipasang pada satelit, pesawat terbang, atau drone. Teknologi ini berperan penting dalam mitigasi bencana dengan memberikan informasi yang akurat dan real-time mengenai kondisi suatu wilayah sebelum, saat, dan setelah bencana terjadi.



Gambar 56. Analisis Banjir di Sukabumi menggunakan Satelit

Saat ini, penginderaan jauh juga berperan dalam pemetaan wilayah guna mendukung mitigasi bencana. Berdasarkan Undang-Undang No. 24/2007, bencana alam mencakup gempa bumi, tsunami, erupsi gunung berapi, banjir, kekeringan, angin topan, dan tanah longsor. Mitigasi bencana menjadi aspek krusial dalam pembangunan nasional, terutama karena letak Indonesia di Cincin Api Pasifik dan garis khatulistiwa menjadikannya rentan terhadap bencana tektonik maupun hidrometeorologis.

Menurut Muhammad Al-Amin Hoque dalam PhD Talk Fakultas Geografi UGM (2016), penginderaan jauh berperan dalam mengidentifikasi dan memetakan kondisi wilayah pasca-bencana. Hal ini sejalan dengan pendapat Kodoatie dan Sjarief (2006) yang menyatakan bahwa penginderaan jauh berkontribusi dalam berbagai tahap manajemen

bencana, mulai dari mitigasi, kesiapsiagaan, tanggap darurat, rehabilitasi, hingga rekonstruksi. Dalam tahap mitigasi, teknologi ini digunakan untuk menentukan rute evakuasi dan lokasi pembangunan tempat perlindungan. Sementara itu, dalam tahap rehabilitasi dan rekonstruksi, citra satelit membantu memantau wilayah terdampak guna mempercepat pemulihan pasca-bencana.

Salah satu bencana yang sering terjadi di Indonesia adalah letusan gunung berapi. Erupsi gunung api menghasilkan berbagai material seperti asap, lahar, dan piroklastik yang dapat dideteksi menggunakan sensor satelit.

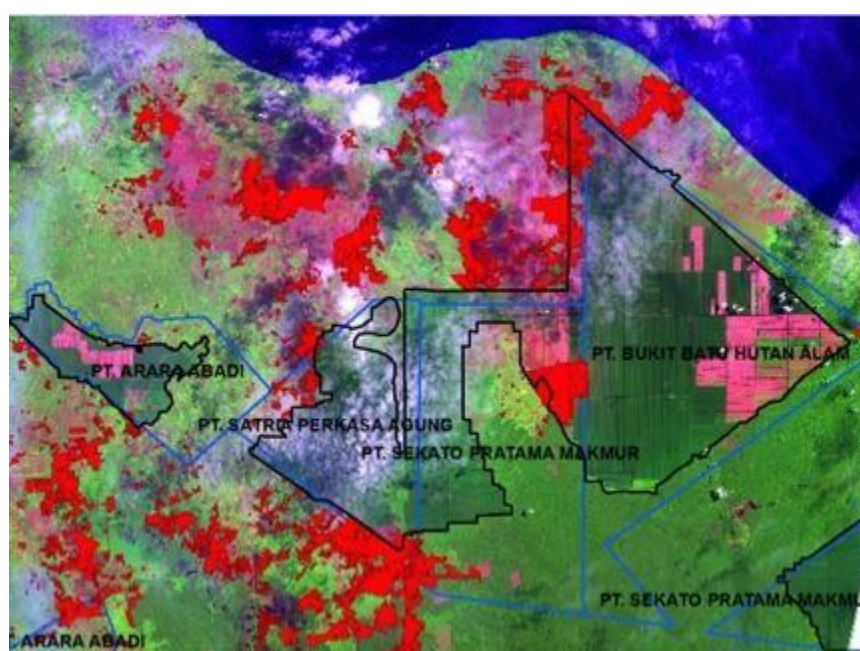
Manajemen bencana yang efektif dapat mengurangi dampak kerugian akibat bencana. Salah satu cara yang dilakukan adalah pemantauan kondisi cuaca dan iklim melalui citra satelit, seperti yang dilakukan oleh BMKG dengan satelit Himawari-8 untuk menganalisis bencana hidrometeorologi.

Keunggulan utama penginderaan jauh dalam manajemen bencana adalah kemampuannya menyediakan data historis maupun real-time dengan cepat dan biaya relatif rendah.

Meskipun memiliki banyak keunggulan, penginderaan jauh dalam manajemen bencana masih menghadapi tantangan, seperti akurasi data, keseragaman informasi, serta keterampilan operator dalam menginterpretasikan citra satelit. Oleh karena itu, diperlukan sistem yang menjamin ketepatan dan standarisasi data nasional, serta peningkatan kapasitas sumber daya manusia dalam pemanfaatan teknologi ini. Jika tantangan ini dapat diatasi, maka pemanfaatan penginderaan jauh dalam mitigasi bencana dapat semakin optimal dan mendukung pembangunan berkelanjutan di Indonesia

A. Pemantauan kebakaran, banjir, tanah longsor

1. Kebakaran Hutan



Gambar 57. Visualisasi Inderaja mendeteksi Kebakaran

Kebakaran hutan merupakan salah satu bencana yang sering terjadi di Indonesia, terutama di daerah Kalimantan dan Sumatra. Teknologi penginderaan jauh dapat digunakan untuk mendeteksi titik panas (hotspot) yang menunjukkan kemungkinan kebakaran hutan. Data dari satelit seperti MODIS dan Landsat sangat membantu dalam memantau luas area yang terbakar dan menentukan tingkat keparahannya. Sistem penginderaan jauh dengan metode digital dan dukungan data citra satelit yang tersedia secara gratis membantu proses identifikasi kebakaran hutan dan lahan (karhutla). Teknologi ini sangat dibutuhkan karena identifikasi karhutla sulit dilakukan secara manual, terutama untuk wilayah yang luas dan sulit dijangkau. Sistem ini memungkinkan pemantauan tanpa harus melakukan pengukuran langsung di lapangan. Identifikasi lahan terbakar dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu visual dan digital:

- **Metode Visual:** Mengandalkan kemampuan manusia dalam melihat citra satelit. Data pendukung awal didapat dari laporan masyarakat atau citra satelit yang kemudian dipadukan dengan dua data citra sebelum dan sesudah kejadian kebakaran. Metode ini membutuhkan keterampilan tinggi dalam interpretasi citra dan lebih cocok untuk wilayah kecil.
- **Metode Digital:** Menggunakan permodelan spektra indeks dan berbagai teknik analisis citra satelit untuk memastikan deliniasi daerah terbakar. Permodelan yang sering digunakan meliputi Random Forest, Boosting Regression Trees, dan Google Earth Engine Platform. Metode ini lebih efektif untuk wilayah luas tetapi dapat terhambat oleh tutupan awan dan kepulan asap.

LAPAN telah mengembangkan sistem Fire Hotspot versi kedua untuk mendeteksi titik panas penyebab kebakaran. Sistem ini dapat menentukan wilayah berdasarkan klaster dan piksel serta memonitor titik panas harian untuk pencegahan dini.

2. Banjir

Banjir sering terjadi akibat curah hujan tinggi, perubahan penggunaan lahan, dan buruknya sistem drainase. Penginderaan jauh membantu dalam mendeteksi daerah rawan banjir serta memantau perkembangan banjir secara real-time. Citra

satelit dapat digunakan untuk membandingkan kondisi sebelum dan setelah banjir guna mengidentifikasi wilayah terdampak.

Dalam penelitian model bahaya banjir di Kabupaten Sampang, metode penginderaan jauh digunakan untuk mengumpulkan data dari beberapa variabel utama yang mempengaruhi banjir, yaitu:

- **Curah Hujan:** Data dari Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM) digunakan untuk memantau tingkat curah hujan dalam periode waktu tertentu.
- **Liputan Lahan:** Data dari citra satelit Landsat dan Spot-5 digunakan untuk mengidentifikasi perubahan penggunaan lahan yang dapat meningkatkan risiko banjir.
- **Lereng:** Data Digital Elevation Model (DEM) digunakan untuk mengetahui kemiringan lahan yang berpengaruh terhadap pergerakan air.
- **Sistem Lahan:** Informasi mengenai jenis tanah dan struktur lahan yang berpengaruh terhadap penyerapan dan aliran air.
- **Elevasi:** Data ketinggian wilayah dari DEM digunakan untuk menentukan area yang lebih rentan terhadap banjir.

Model bahaya banjir dikembangkan menggunakan metode **Composite Mapping Analysis (CMA)**, di mana setiap variabel diberikan bobot berdasarkan pengaruhnya terhadap banjir. Citra satelit digunakan untuk melakukan overlay dari kelima variabel tersebut sehingga menghasilkan peta risiko banjir yang menunjukkan area dengan tingkat kerentanan tinggi, sedang, dan rendah.

Peta bahaya banjir yang dihasilkan dapat digunakan untuk perencanaan tata ruang, identifikasi wilayah rawan banjir, serta pengambilan keputusan dalam mitigasi dan respons bencana.

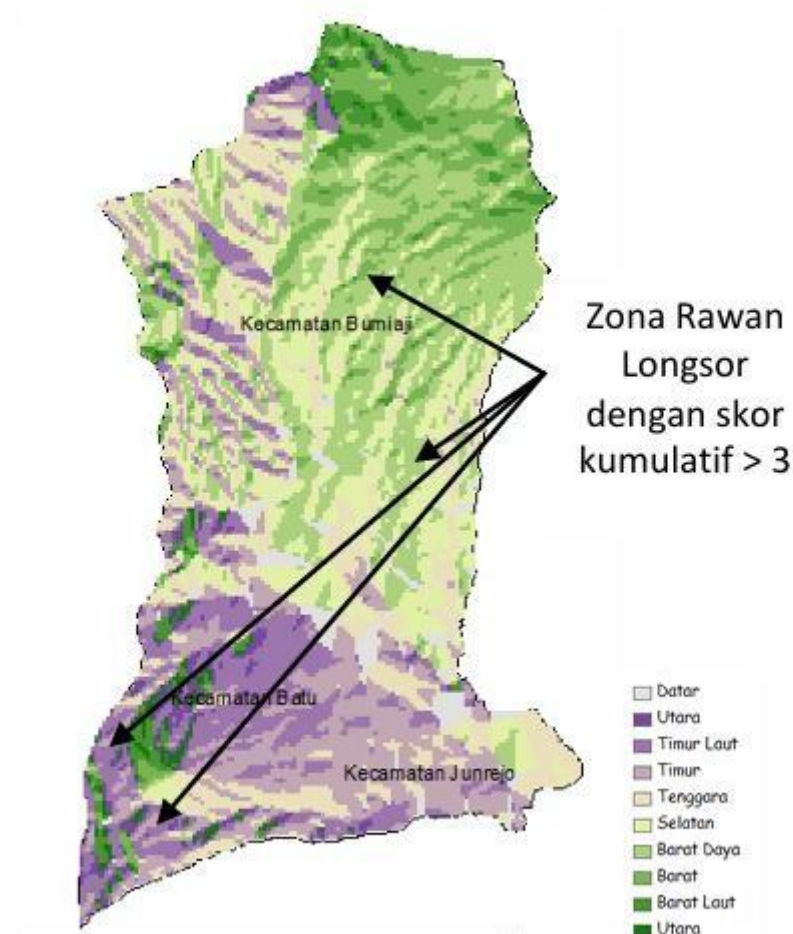
3. Tanah Longsor

Tanah longsor sering terjadi di daerah dengan topografi curam dan kondisi tanah yang tidak stabil akibat hujan deras atau aktivitas manusia. Teknologi penginderaan jauh memungkinkan pemetaan daerah rawan longsor dengan mempertimbangkan beberapa variabel utama, antara lain:

- **Kemiringan Lereng:** Data Digital Elevation Model (DEM) dari citra ASTER GDEM-2 digunakan untuk menentukan derajat kemiringan lereng yang

berpengaruh pada potensi longsor.

- **Curah Hujan:** Data curah hujan dari stasiun BMKG digunakan untuk menganalisis dampaknya terhadap kestabilan tanah.
- **Jenis Tanah:** Peta jenis tanah dari citra Landsat digunakan untuk mengidentifikasi tanah yang rentan terhadap longsor, seperti tanah lempung dan tanah vulkanik.
- **Tutupan Lahan:** Penggunaan citra satelit Landsat 7 ETM+ dan Landsat 8 memungkinkan pemetaan perubahan penggunaan lahan yang berkontribusi terhadap peningkatan risiko longsor.
- **Kondisi Geologi:** Data geologi dari peta regional digunakan untuk memahami struktur tanah dan batuan penyusun lereng.



Gambar 58. Zona Rawan Longsor Terdeteksi

Sumber : Jurnal Geosaintek. 01 / 01 Tahun 2015

Metode yang digunakan untuk pemetaan daerah rawan longsor adalah **scoring dan pembobotan** pada tiap parameter. Data citra satelit diproses menggunakan **supervised classification** untuk analisis tutupan lahan, serta **spatial analysis** untuk mengintegrasikan faktor-faktor penyebab longsor dalam sistem informasi geografi (SIG). Zonasi risiko longsor dibagi menjadi tiga kategori: kurang rawan, rawan, dan sangat rawan.

Peta zonasi tanah longsor yang dihasilkan dapat digunakan oleh pemerintah dan masyarakat dalam upaya mitigasi bencana serta pengambilan keputusan terkait penggunaan lahan yang lebih aman.

BAB XI

PENGINDRAAN JAUH UNTUK PENGAMBILAN KEPUTUSAN

Penginderaan jauh merupakan teknologi yang memungkinkan pengumpulan data tentang permukaan bumi tanpa kontak langsung dengan objek yang diamati. Teknologi ini menggunakan sensor yang dipasang pada satelit atau pesawat udara untuk merekam informasi spasial yang dapat digunakan dalam berbagai bidang, termasuk perencanaan dan pengambilan keputusan. Dalam konteks tata ruang dan pengelolaan wilayah, penginderaan jauh menjadi alat yang sangat penting karena mampu menyediakan data yang akurat, sistematis, dan berskala luas dalam waktu singkat.

Dengan penginderaan jauh, para pembuat kebijakan dapat mengakses informasi yang relevan mengenai penggunaan lahan, perubahan lingkungan, dan kondisi geografis suatu daerah. Data yang diperoleh dari citra satelit dan pemetaan udara dapat diolah lebih lanjut menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk analisis yang lebih mendalam. Hal ini memungkinkan pemerintah dan pemangku kepentingan lainnya untuk mengambil keputusan yang lebih efektif dalam perencanaan tata ruang, mitigasi bencana, serta pengelolaan sumber daya alam.

A. Peran penginderaan jauh dalam kebijakan tata ruang

Penginderaan jauh memiliki peran penting dalam mendukung kebijakan tata ruang dengan menyediakan data spasial yang akurat dan terkini. Teknologi ini memungkinkan pemantauan perubahan penggunaan lahan, identifikasi wilayah rawan bencana, serta evaluasi efektivitas kebijakan yang telah diterapkan. Dengan data yang diperoleh dari citra satelit dan drone, pemerintah dapat membuat keputusan yang lebih tepat dan berbasis bukti dalam pengelolaan sumber daya alam dan pembangunan wilayah.

Menurut penelitian Panji Agung et al. (2020), penginderaan jauh berperan dalam pemantauan pemanfaatan ruang pada RTRW melalui sistem berbasis citra satelit seperti TERRA/ASTER. Studi kasus di Kabupaten Sleman menunjukkan bahwa pelanggaran pemanfaatan ruang terhadap RTRW dapat dideteksi dengan akurasi

BAB XII

PENGINDRAAN JAUH UNTUK INFRASTRUTUR DATA SPASIAL (IDS)

Dalam era digital saat ini, data spasial memiliki peran yang sangat penting dalam berbagai aspek pembangunan dan pengelolaan sumber daya. Infrastruktur Data Spasial (IDS) menjadi solusi untuk mengintegrasikan, mengelola, dan mendistribusikan informasi geospasial secara efektif. Dengan kemajuan teknologi penginderaan jauh, pengumpulan data spasial dapat dilakukan dengan lebih cepat, akurat, dan efisien. IDS tidak hanya membantu dalam pemetaan dan analisis wilayah, tetapi juga menjadi dasar dalam perencanaan tata ruang, mitigasi bencana, serta optimalisasi penggunaan sumber daya alam. Artikel ini akan membahas konsep IDS dan data spasial, peran penginderaan jauh dalam penyusunan peta tematik, serta implementasi data spasial dalam pembangunan.

A. Konsep IDS dan data spasial

Infrastruktur Data Spasial (IDS) adalah kumpulan teknologi, kebijakan, dan pengaturan kelembagaan yang digunakan untuk menyediakan data spasial. IDS bertujuan untuk mempermudah akses data spasial secara mudah, konsisten, dan aman. Menyediakan data spasial yang berkualitas dan mudah diakses, Mendukung pemanfaatan data spasial secara multiguna, Meningkatkan kualitas dan ketersediaan data spasial, Meningkatkan kualitas pengambilan keputusan, Menghindari duplikasi pekerjaan antar instansi.

IDS terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

- **Data Spasial:** Data spasial adalah informasi berbasis lokasi yang mencakup koordinat, batas wilayah, dan atribut geospasial lainnya. Data ini dapat berasal dari berbagai sumber seperti citra satelit, pemetaan udara, survei lapangan, dan basis data geospasial. Data spasial digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari perencanaan tata ruang hingga analisis lingkungan.
- **Perangkat Keras dan Perangkat Lunak:** Untuk mengelola dan menganalisis data spasial, diperlukan sistem yang mencakup perangkat keras dan

perangkat lunak. Perangkat keras meliputi server, komputer, dan perangkat pemetaan seperti GPS dan drone. Sementara itu, perangkat lunak seperti Sistem Informasi Geografis (SIG) digunakan untuk mengolah, memvisualisasikan, dan menganalisis data spasial.

- **Standar dan Kebijakan:** Standar dan kebijakan diperlukan untuk memastikan interoperabilitas, konsistensi, serta kualitas data yang digunakan dalam IDS. Standarisasi ini mencakup format data, metode akuisisi, serta protokol berbagi data antarinstansi. Kebijakan pemerintah juga berperan dalam mengatur pengelolaan dan pemanfaatan data spasial secara nasional.
- **Sumber Daya Manusia:** Keberhasilan IDS sangat bergantung pada tenaga ahli yang mampu mengelola, menganalisis, dan menginterpretasikan data spasial. Tenaga ahli ini mencakup ahli geografi, analis SIG, kartografer, serta ilmuwan data yang memiliki keterampilan dalam penginderaan jauh dan analisis spasial.
- **Jaringan dan Infrastruktur Teknologi:** IDS membutuhkan infrastruktur teknologi yang mendukung akses dan distribusi data spasial secara luas. Hal ini mencakup sistem penyimpanan berbasis cloud, jaringan internet yang stabil, serta platform berbagi data yang memungkinkan berbagai instansi mengakses informasi geospasial dengan mudah dan cepat.

Pengembangan IDS di Indonesia dapat dibantu oleh Pusat Infrastruktur Data Spasial (PIDS) ITB. PIDS ITB juga mengembangkan standar nasional sistem pendidikan SDI. Data spasial sangat penting karena membantu bisnis untuk memahami suatu lokasi secara menyeluruh. Data ini dapat digunakan untuk menganalisis berbagai aspek geografis, seperti potensi pasar, dan aksesibilitas.

Peran Data Spasial dalam Pembangunan

Data spasial berperan dalam berbagai aspek pembangunan, seperti:

- **Perencanaan Tata Ruang:** Data spasial digunakan untuk menyusun rencana tata ruang wilayah (RTRW) yang optimal. Dengan data ini, pemerintah dapat menentukan zona pemukiman, industri, dan area hijau secara efisien, serta menghindari konflik lahan.

- **Manajemen Bencana:** Pemetaan daerah rawan bencana seperti banjir, tanah longsor, dan gempa bumi dapat dilakukan dengan menggunakan data spasial. Informasi ini digunakan untuk perencanaan mitigasi bencana, pembangunan infrastruktur tangguh, serta penyusunan jalur evakuasi yang efektif.
- **Pengelolaan Sumber Daya Alam:** Dengan pemantauan lingkungan berbasis data spasial, pemerintah dan perusahaan dapat mengelola sumber daya alam secara berkelanjutan. Contohnya adalah pemantauan deforestasi, pengelolaan kawasan konservasi, serta pemetaan ekosistem laut dan perairan.
- **Pembangunan Infrastruktur:** Data spasial digunakan dalam analisis lokasi strategis untuk pembangunan infrastruktur seperti jalan, jembatan, dan jaringan transportasi. Dengan informasi geospasial yang akurat, perencanaan infrastruktur dapat disesuaikan dengan kondisi topografi dan kebutuhan masyarakat.

B. Penginderaan jauh dalam penyusunan peta tematik

Penginderaan jauh adalah teknik untuk memperoleh informasi mengenai suatu objek, area, atau fenomena di permukaan bumi tanpa harus melakukan kontak langsung. Teknologi ini menggunakan sensor yang dipasang pada satelit, pesawat udara, atau drone untuk menangkap data dalam berbagai spektrum elektromagnetik. Data yang diperoleh melalui penginderaan jauh dapat berbentuk citra satelit, foto udara, atau data radar yang memungkinkan analisis lebih mendalam terhadap suatu wilayah.

Peta tematik adalah peta yang menampilkan informasi spesifik mengenai suatu aspek wilayah tertentu. Penginderaan jauh memainkan peran penting dalam pembuatan peta tematik dengan menyediakan data akurat dan berkala yang dapat digunakan untuk berbagai analisis. Beberapa peran penginderaan jauh dalam peta tematik meliputi:

- **Pemetaan Penggunaan Lahan:** Mengidentifikasi zona perkotaan, kawasan industri, lahan pertanian, hutan, dan perairan untuk mendukung perencanaan tata ruang.
- **Analisis Vegetasi:** Menggunakan indeks vegetasi seperti NDVI (Normalized

Difference Vegetation Index) untuk memantau kesehatan tanaman, deforestasi, dan perubahan ekosistem.

- Pemetaan Geologi dan Geomorfologi: Menggunakan citra satelit untuk mengidentifikasi formasi geologi, jenis tanah, dan struktur geomorfologi yang berguna dalam eksplorasi sumber daya alam dan mitigasi bencana geologi.
- Pemetaan Risiko Bencana: Menyediakan informasi mengenai daerah rawan banjir, longsor, gempa bumi, dan kebakaran hutan guna mendukung upaya mitigasi dan tanggap darurat.

Keunggulan Penginderaan Jauh dalam Pemetaan

Penginderaan jauh memiliki berbagai keunggulan dalam pembuatan peta tematik, antara lain;

- Cakupan Luas: Mampu mengamati wilayah besar dalam satu kali pengambilan data, sangat berguna untuk pemetaan regional maupun global.
- Akurasi Tinggi: Data yang diperoleh memiliki resolusi spasial dan temporal yang tinggi, memungkinkan analisis mendetail.
- Pemantauan Berkala: Kemampuan untuk memantau perubahan lingkungan dan tata guna lahan secara periodik, mendukung perencanaan berkelanjutan.
- Efisiensi Biaya dan Waktu: Mengurangi kebutuhan survei lapangan yang memakan waktu dan biaya tinggi, serta memungkinkan pengumpulan data secara lebih cepat dan sistematis.

C. Implementasi data spasial untuk pembangunan

Data spasial memainkan peran yang sangat penting dalam berbagai aspek pembangunan. Dengan perkembangan teknologi penginderaan jauh dan sistem informasi geografis (SIG), data spasial dapat digunakan untuk mendukung perencanaan, pelaksanaan, dan evaluasi berbagai proyek pembangunan. Implementasi data spasial dalam pembangunan mencakup berbagai sektor, seperti perencanaan tata ruang, infrastruktur, manajemen bencana, hingga pengelolaan sumber daya alam.

Pemanfaatan data spasial dalam pembangunan memungkinkan pemerintah dan pemangku kepentingan untuk membuat keputusan yang lebih akurat dan berbasis bukti. Dengan data yang lebih terstruktur dan analisis yang lebih

mendalam, kebijakan pembangunan dapat lebih efektif, efisien, dan berkelanjutan. Artikel ini akan membahas berbagai penerapan data spasial dalam pembangunan serta manfaatnya bagi masyarakat dan lingkungan.

Peran Data Spasial dalam Pembangunan

Data spasial memiliki berbagai peran dalam mendukung pembangunan, di antaranya:

Perencanaan Tata Ruang

Perencanaan tata ruang merupakan salah satu aspek terpenting dalam pembangunan. Data spasial membantu dalam menentukan pemanfaatan lahan yang optimal, mengurangi konflik pemanfaatan lahan, serta memastikan keseimbangan antara pembangunan dan kelestarian lingkungan. Beberapa penerapan data spasial dalam perencanaan tata ruang meliputi:

- **Identifikasi Zona Pemanfaatan Lahan:** Menentukan zona permukiman, industri, pertanian, dan kawasan hijau agar tata kota lebih tertata.
- **Analisis Kesesuaian Lahan:** Menggunakan data spasial untuk menilai kelayakan suatu wilayah untuk pembangunan berdasarkan faktor topografi, hidrologi, dan lingkungan.
- **Pemantauan Perubahan Tata Guna Lahan:** Melalui citra satelit, perubahan penggunaan lahan dapat dipantau untuk mencegah konversi lahan yang tidak sesuai dengan rencana tata ruang.

Pengembangan Infrastruktur

Data spasial sangat penting dalam perencanaan dan pembangunan infrastruktur karena membantu dalam menentukan lokasi yang optimal dan mengurangi risiko kesalahan konstruksi. Implementasi data spasial dalam pengembangan infrastruktur meliputi:

- **Perencanaan Jaringan Transportasi:** Data spasial digunakan untuk menganalisis lalu lintas, kepadatan jalan, serta perencanaan jalan tol, rel kereta api, dan transportasi umum.
- **Pembangunan Jaringan Utilitas:** Penentuan lokasi jaringan listrik, air bersih, dan sistem drainase dapat dioptimalkan dengan data spasial.
- **Pemeliharaan Infrastruktur:** Sistem berbasis data spasial

BAB XIII

TANTANGAN DAN KETERBATASAN PENGINDRAAN JAUH

A. Tantangan dalam akuisisi data citra satelit

Penginderaan jauh, juga dikenal sebagai pengindraan jarak jauh atau indraja, adalah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang suatu objek, daerah, atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh dengan suatu alat tanpa kontak langsung dengan objek tersebut melalui sebuah wahana seperti pesawat udara dan satelit.

Penginderaan jauh memiliki berbagai aplikasi di berbagai bidang, seperti dalam pengelolaan lingkungan, sumber daya alam (SDA), manajemen bencana, hingga bidang kebudayaan. Pengumpulan data melibatkan sumber energi, rambatan energi melalui atmosfer, interaksi energi dengan penampakan di permukaan bumi, dan pengindra wahana pesawat terbang/satelit.

LAPAN (Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional) merupakan salah satu institusi yang berkontribusi dalam dunia penginderaan jauh di Indonesia. Secara umum, peran LAPAN dalam mengelola data penginderaan jauh di Indonesia adalah berkontribusi dalam pemantauan sumber daya alam, pemantauan kebencanaan, serta pemantauan berbagai sektor strategis lainnya.

Namun, dalam proses akuisisi data citra satelit terdapat beberapa tantangan yang perlu diperhatikan, antara lain:

- **Kondisi Cuaca dan Atmosfer**

Citra satelit yang menggunakan sensor optik sangat bergantung pada kondisi cuaca. Awan, kabut, dan polusi udara dapat menghambat perolehan data yang jelas dan akurat. Oleh karena itu, pengambilan data sering kali harus menunggu kondisi cuaca yang ideal.

- **Keterbatasan Waktu Revisit**

Satelit memiliki jalur orbit tertentu dan tidak selalu berada di atas area yang ingin diamati setiap saat. Hal ini menyebabkan adanya jeda waktu antara satu perekaman dengan perekaman berikutnya (waktu revisit). Jika terjadi perubahan cepat di suatu wilayah, keterlambatan dalam akuisisi data dapat mengurangi efektivitas pemantauan.

- **Gangguan Teknis dan Operasional**

Dalam pengoperasiannya, satelit dapat mengalami gangguan teknis seperti kegagalan sensor, ketidakstabilan orbit, atau gangguan komunikasi dengan stasiun bumi. Hal ini dapat menyebabkan keterlambatan atau bahkan kehilangan data yang diperlukan.

- **Kompleksitas Pengolahan Data**

Data yang diperoleh dari penginderaan jauh memerlukan proses pengolahan yang kompleks, seperti koreksi geometrik, radiometrik, dan klasifikasi citra. Dibutuhkan keahlian dan perangkat lunak khusus untuk memastikan hasil yang akurat dan dapat diinterpretasikan dengan baik.

B. Keterbatasan resolusi dan biaya

Selain tantangan dalam akuisisi data, penginderaan jauh juga memiliki keterbatasan terkait dengan resolusi citra dan biaya pengoperasian. Berikut adalah beberapa aspek yang perlu diperhatikan:

Resolusi Spasial

Resolusi spasial menentukan tingkat ketajaman detail suatu citra. Satelit dengan resolusi tinggi mampu menangkap objek kecil dengan jelas, tetapi data ini sering kali lebih mahal dan terbatas ketersediaannya. Sementara itu, satelit dengan resolusi rendah memiliki cakupan area lebih luas tetapi detailnya kurang tajam. Keterbatasan ini sering kali menjadi hambatan dalam analisis yang membutuhkan akurasi tinggi, seperti pemetaan perkotaan atau pengelolaan pertanian presisi.

Resolusi Spektral

Resolusi spektral mengacu pada jumlah dan lebar pita spektral yang dapat direkam oleh sensor satelit. Sensor dengan resolusi spektral tinggi dapat membedakan berbagai jenis objek di permukaan bumi, tetapi data yang dihasilkan lebih kompleks dan membutuhkan kapasitas penyimpanan yang besar, serta memerlukan perangkat

lunak pengolahan data yang canggih.

Resolusi Temporal

Resolusi temporal merujuk pada frekuensi pengambilan data pada lokasi yang sama dalam rentang waktu tertentu. Jika resolusi temporal rendah, pemantauan perubahan jangka pendek menjadi sulit. Untuk kebutuhan pemantauan bencana atau pergerakan lahan, resolusi temporal yang tinggi sangat diperlukan. Namun, akses ke data dengan resolusi temporal tinggi sering kali memerlukan biaya tambahan yang cukup besar.

Biaya Penginderaan Jauh

Pengoperasian satelit penginderaan jauh membutuhkan investasi besar, baik dalam pembangunan, peluncuran, maupun pemeliharaan satelit. Selain itu, pengadaan data satelit beresolusi tinggi juga memerlukan biaya yang tidak sedikit. Harga yang tinggi ini menjadi kendala bagi negara berkembang atau lembaga dengan anggaran terbatas. Selain itu, keterbatasan dana dapat membatasi kemampuan untuk mengakses citra satelit terbaru yang lebih akurat dan detail.

Ketersediaan dan Aksesibilitas Data

Tidak semua data penginderaan jauh tersedia secara gratis. Beberapa data dengan resolusi tinggi hanya dapat diakses melalui pembelian atau kerja sama dengan penyedia layanan satelit. Keterbatasan ini dapat menghambat penelitian, perencanaan pembangunan, serta pemantauan lingkungan yang lebih luas.

C. Etika dan regulasi dalam pemanfaatan penginderaan jauh

Penggunaan teknologi penginderaan jauh juga harus mempertimbangkan aspek etika dan regulasi untuk memastikan data digunakan dengan cara yang bertanggung jawab. Beberapa hal yang perlu diperhatikan meliputi:

Privasi dan Keamanan

Dengan kemampuan penginderaan jauh yang semakin canggih, terdapat kekhawatiran terkait privasi individu dan keamanan nasional. Data dengan resolusi sangat tinggi dapat digunakan untuk mengidentifikasi objek atau individu secara detail, sehingga perlu adanya regulasi untuk menghindari penyalahgunaan.

Hak Kepemilikan Data

Data penginderaan jauh dapat dimiliki oleh pemerintah, perusahaan swasta, atau organisasi internasional. Hak kepemilikan data harus diatur dengan jelas untuk

mencegah konflik dalam distribusi dan penggunaan informasi.

Penggunaan untuk Tujuan Militer

Beberapa negara menggunakan teknologi penginderaan jauh untuk kepentingan militer, termasuk pemantauan wilayah dan pengintaian strategis. Hal ini dapat menimbulkan ketegangan geopolitik, sehingga regulasi internasional diperlukan untuk mencegah konflik.

Akses dan Ketersediaan Data

Di Indonesia sendiri, perlu adanya ketersediaan data yang memadai dan open source agar implementasinya lebih efektif dan efisien. Tentunya, ke depan teknologi penginderaan jauh harus lebih aplikatif serta penggunaannya harus merata tidak terbatas pada peneliti dan akademisi, tetapi juga masyarakat umum.

Penerapan Hukum Internasional

Penggunaan penginderaan jauh melibatkan banyak negara, sehingga diperlukan peraturan internasional yang mengatur penggunaannya secara adil dan etis. Organisasi seperti Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) telah menetapkan beberapa pedoman dalam pemanfaatan teknologi ini untuk kepentingan global.

D. Soal dan Latihan

1. Jelaskan peran LAPAN dalam pengelolaan data penginderaan jauh di Indonesia serta bagaimana kontribusinya terhadap berbagai sektor strategis!
2. Sebutkan dan jelaskan empat tantangan utama dalam proses akuisisi data citra satelit dalam penginderaan jauh!
3. Bagaimana keterbatasan resolusi spasial, spektral, dan temporal dapat memengaruhi kualitas data penginderaan jauh? Berikan contoh penerapannya dalam kehidupan nyata!

BAB XIV

MASA DEPAN PENGINDRAAN JAUH DAN INOVASI TEKNOLOGI

A. Perkembangan kecerdasan buatan dalam analisis citra

Perkembangan kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI) telah membawa perubahan signifikan dalam analisis citra penginderaan jauh. Teknik pembelajaran mesin (machine learning) dan pembelajaran mendalam (deep learning) kini digunakan untuk meningkatkan akurasi klasifikasi citra, segmentasi objek, serta deteksi perubahan di berbagai bidang, seperti pertanian, kehutanan, dan pemantauan lingkungan. Model AI yang semakin canggih mampu mengolah data dalam jumlah besar dengan efisiensi tinggi, mengurangi ketergantungan pada interpretasi manual, serta meningkatkan kecepatan dan akurasi analisis. Di masa depan, penginderaan jauh akan semakin canggih dan terintegrasi dengan AI, membantu manusia memahami planet Bumi dan menjaga keberlanjutannya.

B. Teknologi sensor dan wahana masa depan

Pengembangan sensor dan wahana penginderaan jauh terus mengalami kemajuan pesat. Teknologi sensor hiperspektral, LiDAR, dan radar apertur sintetis (SAR) semakin ditingkatkan untuk memperoleh data dengan resolusi lebih tinggi dan cakupan yang lebih luas. Selain itu, wahana penginderaan jauh seperti satelit mini, drone, dan pesawat nirawak (UAV) semakin banyak digunakan untuk pengumpulan data secara fleksibel dan efisien. Tren masa depan juga mencakup integrasi sensor pada berbagai platform, termasuk konstelasi satelit kecil yang memungkinkan pemantauan bumi secara real-time dengan biaya yang lebih rendah.

Teknologi penginderaan jauh masa depan meliputi:

- Sensor yang lebih canggih untuk pengukuran yang lebih akurat
- Penginderaan jauh pada skala yang lebih luas dan detail
- Integrasi dengan AI untuk meningkatkan kemampuan analisis dan pengambilan keputusan
- Teknologi LiDAR untuk mengukur jarak dan pergerakan lingkungan secara real-

time

C. Prospek dan peluang di bidang penginderaan jauh

Dengan kemajuan teknologi, prospek di bidang penginderaan jauh semakin luas. Penggunaan data penginderaan jauh dalam berbagai sektor, seperti mitigasi bencana, perencanaan tata ruang, pemantauan perubahan iklim, serta eksplorasi sumber daya alam, terus berkembang. Selain itu, peluang karier di bidang ini juga semakin meningkat, terutama dalam analisis data berbasis AI, pengembangan perangkat lunak pemrosesan citra, dan operasional sistem wahana penginderaan jauh. Kolaborasi antara pemerintah, akademisi, dan sektor industri menjadi kunci utama dalam memaksimalkan potensi teknologi penginderaan jauh untuk masa depan.

Manfaat Penginderaan Jauh

- Mitigasi bencana, seperti tanah longsor, banjir, tsunami, dan aliran lahar
- Pemantauan sektor ekonomi, seperti memetakan Zona Potensi Penangkapan Ikan (ZPPI)
- Pemantauan perkebunan, seperti mengidentifikasi masalah potensial seperti deforestasi atau pencemaran air
- Pemantauan batas-batas fungsi kawasan hutan
- Klasifikasi lahan pertanian
- Analisis hitung jumlah
- Observasi pada lahan yang luas, petak tanaman, hingga tiap individu tanaman

Aplikasi Penginderaan Jauh

- Pertanian dan Perkebunan
- Kehutanan
- Penataan ruang
- Penelitian dan pelatihan
- Pemetaan wilayah
- Pemantauan lingkungan

D. Soal dan Lathian

1. Jelaskan bagaimana peran kecerdasan buatan (AI) dalam meningkatkan analisis citra penginderaan jauh dan bagaimana teknologi ini dapat membantu dalam pemantauan lingkungan?
2. Deskripsikan perkembangan teknologi sensor dan wahana penginderaan jauh di masa depan. Bagaimana inovasi ini dapat meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam pemantauan bumi?
3. Sebutkan dan jelaskan manfaat serta aplikasi penginderaan jauh dalam berbagai sektor, seperti mitigasi bencana, pertanian, dan pemetaan wilayah. Berikan contoh implementasi nyata dalam kehidupan sehari-hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, R. F., & Lestari, D. P. (2021). Pemanfaatan citra satelit Sentinel-2 untuk pemetaan lahan pertanian di Kabupaten Karawang. *Jurnal Geomatika*, 27(1), 45–54.
- Andriani, D., & Setiawan, M. A. (2023). Pengolahan citra satelit Sentinel-2 untuk deteksi illegal logging di Kalimantan Barat. *Jurnal Ilmu Lingkungan Tropis*, 4(2), 101–110.
- Astuti, E., & Rahayu, D. (2019). Pemetaan potensi bencana longsor menggunakan data DEM dan curah hujan di daerah aliran sungai Ciliwung. *Jurnal Bumi Indonesia*, 7(2), 34–42.
- Badan Informasi Geospasial. (2021). Peta Rupa Bumi Indonesia. <https://tanahair.indonesia.go.id>
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2020). Atlas Curah Hujan Indonesia. <https://www.bmkg.go.id>
- BNPB. (2021). Peta Risiko Bencana Indonesia. Badan Nasional Penanggulangan Bencana. <https://www.bnpb.go.id>
- BPS. (2021). Statistik Lingkungan Hidup Indonesia 2021. Badan Pusat Statistik. <https://www.bps.go.id>
- Departemen Geografi UGM. (2020). Buku Panduan Praktikum Penginderaan Jauh. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Fahmi, F., & Suprayogi, D. (2018). Pemetaan perubahan garis pantai menggunakan citra Landsat tahun 2000–2017 di Kabupaten Subang. *Majalah Ilmiah Globe*, 20(2), 145–153.
- Hanif, N., & Yuniarti, R. (2020). Penggunaan NDWI untuk deteksi dan monitoring wilayah genangan air menggunakan citra Landsat. *Jurnal Hidrologi Tropis*, 3(1), 45–54.
- Heriyanto, N., & Widodo, C. (2021). Deteksi perubahan tutupan lahan menggunakan citra satelit Sentinel-2 dan metode NDVI di kawasan konservasi Taman Nasional Meru Betiri. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 13(2), 89–98. <https://doi.org/10.20886/jstl.2021.13.2.89-98>
- Hidayat, R., & Iskandar, S. (2022). Peran drone dalam pemetaan topografi dan penggunaan lahan: Studi kasus di Kabupaten Garut. *Jurnal Rekayasa Geomatika*, 8(3), 45–54.
- Kusuma, A. H., & Santosa, P. B. (2020). Penerapan metode klasifikasi supervised untuk analisis penggunaan lahan menggunakan citra satelit Landsat. *Jurnal Geodesi Undip*, 9(1), 22–29.
- LAPAN. (2019). Modul Pelatihan Teknologi Penginderaan Jauh untuk Pemantauan Bencana. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional.

- Nugroho, R. A., & Maulana, M. I. (2020). Analisis kerapatan vegetasi dengan indeks NDVI pada kawasan pertanian hortikultura di Bandung Barat. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografi*, 1(1), 23–31.
- Nugroho, Y., & Lestari, H. P. (2022). Analisis spasial perubahan tutupan lahan di DAS Citarum Hulu menggunakan citra satelit multi-temporal. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(1), 43–54.
- Purnama, S. W., & Arifin, M. (2019). Penggunaan NDVI dalam pengamatan degradasi vegetasi di DAS Brantas. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 21(2), 102–109.
- Putra, I. G. N. A., & Sugiarto, M. S. (2017). Identifikasi daerah rawan banjir menggunakan citra Landsat 8 dan data curah hujan di Kabupaten Buleleng. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 21(1), 33–42.
- Rizki, D. A., & Hidayat, A. (2019). Aplikasi penginderaan jauh untuk pemantauan perubahan tutupan lahan di wilayah urban. *Jurnal Teknik ITS*, 8(2), A47–A52.
- Saputra, W., & Yuliana, E. (2021). Identifikasi perubahan lahan sawah menjadi lahan terbangun menggunakan citra Landsat di Kabupaten Sleman. *Jurnal Pembangunan Wilayah & Kota*, 17(1), 73–80.
- Setiawan, R. Y., & Wijaya, H. (2020). Estimasi ketinggian vegetasi menggunakan teknologi LiDAR. *Jurnal Geomatika*, 26(2), 118–126.
- Sopian, A., & Nugraha, R. (2022). Analisis citra satelit dan klasifikasi tutupan lahan di DAS Citarum menggunakan metode supervised classification. *Jurnal Hidrologi dan Lingkungan*, 4(2), 23–32.
- Sumaryono, A., & Harinto, D. (2019). Analisis perubahan penggunaan lahan di Kota Semarang dengan citra Landsat 1990–2018. *Jurnal Geografi Gea*, 19(1), 66–75.
- Susilowati, R., & Bahri, S. (2021). Aplikasi teknologi remote sensing untuk deteksi perubahan suhu permukaan lahan (LST) di wilayah urban. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 22(1), 56–63.
- Wulandari, S., & Prasetyo, E. (2018). Pemetaan wilayah kekeringan menggunakan data MODIS dan indeks SPI di Jawa Timur. *Jurnal Agroklimat*, 12(1), 63–71.
- Iskandar, T., & Purnomo, H. (2021). Pemanfaatan citra drone untuk pemetaan kawasan pesisir Kabupaten Pesisir Selatan. *Jurnal Ilmu Kelautan Tropis*, 12(3), 76–84.