

Ilmu penginderaan jauh (remote sensing) memiliki peran yang sangat penting di berbagai bidang karena kemampuannya untuk mengumpulkan dan menganalisis informasi dari jarak jauh tanpa kontak langsung dengan objek atau wilayah yang sedang dipelajari. Penginderaan jauh memungkinkan pengumpulan data dalam skala besar dari wilayah yang luas dalam waktu yang singkat. Dengan satelit dan sensor penginderaan jauh, kita bisa memantau seluruh permukaan bumi secara real-time atau berkala, yang tidak mungkin dilakukan dengan pengamatan langsung di lapangan. Penginderaan jauh berperan penting dalam berbagai bidang seperti geografi, pertanian, kebencanaan, pertanahan dan tata ruang dan sebagainya. Meliputi kegiatan pemetaan, mitigasi bencana, pemantauan perubahan iklim secara global, perubahan penggunaan lahan, urban planning dan masih banyak lagi hal-hal yang dapat dianalisis dengan memanfaatkan ilmu penginderaan jauh. Buku ini menjelaskan konsep dasar disertai aplikasi penerapannya di bidang pertanahan dan tata ruang.



STPN Press
Jl. Tata Bumi No.5
Banyuraden, Sleman, Yogyakarta



PENGINDERAAN JAUH: TEORI DAN APLIKASINYA | HARVINI W. & WESTI U.

PENGINDERAAN JAUH TEORI DAN APLIKASINYA

HARVINI WULANSARI
WESTI UTAMI

PENGINDERAAN JAUH: TEORI DAN APLIKASINYA

Disusun Oleh:

Harvini Wulansari

Westi Utami

STPN PRESS

Pasal 113 UU Nomor 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

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 Rp100.000.000 (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 Rp500.000.000,00 (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 Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

PENGINDERAAN JAUH: TEORI DAN APLIKASINYA

Diterbitkan pertama kali dalam bahasa Indonesia
oleh STPN Press, Oktober 2024.

Anggota IKAPI (No.127/Anggota Luar Biasa/DIY/2020)

Gedung Administrasi Akademik LT II

Jl. Tata Bumi No. 5 Banyuraden, Gamping, Sleman, Yogyakarta,
55293

Tlp. (0274) 587239, ext: 351

Faks: (0274) 587138

e-mail: stpn_press@stpn.ac.id

website: stpnpress.com

Penulis: Harvini Wulansari & Westi Utami

Layout: Oktaviani Sri Wulansari

Desain Cover: Rama Bagus Indrawan

Editor: Tim Prodi STPN

PENGINDERAAN JAUH: TEORI DAN APLIKASINYA

STPN Press, 2024

vi + 71 hlm.: 15 x 23 cm

ISBN: 978-602-7894-74-7

PENGANTAR KETUA SEKOLAH TINGGI PERTANAHAN NASIONAL

Sejak tahun 2021 ini Sekolah Tinggi Pertanian Nasional mencanangkan sebagai Tahun Menulis. Hal ini dilakukan karena secara kuantitas dan kualitas, karya publikasi sivitas akademika STPN, utamanya para dosen belum sesuai dengan harapan. Padahal salah satu tujuan yang ditetapkan dalam Rencana Strategis STPN 2020 – 2024 adalah menjadi *centered of excellence* di bidang pertanian. Untuk mewujudkan hal tersebut maka segenap unsur STPN, utamanya para dosen harus bersama-sama meningkatkan kuantitas dan kualitas karya publikasinya.

Dalam konteks ini, secara kelembagaan STPN memfasilitasi semua upaya dan agenda untuk meningkatkan produktivitas dosen dalam menulis dan mempublikasikan karya tulisnya, salah satunya dalam bentuk penulisan buku ajar. Alhamdulillah, tahun ini berhasil diterbitkan 6 judul buku ajar Prodi DIV Pertanian bekerjasama dengan STPN Press.

Oleh karena itu, dalam kesempatan ini saya sampaikan selamat dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para penulis, editor dan STPN Press yang sudah berkontribusi dalam penerbitan buku ajar ini. Dalam kesempatan ini pula saya sampaikan bahwa secara kelembagaan STPN juga memfasilitasi kegiatan penelitian, tulis-menulis dan publikasi hasil penelitian dosen. Semoga Tuhan Yang Maha Esa meridhoi upaya kita bersama dalam mewujudkan *centered of excellence* STPN di bidang Pertanian.

Yogyakarta, Oktober 2024

Ketua Sekolah Tinggi Pertanian Nasional

Dr. Agustyarsyah, S.SiT., S.H., M.P

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kita panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga buku ajar ini, yang berjudul "**Penginderaan Jauh: Teori dan Aplikasinya**", dapat disusun dan diselesaikan dengan baik.

Buku ajar ini disusun sebagai panduan untuk mahasiswa yang ingin memahami dasar-dasar serta aplikasi penginderaan jauh. Di dalamnya, kami berusaha untuk menyajikan materi secara sistematis dan komprehensif, mulai dari konsep dasar, teknologi yang digunakan, hingga berbagai aplikasi penginderaan jauh dalam berbagai bidang seperti geografi, pertanian, kebencanaan, pertanahan dan tata ruang.

Kami menyadari bahwa perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya dalam bidang penginderaan jauh, sangat dinamis. Oleh karena itu, kami juga menyertakan perkembangan terkini dan contoh-contoh nyata untuk memberikan wawasan yang lebih luas kepada pembaca.

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam penyusunan buku ajar ini. Kami berharap, buku ajar ini dapat memberikan manfaat siapa pun yang ingin memperdalam pengetahuan di bidang penginderaan jauh.

Kami menyadari bahwa buku ajar ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang konstruktif dari pembaca sangat kami harapkan untuk penyempurnaan buku ajar ini di masa mendatang.

Yogyakarta, Oktober 2024

Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR KETUA SEKOLAH TINGGI PERTANAHAN NASIONAL.....	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Deskripsi Mata Kuliah	1
1.2 Rencana Pembelajaran Semester	1
1.3 Petunjuk Penggunaan Buku bagi Mahasiswa dan Dosen	3
BAB II KONSEP DASAR PENGINDERAAN JAUH	5
2.1 Pengertian Penginderaan Jauh	5
2.2 Sejarah Penginderaan Jauh	6
2.3 Komponen Penginderaan Jauh	7
2.4 Spektrum dan panjang gelombang	11
2.5 Cara penyimpanan data digital.....	12
2.6 Konsep resolusi citra penginderaan jauh	15
BAB III JENIS CITRA PENGINDERAAN JAUH.....	18
3.1 Foto Udara	18
3.2 Citra Satelit.....	22
3.3 Sistem Satelit Penginderaan Jauh Dan Karakteristiknya.....	23
BAB IV UNSUR DAN TEKNIS INTERPRETASI CITRA.....	34
4.1 Unsur Interpretasi Citra	34
4.2 Teknik Interpretasi Citra.....	37
4.3 Ketelitian Hasil Interpretasi	38
4.4 Metode Uji Akurasi.....	38
4.5 Pelaksanaan Pengujian Akurasi	40
BAB V PENGOLAHAN CITRA PENGINDERAAN JAUH	41
5.1 Klasifikasi <i>Supervised</i>	41
5.2 Klasifikasi <i>Unsupervised</i>	49
BAB VI APLIKASI CITRA PENGINDERAAN JAUH PADA BIDANG PERTANAHAN DAN TATA RUANG	52
6.1 Peranan Citra Penginderaan Jauh	52
6.2 Terapan Penginderaan Jauh Untuk Pertanahan	52
DAFTAR PUSTAKA	69

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Rencana Pembelajaran Semester (RPS) Mata Kuliah Penginderaan Jauh	2
Tabel 2. Karakteristik Quickbird	24
Tabel 3. Karakteristik sensor ASTER pada Satelit Terra	29
Tabel 4. Spesifikasi satelit Pleiades.....	31
Tabel 5. Sistem Klasifikasi penutup/penggunaan lahan menurut USGS, dengan dua versi : NOAA (2006, kiri) dan Anderson et al (1976, kanan)	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Konsep dasar penginderaan jauh. (Sumber : Purwadhi 2001)	8
Gambar 2.	Spektrum elektromagnetik. (Sumber : Purwadhi 2001).....	11
Gambar 3.	Pola respon spektral objek	12
Gambar 4.	Foto Udara.....	20
Gambar 5.	Citra Foto Tegak. (Sumber : bloggeografi.id).....	22
Gambar 6.	Citra Foto Condong. (Sumber : bloggeografi.id).....	22
Gambar 7.	Citra Foto Sangat Condong. (Sumber : bloggeografi.id).....	23
Gambar 8.	Contoh Error Matrix	41
Gambar 9.	Diagram alir proses klasifikasi terselia.(Sumber : modifikasi dari Gao, 2010 dalam Danoedoro, 2012	44
Gambar 10.	Keterkaitan antara Tutupan lahan dan Penggunaan Lahan ...	46
Gambar 11.	Algoritma Jarak Minimum Terhadap Rerata (Minimum distance to mean Algorithm). (Sumber : Danoedoro, P 2012)	48
Gambar 12.	Algoritma Parallelepiped. (Sumber : Danoedoro, P 2012).	49
Gambar 13.	Fungsi kerapatan probabilitas algoritma Maximum likelihood. (Sumber: modifikasi dari Lillesand et.al 2008 dalam Danoedoro 2012).....	50
Gambar 14.	Tampilan Peta Penggunaan Lahan hasil defuzzifikasi menggunakan metode Maximum Likelihood. (Sumber: Wulansari, H 2017)	54
Gambar 15.	Tampilan peta sebaran lahan sawah eksisting dengan cara digitasi on screen. (Sumber : Anisa Putri, B 2024)	56
Gambar 16.	Tampilan Peta Penggunaan Tanah Kelurahan Warungboto Tahun 2017. (Sumber : Gungwilasa, FT 2024).....	57
Gambar 17.	Tampilan Peta Penggunaan Tanah Kelurahan Warungboto Tahun 2023. (Sumber : Gungwilasa, FT 2024).....	57
Gambar 18.	Tampilan Peta Penggunaan lahan Sebagian Provinsi Palu Bulan April 2018. (Sumber: Utami, dkk 2019)	60
Gambar 19.	Tampilan Peta Penggunaan lahan Sebagian Provinsi Palu Bulan November 2018. (Sumber: Utami, dkk 2019).....	61
Gambar 20.	Tampilan Peta Penggunaan lahan Sebagian Provinsi Palu Bulan Maret 2019. (Sumber: Utami, dkk 2019)	61
Gambar 21a.	Contoh penggunaan tanah sesuai arahan HGU. (Sumber: Utami, dkk 2019)	63
Gambar 21b.	Contoh penggunaan tanah berupa permukiman sesuai arahan HGU. (Sumber: Utami, dkk 2019)	63

Gambar 22. Tampilan Peta Pola Ruang Pada Kawasan Rawan Bencana Tsunami. (Sumber: Utami 2019)	63
Gambar 23. Tampilan Peta Kerawanan Bencana Kebakaran Hutan dan Lahan. (Sumber: Utami, dkk 2017).....	64
Gambar 24. Visualisasi HPL Transmigrasi yang Tumpang Tindih dengan Pemukiman. (Sumber: Suhattanto, dkk 2024)	65
Gambar 25. Visualisasi Tumpang Tindih Lahan HGU dengan Kawasan Transmigrasi. (Sumber: Suhattanto, dkk 2024)	66
Gambar 26. Hasil Klasifikasi Penggunaan Tanah menggunakan data citra satelit berbeda waktu. (Sumber: Suprojo, B 2024)	67
Gambar 27. Perubahan dan Prediksi Lahan Pertanian menjadi Lahan Terbangun menggunakan Cellular Automata-Artificial Neural Network (CA-ANN). (Sumber: Suprojo, B (2024).....	68
Gambar 28. Hasil Klasifikasi Penggunaan Tanah menggunakan data citra satelit berbeda waktu. (Sumber: Suprojo, B 2024)	68
Gambar 29. Perubahan dan Prediksi Lahan Pertanian menjadi Lahan Terbangun menggunakan Cellular Automata-Artificial Neural Network (CA-ANN). (Sumber : Suprojo, B (2024)	69

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Deskripsi Mata Kuliah

Mata kuliah Penginderaan Jauh merupakan salah satu mata kuliah wajib pada Program Studi Diploma IV Pertanahan pada Sekolah Tinggi Pertanahan Nasional (STPN) Yogyakarta. Penginderaan jauh (*Remote Sensing*) adalah salah satu mata kuliah yang mempelajari teknik dan metode pengumpulan informasi tentang permukaan bumi tanpa melakukan kontak fisik secara langsung. Mata kuliah ini mengajarkan bagaimana memanfaatkan data citra satelit atau data dari sensor lainnya untuk menganalisis berbagai fenomena alam dan lingkungan.

Tujuan mata kuliah Penginderaan Jauh yaitu memberikan pemahaman dasar dan teknik dalam penginderaan jauh, mengembangkan kemampuan analisis dan interpretasi data citra satelit, memperkenalkan aplikasi penginderaan jauh dalam berbagai bidang ilmu seperti geografi, lingkungan, pertanian, perencanaan kota, manajemen bencana, pertanahan dan tata ruang. Pembahasan dalam buku ajar ini meliputi :

- a. Konsep dasar penginderaan jauh
- b. Jenis citra penginderaan jauh
- c. Unsur dan teknis interpretasi citra
- d. Pengolahan citra penginderaan jauh
- e. Aplikasi citra penginderaan jauh pada bidang pertanahan dan tata ruang

1.2 Rencana Pembelajaran Semester

Rencana Pembelajaran Semester (RPS) ini disusun berdasarkan kurikulum yang diberlakukan di Program Studi DIV Pertanahan STPN Yogyakarta. RPS berisikan rencana materi pokok yang diajarkan dalam 1 semester, yang terbagi menjadi 7 (tujuh) kali tatap muka sebelum Ujian Tengah Semester (UTS) dan 7 (tujuh) kali tatap muka sesudah UTS. RPS mata kuliah Penginderaan Jauh dapat dilihat pada tabel 1.1.

Tabel 1.1 Rencana Pembelajaran Semester (RPS) Mata Kuliah
Penginderaan Jauh

TM Ke - /CPMK	Sub-Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (Sub-CPMK)	Bahan Kajian / Pokok Bahasan
1-4 (CPMK- 1)	Mampu mengenal konsep dasar penginderaan jauh (Sub-1)	Materi : 1. Pengertian Penginderaan Jauh 2. Sejarah Penginderaan Jauh 3. Komponen Penginderaan Jauh 4. Spektrum dan panjang gelombang 5. Cara penyimpanan data digital 6. Konsep resolusi citra penginderaan jauh
5-7 (CPMK- 2)	Mampu mengenal citra penginderaan jauh (Sub-2)	Materi : 1. Jenis-jenis citra penginderaan jauh : Foto Udara, Citra Satelit 2. Karakteristik citra 3. Macam-macam Citra Satelit 4. Resolusi Spasial Tinggi, Menengah dan Rendah
8-9 (CPMK- 3)	Mampu menginterpretasi citra (Sub-3)	Materi : 1. Unsur-unsur interpretasi 2. Teknik Interpretasi 3. Ketelitian hasil interpretasi
10 – 12 (CPMK- 4)	Mampu mengolah citra satelit penginderaan jauh secara digital (Sub-4)	Materi : 1. Klasifikasi digital <i>unsupervised</i> 2. Klasifikasi digital <i>supervised</i>

TM Ke - /CPMK	Sub-Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (Sub-CPMK)	Bahan Kajian / Pokok Bahasan
		3. Matriks kesalahan atau <i>confusion matrix/error matrix</i>
13-14 (CPMK- 4)	Mampu mengaplikasikan citra penginderaan jauh di bidang pertanahan (Sub-5)	Materi : 1. Perumusan masalah dan tujuan 2. Pemilihan cara kerja, menyiapkan data acuan, klasifikasi, dan data Penginderaan jauh 3. Terapan untuk: inventarisasi penggunaan lahan, perubahan penggunaan lahan, perencanaan penggunaan tanah, produksi tanaman dan sebagainya

Sumber : RPS Program Studi Diploma IV STPN

1.3 Petunjuk Penggunaan Buku bagi Mahasiswa dan Dosen

Buku ajar ini merupakan buku pegangan bagi mahasiswa yang mengikuti mata kuliah Penginderaan Jauh. Untuk mempermudah dalam mempelajari buku ajar ini, ada beberapa hal yang harus dilakukan oleh mahasiswa, yaitu :

- Memahami tujuan dan struktur buku, dimulai dengan membaca bagian pendahuluan untuk memahami tujuan penulisan buku serta garis besar isi yang akan dipelajari;
- Memahami struktur buku, dengan cara memperhatikan bagaimana bab-bab dalam buku disusun, apakah berdasarkan topik, tema, atau urutan logis lainnya. Ini akan membantu kamu mengikuti alur pembelajaran dengan lebih baik;
- Menggunakan buku secara efektif, dengan cara membaca setiap bab secara runtut. Jika menemukan materi yang sulit dipahami, jangan ragu untuk meninjaunya kembali atau mencari referensi tambahan dan bertanya pada dosen ;

- d. Menandai konsep penting setiap bab untuk memperkuat pemahaman terhadap materi yang diajarkan;
- e. Menggunakan referensi tambahan yang bisa digunakan untuk memperdalam pemahaman, dapat memperhatikan sumber-sumber referensi yang dicantumkan di bagian daftar pustaka.

Sedangkan bagi dosen, dapat memperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- a. Melaksanakan perencanaan pengajaran dengan buku ajar, dengan memahami alur dan struktur buku ajar;
- b. Melaksanakan rencana pembelajaran sesuai RPS yang ada dan mencermati Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK) Penginderaan Jauh sebagai target yang harus dipenuhi untuk mahasiswa;
- c. Menyampaikan materi secara sekuensial berdasarkan buku ajar ini ditambah referensi lain yang relevan;
- d. Melakukan evaluasi pada setiap pertemuan berdasarkan materi yang disampaikan, memberikan ruang diskusi, kuis atau tugas lain sebagai media evaluasi sekaligus untuk mendapatkan umpan balik dari mahasiswa;
- e. Memberikan tugas kepada mahasiswa, baik mandiri maupun kelompok secara terstruktur guna mewujudkan capaian pembelajaran mata kuliah yang sudah ditetapkan; dan
- f. Menyempurnakan materi buku ajar ini berdasarkan evaluasi dan umpan balik dari mahasiswa.

BAB II

KONSEP DASAR PENGINDERAAN JAUH

2.1 Pengertian Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh merupakan ilmu dan seni dalam memperoleh informasi mengenai suatu objek, area, atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh dengan alat tanpa suatu kontak langsung (Lillesand et al 2008). Sementara menurut *American Society of Photogrammetry* penginderaan jauh merupakan pengukuran atau perolehan informasi dari beberapa sifat objek atau fenomena dengan menggunakan alat tertentu untuk menghindari kontak fisik dengan objek atau fenomena yang diteliti. Sedangkan Sistem Informasi Geografi merupakan suatu sistem pada umumnya berbasis komputer yang digunakan untuk menyimpan, mengelola, menganalisis dan mengaktifkan kembali data yang mempunyai referensi keruangan untuk berbagai tujuan yang berkaitan dengan pemetaan dan perencanaan. Teknologi penginderaan jauh dengan Sistem Informasi Geografi pada perkembangannya memiliki keterkaitan yang sangat kuat dalam melakukan analisis dan pengolahan terhadap data-data spasial. Integrasi antara teknologi penginderaan jauh dengan SIG bermanfaat dalam meningkatkan efisiensi perolehan data serta akurasi hasil pemetaan sebagai masukan dalam proses perencanaan dan pengelolaan wilayah.

Keunggulan pemanfaatan teknologi penginderaan jauh dibandingkan dengan pemotretan foto udara diantaranya dari segi harga, periode ulang terhadap perekaman daerah yang sama, pemilihan spektrum panjang gelombang untuk mengatasi hambatan atmosfer, serta kombinasi saluran spectral (*spectral band*) yang dapat diatur sesuai dengan tujuan pengguna (Danoedoro 2012). Lebih lanjut Danoedoro menyampaikan bahwa dengan keberadaan penginderaan jauh dan juga Sistem Informasi Geografi telah berhasil meningkatkan eksistensi geografi terkait permasalahan keruangan, lingkungan, kewilayahan dan juga

bermanfaat terhadap penyediaan data-data keruangan untuk merumuskan berbagai kebijakan.

2.2 Sejarah Penginderaan Jauh

Petunjuk tahapan perkembangan penginderaan jauh (*remote sensing*) dimulai sejak abad ke 19, diawali dengan fotografi bentang alam yang pertama pada tahun 1838, selanjutnya fotografi udara dengan balon pada tahun 1887 dan menggunakan pesawat udara pada tahun 1919. Selanjutnya menggunakan penyiam multispektral dengan menggunakan wahana satelit sumberdaya alam pada tahun 1972, dan pemanfaatan wahana pesawat ulang-alik pada tahun 1980-an (Howard, JA 1991).

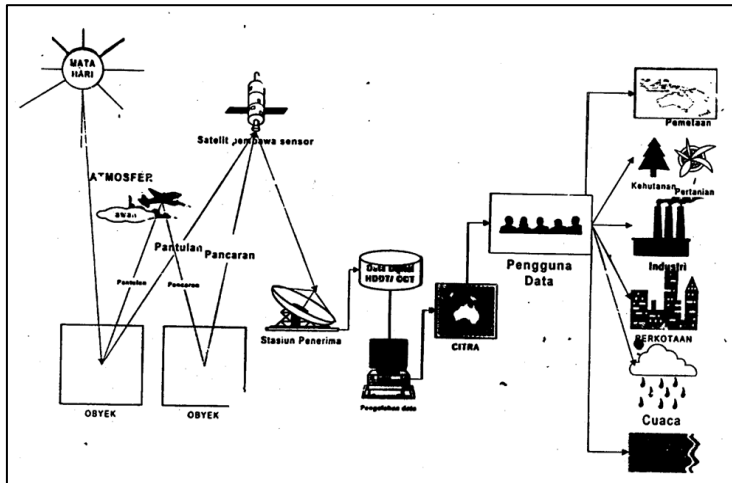
Di Indonesia penggunaan teknologi penginderaan jauh melalui foto udara dilakukan pada awal tahun 1970-an (Danoedoro 1996). Perkembangan penginderaan jauh yang berawal dari hasil pemotretan foto udara selanjutnya berkembang melalui sistem satelit yang pertama kali diluncurkan pada tahun 1972 oleh Amerika Serikat melalui satelit sumberdaya ERTS-1 (*Earth Resources Technology Satellite - 1*). Satelit yang pertama kali diluncurkan ini selanjutnya diberi nama satelit Landsat-1. Keberadaan satelit ini cukup canggih dan sangat efisien karena satelit ini mampu merekam hampir seluruh permukaan bumi dengan beberapa spectra panjang gelombang dan resolusi spasial yang ditawarkan pada satelit yang pertama ini cukup bagus pada saat itu yakni 80 m. Keberadaan data citra secara digital ini menjadi bagian penting untuk berbagai kegiatan analisis permukaan bumi (Purwadi 2001).

Perkembangan satelit setelah 10 tahun kemudian yakni di tahun 1980-an mengalami peningkatan khususnya terkait resolusi spasial yang ditawarkan. Amerika Serikat kembali meluncurkan satelit generasi selanjutnya melalui peluncuran Satelit Landsat-4. Pada satelit ini telah dipasang sensor baru yakni sensor Thematic Mapper dan berhasil merekam permukaan bumi dengan resolusi spasial sebesar 30 meter pada enam saluran spektral pantulan dan resolusi spasial sebesar 120 meter untuk saluran spektral pantulan termal. Semakin maju teknologi dan pengetahuan maka akhir-akhir

ini banyak sekali jenis satelit yang diluncurkan oleh berbagai negara baik negara-negara eropa maupun negara-negara di Asia. Beberapa negara yang mengembangkan satelit penginderaan jauh selain Amerika yakni Prancis, Jepang, Rusia, Republik Rakyat Cina, Kanada, India. Dengan kemajuan teknologi tersebut maka berbagai satelit yang diluncurkan mampu merekam permukaan bumi hingga menghasilkan resolusi spasial kurang lebih 1 m yakni satelit Ikonos, Orb View, QuickBird, World View dan Geo Eye yang dikembangkan oleh perusahaan swasta di Amerika Serikat. Sementara beberapa citra yang dikembangkan dengan resolusi spasial mencapai 10 m atau bahkan kurang dari 10 meter diantaranya adalah citra SPOT yang dikembangkan oleh Prancis, Citra COSMOS sebagai satelit yang dikembangkan Rusia, IRS milik India, dan ALOS merupakan satelit yang dikembangkan oleh Jepang, sementara ASTER merupakan satelit yang dikembangkan melalui proyek kerjasama antara Jepang dengan NASA.

2.3 Komponen Penginderaan Jauh

Proses penginderaan jauh memanfaatkan tenaga elektromagnetik untuk perekaman objek. Tenaga elektromagnetik yang diterima oleh suatu objek dipermukaan bumi akan dipantulkan, diserap dan diteruskan. Tenaga pantulan dari objek inilah yang akan diterima oleh sensor. Selain sebagai penerima data, sensor juga berfungsi sebagai perekam data. Data penginderaan jauh berupa citra kemudian dilakukan interpretasi dan dianalisis agar diperoleh informasi yang dibutuhkan oleh pengguna diberbagai bidang misal : pemetaan, industri, kehutanan, pertanian, perkotaan dan sebagainya. Konsep dasar sistem penginderaan jauh dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 2.1 Konsep dasar penginderaan jauh.

Sumber : Purwadhi 2001

Komponen Penginderaan Jauh terdiri dari :

1) Sumber tenaga/energi

Dibagi dua :

- Sistem pasif : alamiah, berasal dari matahari
- Sistem aktif : buatan, berasal dari sensornya sendiri contoh : sensor radar, sensor lidar

Sumber energi yang diterima oleh sensor adalah sumber yang dipantulkan oleh objek.

$$E = E_r + E_t + E_a$$

E = Energi elektromagnetik

E_r = Energi yang direfleksikan/dipantulkan

E_t = Energi yang disebarkan/ditransmisikan

E_a = Energi yang diabsorpsikan/diserap

Tidak semua tenaga matahari dimanfaatkan dalam perekaman penginderaan jauh, hanya tenaga yang dapat menembus atmosfer dan dapat mencapai bumi. Jumlah tenaga yang mencapai bumi dipengaruhi oleh : waktu (jam, musim), lokasi dan kondisi cuaca. Jumlah tenaga matahari pada waktu pagi berbeda dengan pada

waktu siang, di khatulistiwa beda dengan di kutub, di dataran tinggi berbeda dengan dataran rendah. Tempat -tempat di ekuator menerima lebih banyak bila dibandingkan dengan didaerah kutub. Kondisi cuaca juga berpengaruh terhadap jumlah sinar yang mencapai bumi.

2) Atmosfer

Atmosfer adalah lapisan udara yang menyelubungi bumi. Sebelum mengenai objek, energi yang dihasilkan sumber tenaga merambat melewati atmosfer. Tidak semua spektrum gelombang elektromagnetik dapat sampai di permukaan bumi, karena dalam atmosfer ada proses pembauran dan penyerapan. Jumlah tenaga yang mampu sampai ke bumi dipengaruhi oleh gas-gas dalam atmosfer, uap air dan partikel-partikel debu.

Spektrum gelombang elektromagnetik yang dapat mencapai bumi disebut dengan jendela atmosfer. Sedangkan kendala yang disebabkan oleh hamburan pada spektrum tampak dan serapan yang terjadi pada spektral inframerah termal disebut hambatan atmosfer

3) Objek

Objek adalah segala sesuatu yang menjadi sasaran dalam penginderaan jauh, antara lain atmosfer, biosfer, hidrosfer, dan litosfer.

Interaksi antara tenaga dan objek tergantung karakteristik target/objek, menghasilkan pantulan yang unik dan seragam dan atau energi dipancarkan di semua panjang gelombang. Setiap objek memiliki respon spektral yang berbeda – beda. Benda-benda dipermukaan bumi mempunyai karakteristik tersendiri didalam menerima dan memantulkan energi yang disampaikan pada objek/benda tersebut. Contoh : genteng rumah baru dan lama rona rumah baru relatif lebih cerah, pegunungan kapur ronanya lebih cerah daripada vulkanik, karena didaerah kering lebih banyak memantulkan cahaya.

4) Sensor

Sensor berfungsi sebagai alat perekam objek yang sedang diselidiki atau alat pendeteksi objek. Setiap sensor mempunyai tingkat kepekaan yang berbeda-beda. Kemampuan sensor untuk menyajiakan gambaran objek terkecil disebut resolusi spasial. Semakin kecil objek yang direkam oleh sensor, berarti semakin baik kualitas sensornya.

Ada dua macam sensor :

- Sensor fotografik, sensor ini berupa kamera yang dapat menghasilkan foto atau citra.
- Sensor elektronik, sensor yang cara kerjanya secara elektrik dan sistem pemrosesannya menggunakan komputer, sedangkan yang dihasilkan dari sensor elektronik disebut citra penginderaan jauh.

Keuntungan sistem fotografik :

- Caranya sederhana
- Tidak mahal
- Resolusi spasialnya baik
- Integritas geometrisnya baik

Keuntungan sistem elektronik :

- Penggunaan spektrum elektromagnetik yang lebih luas
- Kemampuan yang lebih besar dan lebih pasti dalam membedakan karakteristik spektral objek
- Proses analisis yang lebih cepat karena digunakannya komputer

5) Produk (Data yang diperoleh)

Perolehan data dapat dilakukan dengan dua cara:

- Cara manual : dengan interpretasi secara visual
- Cara numerik atau digital : dengan menggunakan komputer

6) Pengguna data

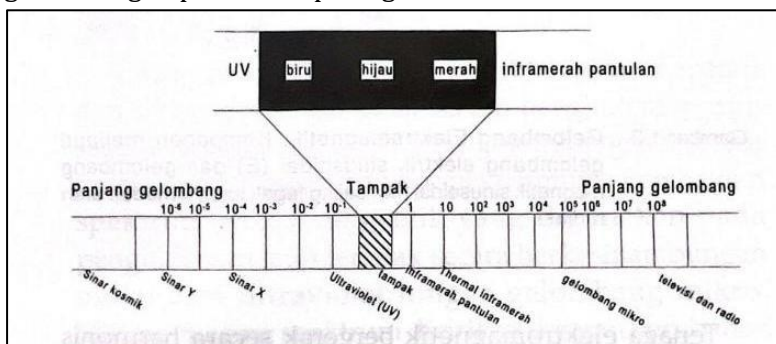
Data yang tersedia bagi pengguna dapat digunakan untuk mengetahui secara mendalam tentang data ini dalam bidang masing-masing misal untuk kehutanan, pemetaan bidang tanah, pertanian, geologi dan sebagainya. Tidak semua pengguna memiliki

pengetahuan yang cukup tentang akuisisi data, analisis dan interpretasi. Pengguna mungkin kadang tidak menerima data yang diinginkan secara *real time*.

2.4 Spektrum dan panjang gelombang

Sistem penginderaan jauh memiliki domain elektromagnetik dan domain ruang. Pada dasarnya setiap benda memiliki dan memancarkan gelombang elektromagnetik. Keberadaan setiap benda dapat dideteksi berdasarkan pantulan atau pancaran elektromagnetik yang dilakukan oleh benda asalkan karakteristik pantulan ataupun pancarannya diketahui. Alat yang mampu mengukur respon spektral di laboratorium ataupun di lapangan dapat digunakan alat berupa spektrometri.

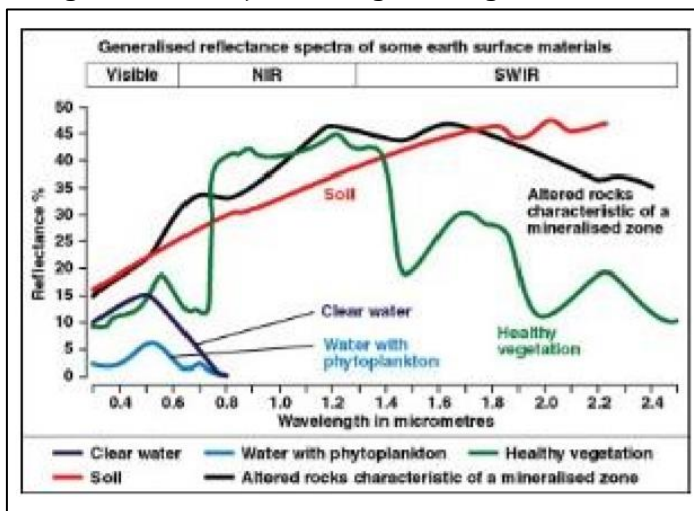
Cara benda memberikan respons terhadap gelombang elektromagnetik yang mengenainya berbeda-beda. Setiap objek ternyata mempunyai respon yang relatif serupa ada tiap spektrum, maka respon elektromagnetik objek sering disebut sebagai respon spektral. Penggunaan beberapa spektral sangat membantu proses pengenalan objek melalui proses perbandingan kenampakan antarsaluran. Mata manusia merupakan salah satu sensor yang cukup responsif dan memiliki sensor alami. Kondisi mata manusia mampu beroperasi pada rentang panjang gelombang 0,32 – 0,72 μm yakni termasuk di dalamnya panjang gelombang tampak atau Red, Green and Blue (RGB). Pembagian spektrum panjang gelombang dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. 2 Spektrum elektromagnetik.

Sumber : Purwadhi 2001

Pengenalan pola spektral sangatlah penting di dalam penginderaan jauh dikarenakan dengan memahami pantulan spektral suatu objek dapat memberikan kemudahan bagi *user* untuk memahami konsep dan analisis dalam penginderaan jauh. Sebagai contohnya adalah vegetasi memiliki pantulan dengan nilai yang cukup rendah pada spektrum biru sementara di sisi lain vegetasi memiliki pantulan spektrum sangat tinggi pada spektrum hijau, kondisi inilah yang menyebabkan vegetasi memiliki nilai pantulan tinggi pada panjang gelombang hijau sehingga yang tampak pada manusia vegetasi memiliki warna hijau. Sementara nilai pantulan dari objek vegetasi akan mengalami penurunan pada spektrum merah dan kembali mengalami kenaikan yang signifikan pada panjang gelombang inframerah dekat. Pemahaman dan distribusi nilai spektral setiap objek terhadap panjang gelombang tertentu disajikan sebagaimana gambar 3.



Gambar 2. 3 Pola respon spektral objek

2.5 Cara penyimpanan data digital

Citra digital meliputi citra yang diperoleh, disimpan, dimanipulasi dan ditampilkan dengan basis logika biner. Saat ini citra digital langsung dapat diperoleh dari hasil perekaman kamera digital. Sementara untuk citra digital penginderaan jauh diperoleh dari hasil perekaman dengan menggunakan berbagai jenis sensor

yang dipasang pada pesawat terbang atau dipasang pada satelit. Citra penginderaan jauh dalam konteks ini merupakan kenampakan permukaan bumi (atau dekat permukaan), dimana hasil dari perekaman tersebut diperoleh dari proses perekaman pantulan (*reflectance*), pancaran (*emitance*), atau hamburan balik (*backscatter*) gelombang elektromagnetik dengan sensor optik-elektronik yang terpasang pada suatu wahana (*platform*) (Danoedoro 2012).

Untuk memahami bagaimana citra digital dapat disimpan, terlebih dahulu perlu dipahami bahwa kemampuan komputer dan sensor bekerja dalam sistem bit (binary digit), dimana Byte merupakan satuan terkecil informasi yang mengekspresikan ada tidaknya arus yang masuk. Jika sistem memiliki 8 bit maka terdapat 2^8 (256) sehingga nilainya adalah 0 hingga 255. Dimana nilai 0 adalah gelap atau hitam dan 255 merupakan warna putih atau warna cerah. Informasi dengan basis 8 bit disimpan dalam byte (satuan informasi yang terdiri atas 8 bit).

Sistem penyimpanan citra dengan menggunakan sistem baris dan sistem kolom disebut pula sistem penyimpanan raster atau terselasi, dan pada setiap unsur data disebut sebagai pixel. Sistem ini memiliki sifat boros tempat akan tetapi memiliki keuntungan dalam kemudahan pengalihan format, memudahkan untuk melakukan manipulasi (tumpangsusun), beberapa sistem penyimpanan yang sering digunakan untuk menyimpan data digital meliputi:

a. Band Sequential (BSQ)

Dalam sistem penyimpanan format BSQ citra yang dihasilkan disimpan pada setiap berkas/file yang terpisah. Urutan penyimpanan dilakukan mulai dari baris pertama saluran 1, baris kedua, baris ketiga..., dan hingga baris terakhir. Data tersebut selanjutnya disimpan sebagai file saluran.

b. Band Interleaved by Line (BIL)

Dalam format BIL, penyimpanan dilakukan mulai dari baris pertama saluran 1, kemudian dilanjutkan dengan baris pertama saluran 2, ... Baris pertama saluran n. Setelah itu dilanjutkan dengan baris kedua saluran 1, baris kedua saluran 2, ... Baris

kedua saluran n . begitu seterusnya, sampai baris terakhir saluran n selesai disimpan. Dengan format BIL, seluruh data citra pada n saluran akan disimpan sebagai satu berkas. Format BIL untuk saluran tunggal ($n=1$).

c. Band Interleaved by Pixel

Format BIP mempunyai kemiripan dengan format BIL, hanya saja selang selingnya bukan lagi per baris, melainkan per piksel. Penyimpanan dimulai dari piksel pertama (pojok kiri atas) baris pertama saluran 1, piksel pertama baris pertama saluran 2, ...Piksel pertama baris pertama saluran n , dan seterusnya. Sama dengan format penyimpanan pada BIL, seluruh data citra pada n saluran disimpan sebagai satu berkas.

d. Run-length Encoding (RLE) dan Block Encoding (Quadtree)

Pada format BSQ, BIL dan BIP, perubahan format hanya menghasilkan perubahan sistematika penyimpanan data citra multisaluran, tanpa ada perubahan ukuran (jumlah byte) data. Sementara untuk format RLE jumlah byte dapat dimampatkan. Dalam format ini RLE mempunyai format data yang mengekspresikan kembali jumlah piksel yang berurutan dengan nilai yang sama, sebagai satu pasangan nilai. *Block encoding* merupakan metode kompresi yang menyerupai RLE, tetapi diterapkan secara dua dimensional (bukan sepanjang baris). Dengan metode ini, area dengan piksel-piksel bernilai sama diwakili oleh satu nilai. Array merupakan sederet blok persegi yang terdiri atas kelompok piksel berukuran sebesar mungkin. Berturut-turut array ini kemudian dibagi ke dalam blok-blok yang semakin kecil (Longley et.al 2005).

e. Kompresi Wavelet

Kompresi wavelet merupakan suatu metode untuk memampatkan informasi pada citra digital yang sangat efektif. Pada metode penyimpanan ini memiliki kemampuan untuk mempertahankan kualitas citra mendekati aslinya, pada umumnya metode ini dimanfaatkan untuk menyimpan citra pada tingkat pemampatan maksimal dan diperlukan dalam transfer data ataupun dalam download. Format wavelet yang

banyak dikenal berupa MrSID, JPG2000, dan ECW (*enhanced compression wavelet*).

2.6 Konsep resolusi citra penginderaan jauh

Resolusi menurut Danoedoro (2012) atau disebut juga sebagai daya pisah/*resolving power* merupakan kemampuan sistem optik-elektronik untuk membedakan informasi spasial yang berdekatan atau secara spektral memiliki kemiripan/kesamaan. Seiring perkembangan zaman resolusi tidak hanya sebatas pada pengertian di atas karena terdapat unsur waktu yang disebut sebagai resolusi temporal. Di dalam sistem penginderaan jauh dikenal setidaknya empat jenis resolusi yakni resolusi spektral, resolusi radiometrik, resolusi spasial dan resolusi temporal. Dalam praktik pengolahan citra, resolusi layar juga memegang peranan penting.

a. Resolusi Spasial

Resolusi spasial merupakan salah satu resolusi yang sering disebut dan memiliki peran penting di dalam penyajian data perekaman penginderaan jauh. Yang dimaksud dengan resolusi spasial yakni ukuran terkecil suatu objek yang masih dapat dideteksi oleh suatu sistem penginderaan jauh. Semakin tinggi resolusi spasial suatu citra maka citra tersebut mampu merekam objek secara detail dan mampu menyajikan kenampakan objek dengan satuan kecil yang ada di permukaan bumi. Citra satelit resolusi tinggi diantaranya adalah Worldview, Quickbird, Ikonos, Geo-Eye, Pleiades. Beberapa citra tersebut dapat dimanfaatkan untuk keperluan penyusunan data spasial dengan skala besar. Sementara untuk beberapa citra satelit dengan resolusi spasial tingkat menengah diantaranya adalah Landsat dengan kemampuan resolusi spasial 30 m. Pemanfaatan citra ini salah satunya digunakan untuk membantu melakukan penyusunan peta penggunaan lahan dengan skala menengah hingga skala kecil. Kemampuan citra dengan resolusi sebagai contohnya adalah 30 menunjukkan bahwasannya jika terdapat objek di permukaan bumi dengan panjang kurang dari 30 m dan lebar kurang dari 30 m

maka objek tersebut kemungkinan besar tidak mampu dipisahkan dengan objek lainnya atau objek tersebut tidak mampu direpresentasikan ke dalam suatu objek yang tersendiri. Kemampuan resolusi spasial sebuah citra dengan kondisi rendah ini tentunya seringkali mengakibatkan adanya *mixed pixel* dimana di dalam satu piksel terdapat campuran beberapa objek sebagai contoh di dalamnya terdapat penggunaan lahan berupa vegetasi ataupun lahan kering yang bercampur di dalam 1 pixel.

Untuk pemetaan tidak boleh sembarangan menggunakan citra satelit sebagai dasar interpretasinya, ada hal-hal yang perlu dipertimbangkan juga yaitu akurasi hasil interpretasi citra yang merupakan kesesuaian antara hasil interpretasi citra dan data dianggap benar. Hubungan antara resolusi spasial dan skala pemetaan berdasar rumus *Rule of thumb* Doyle (Sutanto 2016) :

$$R_p = 10^{-4} \times P_s$$

Dimana :

P_s = Penyebut skala peta

R_p = Resolusi spasial dalam piksel (meter)

Rumus perkiraan ini oleh Doyle didasarkan pada asumsi bahwa ukuran piksel sebesar 0,1mm

Pendapat yang lain mengenai pentingnya memilih citra penginderaan jauh yang sepadan untuk pemetaan yang optimum dicetuskan rumus matematisnya oleh Waldo R.Tobler pada tahun 1987 (Gandharum 2011) :

Skala peta = resolusi spasial citra (dalam meter) *2*1000

b. Resolusi Spektral

Danoedoro (2000) menyebutkan bahwasannya yang dimaksud dengan resolusi spektral merupakan kemampuan suatu sistem optic-elektromagnetik yang berfungsi untuk membedakan informasi objek berdasarkan nilai pantulan ataupun nilai pancaran spektralnya. Dalam konteks ini maka semakin banyak jumlah salurannya (dan masing-masing cukup sempit) semakin tinggi kemungkinan untuk membedakan objek berdasarkan respon spektralnya. Sehingga yang dimaksud citra yang memiliki resolusi spektral yang tinggi adalah citra tersebut memiliki jumlah saluran yang banyak dan semakin sempit interval panjang gelombangnya.

c. Resolusi Temporal

Resolusi temporal merupakan suatu kemampuan sistem perekaman citra satelit yang mampu merekam ulang wilayah/daerah yang sama. Resolusi temporal ini memiliki peran dan seringkali dimanfaatkan untuk analisis perubahan penggunaan lahan ataupun monitoring tingkat kesesuaian penggunaan lahan, dan sebagainya. Setiap citra satelit memiliki resolusi temporal yang berbeda beberapa citra satelit mampu merekam objek yang sama dalam waktu yang selangnya tidak lama sebagai contohnya yakni citra satelit Landsat MSS dan TM setiap 18 hari sekali untuk generasi 1, sedangkan untuk generasi ke 2 yaitu 16 hari sekali, dan untuk citra SPOT memiliki resolusi temporal yakni 26 hari sekali.

d. Resolusi Radiometrik

Resolusi radiometrik merupakan kemampuan sensor dalam mencatat respons spektral objek. Kemampuan ini memiliki keterkaitan dengan kemampuan coding (*digital coding*), yakni kemampuan mengubah intensitas pantulan atau pancaran spektral menjadi sebuah angka digital atau disebut dengan bit. Sebuah citra yang baik diantaranya memiliki kemampuan tingkatan bit yang lebih tinggi yakni hingga mencapai 11 bit coding atau sebesar 2048 tingkat. Sementara untuk citra satelit dengan generasi lama hanya memiliki kemampuan tingkatan bit yang terbatas contohnya MSS7 yang hanya terdapat 64 tingkat. Seiring perkembangan penginderaan jauh maka saat ini beberapa citra satelit contohnya adalah Quickbird, Ikonos maupun Orbview mampu memiliki sistem koding hingga 11 bit atau sebesar 2048 tingkatan.

e. Resolusi Layar

Resolusi Layar adalah kemampuan layar monitor dalam menyajikan kenampakan objek pada citra secara lebih halus. Semakin tinggi resolusi layarnya, semakin tinggi kemampuannya untuk menyajikan gambar dengan butir-butir piksel yang halus. Dengan kata lain semakin banyak pula jumlah sel citra (piksel) yang dapat ditampilkan pada layar. Biasanya ukuran piksel layar sering disebut dot pitch sebesar 0,26 milimeter sudah bisa memadai untuk penginderaan jauh (Danoedoro 2012).

BAB III

JENIS CITRA PENGINDERAAN JAUH

Dalam modul ini mahasiswa diberikan wawasan jenis citra. Pengertian citra menurut Simonett et al (1983) dalam Sutanto (1994,6) merupakan :

- Gambaran objek yang dihasilkan oleh pantulan atau pembiasan sinar yang difokuskan oleh sebuah lensa atau sebuah cermin
- Gambaran rekaman suatu objek (biasanya gambaran pada foto) yang dihasilkan dengan cara optik, elektro-optik, optik mekanik atau elektronik. Pada umumnya digunakan bila radiasi elektromagnetik yang dipancarkan atau dipantulkan dari suatu objek tidak langsung direkam pada film.

Berdasarkan sensornya, bahwa citra dapat dibagi menjadi dua yaitu citra foto (*photographic image*) dan non foto (*non-photographic image*) . Sebagai contoh citra foto yaitu Foto Udara, sedangkan non-foto yaitu citra satelit, citra radar, citra lidar dan lain-lain. Yang akan dibahas pada bab ini yaitu Foto Udara dan Citra Satelit.

3.1 Foto Udara

Foto udara merupakan rekaman fotogrametris objek di atas permukaan bumi yang pengambilannya dilakukan dari udara. Objek yang terekam dalam foto udara meliputi semua kenampakan tanpa bisa untuk diseleksi terlebih dahulu. Dalam kondisi tertentu gambaran ini sangat menguntungkan karena melalui media foto udara bisa didapatkan gambaran semua objek dengan kondisi dan tipe yang sesuai dengan bentuk aslinya. Akan tetapi dalam beberapa hal karena semua unsur terekam menjadikan informasi menjadi sulit diterjemahkan. Foto udara diperoleh melalui pemotretan menggunakan sensor kamera yang dipasang pada wahana terbang, seperti pesawat terbang, helikopter, dan sebagainya. Contoh foto udara dengan wahana pesawat dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 2. 4 Foto Udara

Perkembangan teknologi saat ini foto udara tidak hanya sebatas seperti gambar 4 tersebut, hasil dari perekaman drone juga dinamakan foto udara.

Pengelompokan atau klasifikasi jenis foto udara sangat beragam tergantung dari sudut pandang apa foto udara tersebut dikelompokkan.

- a. Pengelompokan foto udara berdasarkan spektrum elektromagnetik yang digunakan.

Contoh : Foto Ultra Violet, Foto Visible (Pankromatik), Foto Inframerah.

- b. Pengelompokan foto berdasarkan skala fotonya.

Contoh : Foto skala besar, skala menengah dan skala kecil

- c. Pengelompokan foto berdasarkan jenis kamera yang digunakan, yaitu foto yang direkam dengan kamera tunggal (satu saluran panjang gelombang), atau dengan kamera jamak (satu kamera

dengan lebih dari satu lensa untuk perekaman pada berbagai saluran sekaligus).

d. Pengelompokan foto udara berdasarkan sumbu kameranya.

Contoh : Foto vertikal (vertical photograph) dan foto condong (oblique photograph)

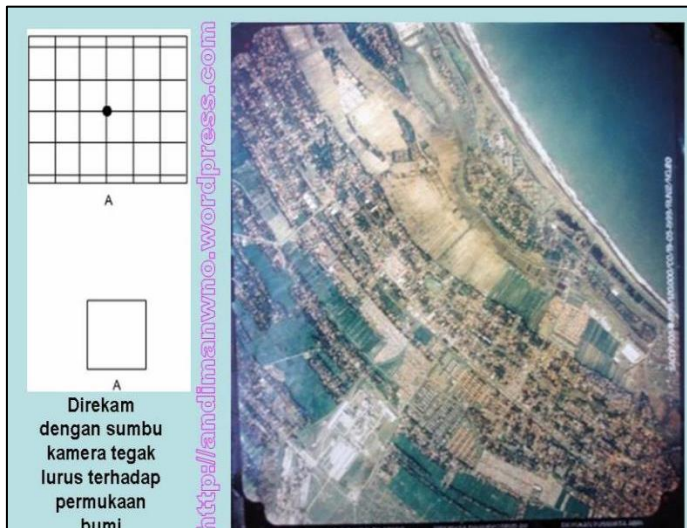
Paine (1981:23-24 dalam Sutanto 1989) mengutarakan bahwa foto udara vertikal mempunyai empat kelebihan bila dibanding terhadap foto udara condong, yaitu :

- a. Skala pada tiap bagian foto lebih seragam
- b. Penentuan arah pada foto udara vertikal lebih mudah. Perkiraan arah dapat ditentukan seperti penentuan arah pada peta.
- c. Dalam batas tertentu, foto udara vertikal dapat dipakai sebagai substitusi peta.
- d. Foto udara vertikal lebih mudah diinterpretasi, karena disamping skalanya lebih seragam, juga tidak banyak objek yang terlindung oleh objek lainnya.

Namun demikian foto condong juga mempunyai kelebihan bila dibanding foto vertikal, yaitu :

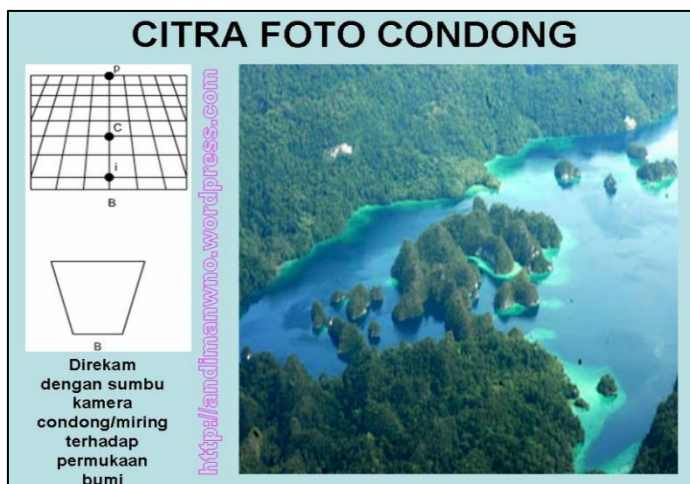
- a. Luas liputannya beberapa kali lipat bila dibanding dengan liputan foto vertikal.
- b. Untuk daerah yang sering tertutup oleh awan, masih ada kemungkinan menembus celah-celah awan bila dilakukan pemotretan condong.
- c. Gambaran yang disajikan lebih mirip dengan apa yang dilihat sehari-hari dari tempat yang relatif tinggi.
- d. Objek tertentu seperti goa yang tidak tampak pada foto udara vertikal, ada kemungkinan dapat dikenali pada foto condong.

Contoh foto tegak, condong dan sangat condong dapat dilihat pada gambar 5,6 dan 7.



Gambar 2. 5 Citra Foto Tegak.

Sumber : bloggeografi.id



Gambar 2. 6 Citra Foto Condong.

Sumber : bloggeografi.id



Gambar 2. 7 Citra Foto Sangat Condong.
Sumber : bloggeografi.id

3.2 Citra Satelit

Citra satelit merupakan citra digital penginderaan jauh yang diperoleh dari sistem perekaman melalui sensor satelit. Berdasarkan misinya, satelit penginderaan jauh dibedakan menjadi dua macam:

1. satelit cuaca, misal GOES, GMS, NOAA
2. satelit sumber daya, misal : Landsat, SPOT, ERS, JERS

Citra Satelit yang memiliki resolusi spasial tinggi , seperti contoh berikut ini :

- Citra Satelit World View
- Citra Satelit Quickbird
- Citra Satelit Geoeye
- Citra Satelit Ikonos
- Citra Satelit Pleiades
- Citra Satelit Rapid Eye
- Citra Satelit Orbview

Citra Satelit yang memiliki resolusi spasial menengah, seperti contoh berikut ini :

- Citra Satelit ALOS AVNIR-2
- Citra Satelit Landsat
- Citra Satelit ASTER

Citra Satelit yang memiliki resolusi spasial rendah, seperti contoh berikut ini :

- Citra Satelit MODIS
- Citra Satelit NOAA

3.3 Sistem Satelit Penginderaan Jauh Dan Karakteristiknya

Pada BAB III ini akan dibahas Sistem Satelit Quickbird, ALOS, SPOT, Landsat, Terra dan Modis, Pleiades, Sentinel-1, Sentinel-2 dan Worldview beserta karakteristiknya.

1. Satelit Quickbird

Diluncurkan oleh Perusahaan Digital Globe milik Amerika Serikat pada tanggal 18 Oktober 2001, di Vandenberg Air Force Base, California. Karakteristik sistem resolusi tinggi Quickbird bisa dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Quickbird

Saluran	Resolusi Spektral/lebar spektrum (μm)	Resolusi spasial (m) pada nadir
1	0,45 – 0,52	2,44
2	0,52 – 0,60	2,44
3	0,63 – 0,69	2,44
4	0,76 – 0,89	2,44
Pan	0,45 – 0,90	2,44
Sensor	Linear array, pushbroom	
Swath	16 km	
Rate	50 Mb/detik	
Revisit	1 – 5 hari, tergantung lintang	
Orbit	600 km tidak sinkron matahari melintasi ekuator pada waktu yang tidak tentu	

Sumber : Jensen (2007) dalam Danoedoro, P (2012,91-92)

Berbagai manfaat citra satelit resolusi tinggi Quickbird
(imahagiregion3.wordpress.com) diberbagai bidang diantaranya :

a). Bidang Pertanian Dan Perkebunan

1. Melakukan observasi pada lahan yang luas, petak tanaman hingga tiap individu tanaman.
2. Melakukan identifikasi jenis tanaman dan kondisi tanah, potensi panen, efektifitas pengairan, kesuburan dan penyakit tanaman, kandungan air.
3. Secara berkala (*time series*) dapat digunakan untuk :
 - Memantau pertumbuhan tanaman
 - Laju perubahan jenis tanaman.
 - Perubahan atau alih fungsi lahan pertanian.
4. Menghitung jumlah pohon dan volume hasil panen komoditi perkebunan.
5. Perencanaan pola tanam perkebunan
6. Perencanaan peremajaan tanaman perkebunan.

b). Bidang Kehutanan

1. Monitoring batas-batas fungsi kawasan hutan
2. Identifikasi wilayah habitat satwa
3. Identifikasi perubahan kawasan hutan akibat illegal logging.
4. Inventarisasi Potensi Sumber Daya Hutan
5. Pemetaan kawasan unit-unit pengelolaan hutan
6. Perencanaan lokasi reboisasi.

c). Bidang Perencanaan Dan Pembangunan Wilayah

1. Pembuatan peta detail penggunaan lahan
2. Perencanaan tata ruang, DED dan Lanscape pembangunan
3. Identifikasi dan inventarisasi kawasan-kawasan kumuh
4. Perencanaan dan manajemen sarana dan prasarana wilayah
5. Pemetaan kawasan rawan bencana alam
6. Pemantauan dan penanggulangan bencana alam

2. Satelit ALOS

Sistem Satelit ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) merupakan sistem satelit sumber daya milik Jepang yang

diluncurkan oleh *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA). Diluncurkan pada 24 Januari 2006. Terdiri 3 modul sensor (Danoedoro, P 2012, 88) :

- PRISM (*Panchromatic Remote Sensing Instrument for Stereo Mapping*) yang memiliki resolusi spasial 2,5 m
 - AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near-InfraRed Type-2*) terdiri dari 4 Saluran yaitu Biru, Hijau Merah dan Inframerah dekat dengan resolusi spasial 10 m.
 - PALSAR (*Phased Array Type-L Synthetic Aperture Radar*), memiliki sensor radar yang dapat merekam siang dan malam hari, pada kondisi cuaca apapun, resolusi spasial 10-100 m
- Satelit ALOS dirancang untuk beroperasi selama 3-5 tahun.

3. Satelit SPOT

SPOT (*Système Probatoire de l 'Observation de la Tere*) merupakan proyek kerjasama antara Prancis, swedia dan Belgia dibawah koordinasi badan ruang angkasa Prancis CNES (*Centre National d'Etudes Spatiales*). SPOT-1 diluncurkan pada 23 Februari 1986 di Kourou, Guyana Prancis, dengan membawa dua sensor identik yang disebut HRV (*High Resolution Visible*). Sama halnya dengan Landsat, SPOT juga telah meluncurkan hingga generasi ketiga. Generasi pertama SPOT 1,2,3 memiliki resolusi spasial untuk pankromatik 10 meter sedangkan multispektral 20 meter dan memiliki resolusi temporal 26 hari. Hingga saat ini SPOT sudah meluncurkan hingga SPOT 7. Sensor satelit SPOT-7 yang dibuat oleh AIRBUS *Defense & Space* telah berhasil diluncurkan pada 30 Juni 2014 oleh peluncur PSLV dari *Satish Dhawan Space Center* di India dengan spesifikasi sebagai berikut (satimagingcorp.com) :

- Multispectral Imagery (4 bands) :
 - Blue (0.455 μm – 0.525 μm)
 - Green (0.530 μm – 0.590 μm)
 - Red (0.625 μm – 0.695 μm)
 - Near-Infrared (0.760 μm – 0.890 μm)
- Resolution (GSD) :
 - Panchromatic - 1.5m
 - Multispectral - 6.0m (B,G,R,NIR)

Location Accuracy : 10m (CE90)

- Daily revisit, anywhere

4. Satelit Landsat

Satelit Landsat (*Land Satellite*) merupakan satelit milik Amerika Serikat yang pertama kali diluncurkan pada Tahun 1972 dengan nama ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite -1), kemudian diluncurkan seri kedua dan berganti nama menjadi Landsat -1. Hingga saat ini sudah terjadi perubahan desain sensor dan dikelompokkan menjadi 3 generasi (Danoedoro, P 2012, 68-69) :

- a. Generasi pertama (Landsat 1 – 3), memuat dua macam sensor yaitu RBV (*Return Beam Vidicon*) yang terdiri dari 3 saluran RBV-1, RBV-2 dan RBV-3 dengan resolusi spasial 79 meter dan MSS (*Multispectral Scanner*) yang terdiri dari 4 saluran MSS-4, MSS-5, MSS-6, dan MSS-7 dengan resolusi spasial 79 meter. Landsat 3 mengalami penyusutan jumlah saluran pada RBV menjadi 1 saluran tunggal beresolusi spasial 40 meter.
- b. Generasi kedua (Landsat 4 dan 5), memuat dua macam sensor dengan mempertahankan MSS-nya, tetapi menggantikan RBV dengan TM (*Thematic Mapper*). Dengan penomoran MSS menjadi MSS1, MSS2, MSS3 dan MSS4 dan TM yang memiliki 7 saluran TM1-TM7 penyimpangan pada TM6 yang menggunakan spectrum inframerah termal beresolusi 120 meter (berada di antara 2 saluran inframerah tengah TM5 dan TM7 yang resolusi spasialnya 30 meter).
- c. Generasi ketiga (Landsat 6 -7)

Operasi Landsat generasi 3 sebenarnya telah dimulai pada tahun 1993, tetapi misi gagal karena sesaat setelah diluncurkan satelit Landsat 6 hilang yaitu pada tanggal 5 Oktober 1993 (Jensen 2005). Landsat 7 diluncurkan pada tahun 1999 dengan membawa sensor multispektral dengan resolusi 15 meter untuk citra pankromatik dan 30 meter untuk citra multispektral (berkisar dari spektrum biru hingga inframerah tengah) serta resolusi spasial 60 meter untuk citra inframerah termal. Sensor Landsat 7 yang disebut ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*)

atau TM yang sudah diperbaiki kinerjanya, memuat 8 saluran, dimana 6 saluran telah dinaikkan resolusi spasialnya dari 120 meter menjadi 60 meter dan saluran 8 merupakan saluran pankromatik dengan julat panjang gelombang antara 0,58 – 0,90 μm . Namun system sensor Landsat 7 ETM+ ini juga mengalami kerusakan berupa kegagalan pengoreksi baris pemindai (*Scan Line Corrector/SLC*), yang terjadi sejak 31 Mei 2003 sehingga data banyak yang hilang.

Landsat 1, 2 dan 3 memiliki resolusi temporal 18 hari sedangkan Landsat 4 dan 5 memiliki resolusi temporal 16 hari (Purwadhi, S 2001,54). Generasi terbaru Landsat yaitu Landsat 8 dan 9. Untuk Landsat 8 diluncurkan tanggal 11 Februari 2013 sedangkan Landsat 9 direncanakan akan diluncurkan pada bulan Desember 2020 (landsat.gsfc.nasa.gov).

5. Sistem Satelit : Terra Dan Aqua

NASA *Earth Observing System* mengembangkan Satelit Terra dan Aqua, bekerjasama dengan Kementerian Perdagangan dan Industri Jepang (MITI) yang mengusung 4 sistem sensor pada Satelit Terra yaitu :

- ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) dibuat oleh Jepang,
Sedangkan yang dibuat oleh Amerika Serikat adalah:
- MODIS
- CERES
- MISR

Satelit Aqua merupakan “saudara kembar” Satelit Terra yang tidak mengusung sensor ASTER. Terra melintasi ekuator pada pukul 10.30 pagi dan dirancang untuk merekam gambaran bumi pada siang hari, sedangkan Aqua melintas ekuator pada pukul 13.30 siang dan juga dirancang untuk memperoleh informasi permukaan bumi pada malam hari, keduanya mengorbit sinkron matahari (Danoedoro, P 2012, 84).

Sensor ASTER merupakan salah satu alternatif untuk kajian pada resolusi menengah, yang mempunyai 3 modul subsistem multispektral:

- VNIR (*Visible and Near Infrared*)
- SWIR (*Shortwave Infrared*)
- TIR (*Thermal Infrared*)

Salah satu keunggulan ASTER yaitu kemampuan menghasilkan citra tiga dimensi dengan model elevasi digital (DEM) dengan menggabungkan citra saluran 3N (NVIR) yang merekam nadir dan 3B yang merekam miring ke belakang. Model elevasi hasil perekaman sensor ASTER tidak dapat menembus hingga penutup lahan maka model yang dihasilkan lebih tepat disebut *Digital Surface Model* (DSM). Karakteristik sensor ASTER pada Satelit Terra dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik sensor ASTER pada Satelit Terra

Saluran	Resolusi Spektral VNIR (μm)	Saluran	Resolusi Spektral SWIR (μm)	Saluran	Resolusi Spektral TIR (μm)
1 (nadir)	0,52 – 0,60	4	1,600 – 1,700	10	8,125 – 8,475
2 (nadir)	0,63 – 0,69	5	2,145 – 2,185	11	8,475 – 8,825
3N (nadir)	0,76 – 0,86	6	2,185 – 2,225	12	8,925 – 9,275
3B (backward)	0,76 – 0,86	7	2,235 – 2,285	13	10,25 – 10,95
		8	2,295 – 2,365	14	10,95 – 11,64
		9	2,360 – 2,430		
Teknologi detektor	Pushbroom Si		Pushbroom PtSi : Si		Pushbroom Hg : Cd : Te

Saluran	Resolusi Spektral VNIR (μm)	Saluran	Resolusi Spektral SWIR (μm)	Saluran	Resolusi Spektral TIR (μm)
Resolusi spasial	15 m x 15 m		30 m x 30 m		90 m x 90 m
Lebar sapuan	60 km		60 km		60 km
Kuantisasi	8 bit		8 bit		12 bit

Sumber : Mather (2004), Jensen (2007) dalam Danoedoro, P (2012,85-86)

6. Satelit Pleiades

Satelit Pleiades merupakan hasil rancangan dari Program ORFEO yang berasal Perancis dan Italia. Satelit ini dirancang pada tahun 2001 hingga tahun 2003. Program ini diluncurkan oleh Badan Antariksa Perancis atau CNES pada tahun 2003 silam.

Pleiades 1A dan Pleiades 1B merupakan satelit kembar milik Airbus Defence and Space. Pleiades memiliki 1 kamera dengan 1 band pankromatik dan 4 multispektral. Pleiades 1A diluncurkan pada bulan Desember 2011 sementara Pleiades 1B diluncurkan pada bulan Desember tahun berikutnya. Satelit Pleiades 1A dan 1B berada pada orbit yang sama namun terpisah jarak hingga 180 derajat sehingga dapat menyediakan citra hingga temporal harian. Satelit Pleiades dilengkapi sensor yang dapat membuat gambar berwarna dengan resolusi spasial 50 cm. Masing-masing satelit memiliki resolusi temporal 2 hari dengan jenis orbit heliosynchronous quasi-circular pada ketinggian orbit 694 km. Sensor resolusi tinggi Pleiades membuat gambar dalam mode pankromatik dengan resolusi 70 cm, yang di-resample hingga 50 cm di permukaan tanah. Dalam mode multispectral, kamera ini memotret gambar dengan resolusi 2.8 m yang di-resample hingga 2 m. Penggabungan kedua jenis produk ini menghasilkan gambar berwarna dengan resolusi 50 cm (pustekdata.lapan.go.id). Karakteristik satelit pleiades dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Spesifikasi satelit Pleiades

Resolusi Spasial	0,5 meter (band pankromatik – hasil <i>resampling</i>)
	2 meter (band multispectral VNIR – hasil <i>resampling</i>)
Resolusi Temporal	2 hari
Band	1 Band Pankromatik (480 – 830nm)
	4 Band Multispektral : Blue (430 – 550 nm) Green (490 – 550 nm) Red (600 – 720 nm) Near Infrared (750-950nm)
Altitude/ketinggian	695 kilometer
Tipe Orbit	Sun synchronous
Lebar Sapuan	20 kilometer

Citra satelit Pleiades merupakan citra satelit resolusi sangat tinggi yang bermanfaat diberbagai bidang misal : pemetaan, pertanian, pertahanan, pertanian dan infrastruktur yang membutuhkan data dengan kedetilan yang rinci.

7. Satelit Sentinel-1 dan Sentinel-2

Sentinel-1 merupakan seri satelit pertama dari tujuh misi satelit yang diluncurkan sebagai bagian dari program Copernicus. Copernicus adalah nama baru dari GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*), yakni program observasi bumi yang digagas oleh *European Commission* (EC) dan *European Space Agency* (ESA). Program observasi ini bertujuan untuk menyediakan informasi yang akurat, tepat waktu dan mudah diakses untuk meningkatkan pengelolaan lingkungan, memahami dan mengurangi dampak perubahan iklim dan menjamin keamanan sipil (ESA 2016 dalam Ayani 2024).

Sentinel-1 adalah seri satelit observasi bumi yang memiliki sensor SAR (*Synthetic Aperture Radar*) c-band dengan dua buah satelit yakni Sentinel-1a dan Sentinel-1b yang mengorbit secara tandem berjauhan 180°. Masing-masing satelit mampu melakukan *repeat cycle* setiap 12 hari dan dengan konstelasi kedua satelit tersebut membuat Sentinel-1 memiliki *repeat cycle* setiap 6 hari. Sentinel-1 juga membawa laser untuk mentransmisikan data ke *European Data Relay System* geostasionari untuk pengiriman data berkelanjutan.

Sentinel-1 memberikan citra radar untuk berbagai aplikasi. Citra SAR adalah cara terbaik untuk melacak penurunan tanah dan kerusakan struktural: pengamatan sistematis dan kemampuan interferometrik yang ditingkatkan membuat pergerakan tanah yang hampir tidak terlihat dalam kehidupan sehari-hari dapat dideteksi dan dipantau secara ketat. Selain menjadi sumber daya yang berharga bagi para perencana kota, informasi semacam ini penting untuk memantau pergeseran akibat gempa bumi, tanah longsor, dan pengangkatan gunung berapi. Selain itu, informasi ini membantu pemantauan bahaya geologi, pertambangan, geologi, dan perencanaan kota melalui penilaian risiko penurunan tanah. Produk polarimetri ganda misi ini bermanfaat bagi pengguna yang tertarik pada pertanian, kehutanan, dan klasifikasi penutup lahan.

Kemampuan SAR untuk menyediakan pengamatan dalam segala cuaca, dan dalam kondisi siang atau malam, membuatnya ideal untuk pemantauan maritim dan Arktik. Citra yang diperoleh di atas lautan sangat penting untuk menghasilkan peta es laut yang tepat waktu untuk perjalanan yang aman, untuk mendeteksi dan melacak tumpahan minyak, dan memberikan informasi penting tentang angin dan gelombang di laut terbuka untuk aplikasi pengiriman dan energi gelombang. Terakhir, Sentinel-1 dirancang khusus untuk menyediakan gambar guna respon cepat terhadap bencana seperti banjir dan gempa bumi (sentiwiki 2024).

Sentinel-2 terdiri dari dua satelit konstelasi yaitu Sentinel-2A dan Sentinel-2B yang mengorbit kutub pada orbit sun-synchronous pada ketinggian 786 km. Dua satelit identik tersebut berjarak 180 derajat satu sama lain. Satelit tersebut merupakan satelit resolusi

menengah dengan resolusi temporal 10 hari untuk satu satelit atau 5 hari dengan dua satelit. Satelit ini dapat digunakan untuk pengamatan operasional seperti peta tutupan lahan, peta deteksi perubahan lahan dan variabel geofisika (pustekdata.lapan.go.id).

Sensor satelit Sentinel-2A berhasil diluncurkan pada tanggal 23 Juni 2015, pukul 03.51:58 CEST dari peluncur Vega dari pelabuhan antariksa di Kourou, Guyana Prancis. Satelit Sentinel-2A adalah satelit observasi Bumi optik pertama dalam program Copernicus Eropa dan dikembangkan serta dibangun di bawah kepemimpinan industri *Airbus Defence and Space* untuk Badan Antariksa Eropa (ESA).

Data Sentinel-2 L1C terdiri dari 13 band spektral dengan rincian sebagai berikut:

- Resolusi spasial 10 m sebanyak 4 band (B2, B3, B4, B8)
- Resolusi spasial 20 m sebanyak 6 band (B5, B6, B7, B8A, B11, B12)
- Resolusi spasial 60 m sebanyak 3 band (B1, B9, B10)

8. Worldview

Worldview merupakan satelit penginderaan Jauh milik DigitalGlobe. Citra satelit worldview merupakan salah satu citra satelit resolusi tinggi. WorldView-1 diluncurkan pada 18 September 2007. WorldView-2 diluncurkan pada tanggal 8 Oktober 2009. Citra WorldView full color cocok digunakan untuk aplikasi Enhanced Spectral Analysis, mapping, monitoring, perencanaan penggunaan lahan, mitigasi bencana, eksplorasi, pertahanan, dan lingkungan (pustekdata.lapan.go.id).

Pada 31 juli 2014 Digital globe (perusahaan pemilik worldview) mengumumkan bahwa sensor satelit geoeye2 akan diganti dengan nama worldview4 yang diluncurkan tahun 2016. Memiliki spectral resolution Pancromatic dan 4 band multispectral (red,green,blue,near-IR) temporal resolution kurang dari satu hari. *Spatial resolution* 0.31m di titik nadir dan 1.24 m untuk multispectral di titik nadir.

Worldview Legion dikembangkan oleh perusahaan maxar technologies akan meluncurkan 6 satelit sekaligus yang akan

membentuk konstelasi di 2021. Menghasilkan citra satelit dengan resolusi spasial mencapai 30 cm (0.3meter) pada titik nadir. Resolusi spectral belum diketahui merekam luasan permukaan bumi hingga 5 juta km persegi perhari.

BAB IV

UNSUR DAN TEKNIS INTERPRETASI CITRA

4.1 Unsur Interpretasi Citra

Pengenalan objek merupakan bagian vital dalam interpretasi citra. Tanpa dikenali identitas dan jenis objek yang tergambar pada citra, tidak mungkin dilakukan analisis untuk memecahkan masalah yang dihadapi. Demikian pentingnya pengenalan objek itu sehingga ada satu periode perkembangan penginderaan jauh yang memusatkan perhatiannya pada pengenalan objek pada citra, yaitu antara 1950 -1960. Pada saat itu interpretasi citra masih berupa interpretasi foto udara saja, karena belum ada citra lainnya.

Prinsip pengenalan objek pada citra mendasarkan atas penyidikan karakteristiknya atau atributnya pada citra. Karakteristik objek yang tergambar pada citra dan digunakan untuk mengenali objek disebut unsur interpretasi citra. Unsur interpretasi citra (Sutanto 1994,121) ada sembilan yaitu :

1. Rona atau warna

Rona (tone/color tone/grey tone) adalah tingkat kegelapan atau tingkat kecerahan objek pada citra. Rona merupakan tingkatan dari hitam ke putih atau sebaliknya. Warna adalah ujud yang tampak oleh mata dg menggunakan spektrum sempit. Warna menunjukkan tingkat kegelapan yg lebih beraneka. Mata manusia dapat membedakan 200 rona dan 20.000 warna (Estes et al, 1983). Mata manusia lebih mudah membedakan objek pada foto berwarna dibanding dengan hitam putih. Betapa pentingnya rona dalam mengenali objek itulah sebabnya rona atau warna disebut unsur dasar.

Contoh pengenalan objek berdasar rona :

- Air tampak dengan rona gelap pada foto pankromatik;
- Atap seng dan asbes yang masih baru tampak dengan rona putih sedangkan atap sirap ronanya hitam.

Sedangkan contoh pengenalan objek berdasar warna, warna pada citra menunjukkan warna objek sebenarnya melalui warna pengenalan objek menjadi lebih mudah :

- Warna air biru, pepohonan berwarna hijau;
- Atap genteng yang baru berwarna coklat dan sebagainya.

2. Bentuk

Bentuk merupakan variabel kualitatif yang memerikan konfigurasi atau kerangka suatu objek (Lo 1976, dalam Sutanto 1994,135). Bentuk merupakan atribut yang jelas sehingga banyak objek yg dapat dikenali berdasarkan bentuknya saja. Contoh :

- Gedung sekolah umumnya berbentuk huruf I, L, U atau persegi panjang;
- Tajuk pohon palma berbentuk bintang, pinus berbentuk kerucut dan bambu berbentuk bulu-bulu;
- Gunung berapi berbentuk kerucut.

3. Ukuran

Ukuran adalah atribut objek yang antara lain jarak, luas, tinggi, lereng dan volume. Ukuran terkait dengan fungsi skala, sebagai unsur interpretasi citra harus memperhatikan skala.

Contoh :

- Ukuran bangunan untuk rumah mukim berbeda dengan kantor atau industri;
- Lapangan olahraga untuk lapangan sepakbola berbeda dengan lapangan tenis atau bulutangkis.

4. Tekstur

Tekstur adalah frekuensi perubahan rona pada citra (Lillesand dan Kiefer 1979 dalam Sutanto 1994, 138). Atau pengulangan rona kelompok objek yang terlalu kecil untuk dibedakan secara individual (Estes dan Simonett,1975 dalam Sutanto 1994, 138) atau sering dinyatakan dengan tingkat kasar halus dari suatu objek.

Contoh :

- Hutan bertekstur kasar, belukar bertekstur sedang sedangkan semak bertekstur halus;
- Permukaan air yang tenang bertekstur halus;
- Tanaman pekarangan bertekstur kasar, tanaman tebu bertekstur sedang dan tanaman padi bertekstur halus.

5. Pola

Pola atau susunan keruangan merupakan ciri yang menandai bagi banyak objek bentukan manusia dan bagi beberapa objek

alamiah. Melakukan interpretasi dengan mengenali pola memiliki tingkat kerumitan tersendiri.

Contoh :

- Pola permukiman yang linier terhadap jalan, pola permukiman transmigrasi dsb;
- Kebun karet, kebun kelapa dan kopi mudah dibedakan dengan hutan atau vegetasi lain karena polanya yang teratur.

6. Bayangan

Bayangan memiliki sifat menyembunyikan kedetailan suatu objek yang berada di area yang gelap. Namun begitu, bayangan ini juga merupakan kunci penting dalam pengenalan objek.

Contoh :

- Cerobong asap, menara air yang tinggi lebih tampak karena bayangannya;
- Lereng terjal tampak lebih jelas karena bayangannya.

7. Situs

Situs merupakan letak suatu objek terhadap objek lain di sekitarnya (Estes dan Simonett 1975 dalam Sutanto 1994,141). Situs bukan merupakan objek langsung, melainkan dalam kaitannya dengan lingkungan sekitar.

Contoh :

- Situs permukiman memanjang pada sisi jalan;
- Situs kebun kopi terletak di tanah miring karena tanaman kopi membutuhkan pengaturan air yang baik;
- Tajuk pohon berbentuk bintang mencirikan pohon palma, bila tumbuhnya menggerombol dan situsnya di air payau maka mungkin sekali pohon nipah.

8. Asosiasi

Asosiasi merupakan keterkaitan antara objek yang satu dengan objek yang lainnya, atau bisa dikatakan keberadaan objek yang satu menjadi petunjuk bagi keberadaan objek yang lain.

Contoh :

- Gedung sekolah disamping berbentuk huruf I, L, U juga berasosiasi (ditandai) dengan adanya lapangan olah raga di sekitarnya;

- Lapangan sepak bola ditandai dengan adanya gawang dan bentuk yang persegi panjang;
- Stasiun kereta api berasosiasi dengan rel kereta api jumlahnya banyak.

9. Konvergensi Bukti

Konvergensi bukti ini adalah menggunakan beberapa unsur interpretasi citra sehingga bisa mempersempit ruang lingkup yang mengarahkan pada kesimpulan objek tertentu. Misalnya ada objek yang berbentuk kotak dengan tekstur halus dan bentuknya teratur, bisa mengindikasikan bahwa objek tersebut adalah sawah. Dari foto udara tampak pohon bertajuk bintang, ada kemungkinan dari bentuknya tersebut merupakan pohon palma bisa pohon sawit, pohon kelapa, pohon enau, pohon nipah atau pohon sagu, kemungkinan dipersempit lagi dari pola tidak teratur bisa dimungkinkan pohon nipah, pohon enau atau pohon sagu, dipersempit lagi berdasar ukuran lebih besar 10 meter tinggal dua kemungkinan yaitu pohon enau dan pohon sagu, dipersempit lagi berdasarkan situs ternyata tumbuh di tanah becek dan air payau maka bisa disimpulkan bahwa itu pohon sagu.

4.2 Teknik Interpretasi Citra

Teknik interpretasi citra dimaksudkan sebagai alat atau cara khusus untuk melaksanakan metode penginderaan jauh. Interpretasi Citra merupakan perbuatan mengkaji foto udara dan/atau citra dengan maksud untuk mengidentifikasi objek dan menilai arti pentingnya objek tersebut (Estes dan Simonett, 1975) Terdapat 3 rangkaian kegiatan yang diperlukan:

1. deteksi, merupakan pengamatan atas adanya suatu objek, misal pada gambaran sungai terdapat objek yang bukan air;
2. identifikasi, merupakan upaya mencirikan objek yg telah dideteksi dengan keterangan yang cukup (berdasar ukuran, bentuk dan letak objek tersebut adalah perahu dayung;
3. analisis, dikumpulkan keterangan lebih lanjut, bahwa perahu dayung tersebut berisi 3 orang.

4.3 Ketelitian Hasil Interpretasi

Data spasial dapat diukur kualitasnya dan hal ini sudah menjadi salah satu kebutuhan utama dalam operasionalisasi Sistem Informasi Geografi (SIG). Citra penginderaan jauh sendiri dapat diukur kualitasnya baik secara geometrik maupun radiometrik, sedangkan hasil klasifikasi citra penginderaan jauh akan mempunyai kualitas geometrik yang sama dengan kualitas citra masukannya. Hasil klasifikasi citra juga merupakan peta tematik yang masih perlu dinilai akurasi isi informasinya (Danoedoro P 2012, 327-328). Menurut Guptil dan Morrison (1995) dalam Danoedoro P (2012,329) kriteria kualitas data spasial yang digunakan oleh Komisi Kualitas Data Spasial ICA (*International Cartographic Association*) ada 7 aspek informasi yang harus termuat sebagai meta data (data tentang data), adalah sebagai berikut :

1. riwayat data atau *lineage/genealogy*
2. akurasi posisi
3. akurasi atribut
4. kelengkapan (*completeness*)
5. konsistensi logis
6. akurasi semantik
7. informasi temporal

Evaluasi akurasi hasil klasifikasi dapat diterapkan dalam dua aspek yaitu aspek kedalaman dan kebenaran di lapangan.

4.4 Metode Uji Akurasi

Pengujian dilakukan untuk mencocokkan hasil klasifikasi dengan keadaan sebenarnya di lapangan. Metode yang digunakan untuk menghitung akurasi klasifikasi dengan menggunakan *confusion matrix/error matrix* dapat dilihat pada gambar 8. Metode *confusion matrix/error matrix* membandingkan data per kategori (kelas) antara data yang sebenarnya di lapangan (*reference data*) dengan data hasil klasifikasi.

Jensen (2005) mendiskripsikan cara perhitungan masing-masing faktor akurasi sebagai berikut:

1. Akurasi keseluruhan (*overall accuracy*), cara menghitungnya dengan membagi jumlah piksel benar (jumlah diagonal utama) dengan jumlah total piksel dalam matriks kesalahan.
2. Akurasi produser (*producer's accuracy*), cara menghitungnya dengan membagi jumlah piksel benar dalam satu kategori dengan jumlah total piksel dalam kolom kategori tersebut.
3. Akurasi pemakai (*user's accuracy*), cara menghitungnya dengan membagi jumlah piksel benar dalam satu kategori dengan jumlah total piksel dalam baris kategori tersebut.
4. Analisis Kappa, merupakan multivariasi diskrit yang digunakan untuk menentukan akurasi, dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut:

Rumus Kappa :

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} \times X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} \times X_{+i})}$$

Keterangan:

- r = jumlah baris dalam matriks
 X_{ii} = jumlah pengamatan dalam baris dan kolom i
 X_{i+} = jumlah total pengamatan pada baris i
 X_{+i} = jumlah total pengamatan pada kolom i
 N = jumlah total pengamatan

		Reference Data				Row	<u>Land Cover Categories</u>
		D	C	AG	SB	Total	
Classified Data	D	65	4	22	24	115	D = deciduous C = conifer AG = agriculture SB = shrub
	C	6	81	5	8	100	
	AG	0	11	85	19	115	
	SB	4	7	3	90	104	
Column Total		75	103	115	141	434	OVERALL ACCURACY = $(65 + 81 + 85 + 90)/434 = 321/434 = 74\%$
		<u>PRODUCER'S ACCURACY</u>				<u>USER'S ACCURACY</u>	
		D = $65/75 = 87\%$				D = $65/115 = 57\%$	
		C = $81/103 = 79\%$				C = $81/100 = 81\%$	
		AG = $85/115 = 74\%$				AG = $85/115 = 74\%$	
		SB = $90/141 = 64\%$				SB = $90/104 = 87\%$	

Gambar 2. 8 Contoh Error Matrix

4.5 Pelaksanaan Pengujian Akurasi

Banyak hal yang perlu diperhatikan terkait teknis pengujian karena dalam kenyataannya masih banyak kesulitan, misalkan foto udara acuan masih perlu direktifikasi supaya mempunyai system proyeksi yang sama dengan citranya. Peta yang tersedia juga perlu dicek kapan pembuatannya, karena bisa saja pada saat melakukan pengujian terjadi perubahan penggunaan atau penutupan lahannya. Masalah tersebut bisa diatasi dengan memilih lokasi yang pengujian secara *purposive* (memilih daerah yang relatif tetap, tidak berubah pada selang waktu itu). Untuk penempatan posisi sesuai koordinat pada peta dapat dibantu dengan menggunakan alat GPS (*Global Positioning System*), yang dapat menunjukkan posisi pengamat baik dalam sistem koordinat UTM maupun lintang bujur.

BAB V

PENGOLAHAN CITRA PENGINDERAAN JAUH

Data hasil perekaman citra satelit merupakan data raster yang di dalamnya terdapat nilai pixel-nilai pixel yang merepresentasikan nilai objek yang direkam dari permukaan bumi. Karakteristik setiap objek di permukaan bumi yang bervariasi dan kemampuan setiap objek dalam memantulkan hasil nilai pantulan panjang gelombang dengan nilai yang variatif menjadikan nilai objek berbeda antara satu dengan yang lainnya. Ketersediaan berbagai band/panjang gelombang yang digunakan pada setiap citra satelit dengan berbagai keunggulan dan kemampuan sensitivitas dalam merekam setiap objek menjadikan pilihan para pengguna citra satelit untuk memilih komposit warna guna melakukan interpretasi tutupan lahan untuk mengetahui bagaimana penggunaan tanahnya.

Kemampuan citra satelit yang dapat menyimpan data raster dalam bentuk digital dalam jumlah banyak memberikan alternatif kemudahan bagi pengguna untuk melakukan analisis pengolahan citra digital baik secara digital ataupun dapat pula dilakukan secara manual. Analisis data citra satelit dapat dilakukan secara manual melalui analisis kunci-kunci interpretasi seperti (warna, rona, bentuk, ukuran, tekstur, asosiasi, situs, bayangan). Dalam kajian ini analisis data citra satelit secara digital disajikan dalam dua cara yakni melalui analisis *supervised* atau analisis terselia/terbimbing dan analisis *unsupervised* atau analisis tak terselia/tak terbimbing. Untuk melakukan kedua analisis tersebut pengguna dapat menggunakan *software* pengolahan citra satelit yaitu ENVI.

5.1 Klasifikasi *Supervised*

Klasifikasi *supervised* merupakan salah satu klasifikasi dan analisis dalam pengolahan data digital citra penginderaan jauh dengan didasari pemasukan contoh objek oleh operator. Sehingga di dalam sistem klasifikasi ini analisis data menggunakan algoritma

yang didasari pada sekumpulan contoh (*training area*). Ada beberapa hal penting yang perlu diperhatikan di dalam melakukan klasifikasi supervised ini yakni:

1. Sistem Klasifikasi;
2. Kriteria Sampel.

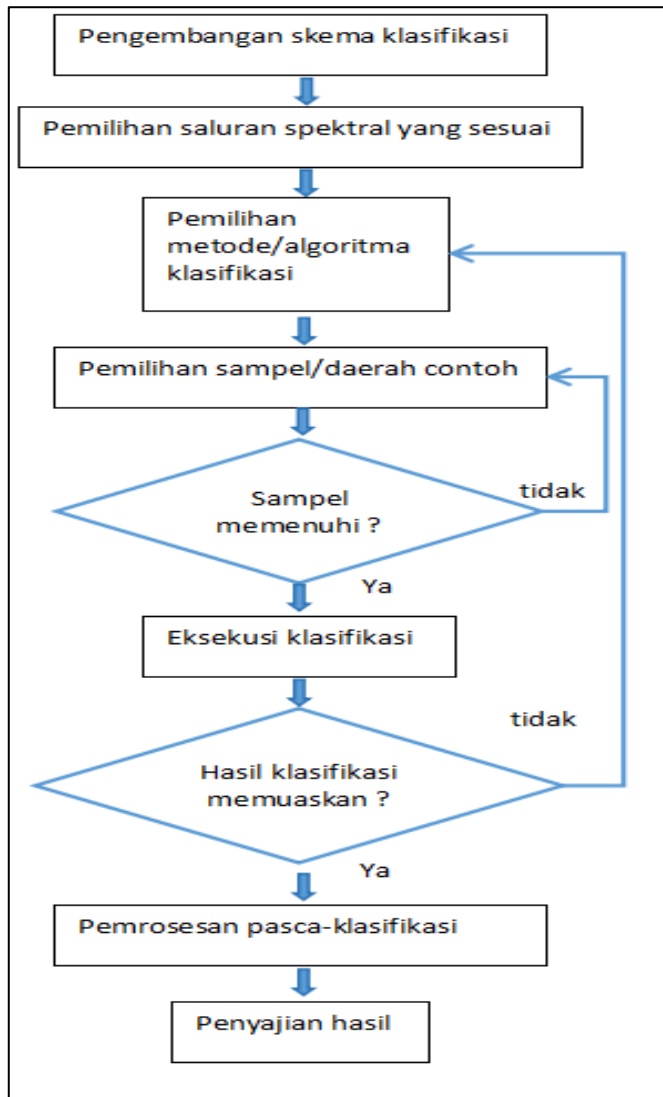
Di dalam pengambilan sampel terhadap objek yang ada di dalam citra satelit berfungsi guna “melatih” komputer untuk mengenali objek berdasar nilai spektral yang berbeda-beda. Sehingga di dalam klasifikasi ini dapat dikatakan bahwasannya:

- Klasifikasi didasari pemasukan contoh objek oleh operator
- Algoritma yang digunakan didasari pada sekumpulan contoh (*training area*)

Adapun tahapan ataupun proses di dalam melakukan klasifikasi terselia dapat disederhanakan sebagaimana tersaji pada gambar 9.

Sistem/skema klasifikasi yang digunakan di dalam analisis citra satelit adalah untuk mengetahui bagaimana tutupan lahan yang ada di permukaan bumi. Sehingga dalam istilah penginderaan jauh terdapat istilah tutupan lahan dan penggunaan lahan. Kedua hal tersebut secara konsep memiliki perbedaan yakni:

- Klasifikasi Multispektral berfungsi untuk mengetahui dan menginterpretasi tutupan lahan sehingga hasilnya dapat berupa pemetaan penutup lahan (*Land Cover*)
- Penggunaan lahan merupakan turunan secara deduktif dari *land cover*, bentuklahan, dan sebagainya. Penggunaan lahan merupakan hasil analisis lebih lanjut terhadap tutupan lahan yang dikenali dalam analisis citra penginderaan jauh. Penggunaan lahan ini dapat bersifat 2 hal yakni penggunaan lahan secara alami sebagai contohnya adalah danau, sungai, gunung dan penggunaan lahan buatan manusia sebagai contohnya adalah pemukiman, gedung perkantoran, sekolah, jalan, jembatan, dan sebagainya.



Gambar 2. 9 Diagram alir proses klasifikasi terselia
(Sumber : modifikasi dari Gao, 2010 dalam Danoedoro, 2012)

Di dalam melakukan analisis klasifikasi penggunaan lahan ini dapat mengacu pada sistem klasifikasi menurut USGS dan NOAA yang menghasilkan klasifikasi berupa gabungan konsep Penutup lahan dan penggunaan lahan, dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Sistem Klasifikasi penutup/penggunaan lahan menurut USGS, dengan dua versi : NOAA (2006, kiri) dan Anderson et al (1976, kanan)

1 Air 11 Air terbuka 12 Es Abadi/ Salju	1 Urban atau lahan terbangun 11 Permukiman 12 Perdagangan dan jasa 13 Industri 14 Transportasi, komunikasi dan utilitas 15 Kompleks industri dan perdagangan
2 Lahan terbangun 21 Permukiman intensitas rendah 22 Permukiman intensitas tinggi 23 Perdagangan/industri/Transportasi	2 Lahan Pertanian 21 Lahan tanaman dan penggembalaan 22 Kebun dan hortikultura 23 Operasi pakan terbatas 24 Lahan pertanian lainnya
3 Lahan terbuka 31 Batuan terbuka/pasir/lempung 32 Lahan galian terbuka/Jalur penambangan/lubang galian 33 Lahan transisi	3 Rangeland 31 Herbaceous Rangeland 32 Shrub-brushland Rangeland 33 Mixed Rangeland
4 Lahan tinggi (upland) berhutan 41 Hutan daun gugur 42 Hutan yang selalu hijau 43 Hutan campuran	4 Lahan Hutan 41 Hutan daun gugur 42 Hutan yang selalu hijau 43 Hutan campuran
5 Semak belukar 51 Semak belukar	5 Air 51 Sungai dan kanal 52 Danau dan telaga 53 Waduk/reservoir 54 Teluk dan estuary
6 Vegetasi berkayu tak alami 61 kebun buah, lainnya	6 Lahan Basah 61 Lahan basah dengan hutan 62 Lahan basah tanpa hutan
7 Lahan tinggi dengan herba, vegetasi alami/nonalami 71 Padang rumput/herba	7 Lahan Terbuka 71 Dataran garam kering 72 Gisik 73 Lahan beepasir selain gisik 74 Singkapan batuan gundul 75 Jalur pertambangan dan galian

	76 Area transisi 77 Lahan terbuka campuran
8 Herba yang ditanam/dibudayakan 81 Lahan penggembalaan dan jerami 82 Tanaman yang ditanam dengan bentuk lajur 83 Biji-bijian kecil 84 Bera (fallow) 85 Urban/rekreasi 86 Rerumputan	8 Tundra 81 Semak-belukar tundra 82 Tundra dengan herba 83 Tundra dengan tanah terbuka 84 Tundra basah 85 Tundra campuran
9 Lahan basah 91 Lahan basah dengan vegetasi berkayu 92 Lahan basah dengan herba yang tumbuh sebagai pengganti (<i>emergent</i>)	9 Liputan Salju dan Es Abadi 91 Medan salju abadi 92 Glasier

Sumber : Pengantar Penginderaan Jauh Digital (Danoedoro, P 2012)
Untuk lebih memahami hubungan antara penggunaan lahan dan penutup lahan dapat diilustrasikan sebagaimana tersaji pada gambar 10.



Gambar 2. 10 Keterkaitan antara Tutupan lahan dan Penggunaan Lahan

Kriteria sampel dalam klasifikasi terselia, yaitu :

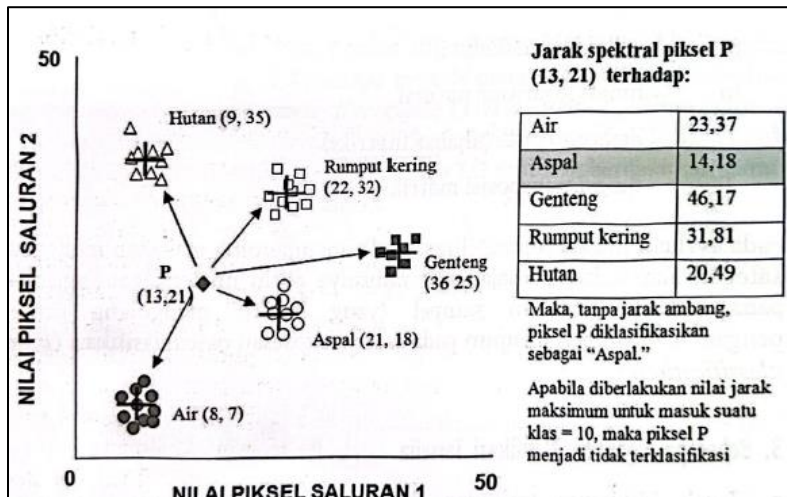
- Sampel haruslah homogen;
- Pada luasan yang homogen pengambilan piksel murni secara mudah dapat diambil di bagian tengah kenampakan obyek;

- Sampel yang baik ditunjukkan homogenitas nilai piksel yang tinggi, yang ditunjukkan oleh kecilnya simpangan baku;
- Jumlah piksel minimum untuk setiap kategori sejumlah 100 piksel (Campbell, 2002); sedangkan Joyce (1978), jumlah sampel cukup 10-40 piksel per daerah contoh.
- Lokasi daerah contoh sebaiknya menyebar pada seluruh liputan citra.
- Pemilihan sampel lebih berpengaruh terhadap akurasi hasil klasifikasi drpd pemilihan algoritma klasifikasi itu sendiri Campbell (2002) .

Di dalam klasifikasi terselia ini dikenal beberapa sistem algoritma yang dijelaskan sebagai berikut :

1. Algoritma Jarak Minimum Terhadap Rerata (*Minimum distance to mean Algorithm*)

- Setiap piksel dapat diplot pada ruang spektral, dan diukur jarak spektralnya terhadap suatu piksel sampel acuan (yang telah diketahui pasti jenisnya).
- Pada algoritma ini hanya dibutuhkan nilai ambang batas (threshold value), bila semua jarak yg dihitung ternyata tidak memenuhi maka piksel yang bersangkutan dianggap tak terklasifikasi, dapat dilihat pada gambar 11.
- Kelebihan proses cepat dan kelemahannya tidak mempertimbangkan variabilitas kelas sehingga kemungkinan salah klasifikasinya besar.



Gambar 2. 11 Algoritma Jarak Minimum Terhadap Rerata (Minimum distance to mean Algorithm).
(Sumber : Danoedoro, P 2012)

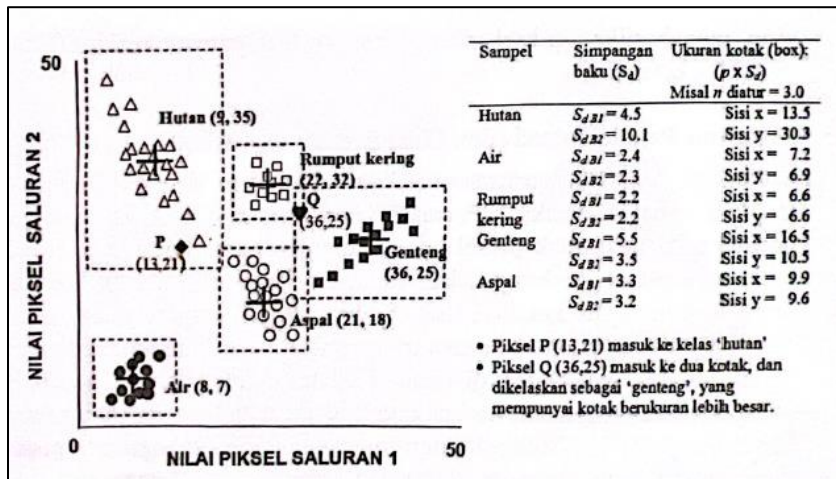
2. Algoritma Parallelepiped (*Box Classification Algorithm*)

Langkah klasifikasi:

- Operator memasukkan sampel berupa nilai kelompok piksel beserta dengan nama (label)nya.
- Sampel-sampel yg telah tercatat nilai rerata dan labelnya ini kemudian akan ditempatkan pada ruang spektral n dimensi.
- Operator diminta memasukkan suatu koefisien pengali p.

Prinsip algoritma parallelepiped :

Besarnya nilai faktor pengali p sangat menentukan banyaknya piksel yg tak terklasifikasi. Semakin besar nilai p, semakin besar ukuran tiap kotak, dan semakin kurang teliti hasil klasifikasinya (banyak yang *misclassified*), karena tingkat generalisasinya pun menjadi semakin besar, dapat dilihat konsepnya pada gambar 12.

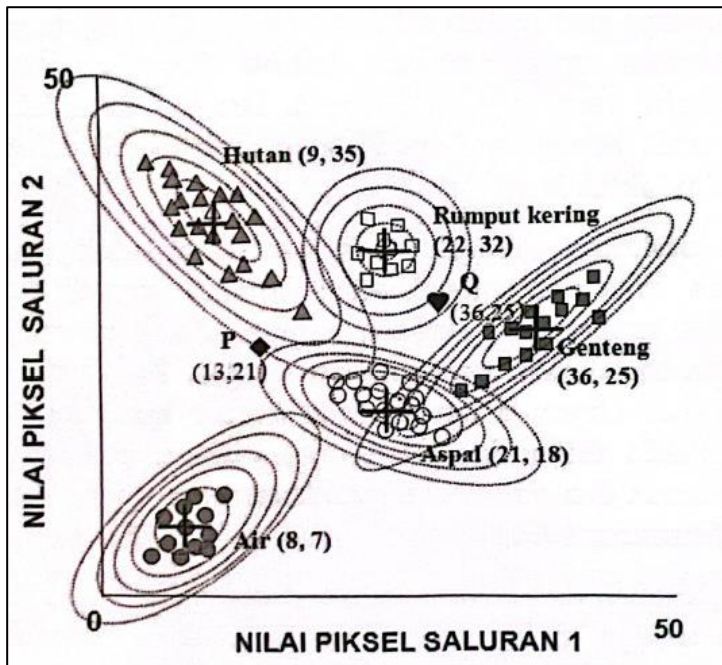


Gambar 2. 12 Algoritma Parallelepiped.

(Sumber : Danoedoro, P 2012)

3. Algoritma Kemungkinan Maksimum (Maximum Likelihood)

- Algoritma yang secara statistik paling mapan, menggunakan dasar perhitungan probabilitas.
- Asumsi : objek homogen selalu menampilkan histogram yang terdistribusi normal (Bayesian).
- Pixel dikelaskan berdasarkan bentuk, ukuran, dan orientasi sampel pada feature space bukan berdasarkan pada jarak euklidiannya.
- Statistik sampel bersifat Gaussian (terdistribusi normal).
- Informasi probabilitas dari sampel yang dikumpulkan menggunakan fungsi kerapatan *probability* , dapat dilihat seperti gambar 13.



Gambar 2. 13 Fungsi kerapatan probabilitas algoritma Maximum likelihood.

(Sumber : modifikasi dari Lillesand et.al 2008 dalam Danoedoro 2012)

Dari gambar 13 dijelaskan bahwa piksel P (13,21) meskipun secara linier berjarak lebih dekat ke pusat sampel “aspal”, tetapi mempunyai probabilitas lebih tinggi untuk masuk ke kelas “hutan” daripada untuk masuk ke kelas “aspal”. Selain itu untuk piksel Q (36,25) karena tingkat probabilitasnya lebih mungkin untuk masuk ke kelas “rumput kering” daripada ke kelas “genteng”.

5.2 Klasifikasi Unsupervised

Klasifikasi *unsupervised* merupakan klasifikasi yang secara otomatis diputuskan oleh komputer/klasifikasi a-posteriori (pasca fakta). Di dalam klasifikasi ini terdapat proses iterasi hingga menghasilkan pengelompokan gugus-gugus pixel.

Beberapa hal dalam klasifikasi *unsupervised* meliputi :

- *Statistical Clustering*

- Penggugusan statistik (*Statistical Clustering*)
- Parameter statistik berupa nilai variansi (ragam) untuk menentukan homogenitas gugus.

Dalam klasifikasi ini Beberapa masukan atau perlakuan yang dilakukan oleh operator meliputi :

- Jumlah gugus/kelas maksimum
- Nilai ambang variansi
- Jumlah gerakan jendela untuk perhitungan variansi
- Nilai ambang jarak antargugus.

Beberapa algoritma klasifikasi *unsupervised*, yaitu :

1. Jarak Minimum ke Pusat Gugus (*Minimum Distance to Cluster Center*)

Jarak Minimum ke pusat gugus (Minimum Distance to Cluster Center) disebut juga sebagai *k-means algorithm*.

Tahapan dalam algoritma :

- Secara bebas operator memasukkan jumlah maksimum kelas atau gugus;
- Komputer mengacak masukkan tersebut, dan akan mendapatkan vektor rerata sebagai titik-titik pusat gugus (gugus-gugus sendiri belum terbentuk);
- Berdasarkan distribusi titik-titik pusat, seluruh titik piksel dihitung dan ditandai sesuai dengan nama atau urutan gugus yang terdekat jaraknya.
- Untuk meningkatkan efisiensi proses, masukan utama dari operator yang dibutuhkan adalah: jumlah maksimum kelas/gugus, jarak antar 2 pusat gugus, jejari gugus, jumlah piksel minimum sbg nilai ambang faktor penghilangan gugus.

2. Penggugusan Statistik (*Statistical Clustering*)

- Algoritma ini menggunakan parameter statistik berupa nilai variansi utk menentukan homogenitas kelas atau gugus;
- Hasil klasifikasi adalah kelompok-kelompok spektral yg siap untuk diklasifikasi secara terselia;
- Algoritma ini membutuhkan masukan berupa a) jumlah gugus/kelas maksimum, b) nilai ambang variansi, c) jumlah

gerakan jendela untuk setiap kali perhitungan variansi dan rerata, dan d) nilai ambang jarak antar gugus.

3. **ISODATA (*Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique*)**

- Menggunakan formula minimal utk mengelompokkan piksel pada citra multispektral utk menghasilkan gugus-gugus yg relatif homogen;
- Komputer melakukan kalkulasi nilai-nilai rerata kelas dengan mempertimbangkan distribusi nilai yg merata, kemudian melakukan iterasi pembentukan gugus dengan memperhatikan nilai rerata yg baru;
- Metode perhitungan yang dipakai biasanya adalah jarak minimum terhadap rerata.

4. **Algoritma Campuran (*Hybrid algorithm*)**

- Bahwa penghitungan nilai piksel pada seluruh citra sangat menghabiskan waktu dan biaya;
- Metode ini dikembangkan dengan hanya mempertimbangkan daerah sampel yang secara spektral cukup mewakili daerah keseluruhan pada citra;
- Hasil pengelompokkan spektral ini diekstrak menjadi file tersendiri dan dijadikan masukan dalam ekstrapolasi pengelompokan utk seluruh citra;
- Istilah *hybrid* diberikan karena adanya proses pengambilan bagian citra (subset) sebagai sampel (pengambilan sampel lebih sering digunakan pada algoritma klasifikasi terselia).

BAB VI

APLIKASI CITRA PENGINDERAAN JAUH PADA BIDANG PERTANAHAN DAN TATA RUANG

6.1 Peranan Citra Penginderaan Jauh

Kebutuhan dan ketersediaan data spasial menjadi sebuah hal yang penting dalam berbagai kegiatan perencanaan, pembangunan serta pelayanan di bidang pertanahan dan tata ruang. Penyusunan kebijakan dengan melakukan analisis spasial dan berdasarkan pada sebuah peta tentunya dapat membantu perumus kebijakan untuk memahami kondisi geomorfologis, kondisi eksisting penggunaan lahan dan kondisi alam serta sumber daya alam secara keruangan. Kemampuan peta dan citra dalam menyajikan data secara *up to date* ataupun kemampuan citra penginderaan jauh yang mampu menyajikan data secara temporal dengan cakupan yang cukup luas tentunya dapat membantu kegiatan percepatan di bidang pertanahan ataupun tata ruang.

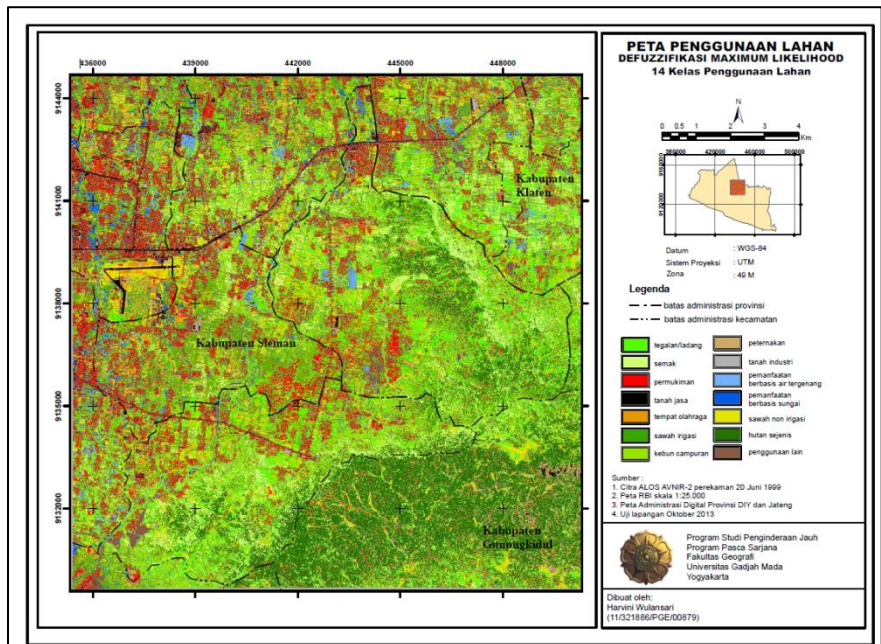
Tuntutan pembangunan yang membutuhkan kebijakan secara cepat tentunya dapat berjalan dengan baik apabila di dukung dengan adanya peta yang mampu menyajikan kondisi eksisting di lapangan secara tepat. Berbagai kepentingan analisis untuk berbagai kebijakan juga tak luput dari adanya peran penginderaan jauh. Kemampuan penginderaan jauh dengan perkembangan yang cukup pesat dimana mampu menyajikan citra satelit resolusi tinggi (CSRT) dapat dimanfaatkan khususnya oleh pertanahan dan tata ruang di dalam menjalankan tugas pokok dan fungsinya. Ketersediaan data citra penginderaan jauh yang dapat diakses secara gratis yakni adanya citra Landsat maupun citra satelit yang di-*download* lewat *google earth* dapat dimanfaatkan oleh pengguna (*user*) untuk berbagai kepentingan analisis dan menyusun peta-peta tematik dengan tujuan tertentu.

6.2 Terapan Penginderaan Jauh Untuk Pertanahan

Beberapa contoh pemanfaatan citra penginderaan jauh kaitannya dengan pekerjaan di bidang pertanahan dan tata ruang diantaranya adalah:

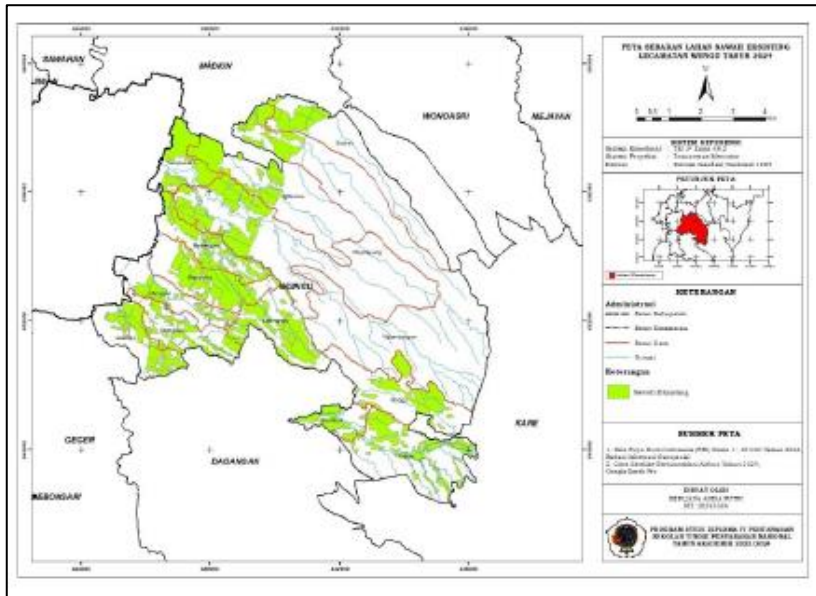
1. Pemanfaatan Citra Penginderaan Jauh untuk Klasifikasi Penggunaan Lahan

Teknologi penginderaan jauh merupakan salah satu cara yang dapat dimanfaatkan untuk melakukan klasifikasi penggunaan lahan dengan menggunakan data citra satelit dalam pengolahan datanya. Inventarisasi penggunaan lahan penting dilakukan untuk mengetahui apakah pemetaan lahan yang dilakukan oleh aktifitas manusia sesuai dengan potensi dan daya dukungnya. Integrasi teknologi penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan salah satu metode yang potensial dalam penyusunan arahan fungsi lahan. Dasar penggunaan lahan dapat dikembangkan untuk berbagai kepentingan penelitian, perencanaan dan pengembangan wilayah. Berbagai penelitian atau kajian sudah banyak yang membahas bagaimana pemanfaatan citra penginderaan jauh untuk melakukan klasifikasi penggunaan lahan yang kemudian dengan proses kartografi menjadi Peta Penggunaan Lahan. Wulansari, H (2017) melakukan penelitian yang memanfaatkan Citra ALOS AVNIR-2 untuk klasifikasi penggunaan lahan dengan metode defuzzifikasi maximum likelihood. Klasifikasi penggunaan lahan dilakukan dengan cara klasifikasi digital dan melalui proses kartografi maka dihasilkan Peta Penggunaan Lahan yang dapat dilihat pada gambar 14.

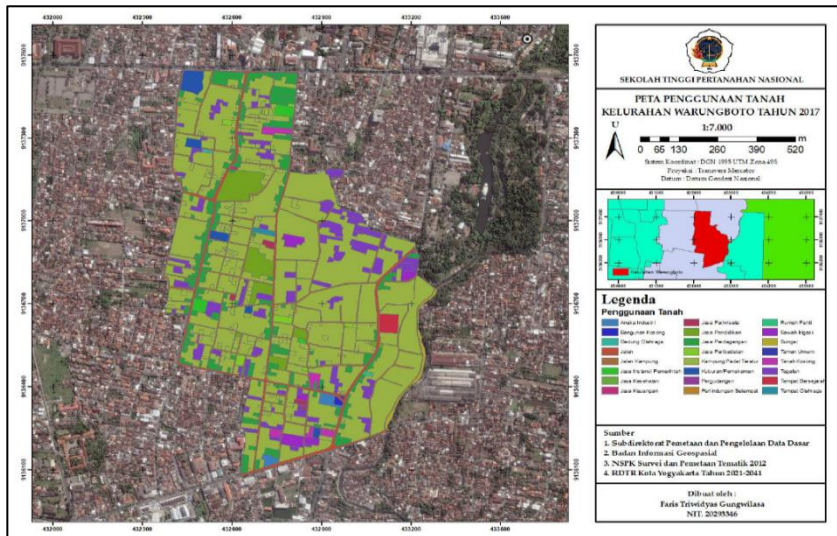


Gambar 2. 14 Tampilan Peta Penggunaan Lahan hasil defuzzifikasi menggunakan metode Maximum Likelihood.
(Sumber : Wulansari, H 2017)

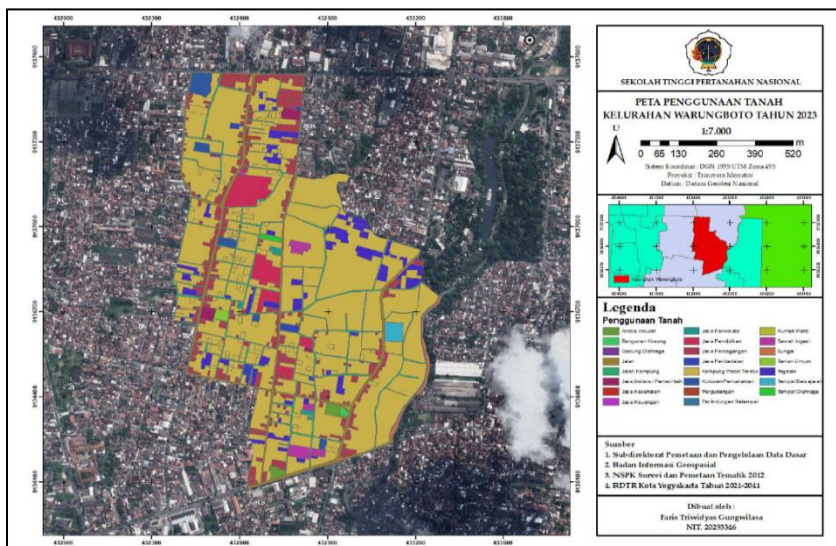
Gambar 14 merupakan hasil klasifikasi digital dengan menggunakan citra satelit melalui proses pengolahan citra menggunakan *software Idrisi*. Selain dengan cara klasifikasi digital, pengklasifikasian penggunaan lahan dapat digunakan juga secara visual dengan cara digitasi *on screen* citra satelit konstelasi Airbus tahun 2024 yang didapat dari *Google Earth Pro* dan telah terkoreksi secara geometris, menggunakan *software ArcGIS* untuk memperoleh data spasial lahan sawah eksisting seperti yang dibahas dalam penelitian Anisa Putri, B (2024). Hasil klasifikasi secara visual dengan digitasi *on screen* dapat dilihat pada gambar 15.



Sementara itu klasifikasi penggunaan lahan juga dapat digunakan untuk melihat potensi perubahan penggunaan lahan terhadap penerapan Rencana Detil Tata Ruang, seperti yang diteliti oleh Gungwilasa, FT (2024) dengan memanfaatkan citra satelit Pleides, studi di Kelurahan Warungboto, Kemantren Umbulharjo, Kota Yogyakarta, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dengan menggunakan citra satelit multitemporal untuk melihat perubahan penggunaan tanah yang terjadi di Kelurahan Warungboto dalam kurun waktu tahun 2017-2023. Peta hasil klasifikasi penggunaan lahan beda waktu tersebut dapat dilihat pada gambar 16 dan 17.



Gambar 2. 16 Tampilan Peta Penggunaan Tanah Kelurahan Warungboto Tahun 2017.
(Sumber : Gungwilasa, FT 2024)



Gambar 2. 17 Tampilan Peta Penggunaan Tanah Kelurahan Warungboto Tahun 2023.
(Sumber : Gungwilasa, FT 2024)

2. Pemanfaatan Citra Satelit Resolusi Tinggi untuk Mempercepat Pengukuran dan Pemetaan Bidang kaitannya dengan Program Strategis PTSL (Pendaftaran Tanah Sistematis Lengkap)

Program PTSL merupakan salah satu agenda strategis Pemerintahan Presiden Jokowi-JK. Target PTSL yang telah ditetapkan oleh Pemerintah dan didistribusikan kepada kantor pertanahan di seluruh Indonesia menjadi salah satu tugas utama dan target yang harus dicapai oleh setiap Kantor Pertanahan. Berbagai upaya percepatan telah banyak dilakukan untuk mendukung kegiatan tersebut. Salah satu mekanisme yang dilakukan yakni melalui pemanfaatan citra Satelit Resolusi Tinggi untuk membantu menyusun Peta Kerja Pendaftaran Tanah.

Kemampuan Citra Satelit Resolusi Tinggi yang mampu merekam objek dengan resolusi spasial hingga tingkat detail 0,6 m dan bahkan lebih memudahkan pekerjaan-pekerjaan yang sifatnya spasial dan persil lebih cepat dilakukan. Penyiapan peta kerja sebelum ke lapang dengan terlebih dahulu menyiapkan peta kerja dapat membantu kegiatan pengukuran bidang dan pendaftaran tanah berjalan lebih cepat sehingga target PTSL yang telah ditetapkan dapat tercapai.

Salah satu kajian terkait pemanfaatan penginderaan jauh, foto udara maupun drone dikaji oleh Utami, Permadi, Jannah (2019) dengan judul berupa Pemanfaatan Penginderaan Jauh untuk percepatan Pendaftaran Tanah Daerah Perbatasan. Untuk membahas lebih jauh terkait aplikasi ini maka mahasiswa dapat membaca melalui situs <http://senastindo.aau.ac.id>.

3. Pemanfaatan Penginderaan Jauh untuk Percepatan Identifikasi Penguasaan Tanah Kawasan Hutan kaitannya dengan TORA (Tanah objek Reforma Agraria)

Program Reforma agraria yang digalakkan pemerintah Jokowi pada era 2015 hingga 2019 salah satunya menargetkan tanah kawasan hutan sebagai sumber TORA. Dalam hal ini untuk menginventarisasi dan mengidentifikasi tanah-tanah dalam kawasan hutan yang sudah dikuasai oleh masyarakat untuk

penggunaan lahan berupa pemukiman maupun lahan garapan yang selanjutnya dapat dikeluarkan oleh Kementerian Kehutanan untuk dapat dialokasikan untuk sumber TORA.

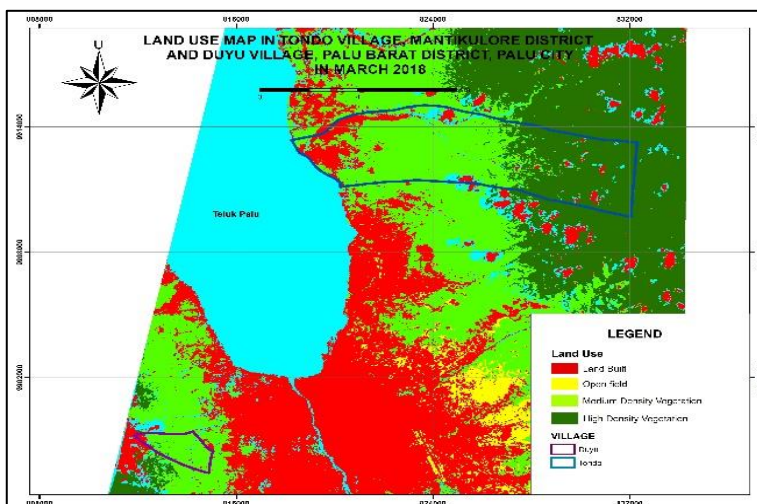
Keberadaan masyarakat yang tinggal dalam kawasan hutan tentunya perlu dilakukan pemetaan dan identifikasi sejak awal. Pemanfaatan citra satelit penginderaan jauh resolusi tinggi sebagaimana kajian yang dilakukan Utami, dkk (2019) secara singkat dapat disampaikan bahwasannya pemanfaatan CSRT untuk kawasan hutan dapat dimanfaatkan untuk memetakan pemukiman-pemukiman dalam kawasan hutan, dengan harapan melalui analisis CSRT ini dapat mempercepat kegiatan inventarisasi dan verifikasi penguasaan tanah dalam kawasan hutan untuk mendukung program Reforma Agraria yang digalakkan di Indonesia.

4. Pemanfaatan Citra Satelit untuk Monitoring Perubahan Penggunaan Lahan

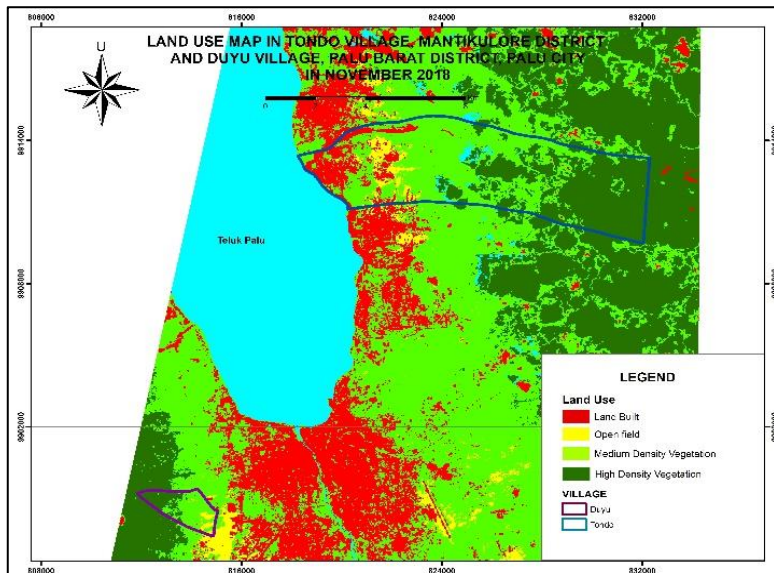
Beberapa pemanfaatan citra satelit penginderaan jauh yang sering dilakukan oleh *user* diantaranya untuk mengetahui dan melakukan analisis terhadap perubahan penggunaan lahan. Kemampuan citra satelit yang tersaji secara temporal yang cukup lengkap dan mencakup daerah yang lebih luas apabila dibandingkan dengan hasil perekaman melalui foto udara berawak, serta harga citra satelit yang lebih terjangkau menjadikan data citra banyak dipilih oleh *user* untuk melakukan kajian-kajian spasial.

Di dalam melakukan kajian untuk interpretasi penggunaan lahan pada suatu wilayah tertentu tentunya harus memperhatikan skala peta yang akan disusun. Penyusunan peta skala besar tentunya harus menggunakan data citra yang memiliki resolusi spasial yang tinggi diantaranya citra Quickbird ataupun Ikonos. Sementara apabila *user* menghendaki penyusunan peta penggunaan lahan dengan resolusi spasial tingkat menengah ataupun tingkat rendah dapat memanfaatkan citra satelit dengan resolusi menengah diantaranya adalah citra Landsat dengan resolusi spasial 30 meter.

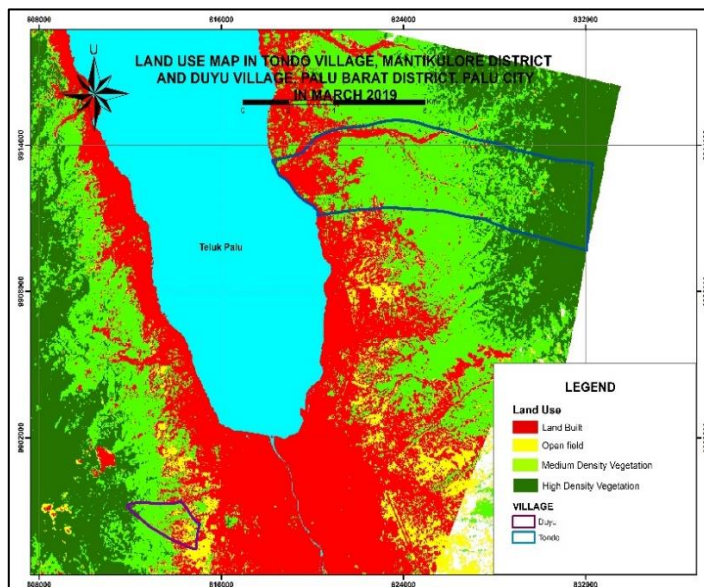
Dalam melakukan analisis data spasial untuk kepentingan tersebut maka *user* dapat melakukan pendekatan melalui klasifikasi *supervised* ataupun klasifikasi *unsupervised*. Untuk mendapatkan bagaimana perubahan penggunaan lahan yang terjadi maka analisis terhadap penggunaan lahan dilakukan pada setiap citra dengan periode waktu yang berbeda. Salah satu pemanfaatan data citra penginderaan jauh untuk mengetahui dan melakukan monitoring penggunaan lahan disajikan sebagaimana pada gambar 18,19 dan 20.



Gambar 2. 18 Tampilan Peta Penggunaan lahan Sebagian Provinsi Palu Bulan April 2018.
(Sumber: Utami, dkk 2019)



Gambar 2. 19 Tampilan Peta Penggunaan lahan Sebagian Provinsi Palu Bulan November 2018.
(Sumber: Utami, dkk 2019)



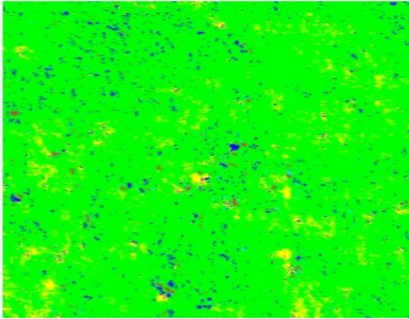
Gambar 2. 20 Tampilan Peta Penggunaan lahan Sebagian Provinsi Palu Bulan Maret 2019.
(Sumber: Utami, dkk 2019)

Pemanfaatan monitoring serta perubahan penggunaan lahan ini dapat diimplikasikan untuk berbagai kepentingan untuk merumuskan berbagai kebijakan salah satunya di dalam merumuskan RTRW ataupun RDTR ataupun untuk kepentingan pembangunan dan pengembangan kawasan tertentu. Salah satu kajian terkait monitoring/pemanfaatan data penginderaan jauh untuk mengetahui penggunaan lahan dikaji oleh penulis Utami, dkk (2019).

5. Pemanfaatan Citra Satelit untuk Percepatan Identifikasi Tanah Terlantar

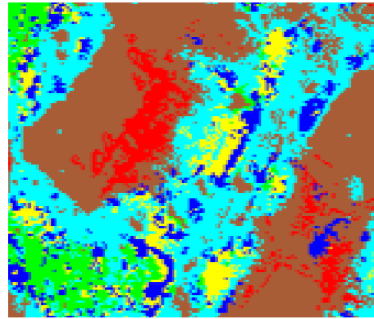
Data citra satelit penginderaan jauh dengan kemampuan resolusi temporal yang mampu merekam wilayah dengan waktu secara periodik dapat dimanfaatkan untuk berbagai analisis untuk menentukan sebuah kebijakan tertentu. Salah satu pemanfaatannya yakni untuk memantau penggunaan lahan yang telah diberikan izin HGU kepada perusahaan-perusahaan tertentu.

Sebagaimana diatur dalam peraturan perundang-undangan yakni Peraturan Pemerintah Nomor 11 Tahun 2010 tentang tanah terlantar menyebutkan bahwasanya penggunaan tanah yang dilakukan oleh perusahaan apabila kondisi eksisting tidak sesuai atau tanah masih dalam kondisi terlantar maka dapat diberikan peringatan dan masuk dalam daftar inventarisasi tanah terlantar. Terhadap kondisi tanah tersebut maka kantor pertanahan dapat melakukan identifikasi dan penyelidikan terhadap kondisi tanah yang ditelantarkan sesuai dengan peraturan perundang-undangan. Untuk memahami lebih komprehensif terhadap pemanfaatan citra penginderaan jauh maka mahasiswa dapat membaca salah satu kajian yang dilakukan Utami, dkk (2017). Berikut salah satu pemanfaatan data citra penginderaan jauh untuk monitoring penggunaan lahan pada kawasan yang sudah diberikan izin HGU yang dapat dilihat pada gambar 21a dan 21b.



Gambar 2. 21

Contoh penggunaan tanah
sesuai arahan HGU.
(Sumber : Utami, dkk 2019)

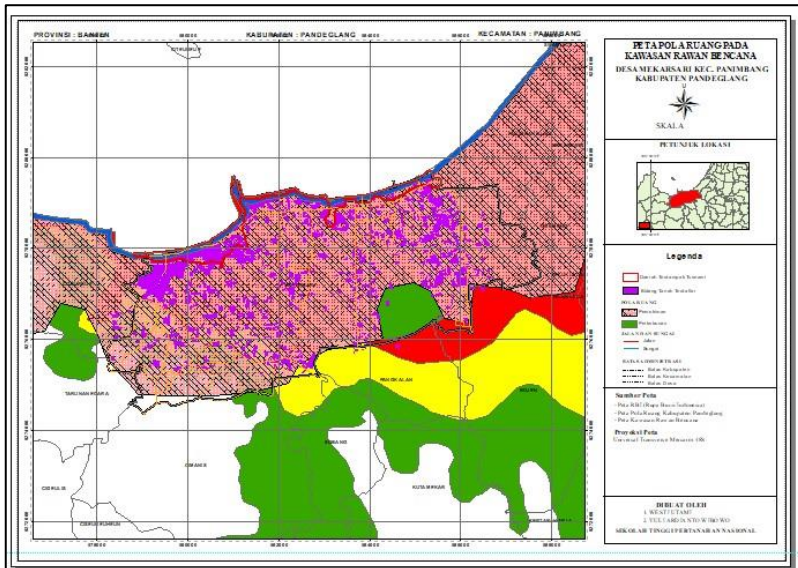


Gambar 2. 22

Contoh penggunaan tanah
berupa permukiman sesuai
arahan HGU.
(Sumber : Utami, dkk
2019)

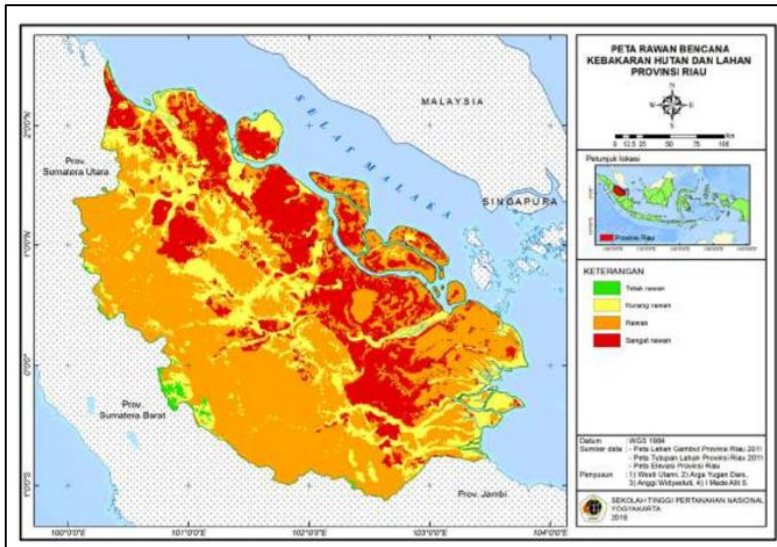
6. Pemanfaatan Citra Penginderaan Jauh untuk Tata Ruang dan Aplikasi Terkait Kebijakan ATR/BPN

Data citra penginderaan jauh memiliki kemampuan untuk menyajikan data secara update dengan cakupan luas dengan berbagai resolusi spasial. Pemanfaatan data citra yang selalu update ini dapat dimanfaatkan untuk memantau apakah penggunaan tanah eksisting di lapangan memiliki kesesuaian dengan arahan yang terdapat pada rencana tata ruang. Selain itu pemanfaatan data penginderaan jauh dapat pula dimanfaatkan untuk melakukan analisis apakah pada daerah yang memiliki tingkat kerawanan bencana memiliki arahan tata ruang yang sudah disesuaikan agar pengurangan risiko bencana. Kajian terkait bagaimana pemanfaatan data penginderaan jauh dalam tata ruang salah satunya dikaji oleh Utami, dkk (2019). Dimana pada suatu wilayah pesisir yang memiliki tingkat kerawanan bencana tsunami arahan penggunaan dan pemanfaatan lahan diarahkan untuk kawasan permukiman.



Gambar 2. 23 Tampilan Peta Pola Ruang Pada Kawasan Rawan Bencana Tsunami.
(Sumber: Utami 2019)

Selain dimanfaatkan untuk berbagai keperluan sebagaimana tersebut di atas, pemanfaatan data citra penginderaan jauh dapat pula diaplikasikan untuk keperluan lain diantaranya untuk memetakan daerah rawan kebakaran kaitannya untuk menertibkan perusahaan-perusahaan pemegang HGU apabila melakukan pelanggaran di dalam melakukan pengelolaan dan pemanfaatan Sumber Daya Alam. Kajian terkait bagaimana pemanfaatan data citra satelit beserta data spasial lainnya dengan melakukan overlay/tumpang susun data spasial dilakukan Utami, dkk (2017) dengan pokok kajian berupa Pengurangan Resiko Kebakaran Hutan Dan Lahan Melalui Pemetaan HGU Dan Pengendalian Pertanahan (Studi Kasus Provinsi Riau). Mahasiswa dapat mendalami kajian ini lebih lanjut melalui akses online yang tersedia pada Bhumi Jurnal Agraria dan Pertanahan. Salah satu hasil kajian tersebut menghasilkan peta sebaran tingkat kerawanan bencana kebakaran sebagaimana tersaji pada gambar 23.



Gambar 2. 24 Tampilan Peta Kerawanan Bencana Kebakaran Hutan dan Lahan.
(Sumber: Utami, dkk 2017)

7. Pemanfaatan Citra Penginderaan Jauh untuk Mengidentifikasi Permasalahan Tumpang Tindih penguasaan tanah yang terjadi di kawasan transmigrasi

Permasalahan yang sering terjadi terkait dengan lahan transmigrasi yaitu adanya tumpang tindih atau *overlap* lahan, baik disebabkan karena *overlap* dengan kawasan hutan, bidang tanah masyarakat lokal, lahan HGU Perkebunan, tanah adat, maupun tanah-tanah yang sudah dikuasai oleh pihak lain.

Data spasial mengacu pada informasi yang memiliki referensi geografis dan dapat digunakan untuk analisis dan visualisasi kondisi geografis suatu area. Dalam konteks transmigrasi, data spasial digunakan untuk memetakan dan menganalisis penggunaan lahan, identifikasi kepemilikan tanah, serta konflik penguasaan tanah. Identifikasi masalah tumpang tindih penguasaan tanah dapat dilakukan melalui analisis *overlay* peta yang menunjukkan batas-batas kepemilikan tanah dengan peta penggunaan lahan. Analisis ini membantu mengidentifikasi area di mana terdapat klaim tanah yang tumpang tindih. Hal ini karena

data spasial dapat digunakan untuk analisis yang akurat, komprehensif, dan memberikan informasi serta gambaran secara visual terkait kondisi terkini penggunaan lahan di area transmigrasi.

Seperti kajian yang telah dilakukan Suhattanto dkk (2024) bahwa untuk mengatasi permasalahan tumpang tindih lahan transmigrasi dengan kawasan hutan, bidang tanah masyarakat lokal, lahan HGU maupun tanah-tanah yang sudah dikuasai pihak lain dapat memanfaatkan data spasial berupa Citra Satelit Resolusi Tinggi atau bisa dengan Foto Udara.

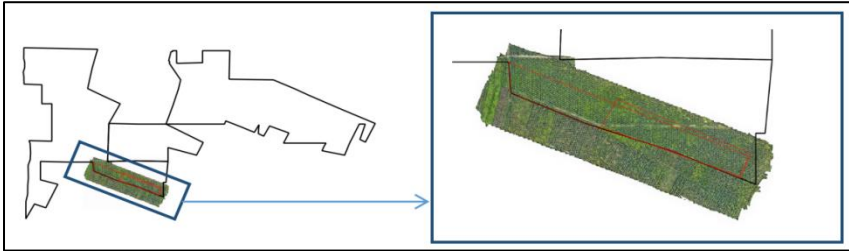
Berikut contoh visual lahan transmigrasi yang diokupasi oleh masyarakat yang dapat dilihat pada gambar 24.



Gambar 2. 25 Visualisasi HPL Transmigrasi yang Tumpang Tindih dengan Pemukiman.

(Sumber : Suhattanto, dkk 2024)

Selain itu pada gambar 25 dapat dilihat contoh pemanfaatan data spasial untuk mengetahui kawasan transmigrasi yang saling tumpang tindih dengan kawasan perusahaan atau badan usaha.

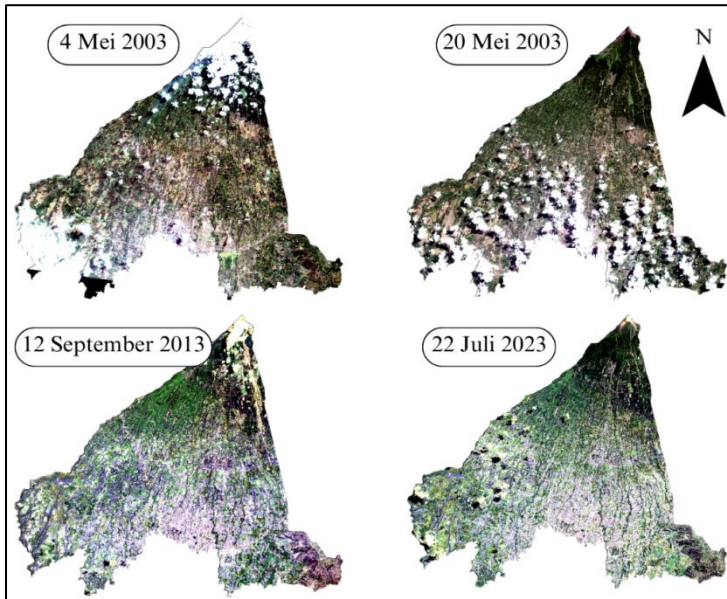


Gambar 2. 26 Visualisasi Tumpang Tindih Lahan HGU dengan Kawasan Transmigrasi.
(Sumber : Suhattanto, dkk 2024)

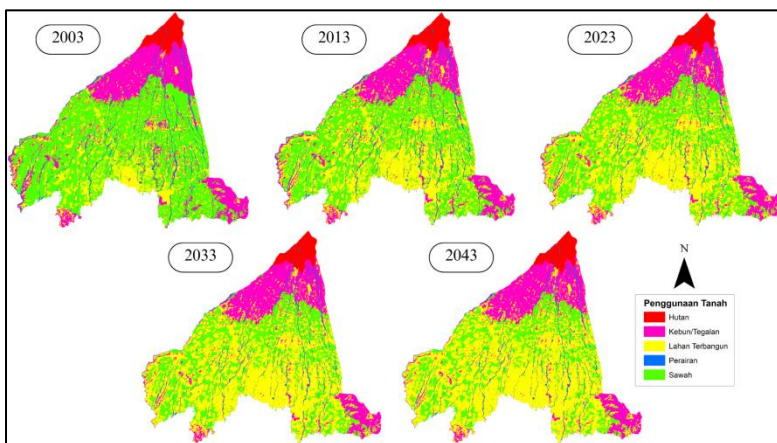
8. Pemanfaatan Citra Satelit untuk Prediksi Perubahan Penggunaan Tanah

Citra satelit dapat digunakan untuk memantau perubahan penggunaan lahan dari waktu ke waktu. Dengan menganalisis citra satelit yang diambil pada interval waktu tertentu, perubahan seperti deforestasi, urbanisasi, atau konversi lahan pertanian dapat dideteksi. Dengan teknik pengolahan citra seperti klasifikasi berbasis piksel atau objek, area lahan dapat dikategorikan berdasarkan penggunaan seperti hutan, pertanian, pemukiman, dan air. Perubahan dalam kategori ini dari waktu ke waktu dapat digunakan untuk memprediksi tren masa depan.

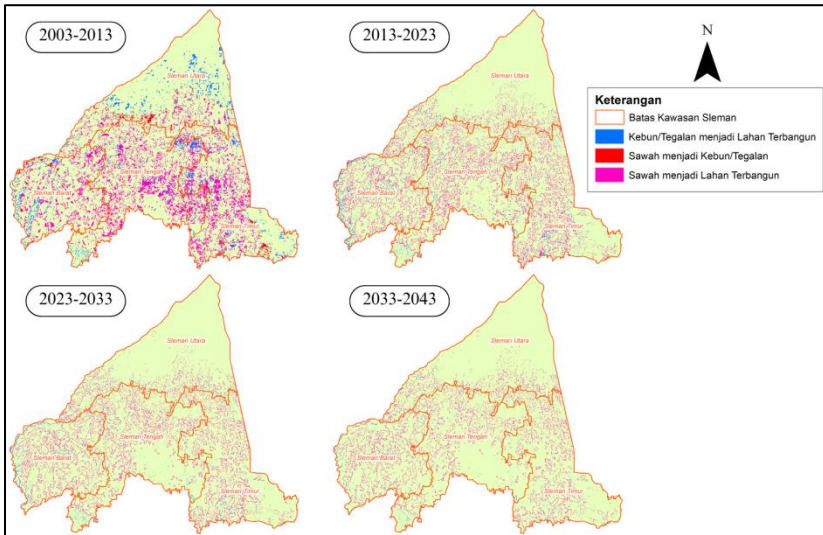
Model spasial yang didukung oleh data citra satelit dapat digunakan untuk memprediksi perubahan penggunaan lahan di masa depan. Model ini biasanya memanfaatkan teknik *machine learning* dan analisis statistik untuk mengidentifikasi pola dalam data historis dan memproyeksikannya ke masa depan. Seperti yang telah diteliti oleh Suprojo, B (2024) dengan menggunakan data Citra Satelit Landsat 7 dan 8 yang berbeda waktu (citra satelit multitemporal) dapat dilihat pada Gambar 19, menggunakan teknik pemodelan *machine learning* yaitu *Support Vector Machine* (SVM) untuk klasifikasi penggunaannya dan *Cellular Automata-Artificial Neural Network* (CA-ANN) untuk prediksi penggunaan lahan di masa datang. Hasil klasifikasi penggunaan lahan secara digital dan prediksi menggunakan CA-ANN dapat dilihat pada gambar 26 dan gambar 27.



Gambar 2. 27 Citra Landsat 7 dan 8 tahun 2003, 2013, dan 2023
 Hasil Komposit Natural Colored.
 Sumber: Suprojo, B (2024)



Gambar 2. 28 Hasil Klasifikasi Penggunaan Tanah menggunakan
 data citra satelit berbeda waktu.
 (Sumber : Suprojo, B 2024)



Gambar 2. 29 Perubahan dan Prediksi Lahan Pertanian menjadi Lahan Terbangun menggunakan Cellular Automata-Artificial Neural Network (CA-ANN).
(Sumber : Suprojo, B (2024))

DAFTAR PUSTAKA

- Artika, IG, Arisanto, A 2018, Aplikasi citra satelit penginderaan jauh untuk percepatan identifikasi tanah terlantar, *Bhumi Jurnal Agraria dan Pertanian*,
Doi:dx.dio.org/10.31292/jb.v4i1.215
- Ayani, RH 2024, Tutorial Pengolahan citra SAR Sentinel 1 A menggunakan teknik DInSAR, *Training Module : Aksara Lab Indonesia* 2024
- Campbell, JB 2002, Introduction to remote sensing, 3 rd edition, Newyork : Guildford Press
- Danoedoro, P 1996, Pengolahan citra digital (teori dan aplikasinya dalam bidang penginderaan jauh).
- Danoedoro, P 2012, Pengantar penginderaan jauh digital, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Gandharum, L 2011, Kesepadanan skala peta dan resolusi spasial citra, *Jurnal Geospasial*, Vol.9 no. 1 April 2011
- Gibson, PJ, Power, CH 2000, Introductory remote sensing digital image processing and aplications, Routledge
- Gungwilasa, FT 2024, 'Analisis kesesuaian penggunaan tanah dan potensi perubahan penggunaan tanah terhadap penerapan rencana detil tata ruang', Skripsi pada Sekolah Tinggi Pertanian Nasional Yogyakarta
- Hidayat, A 2010, 'Citra hasil foto penginderaan jauh', blog materi pembelajaran geografi SMA , web diposting pada 9 Februari 2010 , dilihat pada 1 September 2024
<https://bloggeografi.id/2010/02/09/citra-foto-hasil-penginderaan-jauh/>
- Howard, JA 1991, Penginderaan jauh untuk sumberdaya hutan teori dan aplikasi, Penyunting : Sutanto, Fakultas Geografi, Gadjah Mada University Press.
- Imahagi Region III 2012, 'Citra Quickbird Penginderaan Jauh', 9 November 2012, dilihat pada tanggal 5 Agustus 2019,
<https://imahagiregion3.wordpress.com/2012/11/09/citra-quickbird-penginderaan-jauh>Jensen, J.R 2005, Introductory digital image processing : a remote sensing

- perspective, third edition, Pearson Education, Inc., United States of America.
- Indarto, Faisol, A 2012, Konsep dasar analisis spasial, Andi Offset
- Katalog Inderaja 2018, 'Pleiades Citra Satelit Resolusi Sangat Tinggi', web diposting tahun 2018 dilihat pada 7 September 2024
https://inderaja-catalog.lapan.go.id/application_data/default/pages/about_Pleiades.html
- Katalog Inderaja 2018, 'Worldview Citra Satelit Resolusi Sangat Tinggi', web diposting tahun 2018 dilihat pada 8 September 2024
https://inderaja-catalog.lapan.go.id/application_data/default/pages/about_WorldView.html
- Lillesand, T.M, Kiefer, R.W., and Chipman, J 2008, Remote sensing and image interpretation, 6th edition, New York: John Wiley and Sons.
- Masek, J.G 2019, 'Landsat science', last update 29 Juli 2019, dilihat pada tanggal 4 Agustus 2019,
<https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8>
- Permadi, FB, Jannah, W 2019, Pemanfaatan penginderaan jauh untuk percepatan pendaftaran tanah daerah perbatasan, *Prosiding Seminar Nasional Sans Teknologi dan Inovasi Indonesia Akademi Angkatan Udara*, ISSN 2685-8991
- Purwadhi, FSH 2001, Interpretasi Citra Digital, Gramedia Widiasarana Indonesia, Jakarta.
- Sattelit Imaging Corporation 2019, 'SPOT-7 Sattelite Sensor', dilihat pada tanggal 5 Agustus 2019,
<https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/spot-7>
- SentiWiki 2024, 'Aplikasi Sentinel-1', versi terjemahan, web diposting pada tahun 2024 dilihat pada 7 September 2024
https://sentiwiki-copernicus-eu.translate.goog/web/s1-applications?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=id&_x_tr_hl=id&_x_tr_pto=tc
- Suhattanto MA, Wulansari H. Ihsanudin T, Tipologi Permasalahan Legalisasi Bidang Tanah Transmigrasi di Provinsi Jambi

dan Upaya Penyelesaiannya Dengan Memanfaatkan Data Spasial, Prosiding Seminar Nasional STPN Dalam Rangka Reforma Agraria Summit 2024

- Sutanto 1994, Penginderaan jauh, jilid 1, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Suprojo, B 2024, Pemodelan spasial untuk prediksi penggunaan dan pengendalian alih fungsi lahan pertanian, STPN Press, Yogyakarta, dilihat pada 3 September 2024, <https://online.flipbuilder.com/STPNPress/vkhj/>
- Utami, W, Ndaru, AY, Widyastuti, A, Swardiana, IMA 2017, Pengurangan risiko kebakaran hutan dan lahan melalui pemetaan HGU dan pengendalian pertanahan (studi kasus Provinsi Riau), *Bhumi : Jurnal Agraria dan Pertanahan* Vol. 3 No. 2
- Wulansari, H 2017, Uji Akurasi Klasifikasi Penggunaan Lahan Dengan Menggunakan Metode Defuzzifikasi Maximum Likelihood Berbasis Citra ALOS AVNIR-2, *Bhumi : Jurnal Agraria dan Pertanahan* Vol. 3 No. 1
- _____, Permadi, FB, Wibowo, YA, Jannah, W 2019, Spatial analysis of rehabilitation and reconstruction Palu disasters in 2018 using landsat, dipresentasikan pada Seminar Internasional STPN Tahun 2019.
- _____, Wibowo, YA, Ekawati, FNF, Salim, N 2019, Efektivitas pemanfaatan citra penginderaan jauh dalam percepatan penyelesaian penguasaan tanah kawasan hutan di Provinsi Sumatera Selatan, Presentasi disampaikan pada *Seminar Nasional Penginderaan Jauh* diselenggarakan oleh LAPAN
- _____, Wibowo, YA 2019, Pemanfaatan data spasial dan data kerawanan bencana sebagai evaluasi Rencana Tata Ruang Wilayah (studi kasus pasca tsunami di Banten), *Prosiding Seminar Nasional* yang diselenggarakan UNRIYO, Paper disampaikan pada seminar nasional Pendekatan Multidisiplin Ilmu dalam Manajemen Bencana