

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1.1 Tutupan Lahan

Tutupan lahan (*land cover*) merupakan kondisi fisik suatu objek permukaan bumi yang menutupi lahan tanpa memperdulikan kegiatan manusia terhadap objek tersebut, dengan kata lain tutupan lahan menggambarkan material-material yang tampak pada permukaan bumi (Lillesand & Kiefer, 2008). Menurut Dewi (2011) menyatakan bahwa tutupan lahan lebih mengacu pada tipe vegetasi yang ada pada lahan, sementara penggunaan lahan merujuk kepada aktivitas manusia pada lahan tersebut. Makna tutupan lahan (*land cover*) ini sangat penting karena penggunaannya yang sering disamakan dengan istilah penggunaan lahan (*land use*). Tutupan lahan dan penggunaan lahan memiliki beberapa perbedaan. Penggunaan lahan merujuk pada tujuan dari fungsi lahan misalnya seperti tempat rekreasi, habitat satwa liar atau pertanian, sedangkan tutupan lahan merujuk pada kenampakan fisik yang ada di permukaan bumi seperti badan air, bebatuan, lahan terbangun, dan lain-lain (Syahbana, 2013).

Klasifikasi penggunaan lahan menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) berdasarkan skala dibagi menjadi dua skala 1:1.000.000 dan skala 1:250.000 seperti tabel di bawah:

Table 2. 1 Kelas Penutup Lahan

Kelas Penutup Lahan			
skala 1:1.000.000		skala 1:250.000	
1	Daerah Vegetasi	1	Daerah Vegetasi
	1.1 Daerah Pertanian		1.1 Daerah Pertanian
	1.1.1 Ladang, tegal atau huma		1.1.1 Ladang Perkebunan
	1.1.2 Perkebunan		1.1.2 Tanaman Campuran
	1.1.3 Sawah		1.1.3 Sawah
			1.1.4 Sawah pasang surut
			1.1.5 Perkebunan
			1.1.6 Perkebunan Campuran
	1.2 Daerah Bukan Pertanian		1.2 Daerah Bukan Pertanian
	1.2.1 Semak dan belukar		1.2.1 Semak dan belukar

Kelas Penutup Lahan			
skala 1:1.000.000		skala 1:250.000	
	1.2.2 Rumput rawa		1.2.2 Rumput rawa
	1.2.3 Hutan lahan kering		1.2.3 Hutan lahan kering
	1.2.4 Padang rumput alang-alang dan sabana		1.2.4 Padang rumput alang-alang dan sabana
	1.2.5 Hutan lahan basah		1.2.5 Hutan lahan basah
2	Daerah Tanpa Vegetasi	2	Daerah Tanpa Vegetasi
	2.1 Lahan Terbuka		2.1 Lahan Terbuka
			2.1.1 Gumuk
			2.1.2 Hamparan pasir pantai
			2.1.3 Lahan dan Lava
			2.1.4 Beting pantai
	2.2 Permukiman dan lahan bukan pertanian		2.2 Pemukiman dan lahan bukan pertanian
	2.2.1 Lahan terbangun		2.2.1 Lahan terbangun
	2.2.1.1 Permukiman		2.2.1.1 Permukiman
	2.2.1.2 Jaringan Jalan (Jalan arteri dan jalan kolektor)		2.2.1.2 Jaringan Jalan (Jalan arteri dan jalan kolektor)
	2.2.1.3 Jaringan jalan kereta api		2.2.1.3 Jaringan jalan kereta api
	2.2.1.4 Bandara udara domestik/ internasional		2.2.1.4 Bandara udara domestik/ internasional
	2.2.1.5 Pelabuhan Laut		2.2.1.5 Pelabuhan Laut
	2.2.2 Lahan tidak terbangun		2.2.2 Lahan tidak terbangun
			2.2.2.1 Pertambangan
			2.2.2.2 Tempat penimbunan sampah
	2.3 Perairan		2.3 Perairan
	2.3.1 Rawa		2.3.1 Rawa
	2.3.2 Danau atau waduk		2.3.2 Danau atau waduk

Kelas Penutup Lahan			
skala 1:1.000.000		skala 1:250.000	
	2.3.3 Terumbu Karang		2.3.3 Terumbu Karang
	2.3.4 Sungai		2.3.4 Sungai

Sumber: Badan Standarisasi Nasional, 2010

Penggunaan lahan (*land use*) merupakan hasil campur tangan manusia baik secara permanen maupun siklus, terhadap suatu kelompok sumber daya alam dan sumber daya buatan yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan manusia baik secara material maupun spiritual (Mokodompit et al., 2019). Tutupan lahan (*land cover*) merupakan kondisi fisik yang menutupi lahan tanpa mempersoalkan kegiatan manusia terhadapnya. Tutupan lahan dapat berubah menurut ruang dan waktu, dengan demikian tutupan lahan merupakan salah satu sumber daya alam dan unsur penting dalam kehidupan manusia. Tutupan lahan mencerminkan kondisi fisik lingkungan yang berkaitan dengan makhluk hidup bumi di suatu wilayah (rumput, tanaman, bangunan) (Li et al., 2022).

1.2 Mangrove

Menurut Saprianto (2007) mangrove adalah vegetasi hutan yang tumbuh di antara garis pasang surut, tetapi juga dapat tumbuh pada pantai karang atau daratan koral mati yang ditimbuni pasir tipis, lumpur, atau di pantai berlumpur. Mangrove salah satu tempat yang terus-menerus berubah menjadi semi daratan karena pembentukan tanah lumpur dan daratan baru sehingga memiliki berbagai definisi. Definisi-definisi tersebut pada dasarnya memiliki arti yang sama, yaitu informasi tentang hutan daerah tropika dan subtropika yang terletak di pantai rendah dan tenang, berlumpur, dan dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Selain itu, hutan mangrove merupakan mata rantai yang sangat penting dalam menjaga keseimbangan siklus biologi dan ekosistem pesisir (Arifin, 2003).

Mangrove merupakan ekosistem yang berada pada wilayah intertidal, pada wilayah tersebut terjadi interaksi yang dinamis dan kompleks antara perairan laut, payau, sungai, dan daratan. Adanya interaksi ini menjadikan ekosistem mangrove memiliki keanekaragaman hayati yang tinggi, yang ditandai dengan kekayaan flora dan fauna laut, tawar, dan daratan (Macintosh & Ashton, 2002). Kemampuan adaptasi yang tinggi memungkinkan vegetasi mangrove untuk berkembang dengan baik pada perairan payau dengan substrat lumpur tebal (Schaduw, 2019). di wilayah tropis dan subtropis, khususnya antara garis lintang 25° LU dan 25° LS, hutan mangrove hidup dan berasosiasi dengan berbagai organisme lain (fungi, mikroba, alga, fauna, dan tumbuhan lainnya) membentuk komunitas mangrove yang

kompleks. Interaksi komunitas ini dengan faktor abiotik di sekitarnya, seperti iklim, udara, tanah, dan air, menghasilkan ekosistem mangrove (Sengputa, 2010). Tanpa kehadiran tumbuhan mangrove, kawasan tersebut tidak dapat disebut sebagai ekosistem mangrove (Jayatissa et al., 2002).

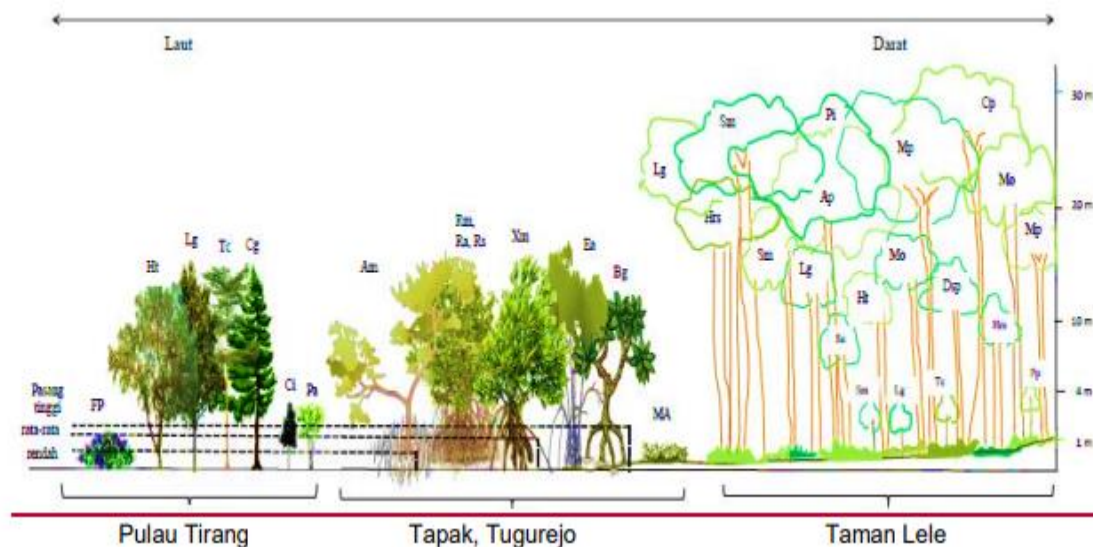
Ditinjau dari fisiognomi dan tingkat perkembangannya, vegetasi mangrove diklasifikasikan menjadi lima tipe (Rahim & Baderan, 2016).

a. Vegetasi Semak (*Mangrove Scrub*) jenis vegetasi ini berawal dari spesies-spesies pionir yang tumbuh di tepi laut atau pantai berlumpur. Ditandai dengan banyak cabang, tumbuh kuat, membentuk rumpun, tunas anakan, rimbun, dan pendek, vegetasi semak ini didominasi oleh spesies *avicennia marina* dan *sonneratia caseolaris*.

b. Vegetasi Mangrove Muda merupakan vegetasi mangrove yang ditandai dengan tutupan tajuk tunggal yang seragam, didominasi oleh spesies *rhizophora sp* meskipun spesies pionir lainnya juga turut hadir. Fase ini muncul setelah perkembangan vegetasi *avicennia sp* dan *sonneratia sp* diikuti dengan percampuran *rhizophora sp* dan *bruguiera sp* bersama spesies mangrove lain seperti *excoecaria agallocha* dan *xylocarpus sp*.

c. Vegetasi Mangrove Dewasa dicirikan oleh pepohonan *rhizophora sp* dan *bruguiera sp* yang tinggi menjulang, disertai dengan keberadaan semai di bawah tajuknya. Pada kondisi lingkungan yang sesuai, *acrostichum aureum*, *acanthus sp*, dan *nypa fruticans* turut hadir. Menariknya, kedua spesies mangrove utama (*rhizophora sp* dan *bruguiera sp*) membentuk zona spesifik dengan ketinggian mencapai 50-60 meter.

d. Komunitas Nipah (*Nypa Swamp Community*) dibedakan dengan ciri khasnya yaitu didominasi oleh spesies nipa (*nypa fruticans*) yang tumbuh subur di sekitar muara dan zona pertemuan air tawar dan air asin. Pada area ini tidak terdapat vegetasi bawah namun di beberapa area transisi, jenis tumbuhan *crinum sp* dan *hanguana malayana* dapat ditemukan. Meskipun zonasi dalam vegetasi mangrove terlihat jelas, kenyataannya di lapangan tidak sesederhana itu. Banyak formasi dan zona vegetasi yang tumpang tindih dan bercampur, sehingga struktur dan korelasi yang terlihat di suatu wilayah tidak selalu dapat diterapkan di wilayah lain (Noor, et al., 1999).



Gambar 2. 1 Zonasi Mangrove (Martuti et al,2019)

Keterangan:

Cp: *Caesalpinia pulcherrima*

Mo: *Moringa oleifera*

Mp: *Microcos paniculate*

Sm: *Swietenia mahagoni*

Pp: *Pometia pinnata*

Pi: *Pterocarpus indicus*

Ap: *Arenga pinnata*

Lg: *Leucaena glauca*

Hn: *Hibiscus-rosa sinensis*

Ra: *Rhizophora apiculata*

Am: *Avicennia marina*

Ci: *Clerodendrum inerme*

FP: *Formasi pes caprae*

Sa: *Sauropus androgynus*

Ht: *Hibiscus tiliaceus*

Dsp: *Dracaena sp*

Tc: *Terminalia catappa*

MA: *Mangrove Asosiasi*

Bg: *Bruguiera gymnorhiza*

Ea: *Excoecaria agallocha*

Xm: *Xylocarpus moluccensis*

Rm: *Rhizophora mucronate*

Rs: *Rhizophora stylosa*

Pa: *Phempis acidula*

Cg: *Casuarina junghuhniana*

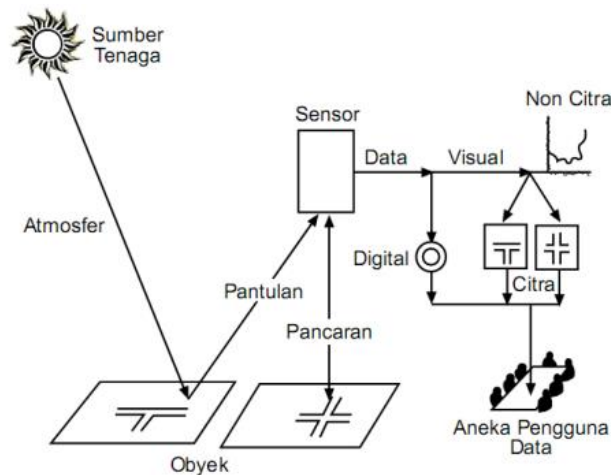
1.3 Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh, sebagaimana didefinisikan oleh Lillesand et al. (2004), merupakan ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang suatu objek atau fenomena dengan menggunakan alat, tanpa adanya kontak langsung dengan objek, daerah, atau fenomena tersebut. Dalam studi tentang objek, wilayah, atau fenomena yang dianalisis menggunakan penginderaan jauh, data yang dimanfaatkan bisa berupa data digital atau visual (Lillesand et al., 2004). Interpretasi visual data dilakukan dengan memanfaatkan kemampuan berpikir untuk mengevaluasi spasial secara subjektif terhadap unsur-unsur selektif di area kajian. Namun, analisis ini terkendala oleh keterbatasan kemampuan mata manusia dalam memisahkan nilai rona pada citra. Di sisi lain, data digital merupakan hasil rekaman citra dalam bentuk numerik. Perkembangan teknologi komputer yang pesat telah membuka akses yang lebih luas bagi berbagai kelompok atau akademisi untuk memanfaatkan teknik pengolahan citra digital secara otomatis.

Danoedoro (2012) menelusuri sejarah perkembangan teknologi penginderaan jauh, yang berawal dari teknik interpretasi foto udara pada tahun 1919. Penerapan teknologi ini untuk keperluan sipil baru dimulai setelah Perang Dunia II. Di Indonesia, penggunaan foto udara untuk pemetaan sumber daya alam dimulai pada awal tahun 1970-an. Era baru dalam penginderaan jauh dimulai dengan peluncuran satelit cuaca non-militer pertama, TIROS, pada tahun 1960. Sepuluh tahun kemudian, Amerika Serikat menorehkan sejarah dengan meluncurkan satelit sumber daya ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite 1) yang kemudian dinamai Landsat-1. Satu dekade berikutnya, tonggak sejarah kembali terukir dengan peluncuran Landsat-4 (Landsat D), satelit sumber daya generasi kedua yang dilengkapi sensor canggih Thematic Mapper (TM). Memasuki era milenium banyak satelit sumberdaya yang diluncurkan oleh negara-negara maju. Satelit-satelit ini menawarkan kemampuan yang bervariasi, dari resolusi sekitar satu meter atau kurang (*IKONOS*, *Orb View*, *QuickBird* dan *GeoEye* milik perusahaan swasta Amerika Serikat), 10 meter atau kurang (SPOT milik Perancis, COSMOS milik Rusia, IRS milik India, dan ALOS milik Jepang), 15-30 meter (ASTER kerjasama Jepang dan NASA, Landsat & ETM+ milik Amerika Serikat yang mengalami kerusakan sejak 2003), 50 meter (MOS milik Jepang), 250 meter dan 500 meter (MODIS milik Jepang) hingga 1,1 km (NOAA-AVHRR milik Amerika Serikat).

Sistem penginderaan jauh tersusun atas beberapa komponen dasar, yaitu: sumber energi, atmosfer, interaksi unik antara energi dengan objek di permukaan bumi, sensor, sistem pengolahan data yang *real-time*, dan berbagai aplikasi data. Energi berinteraksi dengan objek dan sekaligus menjadi media pembawa informasi dari objek ke sensor. Sensor adalah sebuah alat yang menangkap dan mencatat radiasi elektromagnetik. Data radiasi elektromagnetik yang direkam kemudian

ditransmisikan ke stasiun penerima dan diolah menjadi format yang siap digunakan, seperti citra digital, untuk kemudian dianalisis dan diinterpretasikan oleh pengguna (Lillesand et al., 2004).



Gambar 2. 2 Sistem Penginderaan Jauh (Meurah et al., 2012)

Penginderaan jauh menggunakan energi elektromagnetik sebagai medianya. Energi elektromagnetik ini merupakan gabungan medan listrik dan medan magnet yang bergerak dalam ruang hampa dengan kecepatan cahaya, memiliki frekuensi dan panjang gelombang tertentu, dan membawa energi dalam jumlah tertentu (Sutanto, 1994). Berdasarkan uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa penginderaan jauh merupakan suatu teknik dan ilmu untuk memperoleh data dan informasi tentang permukaan bumi dengan menggunakan alat atau sensor yang tidak bersentuhan secara langsung dengan objek atau benda yang dikaji. Penginderaan jauh memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik atau spektrum energi yang lain, serta mempunyai empat komponen penting, yaitu sumber radiasi, objek, atmosfer, dan sensor. Berikut penjelasan rinci mengenai empat komponen penting dalam sistem penginderaan jauh:

1. sumber radiasi gelombang elektromagnetik dapat berasal dari berbagai macam fenomena, seperti pantulan cahaya matahari dan pancaran panas permukaan bumi. Berdasarkan sumber energinya, sistem penginderaan jauh diklasifikasikan menjadi dua kategori utama, yaitu: sistem pasif dan sistem aktif. Penginderaan jauh yang memanfaatkan energi matahari sebagai sumber radiasi termasuk pada sistem pasif, sedangkan Sistem penginderaan jauh aktif, memancarkan energi elektromagnetiknya sendiri dalam bentuk pulsa ke arah objek yang diamati.
2. Interaksi atmosfer dalam penginderaan jauh merupakan energi elektromagnetik yang bergerak dari objek di permukaan bumi menuju sensor penginderaan jauh. Atmosfer bumi, yang terdiri dari campuran

gas, uap air, dan partikel debu dapat menyebabkan distorsi dan hamburan radiasi elektromagnetik.

3. Sensor dalam penginderaan jauh merupakan alat yang mendeteksi dan merekam radiasi elektromagnetik yang dipancarkan atau dipantulkan oleh objek di permukaan bumi dan atmosfer. Sensor ini menerima informasi dalam berbagai bentuk energi elektromagnetik, seperti sinar atau cahaya, gelombang bunyi dan daya elektromagnetik. Sensor digunakan untuk melacak, mendeteksi, dan merekam informasi tentang objek yang diamati dalam area jangkauan tertentu. Sensor berdasarkan proses perekamannya dibagi menjadi dua yaitu: sensor fotografi dalam penginderaan jauh bekerja dengan cara menerima energi elektromagnetik, kemudian direkam pada emulsi film dan diproses sehingga menghasilkan foto udara atau foto satelit. Foto udara diambil dari pesawat udara atau wahana udara lainnya, sedangkan foto satelit diambil dari luar angkasa. Sensor elektronik merupakan alat yang bekerja secara elektrik sehingga dapat diolah oleh komputer. Sensor ini menghasilkan data visual dan data digital/numerik, (Meurah et al., 2012).

1.4 Sentinel - 2

Satelit observasi Bumi Sentinel-2 membawa sistem pencitraan multispektral dan memperoleh gambar *optic* (Immitzer et al., 2016). Satelit Sentinel-2 dioperasikan oleh ESA, dan satelit tersebut diproduksi oleh konsorsium yang dipimpin oleh *Airbus Defense and Space* (Airbus DS). Misi ini mendukung beberapa layanan dan aplikasi seperti pemantauan pertanian, manajemen bencana dan klasifikasi tutupan/ penggunaan lahan (Nomura & Mitchard, 2018). Sentinel-2 menawarkan data yang lebih baik dibandingkan citra satelit resolusi spasial rendah hingga menengah lainnya (misalnya Landsat), terutama dalam resolusi temporal dan spasial (Novelli et al., 2016). 13 Band untuk gambar Sentinel-2 memiliki resolusi spasial berkisar antara 10 hingga 60 m yang tampak dan *near-infrared* (NIR) mempunyai resolusi spasial 10 m, Band inframerah mempunyai resolusi spasial 20 m dan Band lainnya mempunyai resolusi spasial 60 m. Resolusi spasial 10 m menjadikan data Sentinel berpotensi untuk eksplorasi permukaan bumi secara mendetail (misalnya urban sprawl dan pertanian). Karakteristik berharga lainnya dari data Sentinel-2 adalah resolusi temporalnya yang tinggi yaitu 5 hari (Vuolo et al., 2018)

Resolusi temporal ini meningkat dari 10 menjadi 5 hari setelah peluncuran satelit kembar kedua, Sentinel-2B, yang membuat kedua satelit tersebut beroperasi pada suhu 180° fase orbit (Immitzer et al., 2016). Sensor Sentinel-2 memiliki ketidakpastian kalibrasi radiometrik yang rendah sehingga pancaran gambar

menghasilkan hasil yang andal (Gorroño et al., 2017). radiometrik yang dilaporkan ketidakpastian mulai dari 0,03% hingga 0,4% untuk citra Sentinel-2. Nilai-nilai ini sebanding dengan yang lain sensor seperti Landsat-8 (Gorroño et al., 2017). Dengan demikian, gambar Sentinel-2 memiliki potensi untuk menghasilkan informasi akurat untuk mendukung berbagai aplikasi.

Karakteristik lain dari data Sentinel-2 yang membuat pemantauan permukaan bumi lebih efektif antara lain luasnya petak dan kebijakan akses data yang bebas. Luas petak sepanjang 290 km membuat pemrosesan area yang luas menjadi lebih mudah dan akurat dengan lebih sedikit kebutuhan untuk normalisasi dan penggabungan data (Chen et al., 2015).

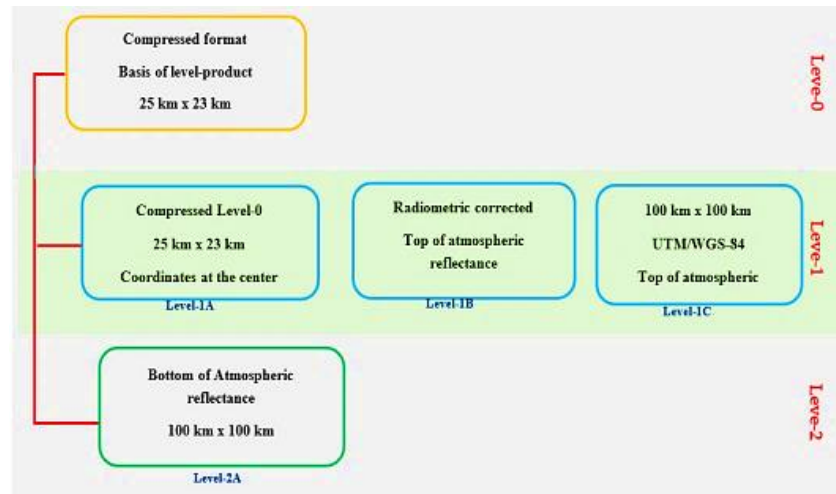
Table 2. 2 Karakteristik citra satelit ESA Sentinel-2A dan -2B

		Sentinel-2A		Sentinel-2B	
Spatial Resolution (m)	Bands	Central wavelength (nm)	Bandwidth (nm)	Central wavelength (nm)	Bandwidth (nm)
10	Band 2-Blue	492.4	66	492.1	66
	Band 3-Green	559.8	36	559	36
	Band 4-Red	664.6	31	664.9	31
	Band 8-NIR	832.8	106	832.9	106
20	Band 6-Red edge	740.5	15	739.1	15
	Band 7-Red edge	782.8	20	779.7	20
	Band 8A- Narrow NIR	864.7	21	864	22
	Band 11-SWIR	1613.7	91	1610.4	94
	Band 12-SWIR	2202.4	175	2185.7	185
60	Band 1-Coastal aerosol	442.7	21	442.2	21
	Band 9- Water vapour	945.1	20	943.2	21
	Band 10- SWIR—Cirrus	1373.5	31	1376.9	30

(Jucker et al., 2017)

Menurut (Spoto et al., 2012) data Sentinel-2 tersedia dalam berbagai bentuk olahan. Hal ini dikarenakan produk Sentinel-2 MSI menjalani tahapan pemrosesan yang berbeda-beda untuk mencapai tingkat yang dapat diakses oleh pengguna. Tahapan utama meliputi level-0, level-1A, level-1B, level-1C dan level 2A. level-0 dan level-1A tidak dirilis ke pengguna dan berbentuk data gambar mentah terkompresi dalam *Instrument Source Packet* (ISP). Produk level-1B terbuat dari butiran dengan panjang 25 kali 23 km dan berukuran sekitar 27 MB. Produk level 1B memberikan citra yang dikoreksi secara radiometrik dengan nilai pancaran *Top-Of-Atmosphere* (TOA), dan produk tersebut mencakup geometri halus yang digunakan untuk menghasilkan produk level-1C yang dapat diakses oleh pengguna. level-1C terbuat dari 100×Ubin 100 km dalam format ortorektifikasi dalam proyeksi UTM/WGS 84. Dengan menggunakan model elevasi digital, level-1C diproduksi dalam geometri kartografi (yaitu model yang dapat divisualisasikan).

Produksi level 2A juga dapat diproses dari produk level 1C dengan menggunakan Sentinel-2 *Toolbox*. Dari seluruh produk data tersebut, level-1C (Refleksi *Top of Atmospheric*) dan level-2A (Refleksi *Bottom of Atmospheric*) adalah produk yang paling umum digunakan dalam pemetaan tutupan/penggunaan lahan.



Gambar 2. 3 Tingkat pemrosesan dan format data Sentinel-2. (Spoto et al., 2012)

1.5 Indeks Vegetasi

Indeks vegetasi merupakan teknik analisis citra multi saluran dalam penginderaan jauh yang digunakan untuk menonjolkan informasi terkait vegetasi seperti kerapatan vegetasi, biomassa, *Leaf Area Index* (LAI), dan konsentrasi klorofil. Indeks vegetasi ini bekerja dengan cara mentransformasi nilai piksel pada beberapa saluran citra menjadi nilai baru yang lebih sensitif terhadap variasi vegetasi. Hasil transformasi ini menghasilkan citra baru yang lebih informatif dan mudah diinterpretasikan dalam konteks analisis vegetasi (Hardianto et al., 2021). Indeks vegetasi, menurut Hanif (2015), adalah ukuran kuantitatif kehijauan vegetasi yang diperoleh dari analisis data kecerahan (*brightness*) beberapa kanal sensor satelit. Pemantauan vegetasi dilakukan dengan cara membandingkan nilai kecerahan kanal cahaya merah (*red*) dan kanal cahaya inframerah dekat (*near infrared*). Perbedaan nilai kecerahan antara kanal merah dan inframerah dekat pada citra satelit diolah menjadi nilai indeks vegetasi, yang merupakan ukuran kuantitatif kehijauan dan kesehatan vegetasi. Fenomena penyerapan cahaya merah oleh klorofil dan pemantulan cahaya inframerah dekat oleh jaringan mesofil pada daun menghasilkan kontras kecerahan yang diterima sensor satelit pada kanal-kanal tersebut akan berbeda. Kawasan daratan non-vegetasi, diantaranya kawasan perairan, kawasan pemukiman, area terbuka, dan wilayah dengan kondisi vegetasi

yang rusak, tidak akan menunjukkan nilai rasio yang tinggi (minimum). Berbeda dengan area dengan vegetasi lebat, dengan kondisi subur, perbandingan kedua kanal tersebut menunjukkan nilai sangat tinggi (maksimum) inframerah dekat sedangkan pada sinar merah pantulan vegetasi menurun. Pola pantulan spektral air menurun pada sinar inframerah dan merah (Sudiana & Diasmara, 2008).

a) *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*

Indeks vegetasi ini merupakan ukuran kuantitatif kesehatan vegetasi hijau. Kombinasi formulasi perbedaan normalisasi dan pemanfaatan puncak penyerapan dan pantulan cahaya pada daerah klorofil membuatnya tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan. Namun demikian, indeks ini dapat mengalami jenuh pada kondisi vegetasi yang sangat lebat, ketika *Leaf Area Index* (LAI) mencapai nilai tinggi. Nilai indeks ini berkisar antara -1 (non-vegetasi) hingga 1 (vegetasi). Kisaran umum untuk vegetasi hijau 0,2-0,8 (Hanif, 2015). Nilai kerapatan tajuk vegetasi dihitung menggunakan indeks vegetasi NDVI yang dirumuskan seperti pada persamaan (2.1) (Ikkarnila et al., 2017).

$$NDVI = \frac{\rho NIR - \rho RED}{\rho NIR + \rho RED} \quad (2.1)$$

Keterangan:

NDVI: *Normalized Difference Vegetation Index*

ρNIR : Nilai spektral saluran *Near Infra-Red*

ρRED : Nilai spektral saluran *Red*

b) *Enhanced Vegetation Index*

Enhanced Vegetation Index (EVI) merupakan pengembangan dari *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) yang memanfaatkan kanal biru untuk mengoreksi efek penurunan nilai NDVI akibat kandungan aerosol atmosfer. EVI juga dilengkapi dengan koreksi latar belakang kanopi dengan mengalikan faktor L (kondisi tanah/lahan) untuk mempertajam nilai NDVI. Rumus EVI dapat dilihat pada persamaan 2.2 (Dirgahayu, 2005).

$$EVI = \frac{2,5 \times (\rho NIR - \rho RED)}{(1 + \rho NIR + (6 \times \rho RED) - (7,5 \times \rho BLUE))} \quad (2.2)$$

Keterangan :

EVI: *Enhanced Vegetation Index*

ρ_{NIR} : Nilai spektral saluran *Near Infra-Red*

ρ_{RED} : Nilai spektral saluran *Red*

ρ_{BLUE} : Nilai spectral saluran *Biru*

c) *Soil Adjusted Vegetation Index*

Menurut Huete (1988) mengembangkan *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI) untuk meminimalkan efek variasi latar belakang tanah dengan menggunakan faktor penyesuaian tanah (L). Nilai optimal $L=0,5$ untuk variasi kerapatan vegetasi. Rumus SAVI dapat dilihat pada persamaan 2.3 (Huete, 1988).

$$SAVI = \frac{2,5 \times (\rho_{NIR} - \rho_{RED})}{(\rho_{NIR} + \rho_{RED} + 0,5)} \quad (2.3)$$

Keterangan:

SAVI: *Soil Adjusted Vegetation Index*

ρ_{NIR} : Nilai spektral saluran *Near Infra-Red*

ρ_{RED} : Nilai spektral saluran *Red*

1.6 *Google Earth Engine*



Gambar 2. 4 *Google Earth Engine*

Google Earth Engine (GEE) merupakan platform komputasi awan yang dikembangkan oleh Google. Platform ini menyediakan akses dan fasilitas analisis bagi para peneliti, ilmuwan, dan pengembang untuk mengolah data citra satelit dan data geospasial dalam skala besar (Ermida et al., 2020). Prayogo (2023) mendefinisikan *Google Earth Engine* (GEE) sebagai platform komputasi awan yang dirancang untuk analisis dan pemetaan data geospasial. GEE memungkinkan penggunaannya untuk mengakses dan mengolah data citra satelit dari berbagai sumber, seperti landsat, sentinel, dan modis. Platform *Google Earth Engine* (GEE) dilengkapi dengan infrastruktur yang kuat untuk memproses, memvisualisasikan, dan menganalisis data geospasial dalam skala petabyte secara cepat dan efisien (Mutanga & Kumar, 2019). *Google Earth Engine* (GEE) menyediakan berbagai kemampuan yang bermanfaat bagi penggunaannya, termasuk pemrograman dengan JavaScript dan Python, alat visualisasi data, dan analisis data spasial yang canggih

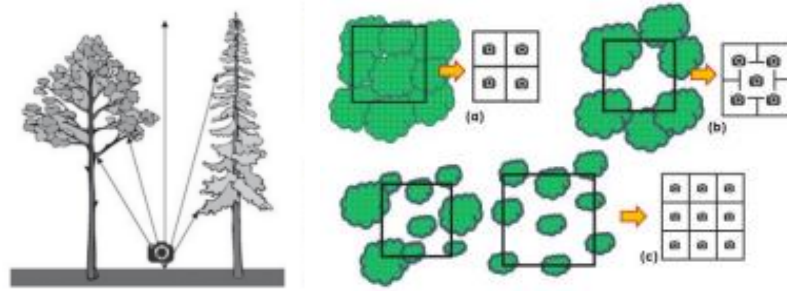
(Gadekar et al., 2023). Selain itu, platform ini memungkinkan akses data yang telah diolah dan disimpan di server Google, sehingga memungkinkan pengguna untuk melakukan analisis kompleks dengan data dalam jumlah yang sangat besar (Gorelick et al., 2017). *Google earth engine* telah diterapkan dalam berbagai aplikasi, termasuk pemantauan lingkungan, analisis perubahan iklim, pemetaan perubahan tutupan lahan, pemantauan bencana alam, dan banyak lagi (Ticman et al., 2021). Platform ini membuka peluang berkaitan dengan pemantauan bumi dan analisis geospasial, dan masih menjadi alat yang bermanfaat bagi para ilmuwan dan praktisi di seluruh dunia (Ermida et al., 2020).

1.7 *Machine Learning*

Machine Learning termasuk salah satu penerapan dari kecerdasan buatan (*artificial intelligence*). Kemampuan utama dari *machine learning* adalah memproses data penginderaan jauh dan memetakannya menjadi beberapa kelas dengan karakteristik yang kompleks (Maxwell et al., 2018). *Google Earth Engine* (GEE) menyediakan berbagai pilihan metode *machine learning* termasuk *machine learning* yang berbasis logika, *perceptron*, *statistic* dan *support vector machine* (Shelestov et al., 2017).

1.8 *Hemisprical Photography*

Hemispherical photography adalah teknik fotografi yang digunakan untuk mengamati tutupan kanopi mangrove atau hutan darat melalui foto yang diambil dengan kamera. Dalam metode ini, penggunaan kamera depan dari *Handphone* (HP) merupakan pendekatan tidak langsung untuk mengukur transmisi cahaya. Sebagai alternatif, metode fotografi lain untuk menghitung tutupan kanopi pohon melibatkan fotografi tertutup tanpa lensa mata ikan, dengan penekanan pada analisis parameter kanopi seperti indeks luasan daun (Bianchi et al., 2017). Metode *hemispherical photography* relatif baru diterapkan di Indonesia untuk ekosistem mangrove, karena umumnya tutupan kanopi di Indonesia diukur menggunakan citra satelit. Namun, metode satelit sering kali kurang akurat karena cakupan wilayah yang luas. *Hemispherical photography* perlu dikembangkan di Indonesia karena metode ini lebih mudah diterapkan, biayanya lebih murah, dan memberikan hasil yang lebih akurat dibandingkan dengan citra satelit. Selain mengukur tutupan kanopi pohon, penting juga untuk menilai struktur dan komposisi ekosistem mangrove di suatu daerah (Baksir et al., 2018). Ilustrasi *hemispherical photography* dapat dilihat pada gambar 2.5, yang menunjukkan proses pengambilan tutupan kanopi mangrove.



Gambar 2. 5 Ilustrasi Metode *Himesptical Photography* (Dharmawan & Pramudji., 2017)

1.9 ImageJ

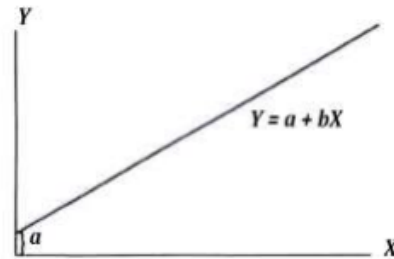
ImageJ merupakan sebuah perangkat lunak gratis berbasis Java, awalnya dikembangkan untuk analisis gambar medis namun kini telah diaplikasikan secara luas dalam berbagai bidang ilmu (Putra, 2017). ImageJ memungkinkan pengguna untuk melakukan berbagai analisis citra, seperti pembuatan grafik, peningkatan kualitas gambar, analisis gambar mikroskopis, pengukuran area, penghitungan partikel, segmentasi, serta pengukuran fitur spasial dan temporal pada elemen biologis (Putra, 2017).

1.10 Uji Regresi

a) Persamaan Regresi Linier Sederhana

Analisis/uji regresi merupakan metode yang digunakan untuk mempelajari hubungan antara satu variabel, yaitu variabel dependen (*the explained variabel*) dengan satu atau lebih variabel, yaitu variabel independen (*the explanatory*). Menganalisis dan mengukur nilai kekuatan hubungan antara satu variabel (bebas/*independent/ predictor*) terhadap variabel lain (tak bebas/*dependent/response*) dapat digunakan uji regresi apabila variabel bebasnya hanya satu, maka analisis regresinya disebut dengan regresi sederhana. Apabila variabel bebasnya lebih dari satu, maka analisis regresinya dikenal dengan regresi linear berganda. Dikatakan berganda karena terdapat beberapa variabel *independent* yang mempengaruhi variabel *dependent* (Yuliara, 2016).

Persamaan regresi linier sederhana merupakan suatu model statistik yang digunakan untuk menjelaskan hubungan antara satu variabel bebas (X) dengan satu variabel terikat (Y) (Yuliara, 2016), model ini biasanya digambarkan dengan garis lurus, seperti pada gambar berikut:



Gambar 2. 6 Model Regresi Linear Sederhana (Yuliara, 2016)

Regresi linier sederhana secara matematis dapat dituliskan pada persamaan 2.4, 2.5, dan 2.6.

$$Y = a + bX \quad (2.4)$$

$$b = \frac{n (\sum xy) - (\sum x) \cdot (\sum y)}{n (\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (2.5)$$

$$a = \frac{\sum y - b \cdot (\sum x)}{n} \quad (2.6)$$

Keterangan:

Y = Variabel Terikat (*respon*)

X = Variabel Bebas (*predictor*)

a = Konstanta

b = Koefisien Regresi

b) Uji Koefisien Determinasi (R^2)

Uji Koefisien Determinasi (R^2) digunakan untuk mengukur kekuatan hubungan antara variabel bebas (indeks vegetasi) dan variabel terikat (kerapatan pohon di lapangan). Nilai koefisien determinasi R^2 berkisar antara 0 dan 1. Nilai R^2 yang rendah atau mendekati 0 menunjukkan bahwa kemampuan variabel bebas (indeks vegetasi) dalam menjelaskan variasi variabel terikat sangat terbatas. Sebaliknya, nilai R^2 yang tinggi atau mendekati 1 menunjukkan bahwa variabel bebas dapat memberikan hampir semua informasi yang dibutuhkan untuk memprediksi variasi variabel terikat. Adapun rumus untuk menghitung nilai koefisien determinasi seperti pada persamaan 2.7 (Mairing, 2017).

$$R^2 = \frac{((n)(\sum xy) - (\sum x)(\sum y))^2}{(n(\sum x^2) - (\sum x)^2)(n(\sum y^2) - (\sum y)^2)} \quad (2.7)$$

Keterangan:

y = variabel terikat (*respon*)
 x = variabel bebas (*predictor*)
 n = jumlah data

1.11 Penelitian Sebelumnya

- 1) Penelitian sebelumnya yang dibuat oleh Trida Ridho Fariz, Pawit Indra Permana, Fitri Daeni, Akbar Cahyadi Pratama Putra pada tahun 2021 dengan judul “Pemetaan Ekosistem Mangrove di Kabupaten Kubu Raya Menggunakan Machine Learning pada *Google Earth Engine*”. Penelitian ini melakukan pemetaan menggunakan data citra landsat 8 dengan metode pengolahan data berbasis *cloud computing* serta algoritma machine learning. Penggunaan *machine learning* dilakukan uji akurasi CART, Random Forest, GMO Max Entropy, Voting SVM, Margin SVM. Selain itu penelitian ini juga melakukan pengambilan data biofisik dengan menggunakan *software* CanEye dan Canopeo untuk mengetahui kerapatan kanopi mangrove. Hasil dari penelitian ini menunjukkan penggunaan *machine learning* untuk memetakan hutan mangrove yang terbaik adalah CART dan menghasilkan akurasi *kappa* yang baik namun perlu dilakukan.
- 2) Penelitian sebelumnya yang dibuat oleh Husnayaen, Filosofia Amela, Dwi Puspa Arini, I Kadek Adiana Putra pada tahun 2023 dengan judul “Pemetaan Sebaran dan Kerapatan Hutan Mangrove Menggunakan Machine Learning Pada *Google Earth Engine* dan Sistem Informasi Geografi Di Pulau Bali”. Penelitian ini melakukan identifikasi terkait sebaran dan kerapatan hutan mangrove dengan menggunakan citra satelit landsat-8 Surface Reflectance Tier 1 yang diakses melalui *Google Earth Engine*. Penggunaan *machine learning* dengan metode CART *Supervised Classification* untuk mengetahui sebaran hutan mangrove dan penggunaan (NDVI) pada ArcMap untuk mengetahui tingkat kerapatan vegetasi. Selain itu dilakukan juga metode validasi dengan membuat titik sampel secara acak pada area non vegetasi dan vegetasi. Hasil dari penelitian ini pemetaan sebaran hutan mangrove dengan menggunakan metode CART *Supervised Classification* diperoleh nilai yang besar yaitu *Overall accuracy* dan *Kappa accuracy* yang mana nilai koefisien *kappa* di atas ketentuan yang mengindikasikan peluang akurasi sangat baik.

- 3) Penelitian sebelumnya yang dibuat oleh N. Khakhima , A. C. P. Putrab , T. U. Widhaningtyas pada tahun 2018 dengan judul “*Estimating Mangrove Forest Density Using Gap Fraction Method and Vegetation Transformation Indices Approach*”. Pada penelitian ini menggunakan data citra landsat-8 OLI dengan metode SAVI untuk mempertimbangkan indeks paling baik dalam faktor pengaruh lahan. Selain itu penggunaan metode pengukuran fraksi celah dengan melakukan pemotretan menggunakan bantuan lensa fisheye dengan menggunakan metode *gap fraction* atau metode fotografi belahan untuk mengetahui kerapatan kanopi hutan mangrove. Hasil dari penelitian ini diketahui kerapatan kanopi yang diukur melalui pantulan spektral dengan memanfaatkan metode fraksi celah ini lebih tepat untuk mengidentifikasi kerapatan hutan dan sampel penelitian diukur dengan menggunakan transformasi SAVI.
- 4) Penelitian sebelumnya berjudul “Kajian Updating Peta Status Tutupan Lahan Mangrove Dengan Algoritma Machine Learning Dan Indeks Vegetasi Di Kabupaten Berau” Penelitian ini, yang dilakukan oleh A. Arifin Itsnani SM dan Adelia Juli Kardika pada tahun 2023, bertujuan untuk memperbarui peta status tutupan lahan mangrove di Kabupaten Berau menggunakan algoritma *machine learning* dan indeks vegetasi. Peta yang dihasilkan menunjukkan sebaran, luasan, dan tingkat kerapatan kanopi hutan mangrove di wilayah pesisir. Penelitian ini memanfaatkan citra satelit Sentinel dengan reflektan multispektral untuk pemetaan tutupan lahan, menghasilkan akurasi minimum pada tingkat OA dan kappa. Hasil pemetaan menunjukkan sebaran mangrove dari tahun 2018 hingga 2022, memungkinkan analisis perubahan tutupan lahan mangrove selama periode tersebut.
- 5) Penelitian sebelumnya yang dibuat oleh Bambang Semedi, Marjono, Ni Luh Eka Savitri, Viona Faiqoh Hikmawati, Gerardus David Ady Purnama Bayuaji, Nova Dewi Safitri Syam's, Novia Fara Diza pada tahun 2023 dengan judul “Pemanfaatan *Google Earth Engine* Untuk Memantau Perubahan Luasan Hutan Mangrove Di Probolinggo”. Penelitian ini melakukan pemantauan perubahan luasan hutan mangrove pada tahun 2019 hingga 2023 dengan menggunakan data citra satelit sentinel-2A dan menerapkan metode NDVI yang diolah menggunakan *Google Earth Engine*. hasil dari penelitian ini menunjukkan perubahan luas mangrove setiap tahunnya dan hasil uji akurasi memiliki nilai *Overall Accuracy* memenuhi syarat ketentuan dimana nilainya menunjukkan bahwa hasil akurasi dinyatakan benar dan dapat diterima.