

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Daya Dukung Hutan Lindung

Hutan Lindung adalah kawasan hutan yang mempunyai fungsi pokok sebagai perlindungan sistem penyangga kehidupan untuk mengatur tata air, mencegah banjir, mengendalikan erosi, mencegah intrusi air laut dan memelihara kesuburan tanah [11]. Keberadaan hutan, dalam hal ini daya dukung hutan terhadap segala aspek kehidupan manusia, satwa dan tumbuhan sangat ditentukan pada tinggi rendahnya kesadaran manusia akan arti penting hutan di dalam pemanfaatan dan pengelolaan hutan. Khususnya pada kawasan hutan lindung yang berpengaruh sangat penting dari sisi ekonomi dan ekologi. Apabila terjadi kerusakan pada hutan lindung, maka komponen-komponen pendukung hutan lindung akan terganggu.

Tingkat gangguan ini bervariasi tergantung dari tingkat kerusakan yang ditimbulkan. Bencana tingkat lokal yang berdampak sosial ekonomi hingga terjadi hampir di seluruh pelosok wilayah Indonesia, sebagai contoh yaitu bencana banjir, kekeringan, tanah longsor adalah efek tidak langsung dan langsung dari fenomena hilangnya fungsi lindung dari hutan dan kawasan lindung. Fungsi hutan lindung dapat diperoleh apabila hutan terjamin eksistensinya sehingga dapat berfungsi secara optimal. Fungsi ekologi, ekonomi dan sosial dari hutan akan memberikan peranan nyata apabila pengelolaan sumber daya alam hutan seiring dengan upaya pelestarian untuk mewujudkan pembangunan berkelanjutan.

2.2 Manfaat Inventarisasi Jumlah Tegakan Pohon

Informasi jumlah tegakan pohon bermanfaat di bidang kehutanan yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan dan analisis kelestarian hutan untuk pengambilan kebijakan pada instansi terkait. Manfaat tersebut dipaparkan pada poin 2.2.1 dan 2.2.2 sebagai berikut:

2.2.1 Kebutuhan Informasi Jumlah Tegakan Pohon bagi Kehutanan

Setiap fungsi hutan memiliki nilai potensi pohon. Tinggi rendahnya nilai potensi pohon tersebut dapat dihitung dengan cara pengolahan data dari hasil inventarisasi pohon [42]. Secara umum inventarisasi pohon didefinisikan sebagai pengumpulan dan penyusunan data serta fakta mengenai sumber daya tegakan hutan untuk perencanaan pengelolaan sumber daya hasil kayu bagi kesejahteraan masyarakat secara lestari dan serbaguna [43]. Tujuan dilakukannya inventarisasi pohon secara berkala dalam rentang waktu tertentu, yaitu:

1. Menyajikan informasi dari area hutan.
2. Mengetahui potensi kayu hasil hutan.
3. Mengetahui potensi non kayu hasil hutan.
4. Pelestarian kawasan hutan dan kesejahteraan hutan rakyat.
5. Mendukung sistem lacak balak (sistem akuntansi yang digunakan untuk menelusuri sumber bahan baku sampai ke lokasi tebang kayu).

Adapun manfaat kebutuhan informasi jumlah tegakan pohon hasil inventarisasi bagi kehutanan, sebagai berikut:

1. Mengetahui berapa meter kubik kayu (dalam keadaan tegak/berdiri) yang dimiliki dalam hutan tersebut.
2. Mengendalikan penebangan yang berlebihan, dengan mengetahui etat tebang (jatah tebang tahunan yang diperkenankan dan disesuaikan dengan rotasi atau daur tebang yang telah ditetapkan).
3. Mengetahui jenis-jenis tanaman penyusun hutan, dan sebagainya.

2.2.2 Pelestarian Kawasan Hutan

Salah satu elemen penting dalam pengelolaan hutan adalah konsep pelestarian, khususnya menyangkut kelestarian hasil hutan. Pada mulanya suatu hutan dianggap dimanfaatkan secara lestari bila tebang tahunan atau tebang periodik tidak mengurangi kapasitas hasil dan bila setelah penebangan dilakukan diseluruh kawasan hutan, potensi tegakan dilapangan tidak berkurang dengan sebelum dilakukan penebangan [12]. Tetapi, konsep kelestarian hasil hutan

sekarang pada umumnya dianggap mempunyai hubungan dengan lingkup yang lebih luas dari segi ekologi dan sosial ekonomi suatu wilayah. Sisi lain tentang konsep kelestarian hasil hutan dalam pengelolaan hutan adalah konsep hutan normal [12]. Hutan normal adalah hutan yang dapat mencapai dan menjaga derajat kesempurnaan hutan untuk memenuhi ketentuan sesuai dengan tujuan pengelolaan [12].

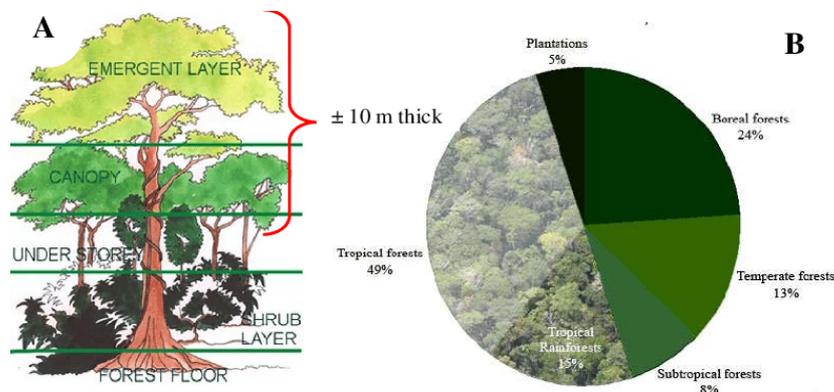
Mempertahankan tingkat kelestarian hutan seperti yang diinginkan, *Forest Stewardship Council (FSC)* dan *European Forest Certification (PEFC)* yang merupakan organisasi yang mengembangkan standar pengelolaan hutan berkelanjutan, yang ditetapkan oleh masing-masing institusi [13]. Standar *FSC* menetapkan sepuluh prinsip sebagai prasyarat hutan kelas dunia yang baik, setiap prinsip memiliki kriteria dan indikator sebagai persyaratan pemenuhan pengelolaan hutan yang baik (hutan bersertifikasi), kesepuluh prinsip itu adalah:

1. *Compliance with Law FSC Principle*, yaitu mengarahkan pengelola untuk mematuhi semua peraturan hukum nasional dan internasional terkait dengan kegiatan usahanya serta prinsip FSC.
2. *Tenure and Use Rights and Responsibilities*, yaitu mengarahkan pengelola hutan untuk bertanggung jawab terhadap hak penguasaan dan penggunaan lahannya.
3. *Indigenous People's Rights*, yaitu mengarahkan pengelola untuk menghargai hak masyarakat lokal disekitar area pengelolaan sehingga terjadi simbiosis mutual.
4. *Community Relations and Worker Rights*, yaitu mengarahkan pengelola untuk berhubungan baik dan atau bekerja sama dengan masyarakat disekitarnya dan mematuhi hak karyawan sesuai peraturan.
5. *Benefit from The Forest*, yaitu mengarahkan pengelola hutan untuk mengidentifikasi dan mencatat semua manfaat dari hutan yang dikelola, termasuk manfaat untuk masyarakat sekitar.
6. *Environmental Impact*, yaitu mengarahkan pengelola agar menjalankan tata kelola dengan seminimal mungkin merusak lingkungan hidup.

7. *Management Plan*, yaitu mensyaratkan pengelola memiliki perencanaan kerja yang baik untuk aspek rencana produksi, sosial dan lingkungan dalam menjalankan kegiatannya.
8. *Monitoring and Assesment*, yaitu mensyaratkan pengelola memantau secara sistimatis semua aktivitas kerja serta melakukan penilaian periodik guna melakukan perbaikan.
9. *Maintenance of High Conservation Value Forest*, yaitu mengarahkan pengelola untuk menjaga dan memelihara area di dalam lingkup kerjanya yang terbukti memiliki nilai konservasi tinggi, misalnya sumber mata air utama, habitat satwa liar, dan cagar budaya.
10. *Plantation*, yaitu mengarahkan pengelola hutan tanaman memenuhi prinsip satu sampai sembilan dan kriteria konservasi yang ditetapkan FSC untuk hutan tanaman.

2.3 Stratifikasi Hutan

Hutan terdiri dari berbagai macam jenis dan ukuran tumbuhan yang hidup di dalamnya. Kumpulan tumbuhan dengan tutupan dedaunan dan cabang yang saling bersambungan membentuk kanopi. Kanopi adalah tingkatan paling atas dari hutan yang dibentuk oleh mahkota pohon. Lapisan kanopi yang tidak rata dibentuk oleh pohon yang dominan. Tinggi pohon, tutupan pohon, dan jarak pohon adalah atribut utama dari struktur kanopi [47]. Kanopi hutan hujan tropis primer biasanya setebal 10 m dan memotong cahaya sekitar 95% sinar matahari, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.



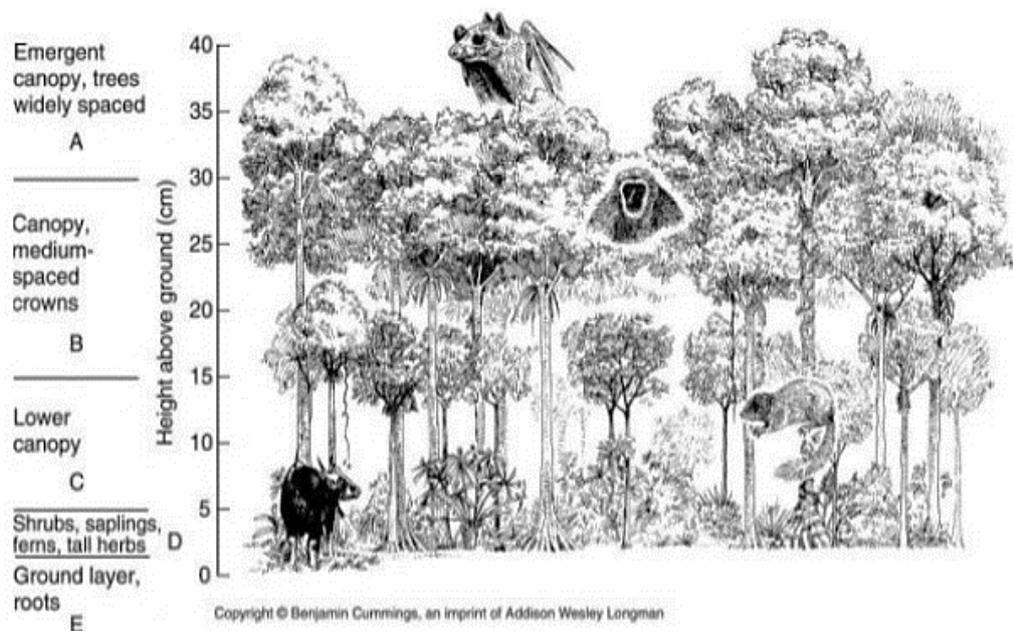
Gambar 2.1 Struktur Kanopi Pohon

(Sumber: Mc.Elhinny, 2005)

Pada umumnya hutan hujan tropis terdiri dari lima lapisan kanopi. Ahli hutan dunia membagi tingkatan kanopi hutan berdasarkan rujukan pada hutan hujan dataran rendah tropis. Pembagian tersebut terdiri dari 5 tingkatan, dari A sampai E.

1. **Strata A**, merupakan pohon paling tinggi yang mencuat di atas rata-rata atap kanopi pohon. Tinggi pohon selalu lebih dari 30 m. Pohon berbatang lurus dan bersifat tidak tahan naungan.
2. **Strata B**, merupakan kanopi utama penyusun hutan. Tinggi pohon antara 20-30 m. Memiliki tajuk yang saling bersinggungan atau bertumpuk.
3. **Strata C**, merupakan kanopi penyusunan hutan. Tinggi pohon antara 4-20 m. Lapisan ini memiliki variasi tinggi pohon. Umumnya memiliki banyak percabangan. Tajuk pohon sangat rapat.
4. **Strata D**, merupakan anakan pohon dengan tinggi sampai 4 m. lapisan ini juga diisi oleh palm, herba, dan paku-pauan besar.
5. **Strata E**, merupakan lapisan yang tumbuh sebagai penutup lantai hutan.

Hutan hujan tropis terbagi menjadi beberapa bagian stratum [48], yaitu sebagai berikut:



Gambar 2.2 Stratum Hutan Tropis
(Sumber: J. P. Kimmins, 2003)

Keterangan:

1. **Stratum A**, yaitu lapisan tajuk (kanopi) hutan paling atas yang dibentuk oleh pepohonan yang tingginya lebih dari 30 m. Pada umumnya tajuk pohon pada stratum tersebut lebar, tidak bersentuhan ke arah horizontal dengan tajuk pohon lainnya dalam stratum yang sama, sehingga stratum tajuk itu berbentuk lapisan diskontinu. Pohon pada stratum A umumnya berbatang lurus, batang bebas, cabang tinggi, dan bersifat intoleran (tidak tahan naungan).
2. **Stratum B**, yaitu lapisan tajuk kedua dari atas yang dibentuk oleh pepohonan yang tingginya 20-30 m. Bentuk tajuk pohon pada stratum B membulat atau memanjang dan tidak melebar seperti pada tajuk pohon pada stratum A. Jarak antar pohon lebih dekat, sehingga tajuk-tajuk pohonnya cenderung membentuk lapisan tajuk yang kontinu. Spesies yang ada bersifat toleran (tahan naungan) atau kurang memerlukan cahaya. Batang pohon banyak cabangnya dengan batang bebas cabang tidak begitu tinggi.
3. **Stratum C**, yaitu lapisan tajuk ketiga dari atas yang dibentuk oleh pepohonan yang tingginya 4-20 m. Pepohonan pada stratum C mempunyai bentuk tajuk yang berubah-ubah tetapi membentuk suatu lapisan tajuk yang tebal. Selain itu, pepohonannya memiliki banyak percabangan yang tersusun dengan rapat, sehingga tajuk pohon menjadi padat.
4. **Stratum D**, yaitu lapisan tajuk keempat dari atas yang dibentuk oleh spesies tumbuhan semak dan perdu yang tingginya 1-4 m. Pada stratum ini juga terdapat dan dibentuk oleh spesies pohon yang masih muda atau dalam fase anakan (seedling), terdapat palma-palma kecil, herba besar, dan paku-pakuan besar.
5. **Stratum E**, yaitu tajuk paling bawah atau lapisan kelima dari atas yang dibentuk oleh spesies-spesies tumbuhan penutup tanah (ground cover) yang tingginya 0-1 m. Keanekaragaman spesies pada stratum E lebih sedikit dibandingkan dengan stratum lainnya.

2.4 Tutupan Hutan dan Jenis Tegakan

Definisi tutupan hutan sebagai bagian dari tutupan lahan (*land cover*) mengacu pada proporsi tanah yang ditutupi oleh proyeksi vertikal dari seluruh kanopi vegetasi [14]. Maksud proyeksi vertikal tersebut adalah tegakan yang merupakan suatu kelompok pohon-pohon atau suatu tumbuhan yang terdapat dalam suatu wilayah tertentu yang cukup seragam dalam susunan spesies dan susunan umurnya, sehingga dapat dibedakan dengan tumbuhan lain yang berada disekitarnya [15].

Secara umum, berdasarkan kenampakannya (diameter batang dan tinggi tumbuhan), jenis-jenis tegakan penyusun vegetasi adalah sebagai berikut [44]:

1. Semai

Semai adalah anakan pohon yang merupakan regenerasi awal dari pohon dengan ukuran ketinggian kurang dari 1,5 m. Jenis tegakan tingkat semai dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3 Jenis Tegakan Tingkat Semai
(Sumber: Survei KPHL Unit XIII Batu Serampok, 2019)

2. Pancang

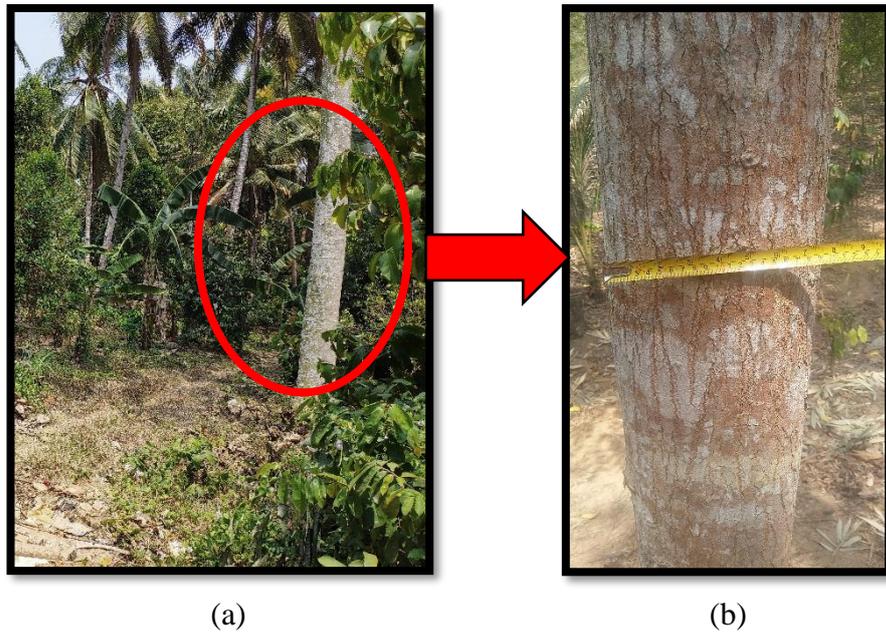
Pancang adalah regenerasi pohon dengan ukuran yang lebih tinggi dari 1,5 m dan memiliki diameter batang kurang dari 10 cm.



Gambar 2.4 Jenis Tegakan Tingkat Pancang
(Sumber: Survei KPHL Unit XIII Batu Serampok, 2019)

3. Tiang

Tiang merupakan pohon muda dengan ukuran diameter batang 10 cm sampai dengan 20 cm.



Gambar 2.5 Jenis Tegakan Tingkat Tiang
(Sumber: Survei KPHL Unit XIII Batu Serampok, 2019)

4. Pohon

Semua tumbuhan berkayu dengan diameter lebih dari 20 cm dan mempunyai batang atau tangkai utama.



Gambar 2.6 Jenis Tegakan Tingkat Pohon
(Sumber: Survei KPHL Unit XIII Batu Serampok, 2019)

Jenis tegakan yang menjadi fokus utama dalam tugas akhir ini adalah jenis tegakan dalam tingkat pertumbuhan pohon.

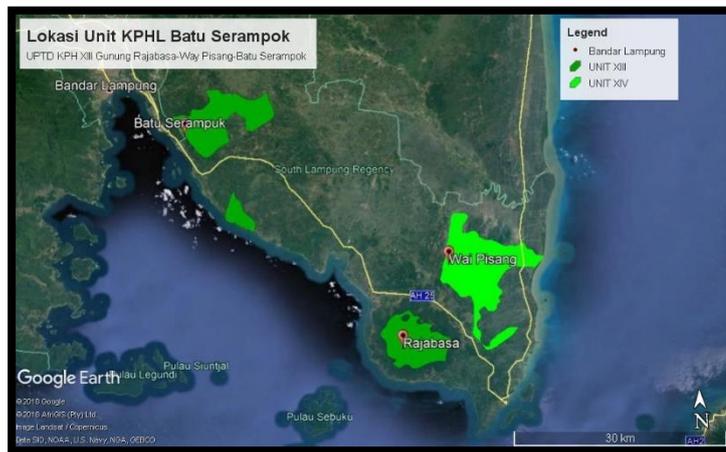
2.5 KPHL Unit XIII Lampung Selatan

Kesatuan Pengelolaan Hutan Lindung (KPHL) Rajabasa terletak di Kabupaten Lampung, Provinsi Lampung. Keberadaan KPHL ini bermula dari Besluit Residen Lampung Distrik Nomor 307 tanggal 31 Maret 1941 di areal seluas 4.900 ha. Kementerian Kehutanan pada 1991 mengukuhkan areal tersebut menjadi Kelompok Hutan Lindung (KHL) Gunung Rajabasa. Sepuluh tahun kemudian, tepatnya pada 7 Juli 2011, Kementerian Kehutanan melalui SK Nomor 367/Menhut- II/2011 menetapkannya sebagai KPHL Gunung Rajabasa dengan luas 5.200 Ha dan dikukuhkan oleh Peraturan Bupati Lampung Nomor 26 Tahun 2011 Tanggal 15 September 2011 [8].

Pada awal tahun 2017, penerapan UU No. 23 Tahun 2014 tentang Pemerintahan Daerah mulai direalisasikan. Seluruh Dinas Kehutanan Kabupaten/Kota dilebur menjadi satu pada Dinas Kehutanan Provinsi Lampung. Unit Pengelola di tingkat daerah semua diserahkan kepada KPH. Berdasarkan Peraturan Gubernur Lampung

No. 3 Tahun 2017 tentang Pembentukan, Organisasi dan Tata Kerja Unit Pelaksana Teknis Dinas Pada Dinas Daerah Provinsi Lampung bahwa yang semula UPTD KPHL Rajabasa di bawah naungan Kabupaten Lampung Selatan berubah menjadi UPTD KPH XIII Gunung Rajabasa-Way Pisang-Batu-Serampok dengan luas wilayah untuk hutan lindung dan hutan produksi berjumlah $\pm 23.513,2$ Hektar [8]. Sedangkan untuk luas hutan lindung sendiri di Kabupaten Lampung Selatan mencapai jumlah $\pm 13.786,8$ Hektar. Hutan lindung tersebut tersebar di register 3 Way Pisang dan Gunung Rajabasa, register 6 Way Buatan dan register 17 Batu Serampok [17].

Dalam tugas akhir ini, wilayah studi yang dipilih adalah KPHL Batu Serampok, digambarkan dengan lokasi sebagai berikut:



(a)



(b)

Gambar 2.7 Lokasi KPHL Unit XIII Batu Serampok Lampung Selatan
(Sumber: (a) Citra *Google Earth*, 2018, (b) Data dan Informasi KPHL Unit XIII Lampung, 2019)

Informasi pendukung KPHL Unit XIII Lampung Selatan berupa data umum, data ekologi, dan data sosial yang disajikan pada tabel-tabel berikut [16].

1. Data Umum

Tabel 2.1 Data Umum KPHL Unit XIII Lampung Selatan

No.	Uraian	Keterangan
1.	Nama KPH	KPHL Unit XIII Lampung Selatan
2.	Nama Lain/Alias	UPTD KPH XIII Gunung Rajabasa-Way Pisang-Batu Serampok
3.	Organisasi Pengelola	KPH XIII Gunung Rajabasa-Way Pisang-Batu Serampok
4.	Wilayah Administrasi	Provinsi Lampung
5.	Alamat Kantor	Jl. Mustafa Kemal No. 26b Way Urang Kalianda Lampung Selatan
6.	Organisasi	UPTD (Unit Pelaksana Teknis Daerah)
7.	SK Menteri / Tanggal Penetapan	SK.68/MENHUT-II/2010 / 09/11/2016
8.	SK Kelembagaan / Tanggal Penetapan	Peraturan Gubernur Lampung Nomor 3 Tahun 2017 / 01/02/2017
9.	SK Penetapan Provinsi	SK.852/Menlhk/Setjen/PLA.0/11/2016 / 28 Januari 2010
10.	Email	kph13lampung@gmail.com
11.	Nomor Telepon	+62 08127906905

(Sumber: Sinpaskok KPH, 2019)

2. Data Ekologi

Tabel 2.2 Data Ekologi KPHL Unit XIII Lampung Selatan

No.	Uraian	Keterangan
1.	Jenis Tanah	<i>Latosol, Podsolid, Andosol</i>
2.	Jenis Kayu	Sonokeling, Sengon, Medang, Kaliandra, Kondang, Mahoni, Pulai, Dadap, Bayur, Kerai Payung, Cempaka, Kenanga, Damar
3.	Satwa Liar	Monyet, Lutung, Siamang, Landak, Babi, Musang, Trenggiling, Tenggir, Tupai, Burung (Murai, Kutilang, Kecici, Pelatuk, Beo, Hantu, Murai Batu), Harimau

(Sumber: Sinpaskok KPH, 2019)

3. Data Sosial

Tabel 2.3 Data Sosial KPHL Unit XIII Lampung Selatan

No.	Uraian	Keterangan
1.	Pendapatan per Tahun	Hasil Hutan Bukan Kayu (HHBK), Jasa Lingkungan
2.	Mata Pencaharian	Petani, Nelayan, Pedagang, Buruh, Pembantu Rumah Tangga, PNS
3.	Tingkat Pendidikan	SD sampai dengan S1
4.	Ketergantungan Masyarakat	Masyarakat tergantung kepada Kawasan hutan sebagai pendapatan hasil dari HHBK

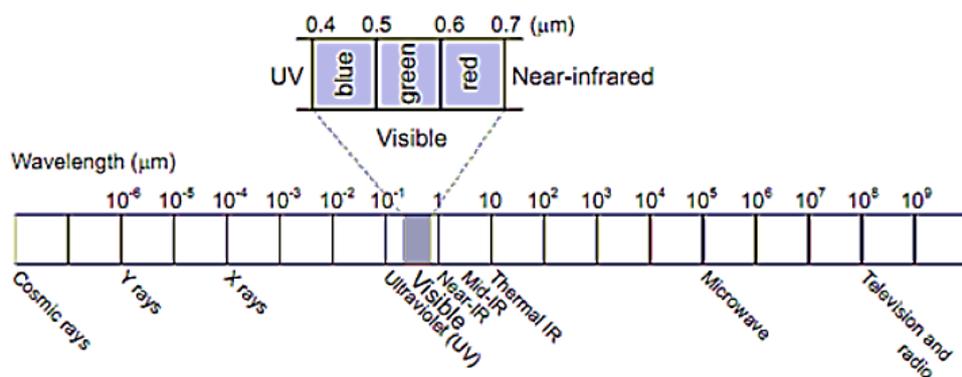
(Sumber: Sinpaskok KPH, 2019)

Upaya inventarisasi tegakan pohon pada hutan lindung di KPHL Unit XIII Batu Serampok membutuhkan sebuah penanganan yang terpadu, yaitu sistem pengelolaan hutan secara efisien dan lestari melalui kegiatan monitoring dengan memanfaatkan data penginderaan jauh (inderaja). Salah satu sistem penginderaan jauh yang dapat diterapkan adalah sistem penginderaan jauh pasif.

2.6 Penginderaan Jauh Pasif

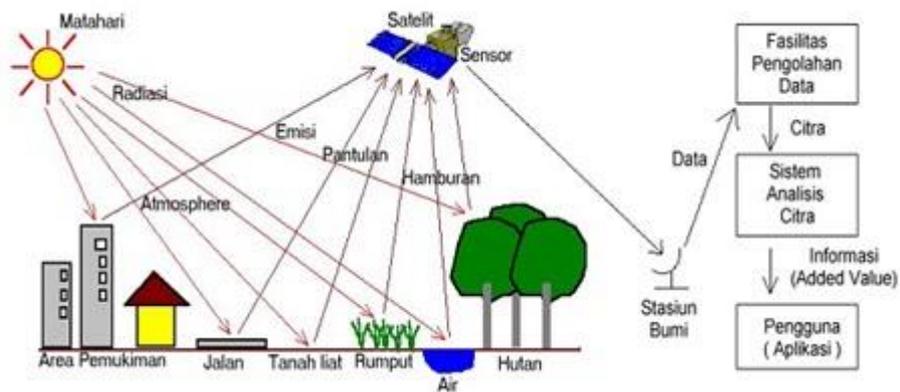
Penginderaan jauh merupakan ilmu dan teknologi dalam memperoleh informasi mengenai suatu objek, area, atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh dengan alat tanpa suatu kontak langsung [9]. Dalam bidang geomatika, inderaja didefinisikan sebagai ilmu untuk memperoleh, memproses, dan menginterpretasi citra dengan data yang digunakan diperoleh melalui wahana pesawat udara dan satelit yang merekam interaksi antara materi dengan radiasi elektromagnetik [5].

Penginderaan jauh yang menggunakan tenaga matahari dikenal dengan sistem penginderaan jauh pasif. Tenaga matahari yang memancar ke segala penjuru termasuk ke permukaan bumi memancar dalam bentuk tenaga elektromagnetik yang membentuk berbagai panjang gelombang (λ). Gelombang elektromagnetik diklasifikasikan menjadi spektrum dan saluran (*band*). Panjang gelombang elektromagnetik berbeda-beda sehingga peka terhadap berbagai macam objek yang ada di permukaan bumi. Spektrum gelombang elektromagnetik dapat dilihat pada gambar 2.8 berikut.



Gambar 2.8 Spektrum Elektromagnetik Penginderaan Jauh Pasif
(Sumber: Lillesand&Kiefer, 2008)

Radiasi matahari tersebut memancar ke permukaan bumi terhambat oleh atmosfer bumi, sehingga bagian radiasi sebagai tenaga tersebut dipantulkan kembali, dihamburkan, diserap, dan diteruskan. Oleh karena itu, tenaga yang berasal dari matahari yang sampai ke permukaan bumi hanya sebagian kecil dan atmosfer berfungsi sebagai filter dan penghambat masuknya radiasi matahari [10]. Ilustrasi penginderaan jauh pasif disajikan pada gambar 2.9 berikut.



Gambar 2.9 Sistem penginderaan Jauh Pasif
(Sumber: Sutanto, 1986)

Salah satu satelit yang digunakan dalam penginderaan jauh pasif, yaitu satelit SPOT.

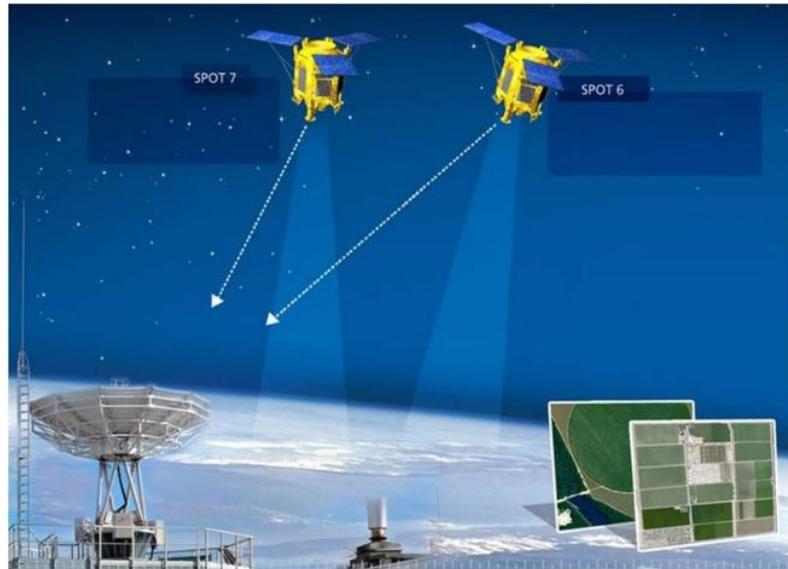
2.7 Sistem Satelit SPOT

SPOT (*Satellite Pour l'Observation de la Terre*) adalah proyek kerja sama antara Prancis, Swedia, dan Belgia, di bawah koordinasi CNES (*Centre National d'Etudes Spatiales*), badan ruang angkasa Prancis. SPOT-1 diluncurkan pada 23 Februari 1986 dari stasiun peluncuran di Kourou, Guyana Prancis, dengan membawa sensor HRV (*Haute Resolution Visible*) atau resolusi tinggi pada spektrum tampak, sehingga dapat dikatakan bahwa SPOT merupakan sistem satelit observasi bumi yang mencitra secara optis dengan resolusi tinggi dan dioperasikan di luar angkasa. Beberapa tujuan dibentuk satelit SPOT yaitu, untuk meningkatkan pengetahuan dan pengelolaan kebumihan melalui eksplorasi sumber daya bumi dan mengawasi aktivitas manusia serta fenomena alam [23].

Seri SPOT sampai saat ini telah mencapai generasi ketiga, dimana generasi pertama meliputi SPOT-1, SPOT-2, dan SPOT-3, sedangkan generasi kedua telah dimulai oleh SPOT-4 (disusul dengan SPOT-5), dan generasi ketiga oleh SPOT-6 dan SPOT-7 [23].

2.7.1 Citra Satelit SPOT-6

Satelit SPOT-6 diluncurkan pada tanggal 9 September 2012, kemudian perusahaan *Airbus Defence and Space* berhasil meluncurkan satelit SPOT 7 pada tanggal 30 Juni 2014 di *Satish Dhawan Space Center* India.



Gambar 2.10 Satelit SPOT-6 dan SPOT-7
(Sumber: Map Vision Indonesia, 2014)

Data yang digunakan pada tugas akhir ini adalah data perekaman satelit SPOT-6 tahun 2017. Berdasarkan spesifikasi metadanya, SPOT-6 merupakan satelit dengan sensor *New Astrosat Optical Modular Instrument* (NAOMI) yang dilengkapi dengan empat *band* multispektral (merah (R), hijau (G), biru (B) dan inframerah-dekat (NIR)) yang memiliki resolusi spasial tinggi sebesar 6 meter dan band pankromatik yang memiliki resolusi spasial sebesar 1,5 meter. Penggunaan spektrum gelombang R, G, dan NIR memiliki kepekaan yang tinggi terhadap indeks vegetasi di atas permukaan. Produk yang dihasilkan dari satelit SPOT-6 memiliki spesifikasi yang dapat dilihat pada tabel 2.4 berikut [18].

Tabel 2.4 Spesifikasi Teknis Satelit SPOT-6 dan SPOT-7

No.	Spesifikasi	Keterangan
1.	<i>Band Citra Satelit SPOT</i>	1 <i>Band</i> Pankromatik 4 <i>Band</i> Multispektral (R,G,B,NIR)
2.	Resolusi Spasial	Pankromatik = 1,5 meter Multispektral = 6.0 meter
3.	Resolusi Radiometrik (<i>bit-depth</i>)	16 bits = 0 - 65.535 = 65.536 <i>values</i>
4.	Resolusi Temporal	26 Hari
5.	Sensor Satelit	<i>New Astrosat Optical Moduler Instrument (NAOMI)</i>
6.	Tipe Orbit	<i>Sun-Synchronous</i>
7.	Lebar Sapuan	(60x60) km
8.	Akurasi	< 10 meter
9.	Proyeksi	UTM
10.	Datum	WGS-84
11.	Format	GeoTIFF
12.	Perekaman	Sampai dengan 3 juta km ² /hari dari tahun 2013-sekarang
13.	Operator	<i>Airbus Defance and Space (DS)</i>

(Sumber: SPOT *Imagery User Guide*, 2013)

Citra satelit SPOT yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah citra satelit SPOT-6, dimana setiap *band* memiliki karakteristik dan kegunaan masing-masing yang disajikan pada tabel 2.5 berikut [20].

Tabel 2.5 Karakterisasi dan Kegunaan Band Spektral Citra Satelit SPOT-6

<i>Band</i>	<i>Spektral</i>	<i>Panjang Gelombang (μm)</i>	<i>Resolusi Spasial (m)</i>	<i>Karakterisasi</i>
1.	Biru (<i>Blue</i>)	0,45-0,53	6	Penetrasi maksimum pada air berguna untuk pemetaan batimetri perairan dangkal
2.	Hijau (<i>Green</i>)	0,52-0,61	6	Berfungsi untuk mengindera puncak pantulan vegetasi
3.	Merah (<i>Red</i>)	0,64-0,72	6	Berfungsi untuk membedakan absorpsi klorofil dan tipe vegetasi
4.	Infra-merah Dekat (<i>Near Infrared</i>)	0,77-0,88	6	Untuk menentukan kandungan biomasa, tipe vegetasi, pemetaan garis pantai
5.	Pankromatik (<i>Panchromatic</i>)	0,45-0,90	1,5	Bermanfaat untuk identifikasi objek lebih detail

(Sumber: SPOT CNES 1999)

2.8 Pengolahan Citra Digital

Semua citra digital yang telah terekam oleh sensor disimpan dalam format yang dapat dibaca oleh program pengolahan citra untuk dianalisis. Kualitas citra dapat ditentukan secara kuantitatif maupun kualitatif. Restorasi citra diperlukan apabila kualitas citra yang digunakan tidak mencukupi dalam mendukung kebutuhan

tertentu. Semua citra yang diperoleh melalui perekaman sensor tak lepas dari kesalahan yang diakibatkan oleh mekanisme perekaman sensor, gerakan, wujud geometri dan konfigurasi permukaan bumi, serta kondisi atmosfer pada saat perekaman. Kesalahan yang terjadi pada proses pembentukan citra ini perlu dikoreksi supaya aspek geometri dan radiometri yang dikandung oleh citra tersebut benar-benar dapat mendukung pemanfaatan untuk aplikasi yang berkaitan dengan pemetaan sumber daya dan kajian lingkungan lainnya. Proses perbaikan kualitas citra dikenal dengan istilah pra-pengolahan (*pre-processing*) [23], yang selanjutnya dikaji pada sub-bab berikut.

2.8.1 Koreksi Radiometrik

Koreksi radiometrik sendiri didefinisikan sebagai perbaikan citra akibat kesalahan radiometrik, yaitu kesalahan yang berupa pergeseran nilai *Digital Number* (DN) piksel pada citra. Kesalahan tersebut dapat disebabkan oleh [24]:

1. Kesalahan optik yang disebabkan oleh bagian optik pembentuk citra buram dan perubahan kekuatan sinyal.
2. Kesalahan karena gangguan energi radiasi elektromagnetik pada atmosfer yang disebabkan oleh pengaruh hamburan dan serapan, respon amplitudo yang tidak linier, dan terjadinya bising (*noise*) pada waktu transmisi data.
3. Kesalahan karena pengaruh sudut elevasi matahari, menyebabkan perubahan pencahayaan pada permukaan bumi karena sifat dan kepekaan objek dalam menerima tenaga dari luar tidak sama, perubahan radiasi dari permukaan objek karena perubahan sudut pengamatan sensor.

Koreksi radiometrik meliputi kalibrasi radiometrik (*radiometric calibration*) dan koreksi atmosferik (*atmospheric correction*) [25].

1. Kalibrasi Radiometrik

Koreksi radiometrik (*radiometric correction*) merupakan langkah pertama yang harus dilakukan saat mengolah data citra satelit. Tujuan utama dari Kalibrasi radiometrik ini digunakan untuk mengubah data pada citra yang pada umumnya disimpan dalam bentuk *Digital Number* (DN) menjadi *radiance* (L) *Top of Atmospheric* (ToA) dan/atau *reflectance* (ρ). Sebelum melakukan kalibrasi radiometrik, penting untuk mengetahui resolusi radiometrik dari citra yang digunakan. Seperti pada tugas akhir ini

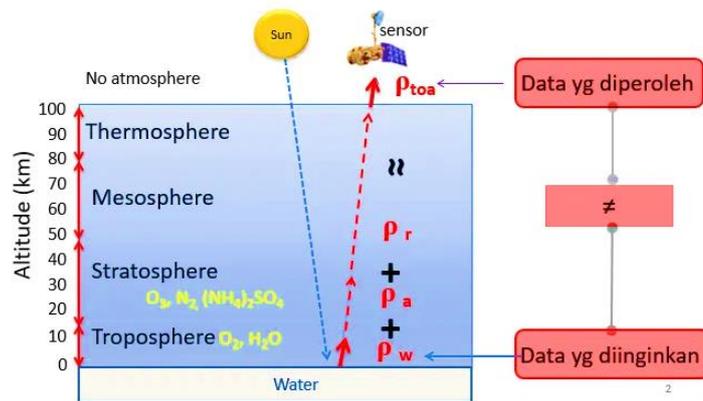
menggunakan citra SPOT-6 dengan resolusi radiometrik yaitu 16 bits atau setara dengan 65.536 (2 pangkat 16) nilai piksel, artinya data yang digunakan memiliki DN dalam rentang 0 sampai 65.535. Terdapat dua cara umum yang digunakan untuk kalibrasi radiometrik (tergantung data yang tersedia), yaitu menggunakan [25]:

- *Gain* dan *Offset*, data yang diperlukan adalah *radiance* atau *reflectance multiple rescaling factor (gain)* dan *additive rescaling factor (offset)*.
- Nilai *radiance* atau *reflectance* maksimum dan minimum.

Metode kalibrasi radiometrik yang digunakan pada tugas akhir ini adalah penyesuaian histogram (*histogram adjustment*). Metode ini mengasumsikan bahwa dalam proses coding digital diperoleh respon spektral akan memberikan nilai null pada respon yang paling lemah. Apabila nilai ini ternyata lebih dari null maka nilai tersebut dihitung sebagai *offset*, dan koreksi dilakukan dengan mengurangi seluruh nilai pada saluran tersebut dengan nilai *offset*-nya. Besarnya *offset* dipandang sebagai pengaruh gangguan atmosfer [23]. Karena gangguan atmosfer tersebut, dalam koreksi radiometrik ini perlu dilakukan juga koreksi atmosferik.

2. Koreksi Atmosferik

Pada saat sensor satelit merekam gelombang elektromagnetik yang dipantulkan oleh objek di permukaan bumi, gelombang tersebut mengalami gangguan pada atmosfer berupa uap air maupun kabut sehingga nilai yang direkam oleh sensor bukanlah nilai pantulan objek sebenarnya. Koreksi atmosfer ini digunakan untuk mereduksi pengaruh atmosfer yaitu molekul (*rayleigh scattering*) dan partikel (*aerosol scattering*) yang direkam oleh sensor. Molekul dan partikel ini mempengaruhi gelombang elektromagnetik dari matahari ke objek dan dari objek ke sensor yang menyebabkan terjadinya kesalahan pada data citra, di mana data citra yang diperoleh dengan data yang diinginkan tidak sama karena adanya gap (*offset*) seperti yang terlihat pada gambar 2.11 berikut [25].



Gambar 2.11 Koreksi Atmosferik
(Sumber: Jaelani, 2015)

Model koreksi radiometrik yang digunakan pada tugas akhir ini adalah Model FLAASH (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes*). FLAASH dikembangkan oleh dua instansi yaitu *Spectral Science, Inc* (SSI), sebagai ketua riset mengenai algoritma koreksi radiometrik dan *Air Force Research Labs* (AFRL). FLAASH merupakan model koreksi radiometrik yang dapat memperbaiki nilai DN dari cahaya tampak, inframerah dekat hingga gelombang pendek inframerah, dan juga dapat mereduksi sebagian besar pengaruh udara dan cahaya dari faktor-faktor lain. Model FLAASH tidak hanya dapat mengeliminasi efek atmosferik dan memperbaiki karakter spektral dari objek-objek di permukaan bumi, tetapi juga dapat mempertegas informasi vegetasi [26].

2.8.2 Koreksi Geometrik

Data inderaja pada umumnya mengandung kesalahan (*distorsi*) geometrik, kesalahan tersebut dapat diklasifikasikan dari dua sudut pandang, yaitu berdasarkan sumber kesalahan dan berdasarkan sifat kesalahan. Berdasarkan sumber kesalahan, kesalahan geometrik terdiri dari kesalahan internal yang diakibatkan oleh geometri sensor dan kesalahan eksternal yang diperoleh dari perubahan posisi sensor atau geometri dari objek. Kesalahan geometrik berdasarkan sifatnya terdiri dari kesalahan sistematis dan non-sistematis. Umumnya kesalahan sistematis sudah dihilangkan oleh *Master Data Processor* di *NASA Goddard Space Flight Center*. Namun, kesalahan non-sistematis masih

terdapat pada citra. Oleh sebab itu koreksi geometrik pada citra perlu dilakukan [27].

1. Koreksi Geometrik Sistematis

Kesalahan geometrik sistematis disebabkan karena kesalahan sensor dan diperlukan informasi mengenai sensor dan data ephemeris saat pemotretan untuk mengkoreksinya. Dilakukan perbaikan dan penempatan kembali posisi piksel, sehingga pada citra yang ditransformasi terlihat gambaran objek permukaan bumi yang terekam sensor [27].

2. Koreksi Geometrik Non-Sistematis

Kesalahan geometrik non-sistematis disebabkan oleh orbit, perilaku satelit, dan efek rotasi bumi. Diperlukan titik kontrol tanah atau GCP (*Ground Control Point*) yang permanen dan tersebar merata untuk mengkoreksinya. GCP adalah suatu lokasi titik di permukaan bumi yang dapat diidentifikasi dengan menyesuaikan koordinat piksel pada citra dengan koordinat objek yang sama pada peta [27]. Untuk hal ini koreksi dilakukan dengan cara membangun hubungan antara sistem koordinat citra dengan sistem koordinat geografik menggunakan titik GCP. Berdasarkan titik-titik ini transformasi koordinat dapat diperoleh sehingga citra yang akan dikoreksi dapat dirubah proyeksinya mengikuti sistem proyeksi koordinat referensi. Kegiatan yang dilakukan untuk menghasilkan citra yang terkoreksi geometrik memerlukan empat tahap, yaitu pemilihan metode transformasi, penentuan parameter transformasi, *resampling* dan interpolasi, serta uji ketelitian koreksi geometrik [1]. Pada penelitian ini, metode koreksi geometrik yang digunakan adalah metode rektifikasi geometrik peta ke citra, yaitu merektifikasikan ke peta proyeksi standar dengan menyamakan sistem koordinat citra dengan sistem koordinat peta standar [27].

- Koreksi Geometrik dengan Rektifikasi Citra ke Peta (*Image to Map*)

Koreksi geometri dengan rektifikasi dari citra ke peta menggunakan prinsip bahwa peta mempunyai sistem proyeksi dan koordinat yang lebih benar sehingga dapat diacu oleh citra. Proses koreksi ini dimulai dengan memilih pasangan titik-titik koordinat pada citra dan pada peta. Koreksi geometrik yang digunakan dalam tugas akhir ini menggunakan

transformasi 2D dengan persamaan polinomial dapat dilihat pada persamaan berikut [23].

$$X_{citra} = a_0 + a_1 \cdot X'_{peta} + a_2 \cdot Y'_{peta} \quad (2.1)$$

$$Y_{citra} = b_0 + b_1 \cdot X'_{peta} + b_2 \cdot Y'_{peta} \quad (2.2)$$

Keterangan:

X_{citra}, Y_{citra} : posisi objek pada koordinat citra

X_{peta}, Y_{peta} : posisi objek pada koordinat peta

$a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$: parameter transformasi

Berdasarkan persamaan transformasi yang digunakan, X dan Y merupakan posisi pada citra terkoreksi. Sementara X' dan Y' merupakan posisi pada citra sebelum terkoreksi [23].

- *Resampling* dan Interpolasi

Resampling merupakan proses penentuan kembali nilai piksel sehubungan dengan koordinat baru setelah transformasi koordinat. Pelaksanaannya dilakukan dengan proses transformasi dari suatu sistem koordinat ke suatu sistem koordinat lainnya [24]. Hal ini perlu dilakukan karena sistem *grid* piksel pada citra sebelum hasil transformasi tidak terproyeksi tepat pada *grid* citra hasil transformasi [28]. Metode *resampling* yang digunakan untuk tugas akhir ini, yaitu metode interpolasi *nearest neighbour* (NN) atau interpolasi tetangga terdekat, yaitu nilai keabuan piksel terbaru ditentukan berdasarkan nilai piksel tetangga yang paling dekat. Metode ini merupakan metode yang paling sederhana dan tidak menyebabkan perubahan nilai piksel selama proses *resampling* (mempertahankan histogram atau distribusi kecerahan dari citra asli) [29].

- Uji Ketelitian GCP

Pengecekan ketepatan pada titik GCP perlu dilakukan untuk mengetahui tingkat ketelitiannya. Untuk mengetahui tingkat ketelitian koordinat citra yang telah dikoreksi geometrik tersebut dapat dilakukan dengan menghitung kesalahan RMSE (*Root Mean Square Error*) dari titik

kontrol yang dipilih. Nilai RMSE diusahakan kecil dan tidak lebih dari 0,5 piksel. Semakin kecil nilai RMSE maka semakin teliti dalam menentukan titik GCP pada citra. Algoritma perhitungan RMSE dihitung dengan persamaan [27]:

$$RMSE = \sqrt{(X' - X)^2 + (Y' - Y)^2} \quad (2.3)$$

Keterangan:

X', Y' : Nilai piksel acuan yang dianggap benar (*base*)

X, Y : Nilai piksel prediksi yang dihasilkan pada citra (*warp*)

2.8.3 Penghilangan Derau

Derau pada citra yang dimaksud berupa awan, bayangan awan, dan badan air. Awan memiliki nilai radiansi lebih tinggi dari objek di permukaan tanah. Selain itu, tingkat radiansi juga bervariasi tergantung pada apakah awan berwarna putih, abu-abu, hitam atau kombinasi dari warna yang berbeda. Begitupun dengan badan air menyebabkan permasalahan yang serupa karena menyerap gelombang inframerah dekat. Sedangkan bayangan awan dapat menyebabkan kesalahan dalam interpretasi untuk bayangan yang diakibatkan tutupan hutan atau bayangan dari pegunungan. Faktor-faktor ini merugikan karena mempengaruhi nilai statistik dalam proses analisis citra [1].

2.8.4 Normalisasi

Analisis tutupan hutan menggunakan citra satelit membutuhkan berbagai operasi *band*, sehingga diperlukan proses normalisasi distribusi data antar *band*. Salah satu metode yang sederhana adalah dengan cara mengatur kembali histogram citra menggunakan transformasi linier [1]. Pada citra SPOT-6 (16 bit), setiap *band* spektral dinormalisasi menggunakan rumus:

$$Y = a \times X + b \quad (2.4)$$

Keterangan:

X : nilai DN masukan

Y : nilai DN hasil normalisasi

dimana nilai a dan b diperoleh melalui rumus:

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{(Y_1 - Y_2)}{(X_1 - X_2)} \\
 &= \frac{(5.140 - 56.540)}{[(m - 2 \times \sigma) - (m + 2 \times \sigma)]} \\
 &= 12.850/\sigma
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

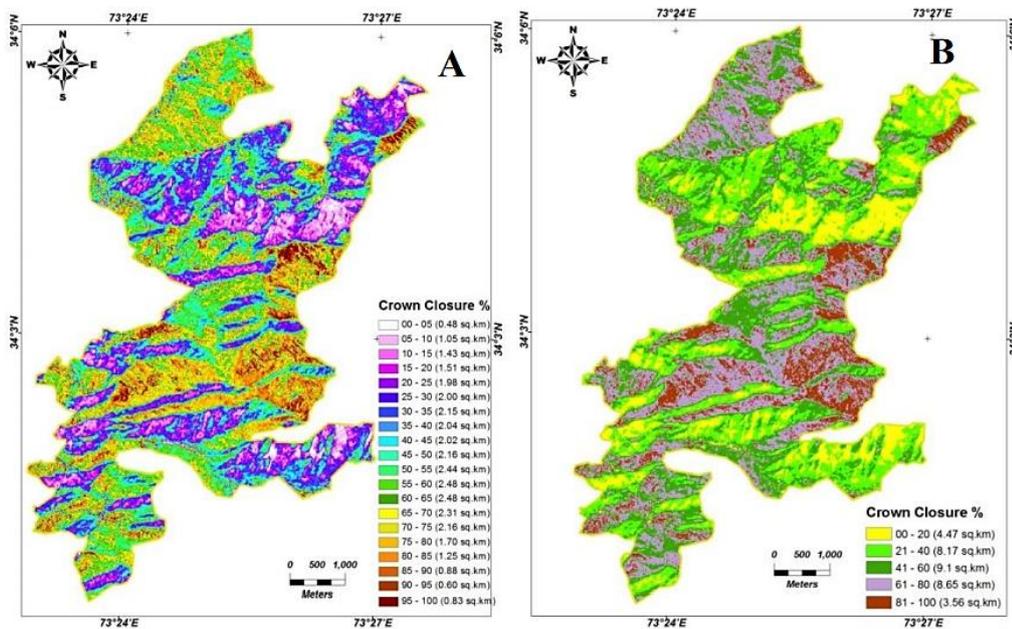
$$b = -a \times X_1 + Y_1 \tag{2.6}$$

Keterangan:

X_1 : $m - 2 \times \sigma$	m : nilai rata-rata histogram
X_2 : $m + 2 \times \sigma$	$band$
Y_1 : $(20/255) \times 65.536$	σ : standar deviasi histogram
: 5.140	$band$
Y_2 : $(220/255) \times 65.536$	a, b : standar deviasi histogram
: 56.540	$band$

2.9 Model *Forest Canopy Density* (FCD)

Forest Canopy Index atau *Forest Canopy Density* (FCD) merupakan metode perhitungan yang digunakan untuk menghitung kerapatan tutupan vegetasi dengan cara menggunakan dan mengintegrasikan 4 indeks yang berkaitan dengan indeks tutupan vegetasi hutan. Keperluan estimasi jumlah tegakan pohon di kawasan hutan lindung seperti pada tugas akhir ini, dipilih model *Forest Canopy Density* (FCD) dengan memanfaatkan kepadatan tutupan hutan sebagai parameter penting untuk karakterisasi kondisi hutan. Data FCD menunjukkan tingkat intensitas dari perawatan dan/atau rehabilitasi yang mungkin diperlukan bagi kawasan hutan [4]. Pemanfaatan model FCD bagi kawasan hutan dapat dilihat pada contoh gambar 2.12 berikut.

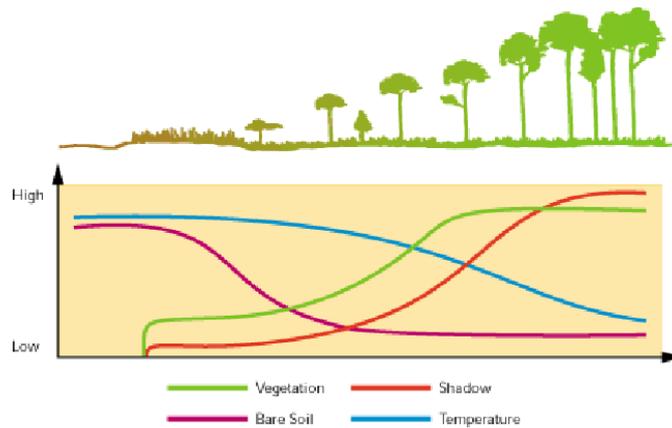


Gambar 2.12 Contoh Aplikasi Model *Forest Canopy Density*
(Sumber: Mahboob, 2012)

Pada umumnya terdapat dua metode pengolahan model FCD dimana keduanya bergantung pada kondisi hutan. Kondisi pertama adalah hutan yang memiliki kepadatan tegakan sedikit, lapisan vegetasi bawah tidak banyak, dan tanah kosong dapat dideteksi dari udara. Kondisi kedua adalah hutan yang memiliki kepadatan tegakan sedikit, banyak terdapat lapisan vegetasi bawah, dan tanah kosong tidak dapat dideteksi dari udara [1].

2.9.1 Kombinasi Indeks

Model FCD mengkombinasikan data dari beberapa indeks. Hasil FCD mempunyai hubungan erat antara kondisi hutan dan indeks yang berhubungan dengan tutupan vegetasi hutan yaitu indeks vegetasi atau *Advanced Vegetation Index* (AVI), indeks vegetasi yang peka terhadap tanah atau *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI), indeks kepekaan bayangan terhadap suhu vegetasi atau *Shady Vegetation Index* (SVI) [2]. Konsep hubungan tersebut dapat dilihat pada gambar 2.13 dan tabel 2.6 berikut [4].



Gambar 2.13 Grafik Nilai Indeks terhadap Tutupan Vegetasi
(Sumber: Rikimaru, 2002)

Jika nilai indeks vegetasi meningkat maka terdapat peningkatan pada nilai indeks bayangan, artinya adalah dimana ada tegakan pohon maka terdapat bayangan. Bersamaan dengan itu, jika terdapat nilai indeks tanah rendah maka nilai indeks temperatur pun akan menurun [2].

Tabel 2.6 Hubungan antara Indeks Tutupan Vegetasi Hutan dengan FCD

No.	Indeks	FCD Tinggi	FCD Rendah	Semak	Tanah
1.	Vegetasi	Tinggi	Sedang	Tinggi	Rendah
2.	Tanah	Rendah	Rendah	Rendah	Tinggi
3.	Bayangan	Tinggi	Sedang	Rendah	Rendah
4.	Suhu	Rendah	Sedang	Sedang	Tinggi

(Sumber: Rikimaru, 1997)

Untuk mencari nilai FCD, diperlukan nilai *Scaled Shady Vegetation Index* (SSVI) dan *Scaled Vegetation Density* (SVD). Nilai SSVI tersebut didapat melalui SVI, sedangkan nilai VD didapat dengan perkalian dari AVI dan SAVI. Selanjutnya akan dibahas mengenai indeks vegetasi hutan yang berkaitan untuk perhitungan tegakan pohon menggunakan citra satelit SPOT-6 (16 bits) dengan metode FCD.

- *Advanced Vegetation Index* (AVI)

Dalam indera respon spektral terhadap vegetasi hijau (vegetasi sehat) dicirikan oleh penyerapan dan pemantulan dari panjang gelombang.

Vegetasi sehat akan menyerap *band* merah dan lebih banyak memantulkan *band* inframerah [33]. Ketidakmampuan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dalam memperoleh perbedaan dalam kepadatan hutan mendorong dikembangkannya suatu indeks baru untuk meningkatkan respon terhadap *band* inframerah yaitu *Advanced Vegetation Index* (AVI). Indeks ini dinilai lebih sensitif terhadap kepadatan hutan dan kelas-kelas vegetasi [40]. Perhitungan AVI dapat dilihat pada persamaan berikut [4].

$$AVI = \sqrt[3]{(Band\ 3 + 1) \times (65.536 - Band\ 2) \times (Band\ 3 - Band\ 2)} \quad (2.9)$$

- *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI)

Menggunakan faktor penyesuaian latar belakang kanopi, L yang merupakan fungsi dari kerapatan vegetasi menunjukkan nilai optimal $L = 0,5$ untuk memperhitungkan orde pertama variasi latar belakang tanah. Indeks tanah terbuka yang diformulasi dengan informasi *band* inframerah menengah. Hal ini didasari oleh hubungan timbal balik yang tinggi antara status tanah terbuka dan status vegetasi. Analisis kombinasi indeks vegetasi dan indeks tanah terbuka dapat menilai status dari hutan pada rentang yang kontinu mulai dari kondisi vegetasi tinggi hingga kondisi tanah terbuka [40].

$$SAVI = \frac{Band\ 4 - Band\ 3}{Band\ 4 + Band\ 3 + 0,5} \times (1 + 0,5) \quad (2.10)$$

- *Shady Vegetation Index* (SVI)

Kanopi hutan bervariasi tergantung jenis spesies, usia, dan usia pertumbuhan. Variasi kanopi menyebabkan perbedaan jumlah bayangan yang mempengaruhi nilai reflektan. Untuk mengekstrak informasi struktur hutan menggunakan data inderaja, dikembangkan suatu metode yaitu konstruksi indeks bayangan (*Shady Vegetation Index*) untuk memperoleh karakteristik dari bayangan dengan memanfaatkan informasi spektral dari bayangan hutan dan informasi temperatur pada hutan yang dipengaruhi oleh bayangan. Perhitungan SVI dihitung menggunakan cahaya tampak rendah dari *band* merah, dapat dilihat pada persamaan berikut [4].

$$SVI = \frac{1}{Band\ 3} \quad (2.11)$$

Perbedaan tiga indeks yang berkaitan dengan vegetasi hutan tersebut, dapat dijelaskan kembali mengenai penggunaan praktisnya melalui daftar tabel 2.7 berikut [4].

Tabel 2.7 Penggunaan Praktis Indeks Vegetasi SPOT-6

Indeks	Penggunaan Praktis
<i>Advanced Vegetation Index</i>	Penggunaan tingkat NDVI memungkinkan AVI untuk lebih sensitif terhadap kepadatan dan kerapatan tegakan hutan
<i>Soil Adjusted Vegetation Index</i>	Dapat digunakan untuk mengidentifikasi perbedaan antara vegetasi pertanian dan non-pertanian seperti hutan
<i>Shady Vegetation Index</i>	Dapat digunakan untuk mengevaluasi pola bayangan berdasarkan struktur atau distribusi objek tertentu dengan mempengaruhi respon spectral tiap waktu

(Sumber: Abdollahnejad, 2017)

2.9.2 Vegetation Density (VD)

Kepadatan vegetasi merupakan prosedur untuk mensintesis indeks vegetasi dan indeks tanah terbuka. Pengolahan dilakukan menggunakan *principal component analysis* (PCA) karena pada dasarnya indeks vegetasi dan indeks tanah terbuka memiliki korelasi negatif. Setelah itu dilakukan penskalaan nilai indeks dari nol persen ke seratus persen sehingga menghasilkan indeks *scaled vegetation density* (SVD) [2].

2.9.3 Forest Canopy Density (FCD)

Indeks kepadatan tutupan hutan diperoleh dengan cara mengintegrasikan kepadatan vegetasi dengan kepadatan bayangan melalui nilai SVD dan juga SSI. Nilai SVD dan SSI kemudian dilakukan normalisasi atau *rescale* sehingga bernilai 1-100. Persamaan untuk menghitung nilai FCD yaitu sebagai berikut [4].

$$FCD = \sqrt{(SVD \times SSI + 1)} - 1 \quad (2.13)$$

2.9.4 Transformasi Normalized Different Vegetation Index (NDVI)

Transformasi NDVI merupakan salah satu transformasi yang memiliki tingkat kepekaan tinggi terhadap objek vegetasi. Transformasi NDVI digunakan untuk menghitung tingkat kehijauan (*greeness*) objek pada citra [38]. Rentang nilai NDVI bervariasi dari -1 s.d. +1. Nilai yang mewakili vegetasi berada pada rentang 0,1 - 0,7. Jika nilai NDVI di atas 0,7 menunjukkan tingkat kesehatan dari tutupan vegetasi yang lebih baik [36] dan untuk tanah tidak berpenutup tanaman berada pada rentang 0 - 0,1 serta untuk wilayah perairan kurang dari 0 [37].

$$NDVI = \frac{Band\ 4 - Band\ 3}{Band\ 4 + Band\ 3} \quad (2.14)$$

2.10 Klasifikasi Citra Digital

Klasifikasi citra adalah proses pengelompokkan piksel ke dalam kelas tertentu atau kategori yang telah ditentukan berdasarkan nilai kecerahan atau *Digital Number* (DN) piksel yang bersangkutan. Tujuan klasifikasi citra secara digital adalah untuk melakukan pengelompokkan secara otomatis dari setiap piksel kedalam kelas-kelas atau tema-tema tertentu. Klasifikasi citra multispektral dapat dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan tingkat otomasinya, yaitu klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) dan klasifikasi tidak terbimbing (*unsupervised classification*) [23]. Klasifikasi digital yang dipakai pada tugas akhir ini adalah klasifikasi terbimbing, yaitu metode kemiripan maksimum (*maximum likelihood*) yang membagi kelas objek berdasarkan nilai piksel sampel dari tiap kelas, sehingga klasifikasi terbimbing memerlukan *training area* atau daerah contoh. Pada prinsipnya metode ini membandingkan nilai piksel dengan nilai

training site dengan asumsi bahwa sebaran pikselnya terdistribusi secara normal. Bila kemiripan nilai maksimum, maka piksel tersebut akan dikelompokkan pada kelas tersebut [27].

- Klasifikasi *Maximum Likelihood*

Tugas akhir ini menggunakan 2 kelas, yaitu hutan dan non-hutan pada metode klasifikasi terbimbing dengan metode *maximum likelihood*. Algoritma *maximum likelihood* secara statistik dikatakan sebagai algoritma klasifikasi berbasis piksel yang mendasarkan pada perhitungan kemiripan setiap piksel dengan asumsi bahwa objek homogen selalu menampilkan histogram yang terdistribusi normal [23].

2.10.1 Training Area

Pelaksanaan klasifikasi terbimbing (*Supervised Classification*) memerlukan proses penentuan *training area* atau daerah contoh sebelum dilakukan klasifikasi. Penentuan *training area* dilakukan berdasarkan data pendukung lain berupa data lapangan. *Training area* dipilih pada lokasi yang menyebar pada citra SPOT-6. Pemilihan *training area* yang benar akan mempengaruhi kualitas hasil klasifikasi [41]. Setelah pemilihan *training area* maka dilakukan uji ketelitian klasifikasi yang bertujuan untuk memperoleh nilai kedekatan hasil klasifikasi dengan data ukuran sebenarnya. Uji ketelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini menggunakan tabel matriks konfusi (*confusion matrix*) atau matrik kesalahan agar dapat diketahui tingkat kepercayaan terhadap pemakaian hasil klasifikasi untuk analisis dan keperluan berikutnya

2.10.2 Matriks Kesalahan

Salah satu cara yang paling umum untuk menilai akurasi klasifikasi adalah dengan matriks kesalahan (*confusion matrix*). Matriks kesalahan menilai berdasarkan perbandingan satu kelas dengan kelas lainnya, yaitu dengan cara menunjukkan hubungan antara data referensi (*ground truth*) dengan hasil dari klasifikasi secara digital. Hubungan antara kedua himpunan informasi tersebut dicantumkan pada contoh matriks kesalahan tabel 2.8 berikut.

Tabel 2.8 Matriks Kesalahan

Data Klasifikasi	Data Referensi Piksel						Total Baris	User Accuracy	Error Comission
	Lapangan	Tubuh Air	Lahan Terbangun	Lahan Kosong	Vegetasi	Jalan			
Lapangan	1	0	1	0	0	0	2	50%	50%
Tubuh Air	0	3	0	0	0	0	3	100%	0%
Lahan Terbangun	0	0	7	0	0	0	7	100%	0%
Lahan Kosong	0	0	1	3	0	0	4	75%	25%
Vegetasi	0	0	0	2	5	0	7	71%	29%
Jalan	0	1	0	0	0	3	4	75%	25%
Total Kolom	1	4	9	5	5	3	27		
<i>Producer Accuracy</i>	100%	75%	78%	60%	100%	100%	Total Klasifikasi Benar		22
<i>Error Comission</i>	0%	25%	22%	40%	0%	0%	Overall Accuracy		81%

(Sumber: Penginderaan Jauh II Klasifikasi Digital, 2018)

Nilai *Overall Accuracy* (OA) menunjukkan banyaknya jumlah piksel yang terklasifikasi secara benar pada tiap kelas dibanding jumlah sampel yang digunakan untuk uji akurasi pada semua kelas. Secara matematis ditunjukkan pada persamaan 2.8.

$$OA (\%) = \frac{\text{jumlah piksel yang terklasifikasi secara benar}}{\text{jumlah sampel uji akurasi}} \times 100 \quad (2.15)$$

Kesalahan omisi atau *omission error* (OE) yaitu kesalahan klasifikasi berupa kekurangan jumlah piksel suatu kelas akibat masuknya piksel-piksel kelas tersebut ke kelas yang lain. Sedangkan, kesalahan komisi atau *commission error* (CE) yaitu kesalahan klasifikasi berupa kelebihan jumlah piksel pada suatu kelas yang diakibatkan masuknya piksel dari kelas yang lain [Short, 1982 dalam Danoedoro, 2012]. Nilai dari *producer* dan *user accuracy* dihitung untuk tiap kelas yang ada dalam klasifikasi. Berdasarkan matriks tersebut, maka didapatkan hasil akurasi pemetaan untuk menentukan peta yang diolah memiliki hasil pemetaan yang baik dan sesuai dengan kondisi asli di lapangan, sehingga peta dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut. *Producer Accuracy* (PA) dihitung untuk mengetahui tingkat akurasi berdasarkan fakta yang diperoleh di lapangan dengan persamaan 2.9.

$$PA(\%) = \frac{\text{jumlah sampel uji akurasi suatu kelas yang terklasifikasi benar}}{\text{jumlah sampel uji akurasi pada suatu kelas}} \times 100 \quad (2.16)$$

$$OE(\%) = 100 \% - PA \quad (2.17)$$

User accuracy untuk mengetahui tingkat akurasi berdasarkan hasil pembacaan citra yang diperoleh dengan persamaan 2.10.

$$UA(\%) = \frac{\text{jumlah sampel uji akurasi suatu kelas yang terklasifikasi benar}}{\text{jumlah sampel uji akurasi yang terklasifikasi sebagai kelas tersebut}} \times 100 \quad (2.18)$$

$$CE(\%) = 100 \% - PA \quad (2.19)$$

2.11 Penentuan Ukuran Sampel

Penentuan sampel dari populasi digunakan untuk perhitungan penelitian korelasional. Secara umum, jumlah sampel minimal untuk memperoleh hasil yang baik adalah 30, sedangkan dalam penelitian eksperimen jumlah sampel minimal 15 dari masing-masing kelompok dan untuk penelitian survei jumlah sampel minimum adalah 100 [46]. Berikut adalah acuan yang digunakan untuk menentukan ukuran sampel [45].

1. Ukuran sampel lebih dari 30 dan kurang dari 500 adalah tepat untuk kebanyakan penelitian.
2. Jika sampel dipecah menjadi sub sampel, ukuran sampel minimum yang tepat adalah 30 untuk tiap kategori.
3. Dalam penelitian *multivariate* (termasuk analisis regresi berganda), ukuran sampel sebaiknya 10 kali lebih besar dari jumlah variabel dalam penelitian.
4. Untuk penelitian eksperimental sederhana dengan kontrol eksperimen yang ketat, penelitian yang sukses adalah mungkin dengan ukuran sampel kecil antara 10 sampai dengan 20.

Besaran atau ukuran sampel ini sangat tergantung dari besaran tingkat ketelitian atau kesalahan yang diinginkan peneliti.

2.12 Korelasi

Korelasi merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui hubungan antara dua variabel yang digunakan pada suatu penelitian. Tujuan korelasi antara lain: (1) menentukan variabel mana yang saling berkaitan (berkorelasi atau berhubungan erat), (2) menyatakan hubungan antara kedua variabel yang berhubungan sehingga nilai satu variabel dapat diprediksi menggunakan variabel lain [37].

2.13 Regresi Linier

Model regresi yang digunakan adalah persamaan model linier berdasarkan nilai koefisien determinannya (R^2) dengan rentang 0 – 100%. Regresi antara hasil indeks vegetasi citra satelit dengan jumlah tegakan pohon di lapangan menghasilkan persamaan jumlah tegakan yang dapat digunakan untuk rekonstruksi citra.

2.14 Rekonstruksi Model FCD

Rekonstruksi model FCD merupakan transformasi nilai pantulan objek citra dari kerapatan hutan menjadi nilai jumlah tegakan pohon. Rekonstruksi model FCD dilakukan menggunakan persamaan regresi linier yang didapat dari model regresi. Hasil rekonstruksi model FCD berupa estimasi jumlah tegakan pohon per satuan luas.

2.15 Uji Akurasi

Uji akurasi dilakukan untuk mendapatkan akurasi kesalahan minimal, kesalahan maksimal, akurasi minimal dan akurasi maksimal dari hasil regresi. Uji akurasi dilakukan dengan menghitung persamaan sebagai berikut [37].

1. *Mean*

Mean merupakan nilai rata-rata dari beberapa sampel. Nilai *mean* dapat ditentukan dengan membagi data dengan banyaknya jumlah data.

2. Standar Deviasi (StDev)

Standar deviasi menyatakan nilai positif dari akar kuadrat suatu varian. Standar deviasi disebut juga dengan *Root Mean Square Deviation* (RMSD). Standar deviasi menggambarkan sebaran data terhadap nilai rata-ratanya dan dituliskan pada persamaan berikut.

$$\sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2.20)$$

3. *Convidence Level* (CL)

Convidence Level atau Interval Kepercayaan adalah kisaran nilai dimana terletak parameter populasi. *Confidence Level* dituliskan pada persamaan berikut.

$$\text{Convidence Level} = 5 \% \cdot \text{Stdev} \cdot n \quad (2.21)$$

4. *Upper Range (UR)*

Upper range merupakan batas atas dari rata-rata terhadap *Confidence Level* (Interval Kepercayaan). *Upper range* dituliskan pada persamaan berikut.

$$\text{Upper range (UR)} = \text{Mean} + \text{CL} \quad (2.22)$$

5. *Lower Range (LR)*

Lower range merupakan batas bawah dari rata-rata sampel terhadap nilai *Confidence Level* (Interval Kepercayaan). *Lower range* dituliskan pada persamaan berikut.

$$\text{Lower range (LR)} = \text{Mean} - \text{CL} \quad (2.23)$$

6. *Standard Error of Means (SE)*

Standard Error of Means (SE) merupakan estimasi standar deviasi dari nilai rerata (n) suatu sampel terhadap rerata suatu populasi. *Standard Estimation Error* dituliskan pada persamaan berikut.

$$\text{SE (Standard Error of Means)} = \sqrt{\frac{\sum(y - \hat{y})^2}{n-2}} \quad (2.24)$$

7. *Max Error (Kesalahan Maksimal)*

Kesalahan maksimal merupakan estimasi kesalahan terhadap batas bawah rerata sampel populasi dan dinyatakan sebagai persentase. Kesalahan maksimal dituliskan pada persamaan berikut.

$$\text{Max Error} = \frac{SE}{LR} \times 100\% \quad (2.25)$$

8. *Min Error (Kesalahan Minimal)*

Kesalahan minimal merupakan estimasi kesalahan terhadap batas atas rerata sampel populasi dan dinyatakan sebagai persentase. Kesalahan minimal dituliskan pada persamaan berikut.

$$\text{Min Error} = \frac{SE}{UR} \times 100\% \quad (2.26)$$

9. *Maximum Accuracy* (Akurasi Maksimal)

Max Accuracy merupakan akurasi maksimal yang digambarkan dalam bentuk persentase terhadap kesalahan minimal. Akurasi maksimal dituliskan pada persamaan berikut.

$$\text{Max Accuracy} = 100\% - \text{Min Error}. \quad (2.27)$$

10. *Minimum Accuracy* (Akurasi Minimal)

Min Accuracy merupakan akurasi minimal yang digambarkan dalam bentuk persentase terhadap kesalahan maksimal. Akurasi minimal dituliskan pada persamaan berikut.

$$\text{Min Accuracy} = 100\% - \text{Max Error}. \quad (2.28)$$

2.16 Pemetaan Jumlah Tegakan Pohon dengan Metode SIG

Pemetaan sebaran jumlah tegakan pohon menggunakan metode SIG (Sistem Informasi Geografis). SIG merupakan suatu sistem berbasis komputer yang dirancang khusus dan mempunyai kemampuan untuk mengelola data berupa pengumpulan, penyimpanan, pengolahan, analisis, pemodelan dan penyajian data spasial (keruangan) dan non spasial (tabular/tekstual), yang mengacu pada lokasi di permukaan bumi (data georeferensi) [39].

Sistem Informasi Geografis pada dasarnya digunakan untuk mengetahui hubungan antara komponen-komponen yang saling berkaitan untuk mencapai suatu tujuan berdasarkan informasi yang didapatkan dari pengolahan data dan lapangan berupa kondisi fisik dan gejala di lapangan. Hasil dari pengolahan menggunakan Sistem Informasi Geografis dapat berupa titik-titik yang berisi informasi dari berbagai tumpang tindih. Hasil akhir dari tumpang tindih (*overlay*) data dapat digunakan untuk pembuatan Peta Sebaran Jumlah Tegakan Pohon.