

SKRIPSI

**ANALISIS KERAPATAN VEGETASI BERBASIS NDVI
(*Normalized Difference Vegetation Index*) PADA
TEGAKAN *PINUS MERKUSI* DI KPH BULUSARAUNG**

OLEH:

NURUL ISMI ISLAMIAH

M011 18 1328



**PROGRAM STUDI KEHUTANAN
FAKULTAS KEHUTANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2023

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS KERAPATAN VEGETASI BERBASIS NDVI
(*Normalized Difference Vegetation Index*) PADA TEGAKAN
PINUS MERKUSI DI KPH BULUSARAUNG**

Disusun dan diajukan oleh

NURUL ISMI ISLAMIAH

M011 18 1328

Telah dipertahankan di hadapan Panitia ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi program sarjana Program Studi Kehutanan Fakultas

Kehutanan Universitas Hasanuddin

pada tanggal 10 Agustus 2023

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

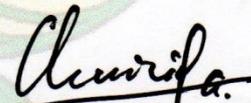
Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping



Prof. Dr. Ir. Daud Malamassam, M.Agr
NIP. 19540209197802 1 001



Chairil A. S. Hut., M. Hut
NIP. 19940221202101 5 001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Kehutanan


Dr. Ir. Sitti Nuraeni, M.P.
NIP. 19680410199512 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nurul Ismi Islamiah
NIM : M011181328
Program Studi : Kehutanan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan berjudul

“Analisis Kerapatan Vegetasi Berbasis NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) Pada Tegakan Pinus di KPH Bulusaraung”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilalihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut

Makassar, 10 Agustus 2023

Yang Menyatakan



Handwritten signature of Nurul Ismi Islamiah.

Nurul Ismi Islamiah

ABSTRAK

Nurul Ismi Islamiah (M0111 81 328) . Analisis Kerapatan Vegetasi Berbasis NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) Pada Tegakan Pinus Merkusi di KPH Bulusaraung di bawah Bimbingan Daud Malmassam dan Chairl A.

Hutan *P.merkusi* di KPH Bulusaraung mempunyai potensi ekonomi yang besar dan dapat menunjang peningkatan pendapatan dan kesejahteraan masyarakat. Sehubungan dengan itu diperlukan penetaan sebaran dan kerapatan tegakan *P.merkusi* , agar potensi *P.merkusi* termaksud dapat diketahui secara lebih akurat. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis Tingkat kerapatan vegetasi pada tegakan *P.merkusi* , berdasarkan hasil interpretasi citra dan hubungan antara NDVI dan kerapatan vegetasi pada tegakan *P.merkusi* di KPH Bulusaraung. Analisis tegakan hutan *P.merkusi* dilakukan dengan menggunakan pendekatan Sistem Informasi Geografis. Analisis tutupan lahan dilakukan dengan menggunakan metode digitasi on screen sedangkan analisis NDVI menggunakan citra sentinel -2A .Klasifikasi penutupan lahan menggunakan metode on screen, yang memisahkan hutan *P.merkusi* , dan hutan non *P.merkusi* . Hasil identifikasi menunjukkan bahwa luas hutan *P.merkusi* adalah 2018,11 ha (3,97%), sementara hutan non-*P.merkusi* adalah 24.276,26 Ha (47,79%) , dan sisanya adalah luasan penutupan Non hutan mencapai 21.505,47 ha (48,24%) dari toral wilayah KPH Bulusaraung. Klasifikasi kerapatan vegetasi pada hutan *P.merkusi* dilakukan menggunakan metode Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Hasil analisis menunjukkan bahwa ada empat kelas kerapatan pada hutan *P.merkusi* , yaitu jarang, sedang, lebat, dan sangat lebat. NDVI menunjukkan hubungan yang kuat dengan kerapatan *P.merkusi* dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,6873, yang menandakan hubungan yang erat antara NDVI dan kerapatan *P.merkusi*.

Kata Kunci : Penginderaan jauh, Kerapatan hutan *P.merkusi* , NDVI, Sentinel-2A

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT., Tuhan Yang Maha Esa. serta rasa syukur yang tak lelah terucap atas segala Nikmat, Rahmat, dan Karunia yang telah dilimpahkan atas selesainya skripsi yang berjudul "**Analisis Kerapatan Vegetasi Berbasis NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) pada Tegakan Pinus Merkusi di KPH Bulusaraung.**".

Penulis juga mengakui bahwa skripsi ini mungkin tidak sempurna, namun penulis berharap bahwa hasil penelitian ini dapat memberikan sumbangan ilmiah yang bermanfaat dalam pemahaman tentang analisis kerapatan vegetasi berbasis NDVI pada tegakan *P.merkusi* . Kritik dan saran yang bersifat membangun sangatlah diharapkan guna perbaikan dan pengembangan di masa mendatang.

Banyak tantangan yang dihadapi oleh penulis selama penulisan skripsi, yang dengan bantuan berbagai pihak, maka skripsi ini dapat selesai pada waktu yang tepat sebagaimana aturan yang ditetapkan, Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin. Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terimakasih kepada **Prof. Dr. Ir. Daud Malamassam, M.Agr** dan **Chairil A, S. Hut., M. Hut** atas bantuan dan bimbingan yang telah diberikan mulai dari perumusan masalah, pelaksanaan, sampai dengan penulisan skripsi.

Terimakasih Pula yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada **Dr.Ir.Roland A.Barkey** dan **Dr.Ir.Budiaman,M.P** yang telah memberikan banyak masukan dalam penulisan skripsi. Kepada bapak dan ibu Dosen Fakultas Kehutanan yang telah memberikan banyak ilmu. Bapak dan Ibu staf administrasi Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin yang telah membantu dalam pengurusan administrasi penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan oleh karena keterbatasan penulis. Namun dengan adanya dukungan dari berbagai pihak berupa pengetahuan, dorongan moril dan bantuan materil sehingga penulisan skripsi ini bisa selesai. Oleh karena itu, penulis ingin mengungkapkan rasa terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini terutama kepada :

1. Terkhusus orang tuaku tercinta, ayahanda **Rais S.Pd** dan Ibunda **Suhaemi S.Pd** yang telah melimpahkan kasih sayang tak terhingganya hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Seluruh staf dan pihak terkait di KPH Bulusaraung yang telah memberikan izin, dukungan, serta data yang diperlukan dalam penelitian ini
3. Keluarga besar **Perencanaan dan Sistem Informasi Kehutanan (PSIK)** yang telah memberikan dukungan dan bantuan selama proses penyusunan skripsi ini.
4. Teman-Teman **SOLUM 2018** yang telah banyak membantu dan memberikan kenangan baik selama study.
5. Keluarga besar **Korps Pencinta Alam (KORPALA) Universitas Hasanuddin** yang telah memberikan banyak pengalaman berharga dan kenangan bagi penulis.
6. Saudari **Adisya Inayah Muqita** yang memberikan dukungan dan motivasi sehingga memberikan energi positif yang luar biasa bagi penulis.
7. Saudara **Muhammad Muhshiy Kadir Pole** yang telah memberikan saran-saran yang membangun dan membantu penulis dalam proses penyusunan skripsi ini.
8. Saudara **Muhammad Nur Akram** yang telah membantu penulis dalam pengambilan data lapangan.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini, masih banyak terdapat kekurangan yang perlu diperbaiki, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan kontribusi kecil bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan pemahaman lebih mendalam tentang ekosistem vegetasi, khususnya pada tegakan *P.merkusi* di KPH Bulusaraung. Semoga hasil penelitian ini dapat bermanfaat dan memberikan inspirasi untuk penelitian lebih lanjut di masa depan.

Makassar, 10 Agustus 2023

Nurul Ismi Ismiah

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan dan Kegunaan.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Hutan <i>P.merkusi</i>	4
2.2. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kuantitas Dan Sebaran Potensi <i>P.merkusi</i>	6
2.3. Kerapatan Vegetasi	8
2.4. Analisis Indeks Vegetasi	9
2.5. Teknologi untuk Interpretasi Potensi Hutan <i>P.merkusi</i>	12
2.6. Citra Sentinel	16
2.7. Penilaian Akurasi	19
III. METODELOGI PENELITIAN	21
3.1 Waktu dan Tempat	21
3.2 Alat dan Bahan.....	21

3.3	Prosedur Penelitian.....	22
3.4	Diagram Alir	29
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1	Kondisi Umum Lokasi	30
4.2	Pemetaan Tegakan Hutan <i>P.merkusi</i>	31
4.3	Analisis Kerapatan Vegetasi.....	36
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	42
5.1	Kesimpulan.....	42
5.2	Saran.....	42
	DAFTAR PUSTAKA	43

DAFTAR TABEL

Gambar	Judul	Halaman
Tabel 1	Karakteristik Kanal Citra Sentinel-2A	18
Tabel 2	Penggunaan kombinasi band citra satelit Sentinel-2A.....	19
Tabel 3	Tabel Confusion Matrix Table	20
Tabel 4.	Klasifikasi kerapatan NDVI.....	26
Tabel 5.	Luas Penggunaan lahan klasikasi On screen	33
Tabel 6.	Matriks kotingensi hasil klasifikasi 4 kelas tutupan lahan	33
Tabel 7.	Luas sebaran <i>P.merkusi</i> Tiap Kecamatan.....	35
Tabel 8.	Nilai NDVI berdasarkan kerapatan Vegetasi Hutan <i>P.merkusi</i>	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
Gambar 1.	Rentang nilai NDVI.....	12
Gambar 2.	Peta Lokasi Penelitian KPH Bulusaraung.....	21
Gambar 3.	Variasi jumlah titik pengambilan foto hemisphere dalam kuadran berdasarkan variasi distribusi penutupan kanopi	27
Gambar 4.	Perbedaan kanopi pada satu contoh foto hemisphere dimana piksel langit sangat mudah di bedakan	28
Gambar 5.	Diagram alur tahapan penelitian.....	29
Gambar 6.	Wilayah KPH Bulusaraung	30
Gambar 7.	Citra Sentinel 2A Pada KPH Bulusaraung	32
Gambar 8.	(a) Kenampakan Citra Sentinel-2A, (b) Hasil Klasifikasi On Screen	33
Gambar 9.	Hasil Digitasi <i>On Screen</i> Hutan <i>P.merkusi</i>	34
Gambar 10.	Hasil Klasifikasi NDVI Hutan <i>P.merkusi</i> di KPH Bulusaraung	36
Gambar 11.	Persentase kerapatan tutupan <i>P.merkusi</i>	40
Gambar 12.	Korelasi NDVI dengan tutupan Kanopi <i>P.merkusi</i>	41

DAFTAR LAMPIRAN

Gambar	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Pengolahan data lapangan kerapatan tajuk menggunakan <i>imagej</i>	49
Lampiran 2.	Foto Hemisphere Photographi Kerapatan	52
Lampiran 3.	Hasil Foto Ground Check Penutupan Lahan	53
Lampiran 4.	Peta Penyebaran Titik <i>Ground Check</i> P.merkusi KPH Bulusaraung.....	55
Lampiran 5.	Peta Hasil <i>Digitasi On Screen</i>	56
Lampiran 6.	Tabel hasil <i>groundcheck</i>	57
Lampiran 7.	Kerapatan berdasarkan nilai NDVI dan kerapatan berdasarkan di lapangan.....	60
Lampiran 8.	Hasil Analisis Imagej Kerapatan <i>P.merkusi</i>	62

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Hutan adalah suatu wilayah ekosistem yang terdiri dari luas tanah yang dihuni oleh berbagai sumber daya alam hayati, dimana pepohonan mendominasi lingkungan alamnya dan saling terhubung satu sama lain (Undang-Undang RI Nomor 41 Tahun 1999). Di tingkat global, hutan tanaman semakin memiliki peran penting, terutama dalam memenuhi kebutuhan akan kayu. Pada tahun 2012, hutan tanaman menyumbang sekitar sepertiga dari produksi kayu bulat industri dunia (Jurgensen dkk. 2014).

Salah satu hutan tanaman adalah hutan *P.merkusi*, yang ada di provinsi Sulawesi Selatan, ada 18 kabupaten dan kota yang memiliki banyak potensi. Tana Toraja, Toraja Utara, Enrekang, Gowa, Maros, dan Bone adalah enam kabupaten dengan potensi *P.merkusi* terbesar. Pohon *P.merkusi* telah menjadi salah satu pilihan hutan tanaman. Program ini terutama ditanam di Pulau Jawa, dan karena sifat genetisnya yang baik, *P.merkusi* dapat dengan mudah menyebar di seluruh Indonesia (Indrajaya & Handayani, 2008; Wijayanto & Nurmadina, 2021).

Sebagai hutan tanaman, *P. merkusi* memiliki beberapa manfaat baik dari sisi ekonomi, ekologis, maupun hindorogi. Hutan *P.merkusi* memiliki potensi kayu dan getah yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat untuk meningkatkan perekonomian. Selain itu, dari sisi ekologis, hutan *P.merkusi* dapat memberi manfaat hidrologis yang baik dalam mencegah erosi serta manfaat jasa lingkungan berupa lokasi wisata alam. Manfaatnya telah banyak dirasakan oleh masyarakat khususnya dalam peningkatan perekonomian. Hutan *P.merkusi* telah memberikan manfaat kepada masyarakat, antara lain: kayu, getah, biji (sebagai sumber benih) dan manfaat jasa lingkungan berupa lokasi wisata alam (Sallata, 2013; Tajuddin, 2021).

Berbagai penelitian yang terkait dengan hutan *P.merkusi* pada umumnya menguraikan berbagai manfaat dan peran getah *P.merkusi* dalam peningkatan kesejahteraan masyarakat (Martono, 2009; Sophian, 2016; Suwaji dkk., 2017). Namun pada penelitian Aisyah dkk, 2021 yang membahas terkait potensi ekonomi HHBK di KPH Bulusaraung. perlu adanya perhatian khusus pada Hutan

P.merkusii di wilayah KPH Bulusaraung, karna memiliki memiliki potensi ekonomi yang besar pada getah *P.merkusi* dari Vegetasi lainnya yang ada pada KPH Bulusaraung. Kesatuan Pengelolaan Hutan (KPH) Bulusaraung merupakan salah satu Unit Pengelolaan Tingkat (UPT) KPH dari 16 UPT KPH yang ditetapkan berdasarkan Peraturan Gubernur Sulawesi Selatan Nomor 134 Tahun 2017 tanggal 8 September 2017. KPH Bulusaraung berkedudukan di kawasan Hutan Lindung (HL) dan Hutan Produksi (HP) dalam wilayah administrasi Kabupaten Maros dan Kabupaten Pangkajene.

Mengingat hutan *P.merkusi* memiliki manfaat, terutama hutan *P.merkusi* yang ada di KPH Bulusaraung, menjadi bukti keberhasilan program reboisasi dan mempunyai potensi ekonomi yang besar bagi masyarakat, maka harus dilihat kualitas hutan pada kerapatan hutan *P.merkusi* dengan bantuan pemetaan pada aplikasi penginderaan jauh. Saat ini sudah banyak produk-produk penginderaan jauh yang dapat digunakan untuk mendapatkan informasi untuk menilai kualitas pada kerapatan hutan *P.merkusi*.. Pemanfaatan teknologi penginderaan jauh menjadi alat dalam mengamati dan melindungi hutan *P.merkusi* di KPH Bulusaraung. Pemanfaatan citra satelit yang mempunyai resolusi spasial tinggi dapat mengkaji berbagai macam objek di permukaan bumi dan mampu digunakan sebagai alat untuk memetakan tutupan lahan di suatu daerah dan menilai kualitas hutan.

Pemantauan kualitas vegetasi di hutan *P.merkusi* penting untuk mengidentifikasi perubahan-perubahan yang terjadi pada ekosistem hutan. Kualitas vegetasi dapat mempengaruhi biodiversitas, ketersediaan air, kualitas udara, serta dampak terhadap iklim. Oleh karena itu, pemantauan yang tepat dan akurat perlu dilakukan untuk mengambil tindakan konservasi yang sesuai. Salah satu metode penginderaan jauh untuk menilai kualitas hutan berupa kerapatan vegetasi pada *P.merkusi* dengan (*Normalized Difference Vegetation Index*) NDVI. Metode indeks vegetasi yang paling sering digunakan untuk melakukan pengukuran terhadap komponen vegetasi yaitu NDVI, karena mampu menangkap kerapatan vegetasi hijau pada resolusi spasial 30 meter (Klompaker dkk., 2018). Indeks vegetasi merupakan parameter yang digunakan untuk melakukan analisis terhadap keadaan vegetasi suatu wilayah. Indeks kehijauan berbasis spektrumini

berfungsi untuk mengukur dan memantau pertumbuhan tanaman (vigor), tutupan vegetasi, dan produksi biomassa dari data satelit multispektral (Wu dkk., 2017).

Berdasarkan uraian di atas, data kerapatan vegetasi pada *P.merkusi* pada KPH Bulusaraung merupakan pengetahuan dasar bagi upaya pengembangan budidaya beserta pemanfaatannya untuk masyarakat. Data atau pengetahuan dasar tersebut diharapkan dapat mendukung upaya pelestarian sumberdaya alam terutama dalam peningkatan ekonomi masyarakat. Salah satu aspek pengelolaan sumberdaya alam yang masih sangat perlu untuk disempurnakan adalah aspek perencanaan dalam pemanfaatan teknologi penginderaan jauh dalam analisis kerapatan vegetasi berbasis NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) pada tegakan *P.merkusi* di kph bulusaraung.

1.2 Tujuan dan Kegunaan

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis sebaran *P.merkusi* pada interpretasi citra dan Tingkat kerapatan vegetasi pada tegakan *P.merkusi* berdasarkan NDVI.
2. Menganalisis hubungan antara NDVI dan kerapatan vegetasi pada tegakan *P.merkusi* di KPH Bulusaraung

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan bagi semua pihak terkait, khususnya bagi pengelola KPH Bulusaraung, dalam memilih dan menentukan tindakan-tindakan yang perlu dilakukan untuk mengembangkan potensi dan manfaat Hutan *P.merkusi* pada wilayah yang bersangkutan untuk pengelolaan hutan *P.merkusi* dalam peningkatan ekonomi dan ekologi, khususnya bagi masyarakat setempat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Hutan *P.merkusi*

P.merkusi jenis yang dapat ditemukan di Asia tenggara seperti Burma, Thailand, Laos, Indonesia, Vietnam dan Filipina. Jenis tersebut merupakan spesies fast growing (Larasati, 2017). *P.merkusi* tumbuh pada ketinggian 800-2000 mdpl pada berbagai tipe tanah dan iklim. *P.merkusi* memiliki batang besar dan lurus tegakan tua dapat mencapai tinggi 20-40 m dengan diameter 70-145 cm, tajuk muda berbentuk pyramid, dan tajuk tua akan berbentuk lebih rata dan menyebar tajuk tua akan berubah warna menjadi gelap dan memiliki alur (Riska, 2011).

Secara khusus di Provinsi Sulawesi Selatan, penanaman *P.merkusi* sebagai tanaman reboisasi telah dimulai sejak tahun 1948 di Kabupaten Tana Toraja (Sallata, 2013). Perluasan tanaman *P.merkusi* ke berbagai kabupaten di Sulawesi Selatan melalui program reboisasi yang dimulai sejak tahun 1976/1977 dan dibiayai dengan dana Inpres (Tajuddin dan Suryanto, 2022). Keberadaan *P.merkusi* yang merupakan hasil reboisasi dan penghijauan ditanam secara bertahap dan dimulai pada era tahun 40-an (Sallata, 2013). Walaupun beberapa penelitian menunjukkan bahwa proyek rehabilitasi belum menunjukkan hasil yang signifikan di lapangan (Nawir dkk, 2008; Utomo dkk, 2015), namun keberadaan *P. merkusi* di Sulawesi Selatan menjadi bukti keberhasilan reboisasi. Tanaman *P. merkusi* telah meningkatkan perekonomian masyarakat yang ada di sekitarnya. Selain kayu terdapat getah *P.merkusi* yang merupakan bahan baku untuk produk gondorukem dan terpentin yang digunakan dalam berbagai industri (Sallata, 2013). Berdasarkan hasil identifikasi, potensi hutan *P.merkusi* di Sulawesi Selatan tersebar di 18 Kabupaten/Kota dari 24 Kabupaten/Kota.

P.merkusi merupakan satu-satunya jenis *P.merkusi* yang asli di Indonesia (Harahap dan Aswandi, 2006). *P. merkusii* merupakan jenis pohon pionir berdaun jarum yang termasuk dalam family Pinaceae. Secara alami *P. merkusii* juga dijumpai tumbuh di Aceh, Tapanuli dan daerah Kerinci, Sumatera bagian utara (Kalima. T,dkk.,2005). Secara geografis tersebar antara 2° LS - 22° LU dan 95° 30' BB - 120°31' BT (Alrasjid dkk., 1983 dalam Sallata 2013).

Menurut Hendromono *dkk.* (2006) *P.merkusi* dapat tumbuh pada daerah dengan ketinggian 200-2.000 mdpl, dengan curah hujan antara 1.200 sampai lebih dari 3.000 mm per tahun. Secara khusus di Provinsi Sulawesi Selatan, penanaman *P.merkusi* sebagai tanaman reboisasi telah dimulai sejak tahun 1948 di Kabupaten Tana Toraja (Sallata, 2013). Perluasan tanaman *P.merkusi* ke berbagai kabupaten di Sulawesi Selatan melalui program reboisasi yang dimulai sejak tahun 1976/1977 dan dibiayai dengan dana Inpres (Tajuddin dan Suryanto, 2022).

Hutan tanaman *P.merkusi* memiliki kemampuan untuk menghasilkan produk ganda berupa kayu dan getah. Kayu *P.merkusi* termasuk kayu rimba yang dipasarkan dalam bentuk kayu bundar maupun kayu olahan sedangkan getah diolah menjadi gondorukem dan terpentin serta produk kimia lainnya (Simon, 2010). Getah *P.merkusi* memiliki kontribusi hingga kepasar internasional menempati urutan ketiga setelah Cina dan Brazil dengan kontribusi sebesar 8% dari total pemasok gondorukem dan terpentin dunia.

Tumbuhan *P.merkusi* atau tusam adalah tumbuhan populer berperan penting di Indonesia untuk diambil kayu atau getah. *P.merkusi* termasuk kayu kelas kuat V dan kelas awet IV (Cahyono, 2011). *P.merkusi* dimanfaatkan masyarakat ataupun diperjual belikan bahkan diekspor untuk bahan furniture (*meubel*), terkadang digunakan bahan bangunan. *P.merkusi* berstatus rawan (*vulnerable*) berdasarkan IUCN red list (IUCN, 2006).

Pertumbuhan tanaman *P.merkusi* yang baik menghasilkan tajuk yang baik sehingga memungkinkan untuk tumbuh ditempat-tempat kering seperti galian jalan, lahan baru, batu kasar maupun lereng gunung. *P.merkusi* sangat membutuhkan cahaya matahari sehingga pohon yang terletak pada lereng yang lebih rendah dan tertutup oleh pohon lain akan tumbuh lebih tinggi dibanding pohon yang mendapat cahaya matahari langsung. *P.merkusi* tergolong kedalam family *pinaceae*, habitatnya berada di pegunungan dan membentuk kelompok hutan konifer pegunungan tropika. *P.merkusi* mencapai tinggi maksimum 70 meter tetapi pada umumnya mencapai 35 meter. *P.merkusi* dapat tumbuh pada tanah yang kurang berpasir, maupun tanah yang berbatu dengan curah hujan tipe A-C.

Hal yang umum dilakukan sebelum tebangan adalah proses inventarisasi untuk mengestimasi volume tegakan *P.merkusii*. Volume tegakan *P.merkusii* tidak hanya dapat diukur secara langsung tetapi juga dapat ditaksir menggunakan persamaan regresi. Parameter tegakan *P.merkusii* yang pada umumnya diukur dilapangan adalah jumlah pohon per hektar, tinggi pohon, dan diameter pohon. Peubah tinggi pada *P.merkusii* merupakan parameter penting dan memiliki korelasi dengan volume pohon (Sahid, 2010).

2.2. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kuantitas Dan Sebaran Potensi *P.merkusii*

Seperti sifat pohon pada umumnya pertumbuhan pohon *P.merkusii* sangat dipengaruhi oleh adanya kombinasi faktor lingkungan yang berimbang dan menguntungkan. Apabila satu faktor lingkungan tidak seimbang dengan faktor lainnya, faktor tersebut dapat menekan pertumbuhan tanaman. Faktor lingkungan yang dimaksud adalah: cahaya, tunjangan mekanis, unsur hara, udara dan air (Alrasjid dkk., 1983). Kuantitas cahaya pada wilayah tropis ditentukan oleh musim dan kelerengan sedangkan kualitas ditentukan oleh panjang gelombang yang diterima oleh tanaman (Jumin, 2002). Lebih lanjut Jumin (2002) menyatakan bahwa tidak semua panjang gelombang cahaya bermanfaat pada tanaman. Panjang gelombang cahaya yang berfungsi untuk aktivitas fotosintesa tanaman adalah berkisar antara 400 mμ- 760 mμ (sinar yang tampak). Suhu optimum untuk tanaman berbeda-beda sesuai golongan dan jenisnya.

Menurut Jumin (2002) bahwa proses fotosintesa naik seiring dengan meningkatnya suhu yaitu dari 10°C sampai 35°C, tetapi akan menurun dengan naiknya suhu setelah di atas 35°C dan sebaliknya fotosintesa akan menurun seiring dengan turunnya suhu, yaitu dari 10°C ke 0°C dan pada suhu 0°C fotosintesa terhenti. Di atas suhu 40°C laju fotosintesa semakin menurun bahkan terhenti pada suhu kritis karena respirasi semakin besar dan beberapa enzim yang terlibat fotosintesa mengalami gangguan aktivitas dan rusak. Demikian pula sebaliknya suhu rendah di bawah 0°C akan mengganggu aktivitas enzim dan menghalangi aliran air karena viskositas air tinggi. Temperatur yang sangat tinggi dan berkepanjangan (diatas 40°C) pada umumnya berbahaya bagi pertumbuhan

P.merkusi karena mengakibatkan protein dalam protoplasma sel menjadi menggumpal, terutama untuk pohon muda sampai umur 10 tahun (Alraşjid dkk., 1983).

Kualitas tempat tumbuh (*site quality*) dari jenis satu tegakan pohon dinyatakan sebagai peninggi untuk umur tertentu yang disebut pohon persatuan luas, luas bidang dasar setinggi dada, dan rata-rata tinggi bidang dasar. Kondisi ini berlaku pada suatu daerah yang keadaan tanahnya mirip dengan daerah yang akan dibangun hutan tanaman industri (HTI), dimana mempunyai penentuan umur baku tegakan. Hasil menyeluruh ini ditabulasikan untuk memudahkan mengetahui volume kayu yang dihasilkan oleh peninggi pada umur tertentu. Parameter tersebut disusun sedemikian rupa dengan melawan umur tegakan, sehingga didapat indeks bonita. Umur tegakan yang digunakan dalam penyusunan indeks bonita adalah umur tegakan saat melakukan penjarangan, yaitu 5, 10, 20, 25, 105 tahun dan hubungan peninggi dengan umur tegakan berdasarkan grafik disebut kelas bonita. Pengklasifikasian produktivitas lahan hutan didalam produksi kayu jati menggunakan parameter peninggi sebagai pengukurnya yang dimulai sejak tahun 1932 oleh H.E. Wolff von Wolfing. Peninggi yang diperoleh dari rata-rata pohon tertinggi merupakan ciri terbaik dari produktivitas lahan hutan jati. Metode ini diisyaratkan dengan rata-rata jumlah 100 pohon tertinggi yang hidup merata pada kawasan dengan luas 1 ha (Arief 2001 dalam Wahyuni, 2012).

Berdasarkan informasi hasil kajian diatas dapat diketahui bahwa pertumbuhan *P.merkusi* dibatasi oleh *altitude* dan kualitas tempat tumbuh. *P.merkusi* pada lokasi di bawah 400 m dpl, tidak akan optimal pertumbuhannya karena temperatur udara terlalu tinggi, sebaliknya apabila ditanam pada lokasi yang terletak diatas 2.000 m dpl, tidak akan memberikan pertumbuhan yang baik pula karena proses fotosintesa terhambat. Walaupun *P.merkusi* dapat tumbuh pada berbagai jenis tanah, tidak selalu memberikan pertumbuhan yang sama baik. Misalnya pada tanah yang kepadatannya kuat, pertumbuhannya jelek, demikian juga pada tanah becek pertumbuhannya kurang baik. Pada tanah berstruktur padat, ruang pori kurang dan tanah yang beraerasi buruk biasanya sebagian ruang pori berisi air sehingga ruang untuk oksigen sedikit, mengakibatkan jasad aerob menjadi berkurang sehingga fungsi dekomposisi bahan organik terhambat dan jasad renik

yang berperan dalam oksidasi Nitrogen (N) dan Sulfur (S) akan terganggu dan berakibat pada pertumbuhan akar menjadi terhambat. Pertumbuhan akar P.merkusi pada tanah padat dan tanah becek kurang berkembang dibandingkan pada tanah yang aerasi dan kesuburan fisiknya baik.

2.3. Kerapatan Vegetasi

Vegetasi adalah kumpulan dari beberapa jenis tumbuhan yang tumbuh bersamaan di suatu tempat sehingga membentuk kesatuan yang saling tergantung. Organisasi tumbuhan dalam ruang yang membentuk tegakan disebut struktur vegetasi. Ini adalah definisi yang lebih luas dari tipe vegetasi (Ayu dkk, 2022). Kerapatan vegetasi umumnya diwujudkan dalam bentuk persentase sehingga diketahui tingkat kerapatan vegetasi. Indeks vegetasi merupakan suatu algoritma yang ditetapkan terhadap citra untuk menampilkan aspek vegetasi ataupun aspek lain (*Leaf Area Index*, biomassa, konsentrasi klorofil) yang terkait sehingga menghasilkan citra baru yang lebih representatif. (Danoedoro, 2012).

Vegetasi adalah kumpulan atau himpunan semua jenis tumbuhan yang hidup dan berkembang pada suatu daerah (Rifai, 2004). Selain itu menurut Maridi, Saputra, & Agustina (2015), vegetasi adalah sekelompok tumbuhan yang menghuni suatu wilayah sehingga terbentuk suatu sistem. Vegetasi juga dapat didefinisikan sebagai keseluruhan tumbuhan yang berfungsi sebagai penutup lahan.

Keberadaan vegetasi dalam suatu wilayah sangatlah diperlukan. Menurut (Maridi dkk, 2015), dalam ekosistem salah satu peran vegetasi yaitu sebagai penyimpan karbon sehingga keberadaan karbon di atmosfer bisa berkurang. Menurut (Azhari, 2019), tidak hanya memperbaiki dan menjaga kualitas udara, keberadaan vegetasi juga dapat memperbaiki kualitas fisik penyusun lingkungan lainnya seperti air dan tanah.

Perbedaan jenis vegetasi dalam suatu daerah akan menghasilkan perbedaan kerapatan vegetasi di daerah tersebut (Afriana dkk., 2013). Tingkatan kerapatan vegetasi dalam suatu daerah, dapat diketahui dengan menggunakan indeks vegetasi. Menurut Danoedoro (2012) dalam (Hardianto dkk., 2021), indeks vegetasi dapat digambarkan sebagai algoritma yang ditetapkan terhadap citra

dengan tujuan untuk menunjukkan karakteristik vegetasi seperti luasan daun, biomassa, dan klorofil. Indeks vegetasi mentransformasikan citra sehingga dapat dimanfaatkan untuk pengamatan tumbuhan dalam analisis vegetasi. Indeks vegetasi terdiri dari berbagai jenis, adapun beberapa diantaranya yaitu RVI (Ratio Vegeta Index), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), dan TVI (Transformed Vegetation Index) (Sukristiyanti & Marganingrum, 2008).

Salah satu metode untuk mempelajari tentang susunan (komposisi), jenis, dan bentuk struktur vegetasi (masyarakat tumbuhan) adalah analisis vegetasi. Persentase suatu spesies tumbuhan atau vegetasi yang hidup di suatu luasan tertentu disebut kerapatan vegetasi. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisis vegetasi adalah teknik NDVI, yang dapat digunakan untuk mengetahui kerapatan vegetasi.

2.4. Analisis Indeks Vegetasi

Indeks vegetasi merupakan suatu algoritma yang diaplikasikan terhadap citra multi kanal dari data sensor satelit untuk menonjolkan aspek kerapatan vegetasi, biomassa, konsentrasi klorofil, dan sebagainya (Sudiana dan Diasmara, 2008). Fenomena penyerapan cahaya merah oleh klorofil dan pemantulan cahaya inframerah dekat oleh jaringan mesofil yang terdapat pada daun akan membuat nilai kecerahan yang diterima sensor satelit pada kanal-kanal tersebut akan berbeda. Pada daratan non-vegetasi seperti wilayah perairan, tanah kosong terbuka, lahan terbangun, dan wilayah dengan kondisi vegetasi yang rusak tidak akan menunjukkan nilai rasio yang tinggi. Sebaliknya pada wilayah bervegetasi sangat rapat dengan kondisi sehat, perbandingan kedua kanal tersebut akan sangat tinggi inframerah dekat sedangkan pada sinar merah pantulan vegetasi menurun (Riko dkk., 2019). Terdapat beberapa macam metode dalam indeks vegetasi diantaranya sebagai berikut:

a. *ARVI (Atmospherically Resistant Vegetation Index)*

Indeks ARVI diusulkan oleh Kaufman dan Tanre (1992) yang memanfaatkan perbedaan panjang gelombang biru dan merah untuk mengurangi kesalahan-kesalahan yang disebabkan oleh faktor atmosfer. Indeks ini merupakan tambahan dari algoritma NDVI yang tahan terhadap faktor atmosfer seperti aerosol. ARVI

dikembangkan dengan cara menerapkan normalisasi terhadap radiansi di saluran biru, merah, dan inframerah dekat. Berikut merupakan persamaan dari ARVI (Kaufman dan Tanre, 1992; Huete dkk., 1997).

$$ARVI = \frac{NIR-RB}{NIR+RB} \dots\dots\dots(2.1)$$

Adanya pengurangan dengan menggunakan saluran biru mengakibatkan kelas yang masuk ke dalam kategori vegetasi rapat jauh lebih banyak. Nilai maksimal, nilai minimum, rata-rata dan standar deviasi dari ARVI hampir sama dengan nilai yang dihasilkan oleh transformasi NDVI (Danoedoro, 2012; Lintang dkk., 2017).

b. NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*)

NDVI pertama kali dirumuskan oleh Kriegler dkk. (1969) kemudian digunakan pertama kali oleh Rouse dkk. (1973). Secara historis NDVI adalah salah satu indeks vegetasi pertama yang menggunakan rasio dari kanal inframerah dekat (NIR) dan merah. NDVI digunakan dalam berbagai penelitian untuk menghitung biomassa vegetasi, kehijauan, jenis vegetasi yang dominan, dan Leaf Area Index (LAI) (Rouse dkk., 1974). NDVI memiliki persamaan sebagai berikut.

$$NDVI = \frac{NIR-Red}{NIR+Red} \dots\dots\dots(2.2)$$

c. SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*)

SAVI merupakan algoritma pengembangan dari NDVI dengan menekan pengaruh latar belakang tanah pada tingkat kecerahan kanopi. Algoritma SAVI ini telah memasukkan faktor koreksi terhadap adanya pengaruh faktor tanah, yakni dengan menggunakan persamaan isoline vegetasi yang diturunkan melalui pendekatan reflektansi kanopi berdasarkan model interaksi foton order pertama antara kanopi dengan lapisan-lapisan tanah. Dengan demikian, maka faktor- faktor yang mungkin mempengaruhi nilai indeks vegetasi akibat adanya keragaman Digital Repository Universitas Jember 8 kondisi permukaan vegetasi dapat tereduksi. Adapun persamaan dari SAVI yaitu sebagai berikut (Huete, 1988).

$$SAVI = (1 + l) \times \frac{NIR-Red}{NIR+Red} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan L adalah faktor pengaturan tanah secara umum. Batasan L dihubungkan dengan Hukum Beer dan menghitung untuk perbedaan faktor pemadaman spektral kanopi merah dan NIR yang melalui kanopi yang berfotosintesis secara aktif.

d. EVI (*Enhanced Vegetation Index*)

EVI dirancang menggunakan kanal merah dan NIR dengan tambahan kanal biru untuk meningkatkan sinyal vegetasi dengan sensitivitas yang lebih baik. EVI mengoptimalkan pemantauan vegetasi melalui sinyal latar kanopi dan pengurangan pengaruh atmosfer. Indeks vegetasi EVI memiliki persamaan sebagai berikut (Liu dan Huete, 1995; Huete dkk., 1997).

$$EVI = G \frac{(NIR-Red)}{(L + NIR + C1Red - C2Blue)} \dots\dots\dots (2.4)$$

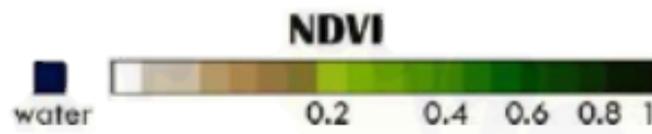
Variabel L adalah faktor kalibrasi efek kanopi dan tanah yang bernilai 1, sedangkan variabel C1 dan C2 pada persamaan di atas adalah koefisien faktor pembobotan untuk mengatasi aerosol yang memiliki nilai 6 dan 7.5. Variabel G merupakan faktor skala agar nilai EVI yang bernilai 2,5 (Huete dkk., 2002).

Menurut (Hardianto dkk., 2021), jenis indeks vegetasi yang paling banyak digunakan untuk mengukur komponen vegetasi dalam sistem informasi geografis adalah NDVI. Hal ini dikarenakan NDVI merupakan metode yang paling efisien dan juga simple untuk mengidentifikasi area bervegetasi (Solihin dkk., 2020). Hal ini juga dijelaskan oleh Sukristiyanti & Marganingrum (2008), NDVI merupakan transformasi yang lebih menekankan pada unsur vegetasi, sehingga dapat menampilkan tingkat kerapatan vegetasi.

NDVI merupakan perbedaan dari kanal inframerah dekat dan merah. NDVI merupakan indikator numerik yang digunakan kanal merah dan inframerah dekat dari spektrum elektromagnetik untuk menganalisis pengukuran penginderaan jauh dan menilai apakah objek yang diamati mengandung vegetasi atau tidak. NDVI merupakan indeks vegetasi yang penting karena dapat memantau perubahan aktivitas pertumbuhan tanaman selama beberapa tahun dan dapat mengurangi berbagai bentuk kesalahan akibat atmosfer (perbedaan

penerangan matahari, bayangan awan, dan beberapa variasi topografi) yang terdapat pada beberapa tanggal pengambilan gambar. Namun NDVI juga terdapat kelemahannya yaitu sangat sensitif terhadap latar belakang kanopi (tanah). Nilai NDVI sangat tinggi apabila latar belakang kanopi lebih gelap (Jensen, 2007).

NDVI dirumuskan dengan persamaan $(NIR-Red)/(NIR+Red)$ dimana NIR dan Red masing-masing adalah kanal inframerah dekat dan merah yang dipantulkan oleh permukaan dan diukur oleh sensor satelit. Kedua panjang gelombang kanal tersebut digunakan karena berdasarkan evaluasi dari pantulan vegetasi pada kurva spektral. Pada panjang gelombang merah, vegetasi banyak menyerap cahaya sedangkan pada panjang gelombang inframerah dekat, vegetasi banyak memantulkan cahaya (Rijal, 2020). Berikut pada Gambar 2.1 merupakan rentang nilai NDVI



Gambar 1 Rentang nilai NDVI (Sumber : Riko dkk., 2019)

Menurut Rijal (2020) perbedaan yang signifikan pada panjang gelombang inframerah dekat dan merah menghasilkan nilai yang memiliki rentang mulai dari -1 hingga +1. Semakin banyak daun dan tebal daun maka akan berpengaruh pada hasil pantulannya. Apabila panjang gelombang NIR lebih banyak dipantulkan daripada RED maka vegetasi di wilayah tersebut dapat dikatakan padat dan kemungkinan besar adalah hutan (Lufilah dkk., 2017). Parameter kerapatan tajuk merupakan parameter penting untuk diketahui dari data citra. Hal tersebut akan berhubungan dengan jenis vegetasi yang terdapat di suatu wilayah. Berikut pada Tabel 2.1 disajikan tingkat kerapatan tajuk.

2.5. Teknologi untuk Interpretasi Potensi Hutan *P.merkusi*

2.5.1 Penginderaan Jarak Jauh

Penginderaan jauh merupakan suatu teknologi yang digunakan untuk mendapatkan dan menganalisis informasi terkait permukaan bumi. Adapun informasi yang diperoleh berupa pancaran sinar elektromagnetik yang dipantulkan

oleh permukaan bumi. Sistem penginderaan jauh terdiri dari perekaman dan pengukuran kekuatan elektromagnetik yang dipancarkan maupun yang dipantulkan bumi serta lapisan atmosfer melalui setiap daerah/titik. Selain itu, definisi penginderaan jauh yaitu ilmu dan seni yang digunakan untuk mendapat sumber data dari suatu daerah dengan melakukan pengolahan data menggunakan alat yang tidak kontak langsung dengan daerah atau fenomena yang akan dikaji. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa penginderaan jauh merupakan suatu cara dan metode yang dipakai untuk mendapat informasi terkait permukaan bumi melalui sarana satelit atau pesawat terbang sehingga dapat diperoleh data berupa citra (Somantri, 2008).

Penginderaan jauh merupakan teknologi yang dapat memudahkan dalam inventarisasi hutan dengan memberikan data dengan waktu yang relatif singkat, meskipun masih memerlukan pengukuran terestris akan tetapi lebih menghemat biaya dan waktu (Pradhana, 2012). Interpretasi foto udara merupakan salah satu cara yang baik untuk pemantauan lokasi hutan, sehingga terapan interpretasi foto udara untuk identifikasi spesies pepohonan, pengukuran hutan, dan penafsiran penyakit serta serangan hama dapat dilakukan. Kesulitan dalam membuat kunci interpretasi foto udara karena identifikasi spesies pohon dan tegakan secara individual sangat bervariasi kenampakannya tergantung pada umur, kondisi situs, lokasi geografik, letak geomorfik dan faktor lainnya (Lillesand et al, 2015).

2.5.2 Interpretasi Hutan

Interpretasi atau penafsiran citra pengindraan jauh merupakan perbuatan mengkaji citra dengan maksud untuk mengidentifikasi objek yang tergambar dalam citra, dan menilai arti pentingnya objek tersebut. Interpretasi citra penginderaan jauh dapat dilakukan dengan dua cara yaitu interpretasi secara manual dan interpretasi secara digital. Pengenalan obyek merupakan bagian penting dalam interpretasi citra. Untuk itu, identitas obyek pada citra sangat diperlukan dalam analisis pemecahan masalah. Karakteristik objek pada citra dapat digunakan untuk mengenali obyek yang dimaksud dengan unsur interpretasi. Lillesand dan Kiefer (1990) menyebutkan bahwa unsur – unsur interpretasi, yaitu :

1. Rona
Merupakan julat kegelapan atau kecerahan obyek pada foto pankromatik hitam putih. Obyek yang berbeda sering tergambar pada citra dengan rona yang berbeda. Rona dipengaruhi oleh posisi matahari, cetakan foto, atau variasi umur tanaman.
2. Ukuran
Merupakan atribut obyek yang antara lain berupa jarak, luas, tinggi, lereng dan volume. Karena ukuran obyek pada citra atau foto udara merupakan fungsi skala, maka didalam memanfaatkan ukuran citra harus selalu diingat skalanya.
3. Pola
Merupakan susunan keruangan dari berbagai kenampakan dalam urutan yang berulang yang terkait dengan kerangka obyek.
4. Bentuk
Merupakan variabel kualitatif yang memberikan konfigurasi atau kerangka suatu obyek. Bentuk merupakan atribut yang jelas sehingga banyak obyek yang dapat dikenali berdasarkan bentuknya saja.
5. Bayangan
Rona gelap yang disebabkan oleh terhalangnya cahaya oleh obyek dengan bentuk siluet yang sama dengan obyek yang menghalanginya.
6. Tekstur
Merupakan perubahan rona pada citra atau foto udara atau pengulangan obyek yang terlalu kecil untuk dibedakan secara individual. Dinyatakan dengan kasar atau halus.
7. Situs (letak Geografis)
Merupakan posisi suatu obyek dalam kaitannya dengan kondisi regional (iklim, geologi regional) yang menjelaskan tentang obyek relatif terhadap obyek atau kenampakan lain yang lebih mudah dikenali.
8. Asosiasi
Merupakan keterkaitan antara obyek yang satu dengan yang lainnya. Karena keterkaitan itu maka terlihatnya suatu obyek pada foto udara sering merupakan petunjuk bagi adanya suatu obyek.

Interpretasi citra adalah kegiatan mengidentifikasi objek melalui citra penginderaan jauh. Interpretasi citra penginderaan jauh dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu interpretasi citra secara manual dan interpretasi citra secara digital (Purwadhi dan Sanjoto, 2008). Interpretasi data citra secara manual merupakan suatu cara mengidentifikasi karakteristik objek secara mendasar terhadap citra fotografi dan non-fotografi yang telah dikonversi kedalam bentuk foto atau citra. Interpretasi secara manual terhadap citra penginderaan jauh yang sudah terkoreksi, baik secara radiometrik maupun geometrik, sehingga pengguna hanya melakukan identifikasi objek yang tergambar pada citra. Interpretasi secara manual adalah interpretasi data penginderaan jauh yang mendasarkan pada pengenalan ciri/karakteristik objek secara keruangan. Karakteristik objek dapat dikenali berdasarkan 9 unsur interpretasi yaitu bentuk, ukuran, pola, bayangan, rona/warna, tekstur, situs, asosiasi dan konvergensi bukti (Purwadhi dan Sanjoto, 2008)

Penggunaan interpretasi citra yang berjenis interpretasi citra secara manual (Visual) dalam penelitian ini digunakan untuk mengidentifikasi/mengetahui obyek – obyek penggunaan lahan yang berada didalam wilayah penelitian. Interpretasi citra secara digital merupakan suatu cara mengidentifikasi objek dengan bantuan komputer, sehingga pengguna dapat melakukan mulai dari pengolahan, penajaman, hingga klasifikasi citra sesuai yang dikaji. (Purwadhi dan Sanjoto, 2008). Dalam pengklasifikasian citra secara digital mempunyai tujuan khusus untuk mengkategorikan secara otomatis setiap pixel yang mempunyai informasi spektral yang sama dengan mengikutkan pengenalan pola spektral. Pengenalan pola spasial dan pengenalan pola temporal yang akhirnya membentuk kelas atau tema keruangan (spasial) tertentu. Pemilihan interpretasi visual dan digital dapat didasarkan pada aspek – aspek berikut ini : (Lillesand dan Kiefer, 1990)

- a. Tingkat keakuratan yang diinginkan, interpretasi secara digital seringkali bermasalah terhadap ketelitian hasil interpretasi, yang dimana hasil klasifikasi perlu dilakukan uji lapangan untuk mengetahui keakuratannya.
- b. Waktu dan tenaga yang dimiliki, interpretasi secara digital memiliki keunggulan dalam menganalisis citra dengan resolusi spasial yang tinggi atau intensitas gangguan yang lebih banyak.

- c. Kualitas citra yang dianalisis, interpretasi citra secara visual cocok digunakan untuk kualitas citra yang memiliki resolusi tinggi atau intensitas gangguan yang lebih banyak.
- d. Kualitas interpreter dalam mengenali kondisi di lapangan, semakin baik interpreter dalam mengetahui kondisi di lapangan maka penggunaan interpretasi secara visual akan lebih menguntungkan.

2.6. Citra Sentinel

Citra Sentinel adalah citra multispektral dan juga citra yang mempunyai saluran radar dengan luas sapuan yang cukup luas. Citra Sentinel memiliki 5 jenis citra, yaitu Citra Sentinel 1, 2, 3, 4, dan 5. Citra Sentinel-1 merupakan citra yang diluncurkan oleh *European Space Agency* (ESA) yang memiliki dua satelit, yaitu Sentinel-1A dan Sentinel-1B dan dapat digunakan untuk melakukan pemetaan radar yang dipakai untuk mengatasi penggunaan antena sistem RAR (*Real Aperture Radar*) yang semakin panjang untuk meningkatkan resolusi spasial (Putri dkk., 2018). Citra Sentinel-3 adalah citra yang diluncurkan oleh *European Space Agency* (ESA) dan EUMETSAT dengan konstelasi dua satelit, yaitu Sentinel-3A dan Sentinel-3B yang dapat digunakan untuk mengukur tinggi rendah permukaan dari laut, mengetahui kondisi laut dan pesisir, mengukur atmosfer dengan akurasi yang tinggi, serta untuk mengetahui keadaan iklim global (Suhadha dan Ibrahim, 2019).

Citra Sentinel-4 merupakan citra yang diluncurkan oleh *European Space Agency* (ESA) bekerja sama dengan *European Union* (EU)/ESA Copernicus yang dapat digunakan untuk memantau dan mengukur konsentrasi gas dalam atmosfer, seperti ozon, nitrogen dioksida, sulfur dioksida, formaldehida, dan sifat aerosol, serta memantau iklim (Gulde dkk., 2017). Citra Sentinel-5 adalah citra yang diluncurkan oleh *European Space Agency* (ESA) bekerja sama dengan *European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites* (EUMETSAT), *European Centre for Medium Range Weather Forecasts* (ECMWF), EU, dan *Mercator Ocean* yang dapat digunakan untuk memberikan informasi harian secara global tentang konsentrasi gas dan aerosol terhadap kualitas udara, iklim, dan lapisan ozon (Kleipool dkk., 2018).

Citra Sentinel-2 yaitu salah satu citra satelit optik yang diluncurkan pada tahun 2015 pada Sentinel-2A dan tahun 2017 pada Sentinel-2B dan berasal dari Benua Eropa. Kedua citra Sentinel ini memiliki resolusi temporal 10 hari pada satu satelit dan 5 hari pada 2 satelit. Citra ini melalui program Copernicus *European Space Agency* (ESA) yang telah diluncurkan dan merupakan citra open source dari situs ESA. Citra Sentinel-2 ini juga adalah citra multispektral dengan 13 band yang dihasilkan oleh resolusi spektralnya, memiliki band dengan resolusi spasial yang tinggi, yaitu 10 meter pada band merah (*red*), hijau (*green*), biru (*blue*) dan inframerah dekat (*near infrared*). Karakteristik band terdiri atas sensor tampak, inframerah dekat, dan inframerah gelombang pendek. Penelitian ini memakai citra Sentinel-2B yang dapat digunakan sebagai informasi spasial untuk melakukan pemetaan tentang tutupan lahan dan memantau perubahan tutupan lahan yang terjadi pada suatu daerah (Nurmalasari dan Santosa, 2018).

Sentinel-2 terdiri dari dua satelit yang mempunyai misi untuk mendukung pemantauan vegetasi, tutupan lahan, dan pemantauan lingkungan. Sentinel-2A merupakan pencitraan optik pertama yang diluncurkan sebagai bagian dari program *European Space Agency* (ESA) pada tahun 2015. Satelit identik kedua yaitu Sentinel-2B yang diluncurkan pada tahun 2017. Secara umum keduanya tidak memiliki banyak perbedaan, hanya saja saat perekaman lokasi yang sama memiliki rentang waktu lima hari secara bergantian. Sentinel-2 membawa resolusi tinggi dengan 13 band spektral (ESA, 2015). Sentinel-2 memiliki karakteristik dan fungsi seperti yang disajikan pada Tabel 1 berikut.

Citra Sentinel-2A dilengkapi dengan instrument multispektral dengan 13 saluran cahaya tampak, inframerah dekat, serta gelombang pendek inframerah. Satelit yang direncanakan dapat bertahan selama 7 tahun ini, mempunyai resolusi spasial 10 m (untuk band-band cahaya tampak dan gelombang inframerah dekat). 20 m dan 60 m (untuk band-band gelombang inframerah dekat dan gelombang pendek inframerah) (ESA, 2015). Berikut merupakan karakteristik kanal-kanal yang terdapat pada citra Sentinel-2A.

Tabel 1 Karakteristik Kanal Citra Sentinel-2A

Band	Panjang Gelombang (λ)	Resolusi Spasial (m)	Kegunaan
Band 1 coastal Aerosol	0.443	60	Hamburan atmosfer
Band 2 Blue	0.490	10	Sensitif terhadap vegetasi, coklat dan Kenampakan tanah, hamburan atmosfer
Band 3 Green	0.560	10	Tampilan hijau maksimal, sensitif terhadap klorofil vegetasi
Band 4 Red	0.665	10	Penyerapan klorofil maksimum
Band 5 Vegetation Red Edge	0.705	20	Posisi tepi merah, koreksi atmosfer/ garis dasar klorofil vegetasi
Band 6 Vegetation Red Edge	0.740	20	Pengambilan beban partikel udara
Band 7 Vegetation Red Edge	0.783	20	Leaf Area Index(LAI), Near- Inframerah(NIR)
Band 8 NIR	0.842	10	Leaf Area Index(LAI)
Band 8a Vegetation Red Edge	0.865	20	NIR, sensitif terhadap klorofil, biomassa,LAI dan penyerapan uap air
Band 9 Water Vapour	0.945	60	Penyerapan uap air, koreksi atmosfer
Band 10 SWIR- Cirrus	1.375	60	Deteksi awan cirrus
Band 11 SWIR	1.610	20	Pemisah salju, es dan awan
Band 12	2.190	20	Penilaian kondisi vegetasi Mediterrania.

Band	Panjang Gelombang (λ)	Resolusi Spasial (m)	Kegunaan
SWIR			Perbedaan tanah lempung untuk pemantauan erosi tanah. Perbedaan antara biomassa hidup

Sumber : ESA, 2015

Citra yang dihasilkan oleh satelit Sentinel-2 memiliki resolusi spasial sebesar 10 meter untuk 4 band, 20 meter untuk 6 band, dan 3 band sisanya memiliki resolusi spasial sebesar 60 meter. Citra satelit Sentinel-2 juga memiliki 13 band *multispektral*, yang dibagi atas spektrum visible (*coastal aerosol*, merah, hijau), *near infrared*, dan *shortwave infrared*. (ESA, 2015).

Tabel 2 Penggunaan kombinasi band citra satelit Sentinel-2A

Aplikasi	Kombinasi Band
<i>Natural color (True color)</i>	4, 3, 2
Geologi	12, 11, 2
<i>Color infrared (Vegetation)</i>	8, 4, 3
<i>Agriculture (Pertanian)</i>	11, 8, 2
<i>Bathymetric</i>	4, 3, 1
<i>Vegetation Index</i>	$(8-4)/(8+4)$
Indeks Kelembaban	$(8A-11)/(8A+aa)$
<i>Shortwave infrared</i>	12, 8A, 4

Sumber : (<https://www.esa.int/>)

2.7. Penilaian Akurasi

Penilaian akurasi dari klasifikasi digunakan untuk mendapatkan tingkat kepercayaan dari penginderaan jauh. Salah satu cara umum yang digunakan adalah matriks kesalahan atau matriks kontingensi (*confusion matrix*) (Simamora dkk., 2015). Menurut LAPAN (2014) yang menjadi pedoman pengolahan data satelit yaitu tingkat penilaian akurasi klasifikasi harus tidak kurang dari 75%. Berikut disajikan pada Tabel 3. *Confusion Matrix*

Tabel 3. *Confusion Matrix*

	Data Acuan (Pengecekan Langsung)			Total Kolom	
		A	B	C	
Data hasil Klasifikasi Citra	A'	X _n			X _{K+}
	B'				
	C'			X _{KK}	
Total Baris		X _{+K}			N

Sumber: Lillesand dan Kiefer (1994) dalam Pratama (2018)

Keterangan :

A,B,C = Data acuan

A',B',C' = Data hasil kalsifikasi

X_n = Data yang di uji

ΣX_n = Jumlah masing-masingdata acuan/klasifikasi citra

N = Total data yang diuji

Akurasi keseluruhan (*overall accuracy*) menggambarkan nilai kebenaran kenampakan objek yang benar di peta klasifikasi dengan data lapangan. Tingkat keakuratan interpretasi citra yang dapat diterima berdasarkan akurasi keseluruhan (*overall accuracy*) yaitu 85% (Lillesand dan Kiefer, 1994 dalam Pratam, 2018). *Kappa accuracy* (nilai indeks *kappa*) mempertimbangkan semua faktor kesalahan proses klasifikasi yaitu akurasi pembuat (*producer's accuracy*), akurasi pengguna (*user's accuracy*), dan akurasi keseluruhan (*overall accuracy*), menurut (Landis & Koch, 2012) nilai *Kappa* dikatakan sangat baik apabila nilai *Kappa* > 0,80. Secara matematis rumus dari akurasi dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$user's\ accuracy : \frac{x_{ii}}{x_{+i}} 100\% \dots\dots\dots (3.4)$$

$$producer's\ accuracy : \frac{x_{ii}}{x_{i+}} 100\% \dots\dots\dots (3.5)$$

$$overall\ accuracy : \frac{\sum_{i=1}^r x_{ii}}{N} 100\% \dots\dots\dots (3.6)$$

$$kappa\ accuracy : \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}}{N^2 \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}} \dots\dots\dots (3.7)$$

Dimana: X_{ii} : Nilai diagonal dari matriks kontingensi baris ke-i dan kolom ke-i

X_{+i} : Jumlah piksel dalam kolom ke-i

X_{i+} : Jumlah piksel dalam baris ke-i

N : Banyaknya piksel dalam contoh