

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mampi et al. (2018) dalam (Asmaini et al. 2023), menyatakan manfaat hutan terbagi menjadi dua, yaitu manfaat langsung yang berupa pemanfaatan hasil hutan kayu maupun non-kayu, serta manfaat tidak langsung yang berasal dari jasa lingkungan, seperti keberadaan hasil hutan bukan kayu. Beberapa jenis hasil hutan non kayu yang memiliki nilai penting dan telah mengalami perkembangan dalam pengelolaannya serta mendapatkan perhatian dari pemerintah antara lain meliputi getah pinus (gondorukem), bambu, arang, kemiri, getah jelutung, gambir, sutera alam, madu lebah, gaharu, dan rotan. Di antara komoditas tersebut, getah *Pinus merkusii* (gondorukem) merupakan salah satu hasil hutan bukan kayu yang memiliki nilai komersial tinggi dan saat ini tengah diupayakan pengembangannya secara intensif (Pandiangan et al. 2019).

Hasil Hutan Bukan Kayu (HHBK) merupakan salah satu sumber daya alam yang melimpah di Indonesia dan memiliki prospek pengembangan yang potensial. Salah satu bentuk pemanfaatan HHBK adalah getah *Pinus merkusii*. Tanaman pinus sendiri dikenal dengan nama tusam sebagai salah satu jenis pohon multifungsi karena selain menghasilkan nilai kayu bernilai ekonomi tinggi, juga memproduksi getah (Audina et al., 2020 dalam Asmaini et al., 2023). Getah pinus diperoleh dari saluran resin yang terdapat dalam bagian kayu global pohon tersebut. Hasil olahan getah pinus mencakup gondorukem dan terpentin. Gondorukem banyak dimanfaatkan dalam berbagai sektor industri, seperti industri kertas, sabun, detergen, kosmetik, cat pernis, semir, perekat, karet, insektisida, serta disinfektan. Sementara itu, terpentin digunakan dalam industri parfum, farmasi, kimia, disinfektan, dan sebagai bahan denaturan (Saputra et al., 2014 dalam Asmaini et al., 2023).

Getah dari pohon tusam (*Pinus merkusii*) diperoleh melalui proses penyadapan batang. Setelah melalui distilasi, getah ini menghasilkan dua produk utama, yakni gondorukem dan terpentin. Gondorukem banyak dimanfaatkan di berbagai sektor industri seperti kertas, sabun, detergen, kosmetik, cat, vernis, semir, perekat, karet, hingga ban kendaraan. Produk gondorukem dari Indonesia memiliki keunggulan kompetitif karena sifatnya yang lebih lengket, lebih tahan terhadap panas, dan memiliki aroma khas yang lebih wangi dibandingkan produk dari negara lain. Sementara itu, terpentin digunakan sebagai pelarut (solvent) yang dimanfaatkan dalam industri farmasi, antara lain pada produk desinfektan, parfum, pewangi, dan pelarut cat. Hasil distilasi getah *Pinus merkusii* umumnya menghasilkan sekitar 64% gondorukem, 22,5% terpentin, dan 12,5% kotoran atau residu (Suwaji et al., 2017 dalam Rachmalia et al., 2022).

Inventarisasi hutan sejauh ini masih didominasi oleh metode konvensional, yaitu inventarisasi *terestris* yang dilakukan secara langsung di lapangan. Meskipun metode ini memiliki tingkat akurasi yang tinggi, pelaksanaannya membutuhkan waktu, biaya, dan tenaga kerja yang besar. Selain itu, pada area yang luas, metode ini cenderung memiliki tingkat kesalahan yang lebih tinggi akibat faktor kesalahan manusia (human error) (Izuka et al., 2018 dalam Hematang et al. 2021). Seiring dengan kemajuan teknologi, para peneliti terus mengembangkan metode pengumpulan data lapangan yang lebih efisien

dan akurat. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan adalah pengambilan citra udara menggunakan pesawat tanpa awak, yang kemudian dianalisis dengan algoritma tertentu. Penggunaan foto udara menggunakan pesawat tanpa awak dinilai efektif dalam mendukung perencanaan pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan karena dapat menghemat waktu dan biaya (Gülci, 2019 dalam Hematang et al. 2021).

Inventarisasi hutan secara terestris memiliki tingkat akurasi yang tinggi namun memerlukan waktu, biaya, dan tenaga kerja yang banyak agar pelaksanaan 2 di lapangan dapat berjalan dengan baik serta pada luasan yang cukup besar cenderung mempunyai kesalahan yang lebih besar yang disebabkan oleh kesalahan manusia (human error). Perkembangan teknologi saat ini banyak metode yang dapat dilakukan dalam kegiatan inventarisasi salah satu metode yang dapat dilakukan saat ini yakni dengan pemanfaatan pesawat tanpa awak. Drone atau pesawat tanpa awak telah diidentifikasi sebagai metode yang hemat biaya untuk inventarisasi hutan yang mengarahkan keputusan pengelolaan di masa mendatang. Adanya berbagai software dan teknologi pesawat tanpa awak yang dilengkapi sensor memungkinkan mengambil citra resolusi tinggi yang mendukung proses inventarisasi. Pemanfaatan ini secara efektif baik untuk hutan tanaman maupun hutan alam digunakan pemantauan individu pohon contohnya di wilayah Perhutani akan lebih efisien dengan menggunakan sensor drone RGB (Hematang et al. 2021).

Teknologi penginderaan jauh semakin relevan dalam mengukur dan monitoring pertumbuhan pinus semakin relevan. Teknologi Inderaja menawarkan potensi untuk mengumpulkan data dengan presisi tinggi secara cepat dan efisien, yang dapat dimanfaatkan untuk menganalisis berbagai aspek hutan, termasuk estimasi volume kayu yang tersedia (Safitri & Giofandi 2019).

Evayanti et al. (2019) menyimpulkan bahwa produksi getah pinus memiliki ketarkaitan dengan pertumbuhan diameter batang pohon *Pinus merkusii*. Semakin besar diameter pohon, maka volume kayu gubal yang terbentuk juga semakin besar sehingga jumlah saluran resin dalam batang meningkat dan berdampak pada peningkatan produksi getah. Asmaini et al. (2023) menyatakan bahwa terdapat korelasi positif antara diameter batang (X) dengan jumlah getah yang dihasilkan (Y). Korelasi positif ini menunjukkan bahwa peningkatan nilai X akan diikuti oleh peningkatan nilai Y, begitu pula sebaliknya. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian, di mana kelas diameter batang yang lebih besar menghasilkan volume getah yang lebih tinggi.

Penelitian ini dilakukan untuk melihat potensi produksi gondorukem tegakan *Pinus merkusii* di Kabupaten sinjai, Kecamatan Sinjai Barat pada tiga desa, yaitu Desa Boto Lempangan, Desa Gantarang dan Desa Kompang menggunakan pesawat tanpa awak. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber informasi dalam upaya pelestarian sumber daya alam, mengoptimalkan pemanfaatan kayu, serta menyediakan data akurat guna mendukung perencanaan dan pengelolaan hutan yang lebih terarah.

Penelitian ini bertujuan untuk :

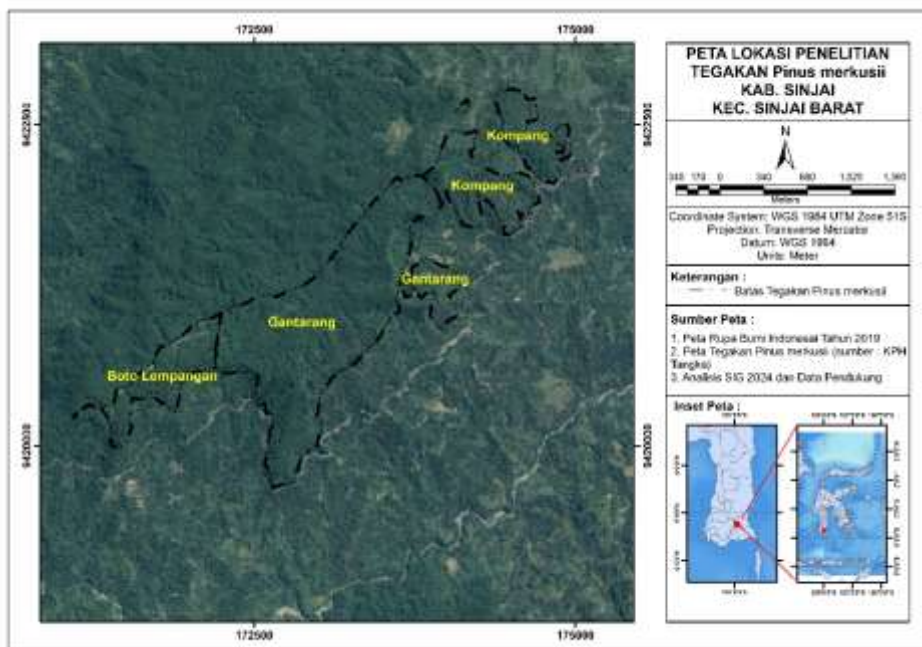
1. Pemetaan tajuk *Pinus merkusii* untuk membangun model regresi terbaik.
2. Mengetahui model regresi terbaik untuk menduga hubungan antara LBDS dan luas tajuk Pinus merkusii melalui penginderaan jauh menggunakan pesawat tanpa awak.
3. Membandingkan produksi Gondorukem *Pinus merkusii* di lapangan dengan produksi Gondorukem *Pinus merkusii* hasil penginderaan jauh.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada periode Oktober 2024 – April 2025 melalui dua tahapan kegiatan, yaitu kegiatan lapangan dan analisis data. Kegiatan lapangan dilaksanakan di Kabupaten Sinjai, Provinsi Sulawesi Selatan, sedangkan analisis data dilakukan di Laboratorium Perencanaan dan Sistem Informasi Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin. Informasi detail mengenai lokasi penelitian disajikan pada Lampiran 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. *Smartphone*, digunakan untuk mendokumentasikan data lapangan yang diperoleh
2. *Roll meter*, digunakan untuk membuat plot
3. Pita meter, digunakan untuk mengukur keliling pohon
4. Laptop, digunakan untuk menjalankan program/aplikasi
5. Perangkat Lunak *DJI GS PRO*, *ArcGIS 10.4*, *eCognition Developer*, dan *Agisoft Metashape*, digunakan untuk output dan visualisasi data
6. Pesawat tanpa awak *Drone* (DJI Phantom 4 Multispectral), dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 1. Spesifikasi pesawat tanpa awak DJI Phantom 4 Multispectral

Sensor	Enam CMOS 1/2,9", termasuk satu sensor RGB untuk pencitraan cahaya tampak dan lima sensor monokrom untuk pencitraan multispektral. Biru (B): 450 nm $\pm$ 16 nm; Hijau (G): 560 nm $\pm$ 16 nm; Merah (R): 650 nm $\pm$ 16 nm; Tepi merah (RE): 730 nm $\pm$ 16 nm; Inframerah dekat (NIR): 840 nm $\pm$ 26 nm
Ukuran Gambar	1600×1300 (4:3.25)
Baterai	Baterai LiPo 2S 6000mAh
GNSS	GPS + BeiDou + Galileo ^[2] (Asia); GPS + GLONASS + Galileo
ISO Range	200 – 800 (Sensor RGB) 1/100 - 1/20000 s (pencitraan cahaya tampak); 1/100 - 1/10000 s (pencitraan multispektral)

2.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Bahan Penelitian

No	Bahan	Kegunaan	Sumber
1.	Batas Tegakan <i>Pinus merkusii</i> di Kabupaten Sinjai	Untuk mengetahui batas lokasi penelitiandan sebagai bahan analisis untuk membuat peta	Kesatuan Pengelolaan Hutan Tangka
2.	<i>Tally sheet</i>	Untuk mempermudah pada saat pengambilan data dan sebagai lembar perhitungan	<i>Tally sheet</i> inventarisasi
3.	Citra Digital <i>Elevation Model</i> (DEM) Nasional	Untuk analisis permukaan elevasi dan kemiringan lereng	Rupa Bumi Indonesia (RBI) https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/unduh/demnas

No	Bahan	Kegunaan	Sumber
4.	Batas Administrasi	Untuk Mengatahui Batas Desa Tegakan <i>Pinus merkusii</i>	Rupa Bumi Indonesia (RBI) https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/unduh/rbi-wilayah

2.3 Prosedur Penelitian

Metode penelitian ini dimulai dengan beberapa tahapan utama, yaitu pengumpulan data, pengambilan data lapangan dan analisis data

2.3.1 Pengumpulan Data

2.3.1.1 Inventarisasi Dengan Penginderaan Jauh

Inventarisasi dengan penginderaan jauh menggunakan pesawat tanpa awak menggunakan beberapa tahapan yaitu sebagai berikut :

Penentuan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kabupaten Sinjai, Kecamatan Sinjai Barat, pada kawasan hutan tanaman tegakan *Pinus merkusii*. Batas tegakan hutan tanaman *Pinus merkusii* diperoleh dari data yang disediakan oleh Kesatuan Pengelolaan Hutan (KPH) Tangka. Lokasi penelitian difokuskan pada tiga desa yang dipilih berdasarkan beberapa pertimbangan, antara lain kemudahan aksesibilitas, efisiensi dalam proses inventarisasi tegakan, serta kondisi kemiringan lereng yang memungkinkan untuk dilakukan penelitian. Selain itu, ketiga desa tersebut dipilih karena adanya aktivitas penyadapan getah pinus yang relevan dengan fokus penelitian ini.

Akuisisi foto udara

DJI GS PRO adalah sebuah aplikasi yang dikembangkan oleh perusahaan DJI yang digunakan untuk merencanakan dan mengontrol penerbangan pesawat tanpa awak (UAV) secara otomatis. Aplikasi ini dirancang khusus untuk memungkinkan pengguna mengambil gambar udara dengan UAV secara terstruktur dan sistematis untuk keperluan pemetaan dan pemodelan fotogrametri (Thirmidzi et al. 2021). Lamia et al., (2023), menyatakan bahwa penerbangan *drone* sebaiknya dilakukan pada pagi hari di atas pukul 09.00, karena pada waktu tersebut *Ground Sampling Distance* (GSD) yaitu ukuran terkecil dari satu piksel yang terekam menjadi sangat kecil sehingga menghasilkan gambar yang lebih tajam. Hal ini sejalan dengan penelitian Farid & Ulinuha, (2024), menyatakan bahwa waktu terbaik untuk pengamatan tanaman adalah pada pagi hingga siang hari ketika cahaya matahari dari arah timur optimal. Sehingga, pengamatan indeks vegetasi menggunakan *drone* pada waktu tersebut dapat menghasilkan data yang lebih baik.

Penggunaan pesawat tanpa awak DJI Phantom 4 *Multispectral* dalam penelitian ini dipilih karena kemampuannya untuk menghasilkan citra udara dengan resolusi tinggi serta dilengkapi dengan kamera multispectral. Sebelum pengoperasian, peneliti menentukan lokasi penelitian untuk penerbangan pesawat tanpa awak, dengan memilih

tiga desa yang memiliki luas area yang cukup besar. Namun, untuk efisiensi waktu dan pengumpulan data, hanya 40 ha per desa yang diambil. Beberapa pertimbangan lain, seperti luasnya area yang memerlukan waktu lama untuk pengambilan data dan perbedaan ketinggian antara titik awal penerbangan dan medan survei yang mencapai sekitar 150 meter, sehingga hanya 40 ha perdesa.

Pengoperasian pesawat tanpa awak dilakukan menggunakan aplikasi *DJI GS PRO* pada *smartphone*, dengan penerbangan dilakukan setelah pukul 09.00 WITA. Ketinggian penerbangan diatur pada 200 meter dari titik awal di atas permukaan tanah untuk memperoleh gambaran yang optimal dan menghindari hambatan berupa bukit akibat perbedaan elevasi. Pengaturan front overlap dan side overlap sebesar 85% diterapkan untuk memastikan citra yang dihasilkan memiliki tingkat pertampalan yang memadai, yang memudahkan proses analisis dan pemetaan. Kamera pesawat tanpa awak diposisikan pada sudut 90° (tegak lurus terhadap tanah) untuk menghindari distorsi citra dan memastikan akurasi data. Kecepatan penerbangan diatur pada mode normal guna menjaga stabilitas drone dan ketajaman hasil gambar selama proses pemotretan udara. Jalur terbang drone dapat dilihat pada Lampiran 2.

Analisis citra foto udara

Pengolahan citra foto udara telah mengalami perkembangan signifikan, baik dari segi sarana pengambilan data maupun dalam proses pengolahan yang memanfaatkan perangkat lunak berbasis komputer. Kualitas tinggi dari citra yang dihasilkan menjadi faktor penting dalam menjamin efisiensi serta memenuhi standar kualitas produk pemetaan, seperti orthofoto. Saat ini, pemanfaatan dan pengolahan data foto udara semakin meluas, salah satunya melalui penggunaan perangkat lunak *Agisoft Metashape* yang telah terbukti efektif dalam menghasilkan data spasial berkualitas tinggi (Hamur et al. 2019). Peraturan pembuatan *Agisoft Metashape* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter fotometrik

Proses (<i>Processing</i>)	Parameter (<i>Parameters</i>)	Pengaturan (<i>Setting</i>)
<i>Align Photo</i>	<i>Accuracy Pair Selection</i> <i>Key Point Limit Tie Point</i>	<i>High Disabled 40.000</i> <i>4.000 – 10.000</i>
<i>Build Dense Cloud</i>	<i>Quality Depth Filtering</i>	<i>Hight Mild</i>
<i>Build DEM</i>	<i>Source Data Interpolation</i> <i>Projection</i>	<i>Dense Cloud Enabled</i> <i>WGS 84/UTM Zone 50</i>
<i>Build Ortomosaic</i>	<i>Surface Blending Mode</i> <i>Color Correction Projection</i>	<i>Dem Mosaic Yes WGS</i> <i>84/UTM Zone 50</i>

Hasil analisis fotometrik menggunakan perangkat lunak *Agisoft Metashape* menghasilkan data berupa gambar ortogonal (*orthophoto*) dan data *Digital Elevation Model Nasional* (DEMNAS)/*Digital Surface Model* (DSM). Proses pembuatan *orthophoto* dilakukan melalui kalibrasi dengan menggunakan *Ground Control Point* (GCP) yang didukung oleh informasi koordinat GPS yang terpasang pada drone. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan akurasi spasial dari citra yang dihasilkan. Pembuatan gambar ortogonal dan DEM/DSM di *Agisoft Metashape* melibatkan beberapa tahapan yang sistematis dan saling berkesinambungan, yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Import Foto
- Align foto
- Pembangunan titik tinggi
- Pembangunan model 3D
- Pembangunan Model Texture
- Pembangunan DEM
- Pembangunan Orthofoto

Klasifikasi kerapatan tajuk menggunakan NDVI

Pendekatan NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan dalam pemantauan vegetasi, salah satunya adalah untuk mengidentifikasi tingkat kerapatan tajuk (Widyastuti Elsa 2024). Menurut Danoedoro (2012) dalam Widyastuti Elsa (2024), nilai indeks vegetasi diperoleh melalui perbandingan antara pantulan cahaya pada spektrum merah (Red) dan spektrum inframerah dekat (Near Infrared/NIR). Perbedaan pantulan antara kedua band ini memberikan kontras maksimum antara vegetasi dan permukaan tanah. Nilai NDVI yang dihasilkan berkisar antara -1 hingga +1, di mana nilai mendekati 0,0 mengindikasikan area dengan sedikit atau tanpa tutupan vegetasi. Dalam penelitian ini, kerapatan vegetasi dihitung menggunakan NDVI yang diperoleh melalui wahana tanpa awak DJI Phantom 4 Multispectral. Data pantulan dari band merah dan NIR digunakan untuk menghasilkan nilai indeks vegetasi yang merepresentasikan tingkat kerapatan vegetasi secara spasial.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \tag{1}$$

Dimana, NIR adalah Nilai reflektan band infra merah (band 5) dari pesawat tanpa awak dan R adalah Nilai reflektan band merah (band 3) dari pesawat tanpa awak

Klasifikasi kerapatan tajuk dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan nilai NDVI yang disesuaikan dengan citra natural color dan dianggap sesuai oleh peneliti untuk menggambarkan variasi kerapatan tajuk di lapangan. Penentuan rentang nilai tersebut didukung oleh hasil penelitian (Widyastuti Elsa 2024). Klasifikasi kerapatan tajuk dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Klasifikasi kelas kerapatan tajuk berdasarkan kelas NDVI

No	Nilai NDVI	Klasifikasi Kerapatan Tajuk
----	------------	-----------------------------

1.	<0.31	Rendah
2.	0.31-0.65	Sedang
3.	>0.65	Tinggi

Kerapatan tajuk pada Tabel 4, dilakukan penentuan sampel petak ukur berdasarkan *purposive sampling*. Menurut Ani et al (2021) *purposive sampling* merupakan metode penentuan sampel yang dilakukan secara selektif berdasarkan pertimbangan atau kriteria khusus yang telah ditetapkan sebelumnya oleh peneliti. Teknik ini digunakan untuk memastikan bahwa sampel yang dipilih sesuai dengan tujuan dan kebutuhan penelitian.

Segmentasi dan identifikasi tajuk pohon

Perangkat lunak *eCognition* yang dikembangkan oleh Trimble, serta Picterra, merupakan perangkat lunak berbasis *Software as a Service* (SaaS) yang didukung oleh kecerdasan buatan (AI). Perangkat lunak ini memungkinkan pengguna untuk secara interaktif merancang model AI yang dipersonalisasi untuk mendeteksi, melokalisasi, dan menghitung objek dari citra satelit maupun citra udara. Fungsinya digunakan dalam analisis citra berbasis objek (Object-Based Image Analysis/OBIA) maupun untuk analisis otomatis lainnya menggunakan data penginderaan jauh. Salah satu fungsi utama *eCognition* adalah segmentasi citra, yang memungkinkan pengguna untuk membagi citra satelit atau citra udara menjadi objek-objek yang lebih kecil dan homogen berdasarkan ciri-ciri seperti warna, tekstur, dan bentuk (Galih Yogi et al. 2020).

ArcGIS adalah sebuah *software* yang dikembangkan oleh perusahaan ESRI (Environmental Systems Research Institute) yang digunakan untuk pemetaan, analisis, dan manajemen data geografis. *ArcGIS* memungkinkan pengguna untuk membuat, mengedit, menganalisis dan memvisualisasikan data geografis dalam berbagai format, seperti peta, foto udara, citra satelit dan data lainnya. *ArcGIS* termasuk suatu solusi perangkat lunak (*software*) aplikasi SIG (sistem informasi geografis) yang integral (Rahman et al. 2022).

Penelitian ini menggunakan segmentasi data citra foto udara yang dilakukan dengan perangkat lunak *eCognition*. Proses ekstraksi tajuk pohon dilakukan menggunakan algoritma segmentasi *multiresolusi* dengan mempertimbangkan beberapa parameter penting yaitu skala, bentuk, warna dan kekompakan. Hasil dari proses ekstraksi dengan perangkat lunak *eCognition* berupa poligon yang merepresentasikan luas tajuk setiap pohon. Poligon tersebut kemudian diolah menggunakan perangkat lunak *ArcGIS* untuk menghitung luas tajuk dalam satuan meter persegi (m^2). Data luas tajuk yang diperoleh selanjutnya diregresikan dengan Luas Bidang Dasar (LBDS) pohon setinggi dada di lapangan. Proses pengolahan data secara rinci dapat dilihat pada Lampiran 3.

Pendugaan Luas Bidang Dasar (LBDS) pohon

Dimensi tajuk pohon merupakan variabel yang penting dalam pendugaan diameter pohon, dengan adanya hubungan yang signifikan tajuk dan diameter tajuk terhadap

diameter pohon setinggi dada (Iizuka et al. 2018). Hardjana (2013), menyatakan adanya korelasi kuat dan berbanding lurus antara diameter pohon dan diameter tajuk. Hasil segmentasi tajuk kemudian digunakan untuk menentukan lebar dan luas area tajuk kemudian ditentukan diameter tajuk dengan rumus rata-rata diameter horizontal dan diameter vertikal. Hasil segmentasi tajuk dari aplikasi *eCognition* kemudian digunakan untuk menentukan diameter tajuk. Selanjutnya, diameter tajuk dihitung dengan rumus rata-rata diameter horizontal dan vertikal.

Penelitian ini menggunakan pendekatan luas tajuk pohon, yang berbeda dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan diameter tajuk secara horizontal dan vertikal. Dalam pendekatan ini, menggunakan luas tajuk yang dihitung untuk mengkorelasikannya dengan Luas Bidang Dasar (LBDS) pohon yang diperoleh dari pengukuran keliling pohon setinggi dada di lapangan. Ilustrasi pengukuran dan perhitungan luas tajuk dapat dilihat pada Gambar 2, yang menggambarkan luas tajuk pohon.



Gambar 2. Ilustrasi Luas Tajuk Pohon

Pendugaan Luas Bidang Dasar (LBDS) pohon dilakukan dengan menggunakan data luas tajuk yang diperoleh dari interpretasi citra foto udara, yang kemudian dikorelasikan dengan LBDS di lapangan. Berdasarkan informasi luas tajuk pohon, pendugaan LBDS dilakukan menggunakan beberapa persamaan model regresi matematika. Dalam model ini, variabel y mewakili LBDS, sedangkan variabel x mewakili luas tajuk pohon. Analisis regresi kemudian dilakukan untuk menentukan model terbaik dalam pendugaan LBDS. Lima model regresi yang digunakan untuk mencari model terbaik dalam pendugaan LBDS adalah model *linear*, *power*, *eksponensial*, *polinomial*, dan *logaritmik*.

2.3.1.2 Inventarisasi Terestris

Inventarisasi hutan yang menggabungkan metode penginderaan jauh dan survei terestris menjadi alternatif yang dipilih, dengan tujuan memperoleh data dan informasi yang lebih akurat, sekaligus mengurangi biaya dan efektif untuk area yang luas. Penggunaan metode kombinasi ini lebih umum diterapkan untuk efisiensi biaya tanpa mengurangi tingkat ketelitian yang diinginkan (Jaya et al. 2010)

Penentuan intensitas sampling dan jari jari Petak Ukur (PU)

Intensitas sampling merupakan perbandingan antara jumlah sampel yang diambil dengan jumlah total populasi yang menjadi objek penelitian. Intensitas sampling ini penting untuk menentukan representasi sampel terhadap populasi secara keseluruhan. Biasanya, intensitas sampling dinyatakan dalam bentuk bilangan desimal atau dalam

bentuk persentase (%), tergantung pada kebutuhan analisis. Semakin besar intensitas sampling, semakin tinggi tingkat representasi sampel terhadap populasi (Suryanto & Asyari Mufidah 2022). Menurut (Siahaan et al. 2012) Penggunaan petak berbentuk lingkaran dinilai tepat untuk diterapkan di Kawasan Hutan Tanaman Tegakan *Pinus merkusii*, mengingat tingkat kesalahan yang dihasilkan dalam penelitian ini relatif rendah.

Data yang dibutuhkan dalam menentukan intensitas sampling dalam penelitian yaitu hasil pengolahan citra pesawat tanpa awak dari hasil nilai NDVI. Setiap desa dipilih untuk mewakili luas area sebesar 40 ha. Plot penelitian berbentuk lingkaran dengan jari-jari 17,8 m. Intensitas sampling yang digunakan adalah 3%. Alasan pemilihan intensitas ini adalah karena peneliti menganggap persebaran plot di areal seluas 40 ha merata, ketersediaan sumber daya penelitian yang memadai, serta pertimbangan efisiensi waktu. Teknik *purposive sampling* digunakan untuk memilih lokasi perwakilan desa berdasarkan kriteria kerapatan tajuk. Jumlah plot ditentukan dengan rumus : (Siahaan et al. 2012) :

Luas areal perdesa Tegakan *Pinus merkusii* = 40

Intensitas Sampling (IS) yang digunakan = 3% = 0,03

Luas Petak Ukur = jari jari 17,8 m = 1000m^2 = 0,1 ha

Maka didapatkan :

$$\begin{aligned} \text{Luas seluruh plot yang diamati} &= \text{IS} \times \text{Luas Areal} \\ &= 0,03 \times 40 \\ &= 1,2 \\ \text{Jumlah plot yang dibuat} &= \frac{\text{Luas Seluruh Plot yang dibuat}}{\text{Luas Petak Ukur}} \\ &= \frac{1,2}{0,1} \\ &= 12 \text{ Plot} \end{aligned}$$

Menentukan titik Petak Ukur (PU) pada Peta

Pengambilan sampel dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan teknik *purposive sampling*, yang didasarkan pada kerapatan tajuk dari kelas NDVI sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3 (halaman 7). Selanjutnya, ditetapkan titik petak ukur yang mewakili setiap kondisi tegakan dalam lokasi inventarisasi. Koordinat seluruh lokasi petak ukur yang telah ditetapkan ditandai dan dicatat dengan cermat. Adapun langkah-langkah dalam pengukuran di petak ukur adalah sebagai berikut:

- Menghitung jumlah pohon dalam petak ukur (PU).
- Memberikan nomor pada setiap pohon menggunakan label serta mengukur keliling pohon menggunakan pita meter.
- Menghitung diameter pohon menggunakan rumus diameter yang diperoleh dari keliling pohon yang telah diukur.

Hubungan diameter pohon terhadap produksi Gondorukem *Pinus merkusii*

Getah pinus merupakan salah satu bentuk pemanfaatan sumber daya alam yang dapat membuka peluang kerja dan memberikan nilai tambah terhadap pendapatan masyarakat yang tinggal di sekitar hutan. Produksi getah pinus dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik internal maupun eksternal. Faktor internal yang memengaruhi hasil getah pinus antara lain genetik tanaman, umur tanaman, diameter batang, tinggi pohon, kondisi tajuk, volume kayu glubal, dan kerapatan tegakan. Faktor-faktor inilah yang

mendorong dilakukannya penelitian untuk mengetahui kelas diameter pohon yang dapat menghasilkan sadapan terbaik pada pohon pinus. Penelitian yang dilakukan oleh Asmaini et al., (2023), menunjukkan bahwa kelas diameter batang memiliki pengaruh yang signifikan terhadap hasil getah pinus. Semakin besar diameter batang pohon, semakin banyak getah yang dihasilkan. Data mengenai jumlah getah yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Pengaruh Kelas Diameter Pinus *Merkusii* Terhadap Gondorukem Yang Dihasilkan

No	Kelas Diameter	Getah Yang Dihasilkan (g/pohon/hari)
1.	10 – 20 cm	10.71
2.	20 – 30 cm	35.743
3.	30 – 40 cm	63.623
4.	40 – 50 cm	97/212
5.	50 – 60 cm	167,292

Sumber : (Asmaini et al. 2023)

Pengaruh kelas diameter *Pinus merkusii* terhadap produksi gondorukem yang disajikan pada Tabel 5 telah dianalisis oleh Asmaini et al., (2023), Selanjutnya, hasil penelitian dibandingkan dengan data produksi gondorukem dari Kabupaten Sinjai. Data ini didapatkan melalui wawancara dengan 3 orang penyadap getah pinus, yang masing-masing merupakan perwakilan dari 1 desa

2.3.2 Analisis Data

Inventarisasi penginderran jauh

Inventarisaasi dengan penginderaan jauh dalam analisis ini digunakan untuk mendapatkan informasi tentang parameter-paramater inventarisasi hutan yaitu dengan menggunakan rumus perhityngan dan model persamaan regresi matematika. Jumlah pohon perhektare dapat diketahui dengan perhitungan sebagai berikut :

$$N/ha = \frac{\sum N/n}{1/LPU} \tag{2}$$

Dimana, N/ha adalah jumlah pohon perhektare, N adalah jumlah pohon dalam petak ukur, n adalah jumlah petak ukur dan LPU luas petak ukur

Perhitungan luas tajuk pohon dilakukan menggunakan perangkat lunak *eCognition* untuk mendelineasi tajuk secara akurat melalui proses segmentasi. Proses ini bertujuan untuk memisahkan setiap tajuk pohon agar dapat dianalisis secara individual. Hasil

segmentasi yang diperoleh kemudian diolah lebih lanjut menggunakan perangkat lunak *ArcGIS* guna menghitung luas tajuk setiap pohon secara lebih sistematis. Data mengenai luas tajuk pohon selanjutnya dianalisis menggunakan persamaan model regresi sebagai pendekatan matematis untuk memprediksi parameter tertentu dari pohon.

Inventarisasi Terestris

Analisis pada metode inventarisasi hutan secara terestris, perhitungan dan pendugaan dianalisis dengan rumus sesuai dengan parameter yang akan ditetapkan seperti penentuan diameter, Luas Bidang Dasar (LBDS) pohon, rata-rata per petak ukur dan pendugaan volume. Perhitungan diameter pohon didapatkan dari data keliling (cm) maka digunakan rumus sebagai berikut (Mardiatmoko et al. 2014):

$$D = \frac{K}{\pi} \quad (3)$$

Dimana, D adalah diamter (cm), K adalah keliling (cm) dan Π adalah 3,14 atau 22/7.

Perhitungan LBDS pohon didapatkan dari data diameter (m) maka digunakan rumus sebagai berikut (Mardiatmoko et al. 2014) :

$$LBDS = \frac{1}{4} \pi \times D^2 \quad (4)$$

Dimana, LBDS adalah Luas Bidang Dasar Pohon (m^2), Π adalah 3,14 atau 22/7 dan D adalah diameter (m).

LBDS rata-rata dalam PU ditentukan dengan menjumlahkan seluruh LBDS dalam PU dibagi dengan jumlah pohon dalam PU tersebut (Mardiatmoko et al. 2014):

$$\bar{X}LBDS_{pu} = \frac{\sum LBDS_n}{N} \quad (5)$$

Dimana, $\bar{X}LBDS_{pu}$ adalah rata-rata LBDS dalam petak ukur (m^2), $\sum LBDS_n$ adalah jumlah LBDS dalam petak ukur, N adalah jumlah pohon dalam petak ukur.

Rata-rata lbdS per hektare dapat dihitung dengan dengan rumus (Mardiatmoko et al. 2014):

$$\bar{X}LBDS_{pt} = \frac{LBDS_{pu1} + LBDS_{pu2} + \dots + LBDS_{un}}{n} \quad (6)$$

Dimana, $\bar{X}LBDS_{pt}$ adalah rata-rata LBDS pada petak, $\bar{X}LBDS_{pu}$ adalah rata-rata Luas Bidang Dasar pada petak ukur dan n adalah jumlah petak ukur.

Konversi Plot ke Pohon untuk Regresi

Inventarisasi berdasarkan plot yang telah ditentukan menghasilkan data berupa Luas Bidang Dasar (LBDS) pohon setinggi dada dan luas tajuk yang dipetakan sesuai dengan koordinat setiap pohon. Data tersebut dianalisis menggunakan model regresi untuk menentukan model terbaik dalam menduga LBDS pohon setinggi dada. Analisis dilakukan menggunakan teknik random sampling agar distribusi data lebih representatif dan menghasilkan model yang terbaik dalam pendugaan LBDS pohon. Setelah melakukan inventarisasi berdasarkan plot yang telah ditentukan hasilnya berupa LBDS dan Luas tajuk yang sesuai dengan koordinatnya untuk dilakukan analisis regresi. Analisis regresi digunakan menggunakan random sampling

Data Split

Data split yaitu membagi dataset menjadi dua data yaitu *train dataset* dan *test dataset*. Adinugroho (2022), menyatakan *data splitting* merupakan pembagian data menjadi dua atau lebih subset, yang umumnya dikenal sebagai *train data* dan *test data*. Proses ini dianggap penting dalam pengembangan model karena memastikan validitas dan keandalan hasil analisis. Pada umumnya, pembagian dataset menghasilkan *train data*, yang digunakan untuk membangun atau melatih model, dan *test data*, yang digunakan untuk menguji validasi model. Beberapa pedoman atau *rule of thumb* dalam pembagian dataset telah diusulkan oleh para ahli. Salah satunya, berdasarkan Profesor Andrew Ng, adalah menggunakan rasio pembagian 70:30 untuk yang memiliki data 100, 1000 atau 10000. Berdasarkan referensi tersebut dalam penelitian ini menggunakan metode *split* dengan perbandingan rasio 70:30, 70 % train dataset yaitu untuk membangun model sedangkan 30% untuk uji validasi.

Analisis Regresi

Analisis regresi adalah metode analisis data dalam statistika yang sering digunakan untuk mengkaji hubungan antara beberapa variabel serta meramalkan nilai suatu variabel (Kutner et al., 2004). Istilah "regresi" pertama kali diperkenalkan oleh Sir Francis Galton (1822-1911), seorang antropolog dan ahli meteorologi terkemuka dari Inggris. Dalam makalahnya yang berjudul "Regression toward mediocrity in hereditary stature", yang diterbitkan dalam *Journal of the Anthropological Institute* pada tahun 1885, Galton menjelaskan bahwa keturunan cenderung tidak memiliki ukuran yang serupa dengan induknya, tetapi lebih mendekati rata-rata. Keturunan cenderung lebih kecil jika induknya besar, dan lebih besar jika induknya kecil (Nurdin et al. 2018)). Tujuan utama dari analisis regresi adalah untuk mengetahui sejauh mana hubungan antara satu variabel bebas dengan beberapa variabel tak bebas. Jika analisis melibatkan satu variabel bebas, maka yang digunakan adalah analisis regresi linear sederhana, sementara jika melibatkan lebih dari satu variabel bebas, maka digunakan analisis regresi linear berganda (Pasaribu et al. 2014).

Dimensi tajuk pohon merupakan variabel penting dalam pendugaan parameter pohon, termasuk diameter pohon. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa secara statistik terdapat hubungan yang kuat antara luas tajuk dan diameter tajuk dengan diameter pohon setinggi dada (Iizuka et al. 2018). Model regresi sering digunakan untuk memprediksi hubungan tersebut (Wahyuni et al. 2016). Namun, dalam penelitian ini pendekatan yang digunakan pada analisis hubungan antara luas tajuk pohon dan pendugaan Luas Bidang Dasar Pohon (LBDS) setinggi dada di lapangan. Untuk

membuat model luas tajuk bisa dengan membuat model regresi berikut adalah model regresi yang dapat digunakan (Wahyuni et al. 2016) :

Model *Linear* : $Y = b_0 + b_1X$

Model *Power* : $Y = b_0X^{b_1}$ atau $\log D = b_0' + \log X$

Model *Exponential* : $Y = e^{(b_0 + b_1X)}$

Model *Polynomial* : $Y = b_0X^2 + b_1X + b_2X^2 + b_2X^2 + \dots + b_kX^k$

Model *Logaritmic* : $Y = b_0 + b_1 \ln X$ atau $D = b_0 + b_1 \log X$ (7)

Dimana, Y adalah LBDS pohon (m^2), X adalah variable pengukuran dari Pesawat Tanpa Awak (luas tajuk (m^2)).

Uji korelasi antara luas tajuk dan Luas Bidang Dasar (LBDS) yang diperoleh dari hasil pengukuran keliling pohon di lapangan dilakukan untuk menentukan variabel yang paling tepat dalam pendugaan LBDS. Analisis ini dilakukan menggunakan perangkat lunak SPSS, dengan variabel yang memiliki nilai korelasi terkuat digunakan sebagai dasar dalam pendugaan LBDS pohon.

Validasi model pendugaan LBDS

Penentuan validasi model dilakukan untuk melihat dan memastikan kembali apakah model pendugaan LBDS dengan kriteria yang ditetapkan. Untuk menentukan validasi model ada beberapa nilai yang digunakan yaitu: akar rata-rata kuadrat simpangan (RMSE), simpangan agregatif (SA), nilai bias (e) dan uji square (x^2) hitung. Nilai RMSE , SA, bias, uji square dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut (Almulqu et al. 2023):

$$\text{Root Mean Square Error (RMSE)} : \frac{\sqrt{\sum \left(\frac{LBDSm - LBDS_0}{LBDS_0} \right)^2}}{n} \times 100\%$$

$$\text{Simpangan Agregat (SA)} : \left(\frac{\sum LBDSm - \sum LBDS_0}{\sum LBDS_0} \right)$$

$$\text{Bias (e)} : \left| \sum \left\{ \frac{LBDSm - LBDS_0}{n} \right\} \times 100 \right|$$

$$\text{Uji chi-square : } X^2_{hitung} : \sum \frac{(LBDSm - DLBDS_0)^2}{LBDS_0} \quad (8)$$

Dimana, LBDSm adalah Luas Bidang Dasar pohon hasil pendugaan (model), LBDSm adalah Luas Bidang Dasar pohon hasil pengukuran dan n banyaknya data.

Nilai RMSE menggambarkan tingkat ketepatan dalam pendugaan. Chi-square merupakan uji statistik yang digunakan untuk mengukur perbedaan antara distribusi yang diamati dan distribusi yang diharapkan. Sementara itu, nilai SA menunjukkan simpangan

antara LBDS dugaan dan LBDS sebenarnya, sedangkan nilai bias (e) merepresentasikan kesalahan sistematis yang dapat terjadi akibat faktor teknis dalam pengukuran. Semakin kecil nilai RMSE, SA, bias dan uji square hitung maka model yang dihasilkan semakin akurat dan reliabel (Almulqu et al. 2023).

Hematang et al. (2021), menyatakan Hasil dari validasi model kemudian dibuat peringkat untuk dapat menentukan model terbaik dari semua model yang telah dibuat. Penentuan model terbaik dipilih berdasarkan pedoman sebagai berikut :

- Masing-masing model diberi skor berdasarkan peringkat kesesuaian kriteria dari parameter validasi model. Model yang memiliki hasil uji validasi mendekati nilai kriteria diberi skor 1 dan seterusnya.
- Skor dari masing-masing parameter uji validasi kemudian dijumlahkan untuk tiap model. Hasil penjumlahan kemudian di peringkatkan dari jumlah terkecil ke jumlah terbesar.
- Model yang memiliki skor terkecil merupakan model terbaik.

Relative error

Relative error adalah ukuran yang digunakan untuk membandingkan perbedaan antara nilai yang dihitung atau diestimasi dengan nilai yang sebenarnya, dengan mempertimbangkan skala nilai yang sebenarnya. *Relative error* menggambarkan sejauh mana perbedaan tersebut relatif terhadap nilai yang sebenarnya. Adapun rumus dari *relative error* yaitu sebagai berikut (Ratnasari, R. N., Helmi, M., Rochaddi 2015) :

$$RE = \frac{Pb - Pa}{Pa} \times 100 \quad (9)$$

Dimana, RE adalah *relative error* (%), Pa adalah data pembanding dan pb adalah data yang dibandingkan.

Konversi Interval Kelas Diameter Menjadi Kelas Diameter pada Hasil Gondorukem

Hijriani et al., (2016), analisis regresi merupakan metode statistik yang digunakan untuk menelaah hubungan antara variabel terikat (Y) dengan satu atau lebih variabel bebas ($X_1, \dots, X_p$). Tujuan utama dari metode ini adalah untuk meramalkan nilai Y berdasarkan nilai tertentu dari variabel X. Model regresi linier sederhana merupakan bentuk paling dasar dari analisis regresi karena hanya melibatkan satu variabel bebas (X). Selain untuk prediksi, analisis regresi juga berguna dalam mengonversi data interval menjadi bentuk non-interval terkait variabel Y. persamaan dasar dari model regresi linier sederhana adalah sebagai berikut: (Hijriani et al. 2016):

$$Y = mx + c \quad (10)$$

Dimana, Y adalah Gondorukem, X adalah Diameter, m adalah *slope* dan c adalah *intercept*

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (11)$$

Dimana, m adalah *slope*, y_2 adalah Gondorukem akhir, y_1 adalah Gondurkem awal, x_2 adalah diameter akhir dan x_1 adalah diameter awal.

Interval kelas diameter dikonversi menjadi per kelas dengan menggunakan analisis regresi linear sederhana. Proses konversi ini bertujuan untuk menghasilkan pembagian interval yang lebih representatif dan akurat, sehingga nilai-nilai yang diperoleh dari penelitian dapat mencerminkan kondisi sebenarnya di lapangan. Pendekatan ini dilakukan untuk meminimalkan potensi bias yang mungkin timbul akibat pembagian kelas yang tidak sesuai atau kurang relevan dengan distribusi data diameter pohon dari penelitian.

Uji t (Uji Parsial)

Uji t pada penelitian ini digunakan dengan menggunakan software Statistical Package for the Sosial Sainces (SPSS) versi 26 dengan analisis *Paired Samples* uji t atau uji sampel berpasangan. t hitung. T hitung 0,05 signifikasi atau tidak, perlu dibandingkan dengan nilai t yang diterima. Misalnya, jika nilai dalam hasil uji $t > 0,05$ maka terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil pengukuran kedua metode yang dilaksanakan. Namun, jika nilai dalam hasil uji $t < 0,05$ maka tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil pengukuran kedua metode yang dilaksanakan.

1. Jika nilai signifikan $< 0,05$ maka H_0 diterima atau H_A ditolak (perbedaan kinerja tidak signifikan).
2. Jika nilai signifikan $> 0,05$ maka H_0 ditolak atau H_A diterima (perbedaan kinerja signifikan).

Dimana, H_0 Tidak ada perbedaan rata-rata antara kedua nilai hasil metode pengukuran dan H_A ada perbedaan rata-rata antara kedua nilai hasil metode pengukuran.