

**SKRIPSI**

**PENENTUAN MODEL PENDUGAAN DIAMETER POHON  
PINUS DENGAN MENGGUNAKAN PENGINDERAAN  
JAUH DI KAWASAN HUTAN DENGAN TUJUAN  
KHUSUS DIKLAT UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**Disusun dan Diajukan Oleh:**

**AINUL YAQIN  
M011 20 1072**



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

**2024**

## HALAMAN PENGESAHAN

**PENENTUAN MODEL PENDUGAAN DIAMETER POHON PINUS  
DENGAN MENGGUNAKAN PENGINDERAAN JAUH DI KAWASAN  
HUTAN DENGAN TUJUAN KHUSUS DIKLAT UNIVERSITAS  
HASANUDDIN**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**AINUL YAQIN  
M011 20 1072**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Kehutanan

Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 25 Juni 2024

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

**Pembimbing Utama**



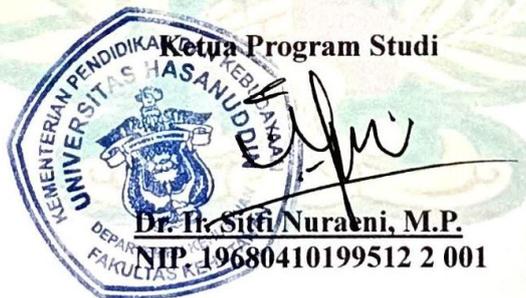
**Prof. Dr. Ir. Daud Malamassam, M. Agr, IPU**  
NIP. 195402091978021001

**Pembimbing Pendamping**



**Chafril A. S. Hut., M. Hut.**  
NIP. 199402212021015001

**Ketua Program Studi**



**Dr. Ir. Siti Nuraeni, M.P.**  
NIP. 19680410199512 2 001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ainul Yaqin  
NIM : M011201072  
Program Studi : Kehutanan  
Jenjang : S1

Dengan ini menyatakan bahwa karya tulisan Saya berjudul:

**“ PENENTUAN MODEL PENDUGAAN DIAMETER POHON PINUS  
DENGAN MENGGUNAKAN PENGINDERAAN JAUH DI KAWASAN  
HUTAN DENGAN TUJUAN KHUSUS DIKLAT UNIVERSITAS  
HASANUDDIN”**

Adalah karya tulisan Saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain, bahwa skripsi yang Saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya Saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka Saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 25 Juni 2024

Yang menyatakan



Ainul Yaqin

## ABSTRAK

**Ainul Yaqin (M011201072). Penentuan Model Pendugaan Diameter Pohon Pinus dengan Menggunakan Penginderaan Jauh di Kawasan Hutan dengan Tujuan Khusus Diklat Universitas Hasanuddin, dibawah bimbingan Daud Malamassam dan Chairil A.**

*Pinus merkusii* merupakan jenis pohon berdaun jarum dalam famili *Pinaceae*. Pinus ini juga merupakan tanaman yang mendominasi di Kawasan Hutan dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Diklat Universitas Hasanuddin. Dalam upaya mengukur dan memonitor pertumbuhan serta kesehatan hutan pinus, teknologi penginderaan jauh menjadi semakin relevan. Inventarisasi terestris dan penginderaan jauh adalah dua metode yang sering digunakan dalam studi dan pengelolaan sumber daya alam, pengelolaan lingkungan, perencanaan wilayah, dan berbagai aplikasi ilmiah lainnya. Data dari penginderaan jauh sering divalidasi menggunakan data dari inventarisasi terestris. Pengukuran yang dilakukan dengan teknologi penginderaan jauh, perlu digunakan perhitungan dengan analisis regresi. Membandingkan model regresi untuk mendapatkan model terbaik yang dapat digunakan secara berkelanjutan. Model yang dibandingkan ada lima yaitu *Linier*, *Power*, *Ekspensial*, *Polynomial* dan *Logaritmik*. Berdasarkan skor hasil uji validasi didapatkan model terbaik dalam pendugaan diameter pohon pinus yaitu pada model *Polynomial* atau matematika persamaannya yaitu  $y = -0.0006x^2 + 0.0461x + 0.2907$  dimana model ini memiliki koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 49,50%. Hasil pengukuran penginderaan jauh dan pengukuran terestris tidak menunjukkan perbedaan yang nyata secara statistik pada taraf uji 5%. Volume pohon *pinus merkusii* hasil pengukuran 2 metode menunjukkan perbedaan yang tidak nyata (signifikansi  $0,147 > 0,05$ ).

**Kata kunci:** Penginderaan jauh, inventarisasi, analisis regresi, KHDTK

## ABSTRACT

**Ainul Yaqin (M011201072). Determination of Pine Tree Diameter Estimation Model Using Remote Sensing in the Special Purpose Forest Area of Hasanuddin University Training Center, under the guidance of Daud Malamassam and Chairil A.**

*Pinus merkusii* is a needle-leaved tree species in the Pinaceae family. This pine tree also dominates the Special Purpose Forest Area (KHDTK) of the Hasanuddin University Training Center. In efforts to measure and monitor the growth and health of the pine forest, remote sensing technology becomes increasingly relevant. Terrestrial inventory and remote sensing are two methods frequently used in the study and management of natural resources, environmental management, spatial planning, and various other scientific applications. Data from remote sensing is often validated using data from terrestrial inventory. Measurements performed with remote sensing technology require calculations using regression analysis. Comparing regression models to obtain the best model that can be used sustainably is necessary. The models compared are Linear, Power, Exponential, Polynomial, and Logarithmic. Based on the validation test scores, the best model for estimating pine tree diameter is the Polynomial model, with the mathematical equation  $y = -0.0006x^2 + 0.0461x + 0.2907$ , which has a coefficient of determination ( $R^2$ ) of 49.50%. The measurements from remote sensing and terrestrial inventory do not show a statistically significant difference at the 5% test level. The volume of *Pinus merkusii* trees measured by the two methods shows an insignificant difference (significance  $0.147 > 0.05$ ).

**Keywords:** Remote sensing, inventory, regression analysis, KHDTK

## KATA PENGANTAR

### بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa., karena berkat rahmat dan karunia-Nyalah, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “*Penentuan Model Pendugaan Diameter Pohon Pinus dengan Menggunakan Penginderaan Jauh di Kawasan Hutan dengan Tujuan Khusus Diklat Universitas Hasanuddin*”, sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk mendapatkan gelar Sarjana pada Jurusan Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin.

Skripsi ini merupakan hasil dedikasi, kerja keras, dan perjuangan panjang yang penulis lakukan selama perjalanan pendidikan di program studi Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Kehutanan (S.Hut).

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan tanpa adanya dukungan, bantuan, bimbingan, dan nasehat dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung selama penyusunan tugas akhir ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. Ir. Daud Malamassam, M.Agr., IPU** dan Bapak **Chairil A, S.Hut., M.Hut.**, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
2. Bapak **Dr.Ir. Syamsu Rijal, S.Hut.,M.Si., IPU** dan Bapak **Ahmad Rifqi Makkasau, S.Hut., M.Hut.**, selaku penguji yang telah membantu dalam memberikan kritik serta saran guna perbaikan skripsi ini.
3. Ibu **Dr. Ir. Sitti Nuraeni, M.P** selaku Ketua Program Studi Kehutanan serta Bapak/Ibu Dosen dan seluruh Staf Administrasi Fakultas Kehutanan atas bantuannya
4. Kakak, adik serta teman-teman di Laboratorium Perencanaan dan Sistem Informasi Kehutanan, terkhusus **Ahmad Kautsar, S.Hut, Sulfikar, S.Hut, A.M Ilham, S.Hut, Reynaldi, Fatwa Latimbang, S.Hut, Ardi Babas, Agim, Ledi Dayana, Pramesti Ayu**, dan **PSIK 20** lainnya atas bantuan selama penelitian ini dilakukan.

5. Teman seperjuangan **Daya Cinta Damai, Idris, Pian, S.Hut, Hafid, Riswan, S.Hut, Akbar, Fattah, Tegar, Gusti, Sharel, dan Nasrullah, S.Hut.**
6. Teman-teman **IMPERIUM 2020** atas kebersamaannya selama menempuh masa perkuliahan di Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin.
7. **Seluruh pihak** yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu penulis dalam semua proses selama berada di Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin.
8. *Last but not least, I wanna thank me. I wanna thank me for believing in me. I wanna thank me for all doing this hard work. I wanna thank me for having no days off. I wanna thank me for never quitting. I wanna thank me for just being me at all times.*

Terkhusus saya ingin menyampaikan rasa terima kasih saya sedalam-dalamnya kepada kedua orangtua tercinta, **Alm. Muhammad L dan Suriati**, kakak saya, **Nur Ismi M dan Mutmainnah**, yang tiada henti-hentinya memanjatkan do'a serta kasih sayang. Terimakasih juga untuk saudariku yang turut mendukung dan memberikan semangat selama ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini banyak terdapat kekurangan yang perlu diperbaiki. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik, masukan dan saran guna penyempurnaan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkan dan khususnya untuk penulis sendiri.

Makassar, 25 Juni 2024

Ainul Yaqin

# DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xi</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Tujuan dan Kegunaan.....	2
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>3</b>
2.1    Penginderaan Jauh .....	3
2.1.1    Sumber Data .....	3
2.1.2    Sensor Penginderaan Jauh .....	4
2.1.3    Data Penginderaan Jauh.....	5
2.1.4    Analisis Data .....	5
2.2    Inventarisasi Hutan.....	6
2.2.1    Metode secara Teristris.....	6
2.2.2    Metode Penginderaan Jauh .....	7
2.2.3    Metode kombinasi terestris dan penginderaan jauh.....	8
2.2.4    Model Penduga Diameter pohon berbasis Inderaja .....	9
2.3 <i>Pinus Merkusii</i> .....	10
<b>III. METODE PENELITIAN</b> .....	<b>11</b>
2.1    Waktu dan Tempat Penelitian.....	11
2.2    Alat dan Bahan .....	11
2.2.1    Alat .....	11
2.2.2    Bahan.....	12
2.3    Prosedur Pelaksanaan Penelitian .....	13
2.3.1    Pengumpulan Data .....	13
2.3.2    Inventarisasi Terestris .....	13

<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>19</b>
4.1 Model Pendugaan Diameter Pohon .....	19
4.3 Validasi Model Penduga Diameter .....	21
4.4 Relative Error.....	23
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>25</b>
5.1 Kesimpulan .....	25
5.2 Saran.....	25
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>26</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>29</b>

## **DAFTAR GAMBAR**

<b>Gambar</b>	<b>Judul</b>	<b>Halaman</b>
Gambar 1.	Peta lokasi penelitian .....	11
Gambar 2.	Ilustrasi pengukuran diameter tajuk .....	15
Gambar 3.	Grafik model regresi diameter pohon dengan diameter tajuk .....	20

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Judul</b>	<b>Halaman</b>
Tabel 1.	Model pendugaan diameter pohon menggunakan indera	9
Tabel 2	Bahan Penelitian	12
Tabel 3.	Model Pendugaan Diameter Pohon dan Diameter Tajuk Pohon	19
Tabel 4.	Koefisien korelasi pada penyusunan model penduga diameter	20
Tabel 5.	Hasil Uji Statistik model penduga diameter	21
Tabel 6.	Skor hasil uji validasi model penduga diameter	22
Tabel 7.	Hasil pengukuran lapangan dan penginderaan jauh	23
Tabel 8.	Hasil uji t	24

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran</b>	<b>Judul</b>	<b>Halaman</b>
Lampiran 1.	Data hasil Inventarisasi.....	29
Lampiran 2.	Analisis statistik dan akurasi .....	31
Lampiran 3.	Analisis uji t (parsial) .....	34
Lampiran 4.	Hasil Foto Udara.....	34
Lampiran 5.	Hasil pengolahan foto udara menjadi data DEM.....	35
Lampiran 6.	Hasil Digital Surface Model (DSM) dari data DEM.....	35
Lampiran 7.	Hasil Digital Terrain Model (DTM) dari data DEM .....	35

# I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Dalam Pasal 1 Ayat (1) Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Kehutanan. Disebutkan bahwa hutan adalah suatu kesatuan ekosistem berupa hamparan lahan berisi sumber daya alam hayati yang didominasi pepohonan dalam persekutuan alam lingkungannya, yang satu dengan yang lainnya tidak dapat dipisahkan. Hutan selain berfungsi sebagai penyedia oksigen dan tempat hidup bagi beragam kehidupan, juga masih memiliki beragam potensi lainnya. Salah satu diantaranya adalah sebagai penyedia bahan baku yang sangat diperlukan dalam industry perkayuan. Pasal 1 Ayat (1) Undang-undang Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999, mangamanatkan tentang pentingnya mengelola sumber daya hutan secara berkelanjutan dan menjaga keseimbangan ekosistem agar dapat memenuhi kebutuhan manusia di Indonesia.

Hal inilah yang diupayakan oleh Universitas Hasanuddin dalam pengelolaan KHDTK yang dipercayakan pihak pemerintah kepadanya. KHDTK (Kawasan hutan dengan tujuan khusus) diatur pada Pasal 8 Undang-undang Nomor 41 Tahun 1999 mengenai penetapan Kawasan hutan dengan tujuan khusus, dan juga dalam Pasal 34 Undang-undang Nomor 41 tahun 1999 tentang Pemberian Pengelolaan Kawasan Hutan dengan Tujuan Khusus. KHDTK Universitas Hasanuddin memiliki luas 1.300 ha yang berlokasi di Kabupaten Maros, Kecamatan Camba.

Inventarisasi terestris dan penginderaan jauh adalah dua metode yang sering digunakan dalam studi dan pengelolaan sumber daya alam, pengelolaan lingkungan, perencanaan wilayah, dan berbagai aplikasi ilmiah lainnya. Meskipun keduanya memiliki pendekatan yang berbeda, keduanya saling melengkapi dalam menyediakan data yang akurat dan komprehensif. Data dari penginderaan jauh sering divalidasi menggunakan data dari inventarisasi terestris. Penginderaan jauh memberikan gambaran umum dan skala besar yang kemudian dapat dianalisis lebih lanjut dengan inventarisasi terestris untuk mendapatkan hasil yang detail.

Dalam upaya mengukur dan memonitor pertumbuhan serta kesehatan hutan pinus, teknologi penginderaan jauh menjadi 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). Pengukuran yang dilakukan dengan teknologi penginderaan jauh, perlu digunakan perhitungan dengan analisis regresi. Membandingkan model regresi untuk mendapatkan model terbaik yang dapat digunakan secara berkelanjutan.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menentukan model diameter pohon pinus dengan menggunakan teknologi Inderaja di KHDTK Universitas Hasanuddin. Dengan merumuskan model yang akurat dapat diimplementasikan untuk menjaga keseimbangan ekosistem hutan dan mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya kayu. Penelitian ini juga mengacu pada prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan, yang mengedepankan keseimbangan antara keberlanjutan ekonomi, sosial, dan lingkungan. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif terhadap upaya kelestarian hutan yang berkelanjutan di KHDTK Universitas Hasanuddin dan wilayah sekitarnya.

## **1.2 Tujuan dan Kegunaan**

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Memilih model regresi terbaik untuk pendugaan hubungan antara diameter tajuk dengan diameter batang pohon Pinus.
2. Membandingkan volume tegakan jenis pinus hasil metode terestris dan metode penginderaan jauh.

Adapun kegunaan dari penelitian ini adalah sebagai bahan informasi yang berpotensi untuk memberikan manfaat pengembangan teknologi dalam pendugaan diameter tegakan menggunakan penginderaan jauh, serta mendukung pembangunan berkelanjutan di wilayah KHDTK Universitas Hasanuddin.

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Penginderaan Jauh**

Penginderaan jauh (remote sensing) adalah teknologi yang digunakan untuk memantau dan mengumpulkan informasi tentang objek atau fenomena di permukaan bumi dari jarak jauh, tanpa harus berada di lokasi tersebut. Teknologi ini biasanya menggunakan instrumen seperti satelit, pesawat udara, atau drone untuk mengambil data dari udara atau ruang angkasa. Penginderaan jauh merupakan ilmu dalam mengumpulkan informasi suatu obyek atau wilayah dengan menguraikan data yang didapatkan melalui alat (Ningsih & Setyadi, 2003).

Penginderaan jauh sering digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk pemetaan, pemantauan lingkungan, manajemen sumber daya alam, pemantauan cuaca, dan banyak lagi. Berikut adalah beberapa komponen kunci dalam penginderaan jauh:

#### **2.1.1 Sumber Data**

Penginderaan jauh ialah suatu metode pengukuran atau perolehan data tentang objek di permukaan bumi dengan menggunakan sensor yang dipasang pada berbagai jenis wahana. Ada beberapa sumber data yang digunakan dalam penginderaan jauh, seperti disajikan melalui uraian berikut.

##### **1. Satelit**

Satelit adalah benda yang beredar di luar bumi dan di ruang antariksa yang berfungsi sebagai stasiun radio. Mereka dapat menerima, memproses, dan memancarkan kembali sinyal radio, serta menerima dan memancarkan kembali sinyal radio. Satelit berfungsi sebagai repeater frekuensi radio karena tujuannya adalah untuk mengirimkan informasi dari satu titik di bumi ke satu atau lebih titik lainnya. Suatu satelit menerima sinyal frekuensi radio dari antena atau stasiun di bumi, yang kemudian menguatkan, mengubah frekuensinya, dan kemudian dikirimkan kembali pada frekuensi downlink ke satu atau lebih stasiun di bumi. Salah satu jenis satelit yang digunakan untuk merancang, mengembangkan, dan memperluas jaringan adalah satelit komunikasi, yang dapat digunakan untuk komunikasi jaringan di wilayah yang luas, backhaul seluler, trunking internet, siaran televisi, dan telepon jarak jauh (Yuniarti, 2013).

## 2. Pesawat Udara

Citra foto dihasilkan dari memotret dengan memanfaatkan sebuah wahana yang dapat berupa balon udara, pesawat udara pesawat ultra-ringan, dan pesawat tanpa awak. Sebelum melakukan pemotretan, perlu adanya penentuan jalur penerbangan serta penentuan arah penerbangan. Dalam pengambilan potret udara, ada beberapa cara pemotretan yaitu: secara tegak (*vertical*), secara condong (*oblique*), serta sangan condong (*high oblique*) (Wicaksono, 2009).

## 3. Drone (UAV)

Drone atau *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) semakin populer dalam penginderaan jauh karena kemampuannya menangkap data resolusi tinggi di ketinggian rendah. Drone dapat dimanfaatkan dalam berbagai tujuan, termasuk pemetaan lahan, pemantauan lingkungan, dan dokumentasi situs warisan. Kelebihan penggunaan drone dalam penginderaan jauh mencakup pengumpulan data yang lebih cepat dan efisien, efektivitas biaya, fleksibilitas dan aksesibilitas, data resolusi tinggi, serta dukungan dalam program pemetaan lahan (Fitriawan, dkk, 2020).

### 2.1.2 Sensor Penginderaan Jauh

Sensor merupakan komponen penting dalam teknologi penginderaan jauh. Mereka digunakan dalam pengumpulan data jarak jauh dan diaplikasikan di berbagai platform seperti drone, satelit dan pesawat terbang. Beberapa sensor yang digunakan dalam penginderaan jauh menurut Zhang & Zhu (2023) yaitu:

#### 1. Sensor optik

Sensor optik digunakan untuk menangkap gambar permukaan bumi. Yang selanjutnya dapat diklasifikasikan menjadi sensor multispectral dan hiperspektral. Sensor multispectral menangkap gambar dalam beberapa *band electromagnetic spectrum* tertentu, sedangkan sensor hiperspektral menangkap banyak gambar dalam banyak *band* sempit dan berdekatan.

#### 2. Sensor radar

Sensor radar menggunakan gelombang radio untuk mendeteksi dan mengukur jarak, kecepatan, dan arah benda di permukaan bumi. Mereka sangat berguna untuk pencitraan melalui awan dan dalam kondisi cahaya redup.

### 3. LiDAR

Sensor LiDAR (Light Detection and Ranging) menggunakan gelombang laser untuk mengukur jarak antara sensor dan permukaan bumi. Sensor ini digunakan dalam pembuatan model 3 dimensi permukaan bumi dengan resolusi tinggi dan sangat berguna dalam memetakan medan serta vegetasi.

#### **2.1.3 Data Penginderaan Jauh**

Penginderaan jauh ialah metode dalam pengukuran atau perolehan data dari objek yang ada di permukaan bumi menggunakan sensor pada beberapa jenis wahana. Data yang diperoleh dari hasil penginderaan jauh dapat berupa citra atau foto udara. Informasi tersebut kemudiann diinterpretasikan dahulu sebelum digunakan sebagai data digital. Data hasil penginderaan jauh dapat dianalisis secara manual dan visual menggunakan komputer dengan mengidentifikasi rona/warna, bentuk, bayangan, ukuran, pola, tekstur,dan situs. Data tersebut kemudian dimanfaatkan baik untuk analisis keruangan hingga keperluan dalam inventarisasi sumber daya alam.

#### **2.1.4 Analisis Data**

Analisis data penginderaan jauh ialah proses mengolah data secara digital, yang terdiri atas beberapa langkah (Fuentes & Chang, 2022), sebagai berikut:

##### 1. Pemrosesan citra

Citra hasil penginderaan jauh perlu diproses sebelum digunakan untuk analisis. Dalam memproses sebuah citra diperlukan koreksi radiometric, koreksi geometric, dan penyaringan citra.

##### 2. Analisis visual

Dengan melakukan pengamatan langsung terhadap citra atau foto udara termasuk dalam analisis visual. Melakukan identifikasi terhadap objek serta fitur yang ada didalam citra tersebut.

##### 3. Analisis digital

Menggunakan perangkat lunak tertentu dalam memproses data penginderaan jauh merupakan analisis data secara digital. Hal ini meliputi klasifikasi citra, analisis statistik, dan analisis spasial.

#### 4. Interpretasi

Interpretasi merupakan tahapan dalam analisis data yang dilakukan dalam mengidentifikasi objek atau fitur pada citra atau foto udara. Interpretasi ini bisa dilakukan secara manual ataupun dengan memanfaatkan perangkat khusus.

#### 5. Validasi

Setelah dilakukan pengolahan data mulai dari pemrosesan citra, analisis visual, analisis digital, dan interpretasi, data penginderaan jauh kemudian dilakukan validasi dalam hal memastikan hasil analisis yang telah dilakukan akurat dan dapat dipercaya.

## **2.2 Inventarisasi Hutan**

Hutan Indonesia memiliki potensi kekayaan alamnya yang luar biasa. Indonesia merupakan salah satu negara dengan keanekaragaman hayati terbesar. Terdapat  $\pm 4000$  jenis pohon yang tersebar diseluruh wilayah dan tipe hutan. Tentunya hal ini sangat penting pada bidang kehutanan yang harus diperhatikan oleh pihak-pihak tersebut. Salah satu kegiatan dalam memperhatikan hutan yaitu dengan melaksanakan inventarisasi hutan.

Inventarisasi hutan merupakan kegiatan yang dilakukan untuk mengumpulkan informasi dan data yang terkait kondisi atau potensi sumber daya alam berupa hutan dan kekayaan yang terkandung didalamnya. Menurut Malamassam (2009), ilmu inventarisasi hutan merupakan salah satu cabang ilmu kehutanan yang membahas tentang metode penaksiran potensi hutan dengan pengukuran sebagian atau seluruh faktor dari sumberdaya yang bersangkutan.

Dalam melakukan inventarisasi hutan, metode atau teknik yang digunakan dapat berupa survey teristris (pengamatan secara langsung di lapangan) tetapi dapat pula melalui penginderaan jauh (remote sensing), ataupun melalui kombinasi keduanya.

### **2.2.1 Metode secara Teristris**

Metode inventarisasi terestris dilakukan dengan mengukur secara langsung di lapangan. Pemilihan metode dan teknik yang tepat harus disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi dan tujuan inventarisai yang dilakukan. Menurut Santoso (1993)

terdapat beberapa metode atau teknik pengukuran, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Teknik sampling

Teknik sampling merupakan suatu cara mengumpulkan sampel yang mampu mewakili populasi. Teknik ini terdiri atas metode sampling, pengukuran dimensi pohon, dan taksiran volume tegakan per hektar.

2. Metode survei darat

Metode survei darat meliputi pengukuran secara langsung dimensi pohon seperti diameter dan tinggi, serta jarak antar pohon.

### **2.2.2 Metode Penginderaan Jauh**

Metode penginderaan jauh dalam inventarisasi hutan menggunakan teknologi pemantauan jarak jauh untuk mengumpulkan informasi tentang hutan tanpa harus melakukan survei lapangan langsung. Metode penginderaan jauh umumnya sangat cocok untuk areal yang luas, karena pengukuran dapat dilakukan lebih cepat, selain itu, kelebihan metode penginderaan jauh adalah pengukuran dilakukan di atas meja dan sedikit tenaga, maka *human error* dapat dikurangi (Jaya *et al*, 2010). Berikut beberapa metode penginderaan jauh yang digunakan dalam inventarisasi hutan:

1. Citra Satelit

Citra satelit adalah gambar yang diambil oleh satelit yang mengorbit Bumi. Citra ini dapat digunakan untuk memantau tutupan hutan, jenis pohon, perubahan lahan, dan karakteristik hutan lainnya. Citra multispektral dan hiper-spektral dapat memberikan informasi yang lebih detail tentang komposisi hutan.

2. LiDAR (Light Detection and Ranging):

LiDAR menggunakan pulsa laser untuk mengukur jarak antara sensor dan permukaan bumi. Ini digunakan untuk menghasilkan peta tiga dimensi yang sangat rinci tentang topografi dan struktur hutan. LiDAR juga dapat digunakan untuk mengukur ketinggian pohon dengan tingkat akurasi yang tinggi.

3. Citra Drone (UAV - Unmanned Aerial Vehicle):

Drone dapat dilengkapi dengan kamera multispektral atau LiDAR untuk pengambilan data di ketinggian rendah. Drone memungkinkan pengumpulan data

dengan resolusi tinggi dan fleksibilitas yang lebih besar dibandingkan dengan citra satelit.

#### 4. Radar

Radar adalah teknologi yang menggunakan gelombang radio untuk mendeteksi objek dan permukaan. Radar dapat digunakan untuk memantau tutupan hutan dan perubahan penutupan lahan, terutama dalam kondisi cuaca buruk atau di bawah tutupan awan.

#### 5. SAR (Synthetic Aperture Radar):

SAR adalah bentuk radar khusus yang menghasilkan citra resolusi tinggi bahkan dalam kondisi cahaya rendah atau cuaca buruk. Ini dapat digunakan untuk pemantauan permukaan bumi, termasuk hutan.

#### 6. Citra Satelit Optik:

Citra satelit optik dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis pohon dan pemantauan visual hutan. Mereka dapat memberikan gambaran yang baik tentang struktur hutan dan perubahan dalam waktu.

#### 7. *Hyperspectral Imaging*:

Teknologi *hyperspectral imaging* mengambil citra dalam berbagai panjang gelombang cahaya, yang memungkinkan analisis yang sangat detail tentang komposisi tanah dan jenis pohon.

#### 8. Pemantauan Termal:

Penginderaan jauh termal mengukur panas yang dipancarkan oleh hutan. Ini dapat digunakan untuk mendeteksi kebakaran hutan, mengukur suhu permukaan, dan memahami perubahan suhu di dalam hutan.

#### 9. Pengukuran Vegetasi Dengan GPS (GNSS):

Teknologi GPS dapat digunakan untuk mengukur lokasi pohon dan vegetasi lainnya. Ini dapat digunakan dalam survei lapangan dengan bantuan perangkat GPS yang tepat.

### **2.2.3 Metode kombinasi terestris dan penginderaan jauh**

Metode kombinasi atau metode gabungan dalam inventarisasi hutan yaitu perpaduan antara metode terestris dengan penginderaan jauh. Penggunaan metode

ini dapat menghasilkan data yang terbaik dibandingkan dengan metode terestris serta penginderaan jauh (Jaya *et al*, 2010).

#### 2.2.4 Model Penduga Diameter pohon berbasis Inderaja

Menurut Wahyuni *et al.*, (2016), terdapat 5 persamaan model yang dapat digunakan untuk menduga diameter berdasarkan variabel hasil penduga diameter berbasis indera, yaitu sebagai berikut :

Model Linear :  $D = b_0 + b_1X$

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

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

Model Polynomial :  $D = b_0X^2 + b_1X + b_2 X^2 + b_2 X^2 + \dots + b_k X^k$

Model Logarithmic :  $D = b_0 + b_1 \ln X$  atau  $D = b_0 + b_1 \log X$

Dimana : D adalah diameter batang pohon,

X adalah variabel hasil pengukuran dari inderaja,

$b_0$  dan  $b_1$  adalah konstanta (koefisien regresi).

Penelitian yang dilakukan oleh Hematang (2021) menghasilkan persamaan fregresi untuk kelima model di atas, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Model pendugaan diameter pohon menggunakan inderaja

Model Regresi	Kode Model	Persamaan Model	$r^2$ ( <i>r square</i> )
Linear	M1	$y = 1,5086x + 19,78$	0.666
Power	M2	$y = 10,1755x^{0,535935}$	0.570
Ekspensial	M3	$y = 25,5382\exp(0,0318735x)$	0.595
Polynomial	M4	$y = 0.0118744x^2 + 1.08835x + 22,8125$	0.670
Logarithmic	M5	$y = 37,1904 + \ln(x)$	0.597

Keterangan: y = diameter setinggi dada pendugaan (cm)

x = Rata-rata diameter tajuk foto udara (m)

### 2.3 *Pinus Merkusii*

Satu-satunya jenis pinus asli di Indonesia yang merupakan jenis pohon dengan daun jarum dan termasuk famili *Pinaceae* yaitu *Pinus Merkusii*. Tumbuh pada ketinggian 200-2.000 m dpl, dan curah hujan 1.200-3.000 mm/tahun. Memiliki sifat seperti pohon pada umumnya, pertumbuhannya sangat dipengaruhi faktor lingkungan sekitarnya yang berimbang dan menguntungkan. Dengan kata lain, apabila salah satu faktor tersebut kurang maka dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman itu sendiri.

Faktor-faktor tersebut ialah cahaya, air, udara dan unsur hara. *Pinus merkusii* ini merupakan tanaman yang membutuhkan cahaya matahari secara penuh dalam perkembangannya. Kekurangan intensitas cahaya yang diterima dapat berimbas pada menurunnya kegiatan fotosintesis yang dapat menghambat pertumbuhan (Sallata, 2013).

Pohon pinus umumnya memiliki batang yang silindris bulat dan lurus dengan kulit kasar menyerupai kepingan berwarna cokelat hingga kehitaman, serta tinggi yang mampu mencapai 70 m (Lempang, 2018). Tinggi pohon merupakan dimensi yang penting dalam penaksiran volume tegakan, yang dimulai dari pangkal diatas permukaan tanah hingga puncak pohon atau biasa dikenal sebagai tinggi total (Simon, 1996).

Pohon pinus memiliki diameter yang bervariasi diberbagai ketinggian. Diameter itu sendiri merupakan satuan yang didapatkan pada pengukuran lingkaran tegakan pada ketinggian tertentu dari permukaan tanah atau biasa disebut diameter setinggi dada. Hal ini dilakukan karena pengukuran tersebut mudah dilakukan dan memiliki korelasi yang kuat pada parameter-parameter lainnya. Umumnya diameter setinggi dada diukur 1,3 m diatas permukaan tanah, namun hal tersebut dikondisikan pada lapangan (Simon, 1996).