

SKRIPSI

**INVENTARISASI VOLUME TEGAKAN *EUCALYPTUS DEGLUPTA*
(PEMANFAATAN TEKNOLOGI PENGINDERAAN JAUH PESAWAT
UDARA TANPA AWAK)**

Disusun dan Diajukan Oleh:

**MUHAMMAD FATWA LATIMBANG
M011201115**



PROGRAM STUDI KEHUTANAN

FAKULTAS KEHUTANAN

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024

HALAMAN PENGESAHAN

INVENTARISASI VOLUME TEGAKAN EUCALYPTUS DEGLUPTA (PEMANFAATAN TEKNOLOGI PENGINDERAAN JAUH PESAWAT UDARA TANPA AWAK)

Disusun dan Diajukan Oleh:

MUHAMMAD FATWA LATIMBANG
M011201115

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

Fakultas Kehutanan
Universitas Hasanuddin

Pada Tanggal 3 Juni 2024

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui:

Pembimbing Utama



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

Pembimbing Pendamping



Dr. Ir. Roland A. Barkey
NIP. 19540614198103 1 007

Ketua Program Studi



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Fatwa Latimbang
NIM : M011201115
Program Studi : Kehutanan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya yang berjudul:

“Inventarisasi Volume Tegakan *Eucalyptus Deglupta* (Pemanfaatan Teknologi Penginderaan Jauh Pesawat Udara Tanpa Awak).”

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

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

Makassar, 3 Juni 2024



Yang menyatakan

Muhammad Fatwa Latimbang

ABSTRAK

MUHAMMAD FATWA LATIMBANG (M011201115). Inventarisasi Volume Tegakan *Eucalyptus Deglupta* (Pemanfaatan Teknologi Penginderaan Jauh Pesawat Udara Tanpa Awak)

Inventarisasi hutan volume tegakan secara terestris seringkali memerlukan waktu dan biaya yang besar sehingga salah satu cara yang dapat dilakukan saat ini yakni dengan pemanfaatan pesawat udara tanpa awak, namun kedua metode memiliki estimasi nilai yang berbeda. Maka perlu dilakukan inventarisasi penginderaan jauh dan inventarisasi terestris guna melihat perbandingan nilai yang signifikan di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Borisallo tegakan sejenis *Eucalyptus deglupta*. Tujuan penelitian ini untuk : (1) mengetahui model regresi terbaik untuk pendugaan hubungan antara diameter tajuk hasil penginderaan jauh pemanfaatan pesawat udara tanpa awak dengan diameter pohon setinggi dada hasil pengukuran secara terestris; (2) Membandingkan tinggi pohon (h) hasil penginderaan jauh dengan hasil pengukuran secara terestris; (3) Memvalidasi hasil inventarisasi volume berbasis penginderaan jauh dengan volume tegakan berdasarkan hasil inventarisasi terestris. Dilakukan analisis model pendugaan diameter setinggi dada (DBH) dengan 5 model regresi yakni *linear*, *power*, *exponential*, *polynomial*, dan *logarithmic* untuk memilih model terbaik dilakukan statistik uji akurasi model. Pendugaan tinggi pohon secara penginderaan jauh menggunakan data *Digital Surface Model* (DSM) dikurangi *Digital Terrain Model* (DTM) sedangkan terestris dilakukan secara langsung dilapangan. Untuk estimasi volume dari hasil penginderaan jauh dengan pengukuran secara terestris. Setelah itu semua parameter dilakukan uji t (uji parsial) uji sampel berpasangan. t hitung 2,16 signifikansi atau tidak. Hasil dari penelitian ini untuk model terbaik Model *Polynomial*, yaitu $Y = - 0,0004 X^2 + 0,0607 X - 0,0809$ dengan nilai (t hitung) 1,10. Perolehan pengukuran nilai (t hitung) tinggi (h) 1,99, dan volume untuk nilai (t hitung) yakni 1,47. Hasil pengukuran tegakan *Eucalyptus deglupta* melalui metode penginderaan jauh dan hasil pengukuran secara terestris pada seluruh parameter memiliki nilai lebih kecil dari 2,16 menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan.

Kata kunci: Inventarisasi hutan, *Eucalyptus deglupta*, Pesawat udara tanpa awak, penginderaan jauh, terestrial.

ABSTRACT

MUHAMMAD FATWA LATIMBANG (M011201115). Inventory Of Standing Volume Of Eucalyptus Deglupta (Utilization Of Unmanned Aerial Remote Sensing Technology)

Terrestrial forest inventory of standing volume often requires a large amount of time and costs, so one way that can be done currently is by using unmanned aircraft, but the two methods have different estimated values. So it is necessary to carry out a remote sensing inventory and a terrestrial inventory to see a significant comparison of values in the Borisallo Special Purpose Forest Area (KHDTK) for stands of a type of Eucalyptus deglupta. The aims of this research are: (1) to find out the best regression model for estimating the relationship between crown diameter as a result of remote sensing using unmanned aircraft and tree diameter at breast height as a result of technical measurements; (2) Compare the tree height (h) from remote sensing with the results from ground measurements; (3) Validate the results of remote sensing-based volume inventory with stand volume based on terrestrial inventory results. An analysis of the model for estimating diameter at chest height (DBH) was carried out with 5 regression models, namely linear, power, exponential, polynomial and logarithmic. To select the best model, a statistical model accuracy test was carried out. Estimation of tree height by remote sensing uses Digital Surface Model (DSM) data minus Digital Terrain Model (DTM) while terrestrial is carried out directly in the field. To estimate volume from remote sensing results using terrestrial measurements. After that, all parameters were subjected to a t test (partial test) paired sample test. t count 2.16 is significant or not. The results of this research for the best model are the Polynomial Model, namely $Y = - 0.0004 X^2 + 0.0607$ The obtained measurement value (t calculated) for height (h) was 1.99, and the volume for the value (t calculated) was 1.47. The results of measurements of Eucalyptus deglupta stands using remote sensing methods and the results of terrestrial measurements for all parameters have values smaller than 2.16, indicating insignificant differences.

Keywords: Comparison of values; forest inventory, *Eucalyptus deglupta*, Unmanned aerial vehicles, remote sensing and terrestrial.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Segala puji dan syukur dipanjatkan kepada Allah SWT atah berkah dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Inventarisasi Volume Tegakan *Eucalyptus Deglupta* (Pemanfaatan Teknologi Penginderaan Jauh Pesawat Udara Tanpa Awak).”** Guna memenuhi syarat dalam menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana (S1) di Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin Makassar.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak akan sangat sulit untuk menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Ucapan terima kasih yang sedalam-dalamnya penulis persembahkan kepada Ayahanda **Samsuddin. L, S. Pd, M. Pd** dan Ibunda **Salfiani T, S. Pd** yang senantiasa mendoakan, menemani, memberi perhatian, kasih sayang, nasihat, mendidik dan membesarkan, serta menjadi penyemangat penulis sebagai sandaran terkuat atas beratnya dunia. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada saudara(i) penulis **Rifqah Nabila** dan **Syifarah Salsabila** atas dukungan baik secara materi maupun non-materi.

Dalam menyelesaikan skripsi ini penulis mendapatkan banyak bantuan, dukungan, motivasi dari berbagai pihak, untuk itu penulis menyampaikan terimakasih yang setinggi-tingginya kepada:

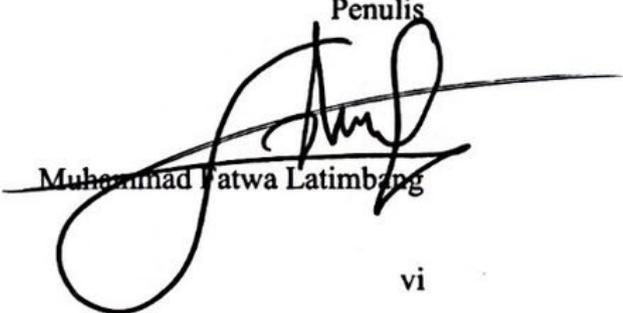
1. Bapak **Prof. Dr. Ir. Daud Malamassam, M.Agr.** dan Bapak **Dr. Ir. Roland A. Barkey.** selaku pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam mengarahkan dan membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak **Dr. Ir. Syamsu Rijal, S.Hut, M.Si, IPU.** dan Bapak **Andang Suryana Soma, S.Hut, M.P, Ph.D** selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran guna menyempurnakan skripsi ini.
3. Kepada **Staf Pegawai BPSI-LHK (Balai Penerapan Standar Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan) Makassar** sebagai pengelola KHDTK Borisallo tempat penelitian ini dilakukan

4. Tim Inventarisasi secara langsung dilapangan yaitu **Muhammad Fahreza, Andi Aura Nur Sabila** dan **Nurul Sakinah** yang telah membantu dan menemani pengambilan data penelitian ini.
5. Kepada **Unit Kegiatan Mahasiswa Belantara Kreatif Sylva (PC.) Universitas Hasanuddin** yang menjadi tempat penulis belajar dikampus.
6. **Nur Ashilah Dahlan** yang telah memberi semangat, inspirasi, motivasi dan membantu penulis selama perkuliahan, magang hingga pengerjaan penelitian ini.
7. **Keluarga Besar Belantara Kreatif** khususnya **Talenta 19** yang telah mengawal penulis selama mengikuti dan menyelesaikan masa pengaderean dan kepengurusan penulis.
8. Sahabat **Ramsboy** yakni **Andi Mukhtarul B., Muh. Achyar R, Muh. Rizal, Ahmad Mushawir M, Rahmat Ahmad, Abdul Hafiz, Ferdi** dan **Yosia Mantirrik** yang setia membersamai penulis, memberi masukan dan semangat, serta selalu memberikan apresiasi terbaik untuk penulis.
9. **Keluarga Besar Laboratorium Perencanaan dan Sistem Informasi Kehutanan** terkhusus teman-teman **PSIK Angkatan 2020** yang telah banyak membantu dalam proses penyusunan Skripsi.
10. **Keluarga besar IMPERIUM** yang telah memberi hiburan, semangat dan dukungan kepada penulis selama proses perkuliahan.

Penulis ucapkan terima kasih kepada diri sendiri **Muhammad Fatwa Latimbang**. Ini bukanlah akhir, melainkan ini adalah awal untuk memulai kehidupan yang lebih keras. "Ingat orang tua" dan "Aku kuat aku bisa". Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini terdapat banyak kekurangan yang perlu diperbaiki, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi piha yang membutuhkan dan khususnya untuk penulis sendiri.

Makassar, 3 Juni 2024

Penulis


Muhammad Fatwa Latimbang

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	x
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan dan Kegunaan	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Teknologi Pesawat Udara Tanpa Awak.....	5
2.1.1 Pesawat Udara Tanpa Awak	5
2.1.2 Karakteristik Foto Udara dan Sensor	6
2.1.3 Citra Foto Udara.....	8
2.1.4 Produk Citra Foto Udara	9
2.1.5 Perangkat Lunak Untuk Pengolahan Citra Foto Udara.....	10
2.2 Inventarisasi Hutan.....	11
2.2.1 Inventarisasi Hutan Secara Terestris	13
2.2.2 Inventarisasi Hutan dengan Penginderaan Jauh.....	14
2.3 <i>Eucalyptus Deglupta</i>	16
III. METODE PENELITIAN.....	17
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	17
3.2 Alat dan Bahan	18
3.3 Prosedur Penelitian	19
3.3.1 Pengumpulan Data	20
3.3.3 Inventarisasi Terestris	20
3.3.2 Inventarisasi dengan Penginderaan Jauh.....	21
3.3.4 Analisis Data	23
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1 Hasil Inventarisasi Penginderaan Jauh dan Terestris	27
4.2 Analisis Model Pendugaan Diameter Setinggi Dada (DBH).....	28

4.2.1 Persamaan Model <i>Polynomial</i>	29
4.2.2 Persamaan Model <i>Linear</i>	29
4.2.3 Persamaan Model <i>Power</i>	30
4.2.4 Persamaan Model <i>Logarithmic</i>	31
4.2.5 Persamaan Model <i>Eksponensial</i>	31
4.3 Statistik Uji Akurasi Model.....	32
4.4 Analisis Perbedaan Hasil Pengukuran	34
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	35
5.1 Kesimpulan.....	35
5.2 Saran	35
DAFTAR PUSTAKA	36
LAMPIRAN.....	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
Gambar 1.	Ilustrasi perhitungan jumlah pohon dalam petak ukur	13
Gambar 2.	Ilustrasi pengukuran diameter tajuk	15
Gambar 3.	Peta Lokasi Penelitian	17
Gambar 4.	Diagram alur pelaksanaan penelitian	19
Gambar 5.	Model <i>Polynomial</i> hubungan diameter Tajuk dengan Diameter (DBH) Pengukuran Lapangan	29
Gambar 6.	Model <i>Linear</i> hubungan diameter Tajuk dengan Diameter (DBH) Pengukuran Lapangan	30
Gambar 7.	Model <i>Power</i> hubungan diameter Tajuk dengan Diameter (DBH) Pengukuran Lapangan	30
Gambar 8.	Model <i>Logarithmic</i> hubungan diameter Tajuk dengan Diameter (DBH) Pengukuran Lapangan	31
Gambar 9.	Model <i>Logarithmic</i> hubungan diameter Tajuk dengan Diameter (DBH) Pengukuran Lapangan	32

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
Tabel 1.	Kategori UAV Internasional	7
Tabel 2.	Parameter fotometrik.....	11
Tabel 3.	Detail sebaran petak <i>Eucalyptus deglupta</i>	17
Tabel 4.	Bahan penelitian.....	18
Tabel 5.	Hasil pengukuran lapangan dan hasil dari penginderaan jauh.....	27
Tabel 6.	Model pendugaan diameter pohon dan diameter tajuk	28
Tabel 7.	Nilai-nilai statistik dari model penduga diameter	32
Tabel 8.	Pemberian skor hasil uji validasi model pendugaan diameter pohon	33
Tabel 9.	Hasil uji t seluruh parameter	34

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Inventarisasi hutan adalah kegiatan penting yang dilakukan untuk mengumpulkan data dan informasi tentang potensi kekayaan sumber daya hutan dan lingkungannya. Inventarisasi hutan di Indonesia diatur dalam Undang-Undang (UU) Nomor 41 tahun 1999 dan Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 44 tahun 2004. Proses perencanaan hutan membutuhkan beberapa aspek dan kegiatan yang bersifat holistik. Inventarisasi hutan adalah salah satu cabang ilmu kehutanan yang membahas tentang metode penaksiran potensi hutan, seperti potensi fisik terkait dengan kondisi tanah, kondisi iklim dan kondisi topografi lahan hutan, potensi hayati meliputi struktur dan komposisi vegetasi (khususnya pohon). Metode penaksiran adalah cara pengukuran sebagian atau seluruh elemen dari suatu obyek yang menjadi sasaran pengamatan untuk mengetahui sifat-sifat dari obyek yang bersangkutan (Malamassam, 2009). Inventarisasi untuk pendugaan diameter dapat dilakukan melalui pengukuran langsung (secara teristis) dengan menggunakan alat, seperti phi band atau kaliper, dan dapat pula dilakukan melalui pengideraan jauh dengan menggunakan teknologi, antara lain seperti pesawat tanpa awak atau drone.

Inventarisasi dilakukan sebagai fase pertama dalam perencanaan hutan, dan memiliki hirarki yang terdiri dari inventarisasi hutan tingkat nasional, tingkat wilayah, tingkat unit pengelolaan, dan pada areal penggunaan lain (APL) yang berhutan. Inventarisasi Hutan di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Borisallo, sejak awal, telah dilakukan oleh pihak pengelolanya, yang pada awalnya adalah pengelola industri pabrik kertas Gowa, yang ketika itu berada dalam lingkup PT Inhutani I, sejak tahun 1995. Berdasarkan SK Menhut No. 367/Menhut-II/2004, Kawasan hutan ini berubah status pengelolaan menjadi KHDTK.

Jenis yang dikembangkan di KHDTK Borisallo terdiri atas *Eucalyptus deglupta*, *Acacia mangium*, dan *Gmelina arborea*. Khusus jenis *Eucalyptus deglupta* termasuk pada kelompok kelas bonita IV (BPSILHK, 2017 dalam

Master Plan KHDTK, 2005). Jenis *Eucalyptus deglupta* merupakan penyusun tegakan utama di KHDTK Borisallo yang berfungsi sebagai tanaman pokok ditanam pada tahun 1989 dan saat ini berumur kurang lebih 30 tahun (Abdul Kadir, 2011). Jenis *Eucalyptus* merupakan spesies cepat tumbuh yang dikembangkan di hutan tanaman industri sebagai bahan baku pembuatan pulp dan kertas (Salim et al., 2022).

KHDTK Borisallo merupakan penerapan Kelola sumber daya hutan oleh Balai Penerapan Standar Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan (BPSILHK) Makassar. Berdasarkan peruntukannya KHDTK Borisallo merupakan Hutan Produksi dan tegakan hutan tanaman (BPSILHK, 2017 dalam Master Plan KHDTK, 2005), yang diperuntukkan bagi kepentingan penelitian dan pengembangan, pendidikan dan pelatihan kehutanan serta religi dan budaya. Berdasarkan status penunjukan terbaru (SK No.8021/MENLHK-PKTL/KUH/PLA.2/ 12/2021), KHDTK Borisallo berlokasi di Sulawesi Selatan, Kabupaten Gowa, Kecamatan Parangloe, Kelurahan Bontoparang, dengan luas 141,66 ha. Proses inventarisasi di KHDTK Borisallo pernah dilakukan secara konvensional dengan metode inventarisasi hutan secara terestris (secara langsung di lapangan).

Inventarisasi hutan secara terestris memiliki tingkat akurasi yang tinggi namun memerlukan waktu, biaya, dan tenaga kerja yang banyak agar pelaksanaan di lapangan dapat berjalan dengan baik serta pada luasan yang cukup besar cenderung mempunyai kesalahan yang lebih besar yang di sebabkan 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. Menurut Bennett et al (2020) 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 (Islami et al., 2021). Dalam

inventarisasi hutan, tinggi (H) dan diameter setinggi dada (DBH) pohon merupakan variabel yang penting untuk diketahui. Kendalanya beberapa parameter penting tidak terlihat pada foto udara seperti diameter batang setinggi dada sehingga tidak bisa diukur secara langsung. Pendugaan DBH berdasarkan informasi tajuk pohon dapat menggunakan beberapa persamaan model regresi matematika (Hematang et al., 2021).

Penelitian memanfaatkan citra dan sensor pada pesawat tanpa awak yang digunakan untuk inventarisasi hutan dengan penginderaan jauh terkhusus tegakan sejenis *Eucalyptus deglupta*. Penggunaan penginderaan jarak jauh tentunya lebih memudahkan untuk mendapatkan data parameter tinggi dan diameter batang untuk menghitung estimasi volume tegakan. Untuk mendapatkan data tersebut maka perlu dicari korelasi dengan parameter yang dapat diukur langsung lewat citra seperti diameter tajuk pohon (Mohta and Ikhwan, 2024). Implikasi keberadaan KHDTK Borisallo menarik untuk dikaji guna melihat apakah estimasi tinggi, diameter, dan volume tegakan sejenis *Eucalyptus deglupta* dengan metode inventarisasi penginderaan jauh dan inventarisasi terestris memiliki perbandingan nilai yang signifikan di hutan tanaman. Berdasarkan uraian tersebut, dalam penelitian ini penulis mengangkat judul **“Inventarisasi Volume Tegakan *Eucalyptus Deglupta* (Pemanfaatan Teknologi Penginderaan Jauh Pesawat Udara Tanpa Awak)”**

1.2 Tujuan dan Kegunaan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui model regresi terbaik untuk pendugaan hubungan antara diameter pohon setinggi dada (DBH) jenis *Eucalyptus deglupta* hasil pengukuran secara teristis dengan diameter tajuknya hasil penginderaan jauh (melalui pemanfaatan pesawat tanpa awak) ;
2. Membandingkan tinggi pohon (H) jenis *Eucalyptus deglupta* hasil pengukuran secara teristis dengan tinggi pohon hasil penginderaan jauh;
3. Memvalidasi hasil inventarisasi volume tegakan jenis *Eucalyptus deglupta* berbasis penginderaan jauh dengan volume tegakan berdasarkan hasil inventarisasi teristis ; di KHDTK Borisallo.

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan yang bermanfaat dalam mendukung peningkatan efisiensi kegiatan inventarisasi hutan dan keakuratan dalam menafsir nilai volume tegakan jenis *Eucalyptus deglupta* dalam proses inventarisasi yang diterapkan di KHDTK Borisallo, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teknologi Pesawat Udara Tanpa Awak

2.1.1 Pesawat Udara Tanpa Awak

Pesawat udara tanpa awak atau biasa disebut (*Drone*) adalah pesawat yang dioperasikan dari jauh menggunakan sistem komputer juga dapat dioperasikan secara manual oleh manusia (Nagendra, 2016). Sistem pesawat tanpa awak mempunyai bagian seperti komponen pesawat, muatan sensor, dan stasiun kontrol darat. Hal ini dapat dikontrol dengan peralatan elektronik *onboard* atau melalui peralatan kontrol dari tanah yang dikendalikan dari jarak jauh disebut RPV (*Remotely Piloted Vehicle*) atau kendaraan yang dikemudikan dari jarak jauh. Sistem kontrol khusus dapat dikhususkan untuk *Drone* besar dan dapat dipasang di atas kendaraan atau trailer untuk memungkinkan jarak yang dekat dengan *Drone* yang dibatasi oleh jangkauan atau kemampuan komunikasi (Narayanan, R. G. L., & Ibe, 2015).

Berdasarkan klasifikasi *drone* menurut Bahar (2016) atas dasar sayapnya dibagi menjadi dua, yaitu *multicopter* dan *fixed wing*. *Fixed wing* memiliki bentuk seperti pesawat terbang biasa yang dilengkapi sistem sayap. Sedangkan *multicopter* yaitu jenis *drone* yang memanfaatkan putaran baling-baling untuk terbang. *Multicopter* dibagi lagi menjadi dua yaitu *single rotor* dan *multi-rotor*. Tipe *single-rotor* berbentuk seperti helikopter menggunakan baling-baling tunggal, sedangkan *multi-rotor* menggunakan 3 sampai 8 baling (Bahar, 2016).

Dalam kongres ISPRS (*International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*), *Drone* memberikan platform baru dan terkendali untuk proses akuisisi data tanpa menimbulkan dampak berbahaya ataupun kerusakan lingkungan. Disebutkan juga bahwa *Drone* dapat melewati daerah berbahaya seperti aktivitas vulkanik gunung berapi, tumpahan racun dan tebing yang curam. Pesawat udara tanpa awak yang mengeluarkan biaya operasional yang rendah serta kemampuan terbang yang fleksibel ini dapat memberikan data dengan cepat dan dapat memperbarui data secara real time tanpa menunggu jangka waktu panjang seperti citra satelit (Mohammad Basyuni et al., 2021).

2.1.2 Karakteristik Foto Udara dan Sensor

Karakteristik foto udara dan sensor sangat penting dalam pemetaan, yang tergantung pada jenis drone. Ada beberapa jenis drone yang mumpuni dalam pemetaan yakni DJI Mavic 2 pro, DJI Mavic 2 Zoom, DJI Mavic Air 2, DJI Phantom 4 RTK, DJI Mavic 3 Cine Premium Combo, dan DJI Mavic 2 Enterprise (Doran Gadget, 2020). Dalam menentukan volume pohon, *drone* mempunyai sejumlah karakteristik khusus dan perangkat tambahan. Karakteristik utama yang harus dimiliki oleh drone untuk menentukan volume pohon adalah sebagai berikut:

1. Kamera yang berkualitas tinggi

Untuk pemetaan, kualitas foto tentunya harus mumpuni agar menghasilkan foto yang bagus. Dengan foto yang bagus, proses interpretasi foto akan lebih mudah. Disarankan memilih *drone* dengan kualitas kamera minimal 20 MP. Dengan kamera 20 MP gambar sudah memiliki kualitas yang lumayan bagus. Semakin tinggi kualitas kameranya, maka gambarnya juga akan semakin bagus. Saat ini drone dengan kamera 20 MP saat ini sudah semakin mudah ditemui (Doran Gadget, 2020).

2. GPS (*Global Positioning System*) untuk Pemetaan

Drone harus memiliki sistem GPS (*Global Positioning System*) yang akurat dan dapat diandalkan. Ini memungkinkan drone untuk menentukan posisinya dengan tepat, yang diperlukan untuk pemetaan presisi. Agar peningkatan kualitas (presisi, akurasi) posisi *Ground Control Point* (GCP) juga dapat dilakukan. GCP adalah suatu titik ikat. lapangan yang mengarahkan citra pada lokasi sebenarnya di lapangan. Penggunaan perangkat pemetaan seperti GPS RTK (*Real-Time Kinematic*) dapat meningkatkan akurasi posisi. *Drone* dilengkapi sistem pengendali terbang melalui gelombang, navigasi presisi GPS, dan elektronik kontrol penerbangan sehingga mampu terbang sesuai perencanaan terbang (*autopilot*). *Drone* ini memungkinkan dilakukannya pelacakan posisi dan orientasi dari sensor yang diimplementasikan dalam sistem koordinat global (Eisenbeiß et al., 2009). g

3. Sensor Drone

Sensor LIDAR atau RGB-D untuk mengukur volume pohon, *drone*

mungkin perlu dilengkapi dengan sensor LIDAR atau sensor RGB-D (*Red-Green-Blue Depth*) dapat mengukur jarak dan membuat model 3D pohon. Sensor Lidar sangat baik untuk pengukuran presisi tinggi, sementara sensor RGB-D dapat memberikan estimasi yang cukup baik dalam situasi tertentu. Walaupun tidak menggunakan sensor Lidar type drone biasa dapat mengukur tinggi obyek dengan pemrosesan citra foto udara. Mavic 2 Pro kemampuan untuk mengukur ketinggian dengan sangat akurat menggunakan sensor ultrasonik digunakan untuk mengukur ketinggian saat drone berada di dekat tanah, sensor visual membantu menentukan ketinggian dan posisi relatif terhadap permukaan tanah atau objek di bawahnya, dan infrared sensing system mendeteksi jarak ke objek di sekitar drone, termasuk di bawahnya yang memastikan penerbangan yang stabil serta aman dalam berbagai kondisi. (Geotech, 2023).

4. Sertifikasi dan Peraturan

Pastikan drone Anda mematuhi semua peraturan dan persyaratan hukum terkait penggunaan drone di wilayah Anda. Ini termasuk lisensi operator drone jika diperlukan. Pada kutipan Ahmad (2011) yakni klasifikasi drone secara internasional dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Kategori UAV Internasional

No	Kategori	Berat (Kg)	Jangkauan (Km)	Tinggi terbang (m)	Daya tahan (jam)
1	Mikro	<5	<10	250	1
2	Mini	<250/30/150	<10	150/250/300	<2
3	Jangkauan sempit	25-150	10-30	3000	2-4
4	Jangkauan	50-250	30-70	3000	3-6
5	Jangkauan jauh	>250	>70	>3000	>6

(Sumber : Ahmad, 2011)

Peraturan Menteri No 37 Tahun 2020 Saat ini regulasi penerbangan bukan hanya mengatur penerbangan angkutan udara tetapi juga pengoperasian terhadap sistem pesawat udara tanpa awak/drone. Peraturan Menteri Perhubungan No. 37 Tahun 2020 yang menggantikan Peraturan Menteri Perhubungan No. 47 Tahun 2016 & No. 180 Tahun 2015. Regulasi Drone: PM 37/2020 ini merupakan peraturan terbaru yang menggantikan aturan sebelumnya.

Menurut menteri perhubungan, pengguna drone perlu mengetahui dengan baik regulasi karena tujuan penggunaannya yang mulai beragam. Pengoperasian *drone* di ruang udara terbuka pengoperasian di Wilayah udara terkendali harus atas persetujuan Direktur Jenderal. Pengoperasian di Wilayah udara yang tidak terkendali dengan ketinggian lebih dari 400 kaki (120 meter) sebelumnya 500 kaki (150 meter) harus atas persetujuan Direktur Jenderal. Pengoperasian di Wilayah udara yang tidak terkendali dan tidak memerlukan persetujuan (SIAR, 2023). Ada beberapa hal-hal harus diperhatikan sebelum melakukan pengambilan data menggunakan *drone* di lokasi yang akan dipetakan adalah menginformasikan dan mendapatkan izin dari orang sekitar terkait aktivitas yang akan dilakukan. Selanjutnya pemeriksaan kondisi lokasi dan memastikan selama proses pengambilan data foto udara cuaca dalam keadaan cerah, tidak panas terik, tidak mendung maupun hujan dan angin kencang (Dewi, 2020).

2.1.3 Citra Foto Udara

Citra fotografi ini diperoleh dengan mengambil gambar dengan *drone* (atau alat transportasi), biasanya balon udara, pesawat terbang, pesawat layang gantung, pesawat ultralight, dan kendaraan udara tanpa awak. Visualisasi ini dilakukan dengan menentukan objek visualisasi (juga sesuai dengan tujuan pemetaan), menentukan lintasan, dan menentukan arah penerbangan. Fotografi udara dapat dilakukan dengan menggunakan kamera udara dan pesawat terbang (Yanuar and Wicaksono, 2009).

Penentuan jalur terbang mempertimbangkan efektivitas terbang wahana dalam menghadapi arah dan kecepatan angin dengan berbagai parameter terbang, seperti tinggi terbang, besar areal foto udara, dan jarak tempuh wahana dengan penentuan jalur terbang (Suharyadi and Nurteisa, 2017). Ketinggian pesawat dari permukaan tanah pada saat fotografi juga mempengaruhi skala gambar udara yang dihasilkan. Semakin tinggi pesawat, semakin kecil skala foto udara, semakin luas cakupannya, namun objek yang ditampilkan kurang detail. Dan jika memotret pada ketinggian sedang, hasil foto udaranya cukup luas dan tampilan objeknya juga cukup detail. Namun dijelaskan kembali bahwa foto udara ini diambil dan diadaptasi untuk fotografi dan pemetaan.

Detail tidaknya gambar juga dipengaruhi oleh area yang bertampalan

overlap merupakan daerah antara foto satu dengan foto yang lainnya sesuai dengan nomor urutan jalur terbang. Besarnya tampalan antar foto tersebut umumnya sebesar 60%. Misalnya foto X1 memiliki informasi yang sama dengan foto X2 sebesar 60%. Tujuan dari tampalan ini adalah untuk menghindari daerah yang kosong disaat perekaman dikarenakan wahana pesawat terbang melaju dengan kecepatan yang tinggi, semakin besar presentasi pertampalan *overlap* maka daerah yang kosong akan semakin kecil (Eisenbeiß et al., 2009).

Dalam pengambilan citra udara menggunakan drone, hasil foto udara 2D dan 3D untuk pohon dapat diperoleh dengan menggunakan teknik fotogrametri dan *software* aplikasi seperti *DroneDeploy*, *Pix4D*, *Agisoft Metashape*, dan lainnya. Hasil foto udara 2D dan 3D untuk pohon dapat digunakan untuk berbagai tujuan, seperti pemetaan wilayah, pemantauan lingkungan, pengelolaan sumber daya alam, dan lainnya. Dalam beberapa penelitian, hasil foto udara 2D dan 3D digunakan untuk membuat model 2D atau 3D dari pohon dan mengukur tinggi pohon. Identifikasi dan pemantauan bencana alam foto udara dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan memantau bencana alam, seperti banjir, tanah longsor, dan kebakaran hutan pemantauan infrastruktur foto udara dapat digunakan untuk pemantauan infrastruktur, seperti pemantauan jalan, jembatan, dan bangunan public (Neritarani and Suharyadi, 2013).

2.1.4 Produk Citra Foto Udara

Citra foto udara memiliki peran penting dalam bidang kehutanan antara lain dikarenakan dapat dipakai untuk mendasari pendugaan jumlah, tinggi, diameter, dan volume pohon. Penggunaan citra foto udara dilakukan melalui beberapa proses digitasi di computer. Berikut ini beberapa produk digitasi yang dihasilkan dari citra foto udara :

- a. *Digital Elevation Model* (DEM) merupakan model digital yang memberikan informasi bentuk permukaan (topografi) dalam bentuk data raster, vektor atau format data lainnya (Trisakti, 2010). DEM mencakup data informasi ketinggian dan kemiringan yang mempermudah interpretasi (Setianto, 2013).
- b. *Digital Surface Model* (DSM) merupakan model permukaan bumi digital yang menyajikan ketinggian medan bumi termasuk ketinggian objek di atasnya seperti vegetasi dan bangunan. Perolehan data DSM dapat dilakukan dengan

teknologi radar. Teknik INSAR memanfaatkan informasi beda fasa dari dua citra SAR (*Synthetic Aperture Radar*) yang direkam pada posisi yang berbeda (Azkiya and Jatmiko., 2015).

- c. *Digital Terrain Model* (DTM) merupakan salah satu output dalam pemetaan rupabumi Indonesia (RBI) yang dibentuk dari unsur-unsur hipsografi seperti masspoint, garis punggung bukit dan perairan. Unsur-unsur tersebut dibentuk menggunakan teknik fotogrametri menggunakan stereo image, dimana pada skala besar umumnya menggunakan foto udara, sedangkan pada skala menengah digunakan data citra (radar dan optis). Proses interpolasi dilakukan untuk menghasilkan DTM dari titik-titik yang mempunyai informasi ketinggian (Setianto, 2013).

2.1.5 Perangkat Lunak Untuk Pengolahan Citra Foto Udara

Pengolahan citra foto udara mengalami perkembangan meliputi alat atau instrumen pengambilan data dan juga proses pengolahan data dengan menggunakan perangkat lunak komputer. Foto kualitas tinggi merupakan salah satu faktor signifikan untuk efisiensi dan standar kualitas produk pemetaan seperti *Digital Elevation Model* dan Orthofoto. Pemanfaatan serta pengolahan data foto udara semakin luas dengan dukungan berbagai *software* yang memadai (Hamur et al., 2019).

Menurut Nyimbili (2016) dalam pengolahan citra foto udara di bagi menjadi dua yaitu sebagai berikut :

- a. Perangkat lunak SfM yaitu Agisoft Metashape, PIC Geomatica, Pix4D Mapper, Drone Deploy, dan Colmap. Hasil dari perangkat lunak SfM.
- b. Perangkat lunak berbasis GIS untuk kepentingan analisis data seperti pendugaan jumlah tegakan, tinggi tanaman, diameter tanaman, serta volume tanaman. Berikut ini beberapa perangkat lunak berbasis GIS yang dapat digunakan adalah ArcGis, Quantum GIS (QGIS), OrbisGIS, SAGA GIS, GRASS GIS, dan E-Cognition.

Peraturan parameter *Agisoft Metashape* dapat dilihat pada Tabel 2.

Pengolahan citra foto udara dapat menghasilkan data tinggi, diameter, dan volume pohon. Menurut Neritarani (2013) pengukuran tinggi pohon menggunakan foto udara dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode

dan rumus yang berbeda. Dalam metode fotogrametri, foto udara dan citra satelit diolah dan dianalisis untuk mengukur tinggi pohon dengan memanfaatkan perbandingan antara ukuran hutan pada citra dengan ukuran sebenarnya di lapangan.

Tabel 2. Parameter fotometrik (Tomaščík et al., 2017)

Proses (Processing)	Parameter (Parameters)	Pengaturan (Settings)
<i>Align Photo</i>	<i>Accuracy Pair Selection Key Point Limit Tie Point</i>	<i>High Disabled 40.000 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 Projection</i>	<i>Dense Cloud Enabled WGS 84/UTM Zone 50</i>
<i>Build Ortomosaic</i>	<i>Surface Blending Mode Color Correction Projection</i>	<i>Dem Mosaic Yes WGS 84/UTM Zone 50</i>

Setelah itu, data dari perangkat *software* yaitu Agisoft Metashape professional diolah dengan menggunakan perangkat lunak *Structure from Motion* (SfM) dengan menyusun beberapa gambar 2D sehingga membentuk model tiga dimensi (3D). Proses kedua yaitu menganalisis gambar menggunakan perangkat lunak *Geographic Information System* (GIS), *E-Cognition* dan PCI Geomatica untuk menghasilkan data estimasi jumlah tegakan, tinggi tanaman, diameter tanaman serta beberapa data inventarisasi hutan lainnya yang diperlukan.

2.2 Inventarisasi Hutan

Inventarisasi Hutan adalah kegiatan untuk mengumpulkan data dan informasi mengenai potensi, karakteristik, bentang alam, dan informasi lainnya mengenai suatu wilayah yang bertujuan untuk mengetahui dan memperoleh data serta informasi mengenai potensi, struktur, dan komposisi jenis tegakan hutan. Untuk tanaman kelas umur $\geq V$ serta hutan tanaman miskin riap digunakan plot

contoh berbentuk lingkaran luas 0,10 ha (jari-jari lingkaran 17,84 m) atau plot contoh berbentuk 10-contoh pohon (*10-tree sampling*). Tujuan dari inventarisasi hutan adalah untuk menyediakan dasar data yang akurat dan terpercaya dalam penyusunan rencana pengelolaan hutan. Data yang diperoleh dari inventarisasi hutan dapat digunakan untuk analisis potensi, pengambilan keputusan, dan perencanaan pengelolaan hutan (Tigor Butarbutar et al., 2009).

Sebagaimana telah diuraikan (Jaya et al., 2010). secara teknis pendugaan sediaan tegakan dapat dilakukan dengan salah satu dari ketiga metode berikut yaitu metode terestris, metode penginderaan jauh, dan kombinasi antara metode terestris dan metode penginderaan jauh. Setiap metode memiliki beberapa kelebihan dan keterbatasan. Metode terestrial biasanya memberikan hasil yang relatif lebih komprehensif dan akurat dibandingkan metode lainnya. Namun untuk cakupan wilayah yang lebih luas, metode terestrial ini umumnya tidak efektif karena adanya kesalahan pengukuran baik akibat metode pengukuran (*measurement error*) maupun pengukuran yang relatif lebih besar (*human error*). Di sisi lain, metode penginderaan jauh biasanya menawarkan keuntungan biaya karena relatif lebih murah dibandingkan metode darat dan cocok untuk wilayah yang relatif luas. Namun keakuratan metode didasarkan pada teknik ini umumnya relatif rendah.

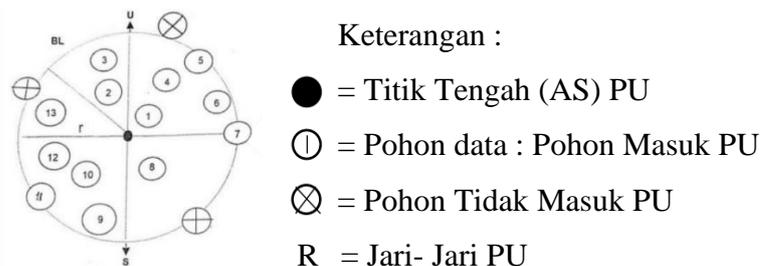
Mengingat kelebihan dan keterbatasan kedua metode tersebut di atas, maka metode inventarisasi hutan yang menggabungkan metode pemantauan jarak jauh dan survei lapangan salah satu alternatif untuk memperoleh informasi yang relatif lebih akurat sekaligus mengurangi biaya dan cocok untuk wilayah yang relatif luas. Metode kombinasi digunakan secara lebih luas untuk menghemat biaya, namun tidak mengurangi akurasi yang diharapkan. Untuk inventarisasi hutan yang tidak tersedia informasi potensi secara lengkap dan rinci, pengambilan sampel ganda (*double sampling* atau *two stage sampling*) sangat efektif. (Sudjiatmiko, 1998). Dalam hal ini pengambilan sampel yang dilakukan berdasarkan pemilihan lokasi yang sesuai dengan ciri-ciri spesifik dan karakteristik tertentu secara *purposive*. Sampel yang *purposive* adalah sampel yang dipilih secara cermat sehingga relevan dengan penelitian (Nasution, 1995). yang relevan dengan kebutuhan dari penelitian tersebut dilakukan (Djarwanto, P. S., & Pangestu,

1998). Semakin kecil unit contoh yang dipakai/diambil maka kesalahan samplingnya semakin besar.

2.2.1 Inventarisasi Hutan Secara Terestris

Metode inventarisasi hutan secara terestris (*terrestrial forest inventory*) merupakan kegiatan pengukuran dan mengamati langsung yang dilakukan di lapangan (*direct forest inventory*). Metode terestris cocok untuk areal yang relatif kecil (*small areas*), obyek dapat dilihat dan diamati secara langsung sehingga hasil penaksiran lebih akurat. Sedang kekurangan tidak disarankan penggunaan diareal luasan yang besar (*large areas*) karena memerlukan waktu, dana, dan tenaga yang besar. Selain itu, dapat terjadi beberapa macam kesalahan disebabkan *non sampling error* seperti *human error* yang di akibat karena kelelahan tenaga (Jaya et al., 2010).

Proses inventarisasi terestris dalam petak ukur (PU) dimulai dari titik tengah PU, selanjutnya berputar searah jarum jam di mulai dari barat laut yang ditandai dengan penomoran pohon yang ditempel pada pohon sebagai penanda yang telah di inventarisasi. Untuk pohon terakhir diberi tanda lingkaran dan akan selalu tampak dekat dengan nomor pertama. Pohon yang dihitung dalam radius PU adalah pohon yang yang terdapat dalam jangkauan petak ukur. Pohon dihitung masuk dalam PU apabila lebih dari setengah diameter pohon masuk dalam jari-jari PU.



Gambar 1. Ilustrasi perhitungan jumlah pohon dalam petak ukur (Panduan Teknis Inventarisasi Hutan Perum Perhutani, 2022).

Cara pengukuran keliling pohon diukur pada ketinggian 1,30 m dengan pita ukur atau roll meter data ditulis pada pohon dengan menggunakan spidol pada label dengan ukuran 5x5 cm pada ketinggian 1,30 m serta dituliskan pula pada tally sheet inventarisasi. Untuk memudahkan dalam pelaksanaan mengukur keliling pohon digunakan tongkat setinggi 130 cm sebagai alat bantu. Pemberian

nomor pada pohon dimulai dari pohon data sebagai pohon nomor 1 kemudian pohon nomor 2 dimulai dari barat laut dan seterusnya searah jarum jam.

2.2.2 Inventarisasi Hutan dengan Penginderaan Jauh

Metode inventarisasi hutan menggunakan penginderaan jauh merupakan suatu kegiatan pengukuran dan pengamatan dilakukan secara tidak langsung (*indirect forest inventory*) dengan menggunakan bantuan sarana berupa citra foto udara (Jaya et al., 2010). Metode inventarisasi hutan dengan penginderaan jauh dimulai dari pengolahan citra foto udara yang umumnya dilakukan menggunakan perangkat lunak khusus seperti Agisoft Metashape. Perangkat lunak ini menggunakan metode *Structure from Motion* (SfM) untuk melakukan ekstraksi fitur titik dari dalam file gambar dan mencocokkan fitur titik tersebut untuk menyusun gambar dan objek direkonstruksi dari fitur titik dan posisi kamera (Hematang et al., 2021).

Hematang (2021) dengan menggunakan metode pengolahan citra foto udara, dapat dilakukan estimasi diameter setinggi dada (DBH) pohon dan tinggi tanaman, dengan metode pengolahan citra foto udara menggunakan UAV dan perangkat lunak seperti Agisoft Metashape memiliki banyak manfaat, seperti mengurangi biaya, waktu, memiliki resolusi tinggi, mudah digunakan dalam waktu dan tempat yang dinamis untuk menduga diameter setinggi dada (DBH) pohon, melakukan pendugaan biomasa, dan ekstraksi informasi tajuk pohon dan tinggi pohon. Dalam pengolahan citra foto udara, terdapat beberapa parameter yang perlu diatur, seperti akurasi *align photo*, batasan jumlah titik kunci (*key point limit*), jumlah titik ikat (*tie point*), kualitas *dense cloud*, dan lain-lain. Pengaturan parameter ini dapat disesuaikan dengan kebutuhan analisis dan karakteristik foto udara yang digunakan.

Dalam pengolahan citra foto udara, terdapat beberapa parameter yang perlu diatur, seperti akurasi *align photo*, batasan jumlah titik kunci (*key point limit*), jumlah titik ikat (*tie point*), kualitas *dense cloud*, dan lain-lain. Pengaturan parameter ini dapat disesuaikan dengan kebutuhan analisis dan karakteristik foto udara yang digunakan. Dimensi tajuk pohon sebagai variabel dalam pendugaan 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). Untuk membuat model diameter tajuk bisa dengan membuat model regresi berikut adalah model regresi yang dapat digunakan (Wahyuni et al., 2016).

Model Linear : $D = b_0 + b_1X$

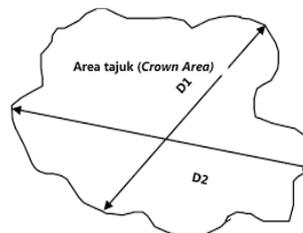
Model Power : $D = b_0X^{b_1}$ atau $\log D = b_0' + b_1 \log X$

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

Model Polynomial : $D = b_0X^2 + b_1X + b_2X_2 + b_2X^2 + \dots + b_k X^k$

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

Dimana D adalah diameter pohon setinggi dada (cm), X adalah variabel pengukuran dari UAV, bisa berupa diameter tajuk (m) atau luas tajuk (m²), serta b₀ dan b₁ adalah konstanta. Hardjana (2013) juga menyatakan bahwa model hubungan antara tinggi dan diameter tajuk dengan diameter setinggi dada pada tegakan terdapat hubungan yang sangat erat dan berbanding lurus antara diameter pohon dengan diameter tajuk. Hal ini dapat dilakukan dengan segmentasi tajuk kemudian digunakan untuk menentukan lebar dan luas area tajuk ditentukan diameter tajuk dengan rumus rata-rata diameter horizontal dan diameter vertikal. Ilustrasi pengukuran dan perhitungan diameter tajuk disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi pengukuran diameter tajuk

(Sumber: Hématang et al., 2021)

Pendugaan untuk melihat tinggi tegakan pohon digunakan CHM (*Canopy Height Model*), yang merepresentasikan perbedaan antara topografi bagian atas kanopi dan topografi tanah di bawahnya, yaitu. mengurangi DSM dari DTM. Popescu (2007) menyatakan bahwa CHM dapat digambarkan sebagai permukaan 3D yang berisi semua informasi yang diperlukan tentang ketinggian vegetasi di atas permukaan tanah. Tinggi pohon merupakan nilai yang menunjukkan ketidakpastian dalam pengukuran tinggi pohon dan cara mencari nilai deviasi membandingkan tinggi objek dapat dilakukan menggunakan rumus standar deviasi atau uji t (Uji Parsial) dengan *software Statistical Package for the Sosial*

Sainces (SPSS) (Riska, Widhanarto and Hardiansyah, 2022). Uji t dilakukan pada diameter, tinggi, dan volume pohon untuk membandingkan hasil pengukuran yang dilaksanakan. Uji t digunakan dalam membuat kesimpulan ada atau tidaknya perbedaan yang signifikan pada hasil pengukuran dari kedua metode yang dilaksanakan (Riska, Widhanarto and Hardiansyah, 2022).

2.3 *Eucalyptus Deglupta*

Eucalyptus deglupta memiliki sebaran alami dari Sulawesi (Indonesia) dan Mindanao (Filipina) ke arah timur hingga New Britain (Papua Nugini). Tanaman ini adalah salah satu dari sedikit spesies *Eucalyptus* yang tidak ada di Australia. Hal ini banyak ditanam di seluruh daerah tropis lembap, di mana tanaman ini adalah salah satu *eukaliptus* yang paling penting. *Eucalyptus deglupta* adalah pohon perkebunan utama untuk produksi pulp, baik kayu maupun kulit kayu merupakan sumber pulp yang baik. *Eucalyptus sp* merupakan jenis tanaman unggulan Hutan Tanaman Industri (HTI). Jenis pohon *eucalyptus sp* banyak dimanfaatkan kayunya sebagai bahan baku kertas sehingga menghasilkan limbah berupa daun dan kulit (Anggraeni, 2020).

Tinggi pohon *Eucalyptus deglupta* di Sulawesi bervariasi, namun umumnya pohon ini tumbuh dengan tinggi 25-60 meter (Stuartxchange, 2018). Pendugaan diameter DBH (*Diameter bright High*) dan diameter tajuk pada pohon *Eucalyptus* menggunakan pesawat tanpa awak dapat dilakukan (Mohta and Ikhwan, 2024). Pada *eucalyptus sp* tempat tumbuh dan lingkungannya menyebabkan bentuk batang pohon (angka bentuk = f) bervariasi dari suatu kondisi tempat tumbuh dengan kondisi tempat tumbuh yang berbeda. Padahal selama ini, jenis pohon yang belum diketahui angka bentuk batangnya selalu menggunakan besaran angka bentuk umum (F) = 0,7 untuk menaksir volume pohon berdiri. Menurut Darwo (2015) menunjukkan bahwa angka bentuk pohon *eucalyptus sp* tidak bisa menggunakan 0,70 dan angka bentuk pohon yang tepat adalah $f = (0,40)$. Jika menggunakan angka bentuk 0,70 untuk menduga volume pohon *eucalyptus* berdiri sampai tinggi pohon di bawah pangkal tajuk menghasilkan dugaan yang *overestimate* (lebih dari volume sebenarnya). Maka rata-rata angka bentuk batang kayu dengan menggunakan $f = (0,40)$ hal ini berlaku pada jenis tegakan *Eucalyptus deglupta* (Darwo, 2015).