

INVENTARISASI HUTAN ERA DIGITAL

LANDASAN ILMIAH, TEKNIK TERAPAN,
DAN INOVASI TEKNOLOGI



Andi Nurul Mukhlisa
Adelia Juli Kardika
Anugrahandini Nasir
Hanifah Ikhsani

INVENTARISASI HUTAN ERA DIGITAL : LANDASAN ILMIAH, TEKNIK TERAPAN, DAN INOVASI TEKNOLOGI

**Andi Nurul Mukhlisa
Adelia Juli Kardika
Anugrahandini Nasir
Hanifah Ikhsani**



CV HEI PUBLISHING INDONESIA

INVENTARISASI HUTAN ERA DIGITAL : LANDASAN ILMIAH, TEKNIK TERAPAN, DAN INOVASI TEKNOLOGI

Penulis:

Andi Nurul Mukhlisa
Adelia Juli Kardika
Anugrahandini Nasir
Hanifah Ikhsani

ISBN : 978-634-7310-39-2

Editor : Purnama Wirawan, S.Si, M.Si

Penyunting : Tri Putri Wahyuni, S.Pd

Desain Sampul dan Tata Letak : Namira Ummi Khalsum. YB, S.Psi

Penerbit : CV HEI PUBLISHING INDONESIA

Nomor IKAPI 043/SBA/2023

Redaksi :

Jl. Air Paku No.29 RSUD Rasidin, Kel. Sungai Sapih, Kec Kuranji
Kota Padang Sumatera Barat
Website : www.HeiPublishing.id
Email : heipublishing.id@gmail.com

Cetakan pertama, Agustus 2025

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah subhanahu wa'taala atas rahmat dan karunia-Nya sehingga buku "Inventarisasi Hutan Era Digital : Landasan Ilmiah, Teknik Terapan, dan Inovasi Teknologi", dapat terselesaikan dengan baik. Buku ini berisikan tentang Pengenalan dan Konsep Inventarisasi Sumber Daya Hutan, Metode, alat dan teknologi dalam Inventarisasi Sumber Daya Hutan, Teknik Pengumpulan Data dalam Inventarisasi Sumber daya Hutan, Aplikasi Inventarisasi dalam Pengelolaan Hutan serta Tantangan dan Prospek Inventarisasi Sumber Daya Hutan di Masa Depan.

Semoga buku ini dapat menjadi referensi yang bermanfaat bagi mahasiswa, dosen, dan para profesional di bidang Inventarisasi Sumberdaya Hutan, serta siapa saja yang tertarik mempelajari Inventarisasi Sumberdaya Hutan. Terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan buku ini, Harapan terbesar buku ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi positif dalam perkembangan ilmu pengetahuan. Selamat membaca dan semoga bermanfaat.

Padang, Agustus 2025

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
BAB 1 PENGENALAN DAN KONSEP	
INVENTARISASI SUMBER DAYA HUTAN	1
1.1 Latar Belakang: Definisi, Peran, dan Signifikansi Inventarisasi Sumber Daya Hutan (ISDH).....	1
1.1.1 Definisi Inventarisasi Sumber Daya Hutan (ISDH)	3
1.1.2 Peran Strategis Inventarisasi Sumber Daya Hutan (ISDH).....	5
1.1.3 Signifikansi dalam Konteks Global	7
1.2 Tujuan dan Ruang Lingkup Inventarisasi Sumber Daya Hutan (ISDH).....	9
1.2.1 Hierarki Tujuan Inventarisasi.....	9
1.2.2 Penentuan Ruang Lingkup (Skala).....	11
1.3 Prinsip dan Konsep Fundamental dalam Inventarisasi Sumber Daya Hutan (ISDH).....	13
1.4 Klasifikasi Inventarisasi Sumber Daya Hutan (ISDH)	15
1.5 Kerangka Kerja dan Etika dalam Pelaksanaan Inventarisasi Sumber Daya Hutan (ISDH).....	18
DAFTAR PUSTAKA	21
BAB 2 METODE, ALAT DAN TEKNOLOGI DALAM	
INVENTARISASI SUMBER DAYA HUTAN	23
2.1 Metode Pengukuran Hutan	23
2.1.1 Pengukuran Pohon.....	29
2.2 Alat Inventarisasi Hutan	38
2.3 Teknologi Inventarisasi Hutan	44

2.3.1 Teknik Inventarisasi Hutan Secara Terrestrial.....	44
2.3.2 Teknik Inventarisasi Hutan dengan memanfaatkan Teknologi Penginderaan Jauh (<i>Remote Sensing</i>)	92
2.3.3 Teknik Inventarisasi Hutan dengan Pemodelan (<i>Modeling</i>)	93
DAFTAR PUSTAKA.....	95
BAB 3 PERALATAN DAN TEKNOLOGI DALAM INVENTARISASI SUMBER DAYA HUTAN	99
3.1 Peralatan Pengukuran Hutan.....	99
3.1.1 Alat Pengukur Diameter dan Tinggi Pohon...	99
3.1.2 Alat untuk Pengukuran Volume dan Biomassa	106
3.2 Teknologi Remote Sensing.....	109
3.2.1 Satelit dan Citra Penginderaan Jauh.....	110
3.2.2 Drone dalam Inventarisasi Hutan	112
3.3 Sistem Informasi Geografis (SIG).....	114
3.3.1 Konsep Dasar SIG	114
3.3.2 Implementasi SIG dalam Inventarisasi Hutan	115
DAFTAR PUSTAKA.....	118
BAB 4 APLIKASI INVENTARISASI DALAM PENGELOLAAN HUTAN SERTA TANTANGAN DAN PROSPEK INVENTARISASI SUMBER DAYA HUTAN DI MASA DEPAN.....	119
4.1 Peran Kunci Inventarisasi dalam Pengelolaan Hutan.....	119
4.2 Aplikasi Inventarisasi dalam Pengelolaan Hutan.	121
4.2.1 Perencanaan dan Pemantauan Hutan Produksi	121
4.2.2 Pengelolaan Hutan Konservasi.....	122
4.2.3 Basis Informasi Tata Kelola dan Legalitas	123
4.3 Kemajuan Teknologi dalam Inventarisasi	124

4.3.1 Penggunaan LiDAR dan <i>Remote Sensing</i>	124
4.3.2 <i>Terrestrial Laser Scanning</i> (TLS)	129
4.3.3 Model Digital dan Simulasi Virtual.....	131
4.4 Tantangan Inventarisasi di Lapangan	138
4.4.1 Ketertinggalan dan Ketidakakuratan Data.....	138
4.4.2 Biaya dan Infrastruktur Teknologi.....	142
4.4.3 Integrasi dan Harmonisasi Data	146
4.5 Prospek Masa Depan Inventarisasi Sumber	
Daya Hutan.....	147
4.5.1 Integrasi Big Data dan AI	147
4.5.2 Partisipasi Masyarakat dan Data Sosial.....	150
4.5.3 Fokus pada Jasa Ekosistem dan Hasil	
Hutan Bukan Kayu (HHBK).....	153
DAFTAR PUSTAKA	158

BIODATA PENULIS

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Contoh daftar titik ikat untuk setiap Regu IHMB.....	57
Tabel 2.2. Contoh rencana titik pusat plot.....	58
Tabel 2.3. Pengukuran Topografi.....	65
Tabel 2.4. <i>Tally sheet</i> lapangan untuk pencatatan data hasil pengamatan dan pengukuran dalam petak ukur 20m x 20m	69
Tabel 2.5. Definisi Indeks Keanekaragaman Spesies Menurut Shannor-Wiener.....	76
Tabel 2.6. Parameter dan Indikator Pengambilan Data Vegetasi	79
Tabel 4.1. Data Pembuatan Model Digital.....	133
Tabel 4.2. Rekomendasi perangkat lunak untuk Pembangunan Model Digital dan Simulasi Virtual dalam Inventarisasi Hutan	134
Tabel 4.3. Karakteristik Pemanfaatan Lidar, Remote Sensing Pasif, TLS, Model Digital dan Simulasi Virtual dalam Inventarisasi Hutan .	135
Tabel 4.4. Perbandingan Penerapan Data, AI dan Big Data di Indonesia dan Luar Negeri.....	149

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Pengukuran Diameter Setinggi Dada Untuk Pohon Dengan Bentuk Batang Abnormal	31
Gambar 2.2. Tinggi Pohon	32
Gambar 2.3. Rumus Dasar Tinggi Pohon Berdasarkan Posisi	33
Gambar 2.4. Rumus Dasar Tinggi Pohon Berdasarkan Posisi Kedua	34
Gambar 2.5. Rumus Dasar Tinggi Pohon Berdasarkan Posisi Ketiga	34
Gambar 2.6. Rumus Dasar Tinggi Pohon Berdasarkan Posisi Keempat	35
Gambar 2.7. Rumus Dasar Tinggi Pohon Berdasarkan Posisi Kelima	36
Gambar 2.9. Plot Contoh 6- <i>tree sampling</i>	46
Gambar 2.10. Plot Contoh 8- <i>tree sampling</i>	47
Gambar 2.11. Plot Contoh 10- <i>tree sampling</i>	47
Gambar 2.12. Pemindahan Plot Contoh	49
Gambar 2.13. Daftar isian tally sheet 6- <i>tree sampling</i>	50
Gambar 2.14. Daftar isian tally sheet 8- <i>tree sampling</i>	51
Gambar 2.15. Daftar isian <i>tally sheet</i> 10- <i>tree</i> <i>sampling</i>	52
Gambar 2.16. Ukuran Plot IHMB	58
Gambar 2.17. Desain Sub Plot IHMB	59
Gambar 2.19. Sketsa pembuatan plot ITSP	67
Gambar 3.1. Pita ukur diameter (<i>phi-band</i>)	100
Gambar 3.2. Caliper/apitan pohon	100
Gambar 3.3. Garpu pohon	101
Gambar 3.4. Biltmore stick	102
Gambar 3.5. Hagameter	103

Gambar 3.6. Clinometer 105

Gambar 4.1. Visualisasi Integrasi AI-Big Data dan
Inventarisasi Hutan 148

BAB 1

Pengenalan dan Konsep Inventarisasi Sumber Daya Hutan

1.1 Latar Belakang: Definisi, Peran, dan Signifikansi Inventarisasi Sumber Daya Hutan (ISDH)

Hutan merupakan ekosistem vital yang menyediakan beragam manfaat, mulai dari fungsi ekologis sebagai paru-paru dunia, penyimpan keanekaragaman hayati, hingga fungsi ekonomis sebagai sumber kayu dan hasil hutan bukan kayu. Untuk memastikan kelestarian fungsi dan manfaat tersebut, diperlukan pengelolaan yang terencana, sistematis, dan berkelanjutan. Fondasi utama dari pengelolaan hutan yang efektif adalah ketersediaan data dan informasi yang akurat mengenai kondisi dan potensi sumber daya yang ada di dalamnya. Di sinilah inventarisasi sumber daya hutan memegang peranan krusial sebagai titik awal dalam seluruh siklus manajemen kehutanan.

Seiring berjalannya waktu, praktik inventarisasi hutan telah mengalami evolusi yang signifikan, beralih dari sekadar seni praktis menjadi sebuah disiplin ilmu yang kompleks (Asrat & Tesfaye, 2013). Pada awalnya, inventarisasi lebih difokuskan untuk kepentingan eksploitasi kayu dengan metode yang sederhana. Namun, dengan meningkatnya kesadaran akan pentingnya kelestarian, pendekatan inventarisasi berkembang menjadi lebih sistematis dan berbasis statistik untuk memastikan estimasi yang akurat dan

dapat diandalkan bagi perencanaan pengelolaan jangka panjang (Singh, 2000). Perkembangan ini didorong oleh kebutuhan untuk memahami tidak hanya volume kayu, tetapi juga kesehatan dan dinamika ekosistem hutan secara keseluruhan.

Tuntutan akan data inventarisasi yang andal menjadi semakin mendesak akibat tekanan besar yang dihadapi sumber daya hutan global, termasuk di Indonesia. Laju deforestasi dan degradasi hutan yang mengkhawatirkan menuntut adanya sistem pemantauan yang kuat untuk melacak perubahan tutupan lahan dan kondisi hutan (Ministry of Environment and Forestry, Republic of Indonesia, 2024). Informasi yang akurat dan terkini menjadi kunci untuk merancang intervensi kebijakan yang efektif, seperti program restorasi dan rehabilitasi, serta untuk menegakkan hukum terhadap praktik-praktik yang merusak lingkungan (Fisher et al., 2023).

Paradigma pengelolaan hutan modern juga telah bergeser dari fokus tunggal pada produksi kayu (*timber-centric*) ke arah pengelolaan multi-manfaat. Hal ini menuntut inventarisasi untuk memperluas cakupan datanya, tidak hanya mengukur pohon, tetapi juga menilai parameter lain seperti cadangan karbon di atas permukaan tanah, keanekaragaman hayati, potensi hasil hutan bukan kayu (HHBK), dan jasa-jasa lingkungan lainnya (Kuru & Thorp, 2015). Perluasan cakupan ini menjadikan ISDH sebagai alat multifungsi yang mendukung pengambilan keputusan yang lebih holistik dan terintegrasi, yang menyeimbangkan antara tujuan ekonomi, ekologi, dan sosial (Dau et al., 2015).

Revolusi teknologi dalam beberapa dekade terakhir telah secara dramatis mengubah wajah inventarisasi sumber daya hutan. Kemunculan teknologi penginderaan jauh

(*remote sensing*) seperti citra satelit dan LiDAR (*Light Detection and Ranging*), yang dipadukan dengan Sistem Informasi Geografis (GIS), telah memungkinkan pengumpulan data pada skala yang sebelumnya tidak terbayangkan dengan tingkat efisiensi yang tinggi (Hartanto et al., 2024). Inovasi lebih lanjut seperti penggunaan drone dan aplikasi berbasis ponsel pintar semakin mempermudah dan mempercepat proses akuisisi data di lapangan, menjanjikan peningkatan akurasi dan penurunan biaya operasional (Sandim et al., 2023; Latifah et al., 2025).

Dalam konteks Indonesia, dengan kompleksitas ekosistem hutannya yang luar biasa dan perannya yang strategis dalam isu perubahan iklim global, ISDH menjadi instrumen yang tidak tergantikan. Data dari inventarisasi menjadi tulang punggung bagi komitmen Indonesia dalam *Nationally Determined Contribution* (NDC) untuk penurunan emisi gas rumah kaca, serta untuk implementasi berbagai program kehutanan nasional (Ministry of Environment and Forestry, Republic of Indonesia, 2024). Oleh karena itu, penguatan kapasitas dan penerapan metodologi inventarisasi yang canggih dan akurat merupakan sebuah keharusan untuk memastikan pengelolaan sumber daya hutan Indonesia yang lestari dan bertanggung jawab di masa depan.

1.1.1 Definisi Inventarisasi Sumber Daya Hutan (ISDH)

Inventarisasi Sumber Daya Hutan (ISDH) dapat didefinisikan sebagai suatu proses sistematis untuk mengumpulkan, menganalisis, dan menyajikan data dan informasi yang komprehensif mengenai kuantitas dan kualitas sumber daya hutan serta karakteristik areal hutan pada suatu wilayah tertentu (Hartanto et al., 2024). Kegiatan ini tidak hanya terbatas pada pendataan pohon, tetapi mencakup

seluruh komponen ekosistem, seperti vegetasi bawah, satwa liar, kondisi tanah, dan aspek sosial-ekonomi masyarakat di sekitar hutan. Tujuan utamanya adalah untuk menyediakan basis data yang andal untuk berbagai tingkatan pengambilan keputusan, mulai dari tingkat tapak hingga tingkat nasional dan bahkan global (Dau et al., 2015). Proses ini menjadi landasan bagi perencanaan strategis dan pengelolaan yang berkelanjutan.

Secara konseptual, ISDH adalah upaya "memotret" kondisi hutan pada satu waktu tertentu untuk mengetahui apa saja aset yang terkandung di dalamnya dan bagaimana kondisinya (Asrat & Tesfaye, 2013). Informasi yang dikumpulkan mencakup berbagai variabel, seperti volume kayu, biomassa, stok karbon, komposisi jenis, struktur tegakan, serta informasi non-kayu lainnya (Kuru & Thorp, 2015). Pengumpulan data ini dapat dilakukan melalui berbagai metode, mulai dari pengukuran terestrial secara langsung di lapangan, yang melibatkan sensus atau penarikan sampel, hingga pemanfaatan teknologi penginderaan jauh seperti citra satelit dan LiDAR (Hartanto et al., 2024).

ISDH merupakan sebuah prosedur teknis yang dirancang untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan mendasar tentang hutan: "apa", "berapa banyak", "di mana", dan "bagaimana kondisinya" (Singh, 2000). Jawaban atas pertanyaan-pertanyaan ini sangat penting untuk memahami dinamika hutan dan merumuskan intervensi pengelolaan yang tepat. Tanpa inventarisasi, pengelolaan hutan akan bersifat spekulatif dan tidak memiliki dasar ilmiah yang kuat, sehingga berisiko tinggi terhadap kegagalan dalam mencapai tujuan kelestarian (Dau et al., 2015). Oleh karena itu, inventarisasi bukan sekadar kegiatan teknis, melainkan sebuah komponen ilmiah yang fundamental dalam kehutanan.

Pelaksanaan ISDH melibatkan serangkaian tahapan yang terstruktur, dimulai dari perencanaan yang matang, penentuan desain survei dan metode sampling, pelaksanaan pengukuran di lapangan, hingga analisis data dan pelaporan hasil (Asrat & Tesfaye, 2013). Setiap tahapan memerlukan ketelitian dan kepatuhan terhadap standar yang telah ditetapkan untuk menjamin kualitas dan akurasi data yang dihasilkan. Kemajuan teknologi, seperti aplikasi berbasis ponsel pintar dan sistem informasi geografis (GIS), telah secara signifikan meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses ini, memungkinkan pengumpulan data yang lebih cepat dan akurat (Latifah et al., 2025; Sandim et al., 2023).

Pada hakikatnya, ISDH adalah jembatan yang menghubungkan antara sumber daya hutan di lapangan dengan para perencana dan pengambil kebijakan di tingkat manajerial (Dau et al., 2015). Informasi yang dihasilkan dari inventarisasi menjadi input utama dalam penyusunan rencana pengelolaan hutan, baik untuk tujuan produksi kayu, konservasi keanekaragaman hayati, rehabilitasi lahan, maupun mitigasi perubahan iklim. Dengan demikian, definisi ISDH tidak hanya mencakup aspek teknis pengumpulan data, tetapi juga mencakup fungsinya sebagai penyedia informasi strategis untuk pengelolaan sumber daya alam yang bertanggung jawab.

1.1.2 Peran Strategis Inventarisasi Sumber Daya Hutan (ISDH)

Peran strategis utama dari Inventarisasi Sumber Daya Hutan (ISDH) adalah sebagai fondasi bagi terwujudnya pengelolaan hutan lestari (Sustainable Forest Management/SFM) (Dau et al., 2015). Tanpa informasi yang akurat mengenai potensi tegakan, laju pertumbuhan, dan

kondisi ekosistem, mustahil untuk menyusun rencana pemanenan yang berkelanjutan, menetapkan rotasi tebangan yang optimal, atau merancang kegiatan silvikultur yang efektif. ISDH menyediakan data dasar yang memungkinkan pengelola untuk menyeimbangkan aspek produksi, ekologi, dan sosial secara harmonis, sehingga manfaat hutan dapat terus dinikmati oleh generasi sekarang dan mendatang (Hartanto et al., 2024).

ISDH juga memainkan peran sentral dalam perencanaan tata guna lahan dan penyusunan kebijakan kehutanan di tingkat nasional. Data dari inventarisasi hutan nasional menjadi dasar bagi pemerintah untuk menetapkan kawasan lindung, hutan produksi, hutan konservasi, serta area untuk program rehabilitasi dan restorasi (Fisher et al., 2023). Informasi mengenai sebaran dan kondisi hutan memungkinkan para pembuat kebijakan untuk merumuskan regulasi yang berbasis bukti (*evidence-based policy*), memantau laju deforestasi dan degradasi, serta mengevaluasi keberhasilan program-program kehutanan yang telah dijalankan (Ministry of Environment and Forestry, Republic of Indonesia, 2024).

Dalam konteks ekonomi, ISDH memiliki peran strategis dalam penilaian aset sumber daya alam suatu negara. Informasi akurat mengenai volume kayu, potensi hasil hutan bukan kayu, dan jasa lingkungan seperti stok karbon memiliki nilai ekonomi yang signifikan (Kuru & Thorp, 2015). Data ini penting bagi pemerintah dalam negosiasi perdagangan karbon, menarik investasi di sektor kehutanan, serta mengembangkan skema pembayaran jasa lingkungan (*Payment for Environmental Services/PES*). Dengan demikian, ISDH tidak hanya mendukung kelestarian ekologis, tetapi juga

berkontribusi pada pembangunan ekonomi yang berkelanjutan.

Selain itu, ISDH berfungsi sebagai sistem peringatan dini terhadap ancaman terhadap ekosistem hutan. Melalui inventarisasi yang dilakukan secara berkala, perubahan kondisi hutan seperti serangan hama dan penyakit, dampak kekeringan, atau ancaman kebakaran dapat dideteksi lebih awal (Dau et al., 2015). Informasi ini memungkinkan pengelola untuk mengambil tindakan preventif dan mitigasi secara cepat dan tepat sasaran, sehingga kerugian yang lebih besar dapat dihindari. Peran ini menjadi semakin penting di tengah meningkatnya tekanan perubahan iklim terhadap ekosistem hutan.

Terakhir, ISDH memiliki peran strategis dalam pemberdayaan masyarakat lokal dan penyelesaian konflik sumber daya. Dengan melibatkan masyarakat dalam proses inventarisasi, pengetahuan lokal dapat diintegrasikan dengan data ilmiah, serta meningkatkan rasa kepemilikan masyarakat terhadap sumber daya hutan di sekitarnya (Singh, 2000). Data yang transparan mengenai batas dan potensi hutan juga dapat menjadi dasar yang objektif dalam mediasi konflik tenurial atau sengketa pemanfaatan lahan, sehingga mendukung terwujudnya pengelolaan hutan yang adil dan merata.

1.1.3 Signifikansi dalam Konteks Global

Dalam konteks global, Inventarisasi Sumber Daya Hutan (ISDH) memiliki signifikansi yang sangat besar, terutama dalam upaya mitigasi perubahan iklim. Hutan diakui sebagai penyerap karbon utama, dan skema internasional seperti Pengurangan Emisi dari Deforestasi dan Degradasi Hutan (REDD+) sangat bergantung pada data inventarisasi

yang akurat untuk melakukan pemantauan, pelaporan, dan verifikasi (*Monitoring, Reporting, and Verification/MRV*) stok karbon nasional (Asrat & Tesfaye, 2013). Data ISDH yang andal menjadi prasyarat bagi negara-negara berkembang, termasuk Indonesia, untuk dapat berpartisipasi dan memperoleh insentif dari mekanisme pendanaan iklim global (Ministry of Environment and Forestry, Republic of Indonesia, 2024).

Signifikansi ISDH juga terletak pada perannya dalam pemantauan pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals/SDGs*), khususnya SDG 15 yang berfokus pada "Kehidupan di Darat" (*Life on Land*). Target-target dalam SDG 15, seperti menghentikan deforestasi, merestorasi hutan yang terdegradasi, dan memastikan konservasi keanekaragaman hayati, memerlukan data kuantitatif yang hanya dapat disediakan melalui inventarisasi hutan nasional yang sistematis (Singh, 2000). Laporan kemajuan suatu negara dalam mencapai target-target ini sangat bergantung pada kualitas sistem inventarisasi hutannya.

Di tingkat internasional, data dari ISDH berkontribusi pada laporan-laporan global mengenai kondisi hutan dunia, seperti yang dirilis oleh Organisasi Pangan dan Pertanian (FAO). Kompilasi data dari inventarisasi nasional di seluruh dunia memungkinkan komunitas internasional untuk mendapatkan gambaran yang komprehensif mengenai tren deforestasi global, perubahan tutupan hutan, dan status pengelolaan hutan secara keseluruhan (Dau et al., 2015). Informasi ini sangat vital bagi organisasi internasional, lembaga donor, dan konvensi global dalam merumuskan kebijakan dan mengarahkan pendanaan untuk isu-isu kehutanan prioritas.

Selain itu, ISDH memiliki signifikansi dalam upaya konservasi keanekaragaman hayati global. Inventarisasi yang komprehensif tidak hanya mendata pohon, tetapi juga mengidentifikasi habitat penting bagi spesies langka dan terancam punah (Kuru & Thorp, 2015). Informasi ini krusial untuk menetapkan kawasan prioritas konservasi, seperti Kawasan Bernilai Konservasi Tinggi (*High Conservation Value/HCV*), dan untuk memenuhi komitmen di bawah Konvensi Keanekaragaman Hayati (*Convention on Biological Diversity/CBD*). Dengan demikian, ISDH mendukung perlindungan warisan genetik dan biologis bumi untuk masa depan.

Terakhir, kemajuan teknologi dalam ISDH, seperti penggunaan LiDAR dan kecerdasan buatan, telah menciptakan sebuah komunitas praktik global (Balestra et al., 2024; Hartanto et al., 2024). Pertukaran pengetahuan, metodologi, dan inovasi teknologi antar negara mempercepat peningkatan kapasitas dan standardisasi dalam pelaksanaan inventarisasi hutan di seluruh dunia. Standardisasi ini penting untuk memastikan data hutan dapat dibandingkan (*comparable*) antar negara, sehingga memungkinkan analisis dan pengambilan kebijakan yang lebih solid di tingkat regional dan global, serta memperkuat kerja sama internasional dalam menjaga kelestarian hutan planet ini.

1.2 Tujuan dan Ruang Lingkup Inventarisasi

Sumber Daya Hutan (ISDH)

1.2.1 Hierarki Tujuan Inventarisasi

Tujuan dari pelaksanaan inventarisasi hutan dapat diklasifikasikan ke dalam sebuah hierarki yang mencerminkan tingkatan pengambilan keputusan, mulai dari level kebijakan strategis hingga kebutuhan teknis operasional (Singh, 2000).

Pemahaman yang jelas terhadap hierarki tujuan ini merupakan langkah awal yang krusial dalam merancang sebuah inventarisasi, karena setiap tingkatan tujuan akan menentukan variabel yang perlu diukur, tingkat akurasi yang dibutuhkan, serta metode yang paling efisien untuk digunakan. Tanpa perumusan tujuan yang spesifik, sebuah inventarisasi berisiko menghasilkan data yang tidak relevan atau tidak memadai untuk menjawab kebutuhan para penggunanya.

Pada tingkat tertinggi adalah tujuan strategis, yang umumnya terkait dengan perumusan kebijakan nasional dan pemenuhan komitmen internasional (Asrat & Tesfaye, 2013). Contohnya termasuk menyediakan data untuk laporan kondisi hutan nasional (*national reporting*), memantau laju deforestasi dan degradasi untuk skema perubahan iklim seperti REDD+, serta menyediakan informasi untuk perencanaan tata guna lahan skala makro (Ministry of Environment and Forestry, Republic of Indonesia, 2024). Inventarisasi pada level ini berfokus pada gambaran besar kondisi sumber daya hutan suatu negara dan perubahannya dari waktu ke waktu.

Di bawah level strategis terdapat tujuan taktikal, yang berorientasi pada perencanaan pengelolaan di tingkat unit manajemen hutan (UMH) atau Kesatuan Pengelolaan Hutan (KPH). Tujuan pada level ini lebih rinci, seperti menaksir potensi kayu (*standing stock*), menentukan etat atau jatah tebangan tahunan (*Annual Allowable Cut/AAC*), dan menyusun rencana kegiatan silvikultur untuk siklus 5 atau 10 tahunan (Dau et al., 2015). Data yang dibutuhkan harus memiliki presisi yang lebih tinggi untuk area yang lebih spesifik guna memastikan rencana pengelolaan dapat diimplementasikan secara lestari.

Pada tingkat terendah adalah tujuan operasional, yang berkaitan langsung dengan kegiatan harian di lapangan.

Inventarisasi pada level ini bertujuan untuk menyediakan informasi yang sangat detail untuk pelaksanaan pekerjaan, misalnya inventarisasi sebelum penebangan (*pre-harvest inventory*) untuk menandai pohon yang akan ditebang, menentukan lokasi jalan sarad, dan meminimalkan dampak lingkungan (Kuru & Thorp, 2015). Selain itu, inventarisasi operasional juga mencakup penilaian setelah pemanenan (*post-harvest assessment*) untuk mengevaluasi kualitas pekerjaan dan memantau kondisi tegakan sisa.

Dengan demikian, penetapan tujuan inventarisasi secara hierarkis memastikan adanya keselarasan antara informasi yang dikumpulkan dengan kebutuhan pada setiap level manajemen. Sebuah inventarisasi nasional yang dirancang untuk tujuan strategis mungkin tidak akan cukup detail untuk perencanaan operasional, dan sebaliknya, data dari inventarisasi operasional tidak dapat diekstrapolasi untuk menghasilkan gambaran nasional (Singh, 2000). Oleh karena itu, perancangan sistem inventarisasi yang terintegrasi di semua tingkatan menjadi kunci efektivitas dan efisiensi dalam pengelolaan sumber daya hutan.

1.2.2 Penentuan Ruang Lingkup (Skala)

Ruang lingkup atau skala merupakan salah satu faktor paling fundamental yang mempengaruhi keseluruhan desain dan metodologi inventarisasi sumber daya hutan (Asrat & Tesfaye, 2013). Skala inventarisasi dapat bervariasi secara luas, mulai dari inventarisasi global dan nasional yang mencakup jutaan hektar, hingga inventarisasi tingkat petak (*stand level*) yang hanya mencakup beberapa hektar. Penentuan skala ini secara langsung mendefinisikan populasi yang akan diestimasi, yang pada gilirannya akan menentukan desain sampling,

intensitas pengukuran, dan biaya yang diperlukan untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan.

Inventarisasi skala nasional, seperti Inventarisasi Hutan Nasional (IHN), dirancang untuk memberikan gambaran statistik yang komprehensif mengenai sumber daya hutan di seluruh wilayah suatu negara. Kegiatan ini biasanya menggunakan desain sampling sistematis dengan plot-plot permanen yang tersebar secara merata untuk memantau perubahan dari waktu ke waktu (Singh, 2000). Tujuannya adalah untuk mendukung perumusan kebijakan tingkat tinggi, perencanaan strategis nasional, dan pelaporan kepada lembaga-lembaga internasional, bukan untuk menyediakan data detail bagi unit pengelolaan terkecil (Ministry of Environment and Forestry, Republic of Indonesia, 2024).

Pada skala menengah, terdapat inventarisasi tingkat unit manajemen (*management-level inventory*), yang dilakukan pada area konsesi atau Kesatuan Pengelolaan Hutan (KPH). Inventarisasi ini lebih intensif dibandingkan skala nasional dan bertujuan untuk menghasilkan informasi yang cukup akurat untuk penyusunan rencana pengelolaan jangka menengah (misalnya 10 tahun) (Dau et al., 2015). Data yang dikumpulkan mencakup estimasi volume kayu, sebaran kelas diameter, dan komposisi jenis, yang menjadi dasar penentuan potensi dan regulasi hasil hutan (Hartanto et al., 2024).

Skala terkecil adalah inventarisasi operasional yang dilakukan pada tingkat kompartemen atau blok tebangan. Ini merupakan bentuk inventarisasi yang paling intensif, sering kali melibatkan sensus 100% atau sampling dengan intensitas sangat tinggi (Kuru & Thorp, 2015). Tujuannya adalah untuk mendukung keputusan operasional harian, seperti pohon mana yang akan ditebang, bagaimana rute penyaradan yang optimal, dan area mana yang perlu dilindungi. Akurasi pada

skala ini harus sangat tinggi karena berhubungan langsung dengan kelayakan ekonomi dan dampak ekologis dari kegiatan pemanenan.

Integrasi data dari berbagai skala inventarisasi merupakan tantangan sekaligus peluang dalam manajemen hutan modern. Pemanfaatan teknologi penginderaan jauh, seperti citra satelit dan LiDAR, bersama dengan Sistem Informasi Geografis (GIS), memungkinkan dilakukannya pendekatan multi-skala (*multi-scale approach*) (Hartanto et al., 2024). Data dari satelit dapat memberikan gambaran luas (*sinoptik*) untuk stratifikasi, sementara pengukuran lapangan yang intensif pada sampel area memberikan detail yang akurat. Penggabungan ini menghasilkan sistem pemantauan yang efisien dan komprehensif, menghubungkan kebijakan di tingkat nasional dengan praktik di tingkat tapak (Latifah et al., 2025).

1.3 Prinsip dan Konsep Fundamental dalam Inventarisasi Sumber Daya Hutan (ISDH)

Keberhasilan suatu kegiatan inventarisasi sumber daya hutan sangat bergantung pada penerapan serangkaian prinsip dan konsep fundamental yang menjadi landasan metodologisnya. Prinsip utama adalah reliabilitas, yang menuntut agar data yang dihasilkan harus akurat (bebas dari bias) dan presisi (memiliki tingkat variasi yang rendah) sesuai dengan tujuan yang ditetapkan (Singh, 2000). Akurasi memastikan bahwa estimasi yang diperoleh mendekati nilai sebenarnya dari populasi hutan, sementara presisi mengukur tingkat kepercayaan terhadap estimasi tersebut. Keduanya merupakan pilar untuk menghasilkan informasi yang dapat diandalkan bagi pengambilan keputusan.

Konsep fundamental berikutnya adalah sampling. Mengingat luasnya area hutan, melakukan pengukuran pada setiap individu pohon (sensus) seringkali tidak praktis dan sangat mahal. Oleh karena itu, inventarisasi modern sangat bergantung pada teori sampling statistik, di mana sebagian kecil dari hutan (sampel) diukur untuk mewakili keseluruhan (populasi) (Asrat & Tesfaye, 2013). Pemilihan metode sampling yang tepat, seperti sampling acak, sistematis, atau stratifikasi, menjadi krusial untuk memastikan bahwa sampel yang diambil benar-benar representatif dan hasil estimasinya dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Prinsip efisiensi biaya (*cost-effectiveness*) juga memegang peranan penting. Perencanaan inventarisasi harus selalu menyeimbangkan antara tingkat akurasi yang diinginkan dengan sumber daya (waktu, tenaga, dan biaya) yang tersedia (Dau et al., 2015). Desain inventarisasi yang baik adalah yang mampu memberikan tingkat presisi yang dibutuhkan dengan biaya serendah mungkin. Hal ini sering kali dicapai melalui penggunaan teknik-teknik canggih seperti penginderaan jauh untuk stratifikasi awal, yang dapat mengurangi jumlah plot lapangan yang diperlukan tanpa mengorbankan kualitas data secara signifikan (Hartanto et al., 2024).

Konsistensi dan komparabilitas adalah prinsip vital, terutama untuk inventarisasi yang dilakukan secara berkala (*monitoring*). Untuk dapat melacak perubahan kondisi hutan dari waktu ke waktu, metodologi, definisi variabel, dan prosedur pengukuran harus tetap konsisten pada setiap siklus inventarisasi (Singh, 2000). Penggunaan plot ukur permanen (PUP) adalah salah satu implementasi dari prinsip ini, yang memungkinkan dilakukannya pengukuran ulang pada lokasi yang sama persis, sehingga memberikan data yang sangat

andal mengenai dinamika pertumbuhan, mortalitas, dan rekrutmen tegakan.

Prinsip fleksibilitas dan adaptabilitas juga tidak kalah penting. Desain inventarisasi harus cukup fleksibel untuk dapat mengakomodasi berbagai tujuan dan kebutuhan informasi yang mungkin berkembang di masa depan. Misalnya, sebuah sistem inventarisasi nasional harus dirancang sedemikian rupa sehingga datanya tidak hanya relevan untuk estimasi kayu, tetapi juga dapat digunakan untuk menaksir biomassa, stok karbon, atau parameter keanekaragaman hayati (Kuru & Thorp, 2015). Kemampuan untuk beradaptasi dengan kebutuhan informasi baru adalah kunci keberlanjutan dan relevansi jangka panjang dari sebuah sistem inventarisasi.

Terakhir, konsep multiguna (*multipurpose*) menjadi semakin sentral dalam inventarisasi modern. Sejalan dengan pergeseran paradigma ke arah pengelolaan hutan lestari, inventarisasi tidak lagi hanya berfokus pada sumber daya kayu. Inventarisasi modern dirancang untuk mengumpulkan data tentang berbagai aspek ekosistem, termasuk hasil hutan bukan kayu, jasa lingkungan, dan nilai-nilai sosial (Singh, 2000). Pendekatan multiguna ini memastikan bahwa informasi yang dihasilkan dapat mendukung proses pengambilan keputusan yang holistik dan terpadu, yang mempertimbangkan semua fungsi dan manfaat hutan.

1.4 Klasifikasi Inventarisasi Sumber Daya Hutan (ISDH)

Inventarisasi Sumber Daya Hutan (ISDH) dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa kriteria yang berbeda, yang masing-masing mencerminkan tujuan spesifik, cakupan wilayah, dan metodologi yang digunakan. Klasifikasi ini

membantu dalam memahami jenis-jenis inventarisasi dan memilih pendekatan yang paling sesuai untuk suatu kebutuhan tertentu. Salah satu klasifikasi yang paling umum adalah berdasarkan tujuan pelaksanaannya, yang dapat dibagi menjadi tiga kategori utama: inventarisasi strategis, taktis, dan operasional, sebagaimana telah dibahas sebelumnya dalam hierarki tujuan (Singh, 2000; Dau et al., 2015).

Berdasarkan cakupan atau skala geografisnya, inventarisasi dapat dibedakan menjadi inventarisasi global, nasional, regional (sub-nasional), tingkat unit manajemen, dan tingkat tegakan (Asrat & Tesfaye, 2013). Inventarisasi Nasional (*National Forest Inventory/NFI*) bertujuan untuk memberikan gambaran umum kondisi hutan suatu negara dan mendukung kebijakan makro, seperti yang dilakukan di Indonesia untuk pelaporan kepada UNFCCC (Ministry of Environment and Forestry, Republic of Indonesia, 2024). Sementara itu, inventarisasi pada tingkat unit manajemen (misalnya KPH) dirancang untuk menyediakan data yang lebih rinci bagi penyusunan rencana pengelolaan jangka menengah.

Klasifikasi lain didasarkan pada metode pengumpulan data. Secara garis besar, metode ini dapat dibagi menjadi inventarisasi terestrial (*ground-based*) dan inventarisasi berbasis penginderaan jauh (*remote sensing*). Inventarisasi terestrial melibatkan pengukuran langsung di lapangan, baik melalui sensus (pengukuran 100%) maupun sampling. Di sisi lain, inventarisasi berbasis penginderaan jauh menggunakan data dari citra satelit, foto udara, atau LiDAR untuk menaksir parameter hutan (Hartanto et al., 2024). Saat ini, pendekatan yang paling umum adalah kombinasi dari keduanya, di mana data penginderaan jauh digunakan untuk stratifikasi dan pemetaan, sementara data terestrial digunakan untuk kalibrasi dan validasi (*ground-truthing*).

Berdasarkan frekuensi pelaksanaannya, inventarisasi dapat diklasifikasikan menjadi inventarisasi satu kali (*one-off inventory*) dan inventarisasi berkelanjutan atau periodik (*Continuous Forest Inventory/CFI*). Inventarisasi satu kali dilakukan untuk mendapatkan informasi kondisi hutan pada satu titik waktu tertentu, biasanya untuk tujuan spesifik seperti perencanaan pembangunan pabrik. Sebaliknya, CFI dirancang sebagai sistem pemantauan jangka panjang dengan melakukan pengukuran ulang pada plot-plot permanen secara berkala (misalnya setiap 5 atau 10 tahun) untuk memantau perubahan dan dinamika hutan (Singh, 2000).

Inventarisasi juga dapat diklasifikasikan berdasarkan objek atau parameter yang diukur. Inventarisasi kayu (timber cruise) adalah jenis tradisional yang berfokus pada estimasi volume kayu komersial. Namun, seiring berkembangnya konsep pengelolaan hutan lestari, muncul inventarisasi multiguna (multipurpose inventory) yang mengumpulkan data tentang berbagai sumber daya dan fungsi hutan, termasuk biomassa, karbon, keanekaragaman hayati, hasil hutan bukan kayu, dan bahkan nilai-nilai sosial-budaya (Kuru & Thorp, 2015).

Terakhir, berdasarkan informasi awal yang digunakan, inventarisasi dapat dibedakan menjadi inventarisasi tanpa informasi pendahuluan dan inventarisasi dengan informasi pendahuluan. Pada jenis yang pertama, sampling dilakukan tanpa pengetahuan awal tentang variasi di dalam hutan. Sedangkan pada jenis yang kedua, informasi dari sumber lain (misalnya peta vegetasi atau citra satelit) digunakan untuk melakukan stratifikasi, yaitu membagi hutan ke dalam beberapa sub-populasi yang lebih homogen, sehingga proses sampling menjadi lebih efisien dan estimasi yang dihasilkan menjadi lebih presisi (Asrat & Tesfaye, 2013).

1.5 Kerangka Kerja dan Etika dalam Pelaksanaan Inventarisasi Sumber Daya Hutan (ISDH)

Pelaksanaan Inventarisasi Sumber Daya Hutan (ISDH) harus berlandaskan pada kerangka kerja profesional dan prinsip-prinsip etika yang kuat untuk menjamin integritas, objektivitas, dan kebermanfaatan hasilnya. Kerangka kerja ini mencakup seluruh tahapan, mulai dari perencanaan, pengumpulan data, analisis, hingga penyebaran informasi. Salah satu pilar utamanya adalah integritas ilmiah, yang menuntut agar seluruh proses dilakukan secara transparan, objektif, dan bebas dari bias, baik dalam pemilihan metode, pengumpulan data, maupun interpretasi hasil (Singh, 2000). Setiap keputusan metodologis harus dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah dan didokumentasikan dengan baik.

Aspek etika yang krusial adalah keterlibatan dan penghormatan terhadap pemangku kepentingan (*stakeholders*), terutama masyarakat lokal dan adat yang kehidupannya bergantung pada hutan. Proses inventarisasi, khususnya di hutan desa atau hutan adat, harus dilakukan melalui pendekatan partisipatif, mengakui dan mengintegrasikan pengetahuan lokal (*indigenous knowledge*) ke dalam proses ilmiah (Singh, 2000). Persetujuan Atas Dasar Informasi Awal Tanpa Paksaan (PADIATAPA) atau *Free, Prior, and Informed Consent* (FPIC) harus menjadi prasyarat, dan manfaat dari kegiatan inventarisasi, termasuk dalam bentuk data dan peningkatan kapasitas, harus dapat diakses dan dirasakan oleh masyarakat setempat.

Manajemen data yang bertanggung jawab merupakan komponen etika dan profesionalisme yang tidak terpisahkan. Hal ini mencakup jaminan kualitas (*quality assurance*) dan kontrol kualitas (*quality control*) yang ketat pada setiap

tahapan untuk meminimalkan kesalahan pengukuran dan pengolahan data (Kuru & Thorp, 2015). Selain itu, kerahasiaan data tertentu (misalnya lokasi spesies langka yang rentan perburuan atau data *personal responden* sosial-ekonomi) harus dijaga, sementara data agregat yang menjadi kepentingan publik harus dapat diakses secara terbuka untuk mendorong transparansi dan akuntabilitas dalam pengelolaan hutan (Fisher et al., 2023).

Kerangka kerja profesional juga menuntut adanya kompetensi dan keselamatan personil lapangan. Tim inventarisasi harus terdiri dari individu-individu yang memiliki pelatihan dan keahlian yang memadai untuk melakukan pengukuran secara akurat dan konsisten (Asrat & Tesfaye, 2013). Lebih dari itu, penyelenggara inventarisasi memiliki kewajiban etis untuk memastikan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) tim di lapangan, yang seringkali bekerja di lokasi terpencil dengan medan yang sulit dan risiko yang tinggi. Penyediaan peralatan yang memadai, pelatihan pertolongan pertama, dan prosedur evakuasi darurat adalah bagian dari tanggung jawab ini.

Objektivitas dalam pelaporan dan komunikasi adalah etika mendasar lainnya. Hasil inventarisasi harus disajikan secara jujur dan tidak memihak, termasuk mengungkapkan batasan-batasan dan tingkat ketidakpastian (*uncertainty*) dari estimasi yang dihasilkan. Menyembunyikan hasil yang tidak sesuai harapan atau melebih-lebihkan hasil untuk kepentingan tertentu merupakan pelanggaran etika yang serius (Dau et al., 2015). Komunikasi hasil harus disesuaikan dengan audiens yang berbeda, dari laporan teknis yang rinci untuk para ilmuwan hingga ringkasan kebijakan yang mudah dipahami oleh para pengambil keputusan dan masyarakat umum.

Pada akhirnya, kerangka kerja dan etika dalam ISDH bermuara pada prinsip akuntabilitas. Pelaksana inventarisasi bertanggung jawab kepada publik, penyandang dana, dan komunitas ilmiah untuk memastikan bahwa kegiatan yang dilakukan tidak hanya valid secara teknis dan ilmiah, tetapi juga relevan secara sosial, adil, dan berkontribusi positif terhadap tujuan yang lebih besar, yaitu pengelolaan sumber daya hutan yang lestari untuk kesejahteraan generasi sekarang dan mendatang (Ministry of Environment and Forestry, Republic of Indonesia, 2024).

DAFTAR PUSTAKA

- Asrat, Z., & Tesfaye, Y. (2013). *Training Manual on: Forest Inventory and Management in the Context of SFM and REDD+*. Wondo Genet College of Forestry and Natural Resources, Hawassa University.
- Balestra, M., Cabo, C., Murtiyoso, A., Vitali, A., Alvarez-Taboadas, F., Cantero-Amiano, A., Bolaños, R., Laino, D., & Pierdicca, R. (2024). Advancing forest inventory: a comparative study of low-cost MLS lidar device with professional laser scanners. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLVIII-2/W8-2024*, 9–15.
- Dau, J. H., Mati, A., & Dawaki, S. A. (2015). Role of Forest Inventory in Sustainable Forest Management: A Review. *International Journal of Forestry and Horticulture (IJFH)*, 1(2), 33–40.
- Fisher, M. R., Daulay, M. H., Wicaksono, S. A., Bisiaux, A., & Arthalina, E. C. (2023). *Forest Restoration and Rehabilitation in Indonesia: A Policy and Legal Review*. European Forest Institute.
- Hartanto, R. P., Kusmana, C., & Nugroho, N. (2024). Enhancing Performance Production Forest Inventory in Java Using LiDAR Technology. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 15(2), 218-228.
- Kuru, G., & Thorp, A. (2015). Forest Inventory and Estimation of Carbon Stock. In *The HCS Approach Toolkit Version 2.0*.
- Latifah, S., et al. (2025). Sustainable Forest Management Practices in Indonesia-Role of GIS: A Literature Review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1452, 012023.

- Ministry of Environment and Forestry, Republic of Indonesia.
(2024). *The State of Indonesia's Forests 2024: Towards Sustainability of Forest Ecosystems in Indonesia*.
- Sandim, A., Amaro, M., Silva, M. E., Cunha, J., Morais, S., Marques, A., Ferreira, A., Lousada, J. L., & Fonseca, T. (2023). New Technologies for Expedited Forest Inventory Using Smartphone Applications. *Forests*, 14(7), 1553.
- Singh, K. D. (2000). *Guidelines on National Inventory of Village Forests*. Center for International Forestry Research (CIFOR).

BAB 2

METODE, ALAT DAN TEKNOLOGI DALAM INVENTARISASI SUMBER DAYA HUTAN

2.1 Metode Pengukuran Hutan

Metode pengukuran hutan mencakup sekumpulan teknik dan prosedur untuk mengumpulkan data kuantitatif mengenai berbagai aspek hutan. Tujuan utamanya adalah untuk memperoleh informasi yang tepat mengenai volume kayu, biomassa, penyimpanan karbon, keanekaragaman spesies, kesehatan hutan, dan perubahan dinamika hutan seiring berjalannya waktu. Data ini sangat penting untuk pengelolaan hutan berkelanjutan, perencanaan pemanfaatan sumber daya, penilaian jasa lingkungan, serta mitigasi perubahan iklim.

Hasil pengukuran diinterpretasikan untuk mencapai tujuan suatu pekerjaan. Hasil pengukuran pohon misalnya tinggi pohon, diameter pohon, volume pohon, dll. Dengan adanya hasil pengukuran tersebut maka potensi sumber daya hutan dapat diidentifikasi. Salah satu faktor penting dalam memberikan deskripsi kuantitatif tentang pohon dan hutan adalah pengukuran tinggi pohon; ini dapat mempengaruhi kualitas tapak hutan dan memprediksi berbagai parameter seperti cadangan karbon, biomassa, pertumbuhan pohon, dan sebagainya (Balenočić, dkk., 2015). Sehingga hasil pengukuran tersebut dapat menyajikan suatu penjelasan kuantitatif. Data kuantitatif mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan data kualitatif yaitu datanya jauh lebih jelas dan tidak

menimbulkan pemahaman ganda. Misalnya, jika volume tegakan 248 m³/ha, semua orang akan memahaminya dengan cara yang sama. Namun, jika "volume tegakan di tempat itu dikatakan tinggi", orang-orang mungkin tidak memiliki pemahaman yang sama tentang apa yang dimaksud dengan "tinggi" tersebut.

Kuantifikasi sangat terkait dengan pengukuran. Untuk membedakan kuantifikasi, para peneliti biasanya menggunakan kategorisasi (untuk data nominal) dan pengukuran (untuk data ordinal, interval, dan rasio). Dalam hal kuantifikasi, keempat skala ini berbeda dari variabel. Namun, satu atau lebih skala pengukuran dapat digunakan untuk suatu variabel tertentu, seperti halnya yang berlaku untuk variabel diskrit dan kontinu. Skala pengukuran terdiri dari :

1. Skala Nominal

Skala nominal adalah tingkat pengukuran data yang paling sederhana. Data dalam skala ini dibagi ke dalam kategori berdasarkan nama atau label, tanpa ada urutan atau tingkatan tertentu. Contohnya adalah jenis kelamin (laki-laki atau perempuan), warna favorit (merah, biru, hijau) dan jenis pekerjaan (dokter, guru, insinyur).

Ciri khas skala nominal adalah angka atau simbol yang digunakan hanya sebagai label, bukan sebagai nilai yang bisa dihitung secara matematis. Artinya, tidak ada makna yang bisa diambil dari perbedaan atau urutan antar kategori. Misalnya, dalam kategori jenis kelamin, memberi angka "1" untuk laki-laki dan "2" untuk perempuan tidak berarti perempuan lebih besar atau lebih kecil dibandingkan laki-laki.

Skala nominal sering digunakan dalam survei atau kuesioner, yang respondennya diminta memilih satu kategori dari beberapa pilihan yang diberikan. Untuk

menganalisis data pada skala ini, biasanya menggunakan metode statistik deskriptif sederhana seperti frekuensi atau modus, tetapi tidak menggunakan metode statistik yang lebih rumit.

2. Skala Ordinal

Skala ordinal adalah jenis skala pengukuran yang tidak hanya mengelompokkan data, tetapi juga menempatkan data dalam urutan atau tingkatan tertentu. Data ordinal hanya diberi label dan juga diurutkan berdasarkan tingkat atau peringkat tertentu. Contohnya adalah peringkat dalam sebuah kompetisi seperti juara pertama, kedua dan ketiga. Contoh selanjutnya kepuasan pelanggan seperti sangat tidak puas, tidak puas, netral, puas dan sangat puas.

Meskipun jenis skala ini memberikan informasi mengenai urutan, jarak antar kategori tidak diketahui dan tidak bisa diukur secara numerik. Misalnya, jarak antara "sangat puas" dan "puas" tidak bisa diukur atau dianggap sama dengan jarak antara "netral" dan "tidak puas".

Data ordinal memungkinkan penggunaan statistik yang lebih kompleks dibandingkan data nominal. Statistik deskriptif seperti median dan persentil sangat berguna untuk data ordinal, tetapi rata-rata dan standar deviasi tidak cocok digunakan karena tidak ada jarak yang jelas antar kategori.

3. Skala Interval

Skala interval adalah jenis skala pengukuran yang memberikan angka-angka pada data dan memungkinkan untuk membandingkan nilai satu sama lain. Skala ini

memiliki jarak antar nilai yang sama, tetapi tidak memiliki titik nol yang benar-benar nol.

Ciri khas skala interval adalah bahwa angka nol pada skala ini tidak menyatakan "tidak ada". Misalnya, 0 derajat Celsius tidak berarti tidak ada suhu, melainkan hanya titik acuan yang disepakati bersama. Karena itu, bisa melakukan operasi matematika seperti penjumlahan dan pengurangan terhadap data skala interval, tetapi tidak bisa langsung melakukan perkalian atau pembagian. Dalam menganalisis data skala interval, bisa menggunakan berbagai metode statistik deskriptif dan inferensial, seperti rata-rata, deviasi standar, korelasi, dan regresi. Namun, karena tidak ada nol mutlak, maka tidak bisa menghitung proporsi maupun rasio secara bermakna.

4. Skala Rasio

Skala rasio adalah jenis skala pengukuran yang paling maju. Data pada skala ini memiliki semua ciri-ciri skala interval, ditambah juga memiliki nol mutlak yang artinya tidak ada atribut yang diukur sama sekali. Skala rasio mencakup berbagai hal seperti berat badan, tinggi badan, pendapatan, dan waktu. Adanya angka nol absolut memungkinkan kita melakukan semua operasi matematika pada data rasio, seperti penjumlahan, pengurangan, perkalian, dan pembagian. Misalnya, jika seseorang memiliki berat 0 kg, berarti ia benar-benar tidak memiliki berat. Jika seseorang memiliki berat 60 kg dan orang lain 30 kg, maka orang pertama dua kali lipat lebih berat daripada orang kedua.

Analisis statistik pada data rasio sangat luas dan fleksibel. Hampir semua metode statistik dapat digunakan, mulai dari analisis deskriptif hingga teknik analisis multivariate

yang rumit. Oleh karena itu, data rasio sering dianggap sebagai jenis data yang paling informatif dan bermanfaat dalam penelitian kuantitatif.

Dalam hal pengukuran, istilah "eror" adalah istilah yang paling umum digunakan. Ada tiga jenis eror:

1. Eror pengukuran;
2. Eror karena korelasi yang tidak sempurna atau tidak kuat antara variabel yang diukur (seperti diameter setinggi dada) dan variabel yang diinginkan (seperti volume batang).
3. Eror sampel, yaitu kesalahan yang terjadi pada sebagian kecil populasi yang seharusnya diukur

Ada empat jenis eror yang dapat ditemukan saat melakukan pengukuran, dan masing-masing berasal dari sumber yang berbeda.

1. Eror random adalah eror yang selalu terjadi saat membaca seperangkat angka. Simpangan alami jenis ini adalah harga rata-rata
2. Eror sistematik adalah kesalahan pengukuran yang terjadi secara berkala
3. Eror berkompensasi cenderung memberi koreksi satu dengan yang lain sehingga eror total hasil pengukuran seluruhnya akan semakin kecil
4. Eror eksidental adalah jenis eror yang harus dihindari atau ditekan sekecil mungkin. Eror ini dapat terjadi karena pengukur kurang berpengalaman atau melakukan pengukuran dengan kurang hati-hati atau cermat.

Bias, selain eror, juga dikenal sebagai distorsi yang terjadi secara sistematis yang berdampak pada semua

pengukuran dengan cara yang sama. Bias juga dapat diartikan sebagai distorsi yang terjadi secara sistematis yang berasal dari kesalahan pengukuran atau metode sampling yang salah. Jadi, bias dapat berasal dari berbagai sumber, seperti penyetelan instrumen yang salah, penggunaan instrumen yang salah, atau kesalahan dalam prosedur sampling.

Kecermatan (presisi) dan ketelitian (*accuracy*) adalah istilah lain yang digunakan dalam pengukuran. Kecermatan dapat berarti "kedekatan" dengan tujuan atau keberhasilan penaksir dengan nilai tertentu. Kadang-kadang, kecermatan juga terkait dengan seberapa jauh pengukuran harus dilakukan, seperti berapa banyak angka yang harus diletakkan di belakang koma. Sampling eror, simpangan nilai sampel dari nilai sebenarnya, menunjukkan kecermatan sampling. Akibatnya, jika bias terjadi, tidak mungkin untuk mengetahui seberapa jauh nilai sampel dari nilai sebenarnya.

Pengelompokan nilai sampel di sekitar harga rata-rata merupakan bagian dari keakuratan atau ketelitiannya. Ketelitian adalah ukuran simpangan taksiran sampel dari nilai populasi dalam sampling. Meskipun bias dapat menjadi sangat presisi, mereka jelas tidak akurat. Misalnya, ketika hasil pengukuran terhadap suatu pohon dilakukan dengan alat yang rusak, hasilnya mengelompok di sekitar harga rata-rata, yang menunjukkan bahwa hasilnya presisi tinggi. Namun, karena alat yang digunakan rusak, hasil pengukuran menjadi bias, yang mengakibatkan hasil yang tidak akurat. Oleh karena itu, hasil pengukuran yang tidak akurat dapat disebabkan oleh salah satu dari tiga faktor berikut: bias, kurang presisi, atau keduanya. Di sini juga dikenal sebagai ketelitian relatif, yang merujuk pada perbedaan antara hasil pengukuran dan nilai sebenarnya. Misalnya ada kesalahan 3 m dalam mengukur

tinggi pohon 38 m, maka ketelitian relatif ada $\frac{3}{38} \times 100\% = 7,89\%$.

2.1.1 Pengukuran Pohon

Pohon adalah tanaman berkayu yang biasanya lebih tinggi dari 8 feet dan memiliki satu batang pokok dan tajuk yang kurang lebih bentuknya jelas (Baker, 1950). Parameter pohon yang dapat diukur adalah diameter dan keliling pohon, tinggi, luas bidang dasar, dan volume pohon.

1. Diameter, Keliling dan Tinggi Pohon

Diameter adalah salah satu parameter pohon yang sangat penting untuk mengumpulkan data tentang potensi hutan untuk keperluan pengelolaan. Seringkali, karena keterbatasan alat yang tersedia, pengukuran keliling (K) lebih banyak dilakukan dan kemudian dikonversi ke diameter (D), menggunakan rumus yang berlaku untuk lingkaran (persamaan 1 dan persamaan 2), yaitu :

$$K = \pi \times D \dots\dots\dots \text{(Persamaan 1)}$$

$$D = \frac{K}{\pi} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2)}$$

Keterangan :

D = Diameter

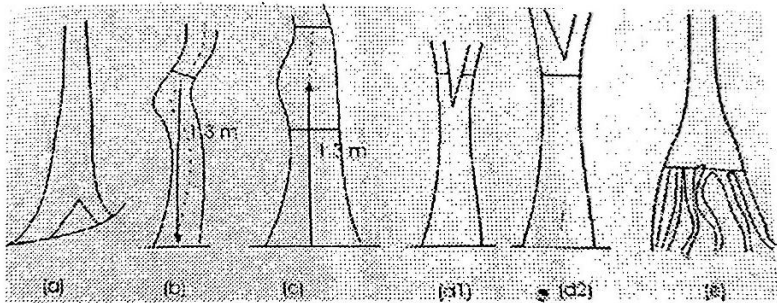
K = Keliling

$\Pi = 22/7$ (3,14286)

Karena ukurannya paling mudah dan memiliki korelasi yang kuat dengan parameter lain yang penting, seperti luas bidang dasar dan volume batang, diameter setinggi dada adalah pengukuran diameter yang paling umum. Diameter setinggi dada biasanya diukur pada batang 1,3 meter dari permukaan tanah, sementara pada pohon berbanir diukur 5–10 cm di atas banir. Jika batang di sekitar 1,3 meter tidak normal, seperti membesar,

mengecil, atau bercabang dua, pengukuran diameternya juga sulit. Untuk batang yang membesar atau mengecil, ukurannya diukur dengan menghitung rata-rata diameter bentuk normal di atas dan di bawah bagian yang tidak normal. Pengukuran diameter pohon untuk pohon dengan dua atau lebih cabang bergantung pada letak percabangannya. Jika percabangan terletak di bawah 1,3 m, pengukuran dilakukan di atasnya dan pohon dianggap terdiri dari dua pohon atau lebih berdasarkan jumlah cabangnya. Jika percabangan terletak di atas 1,3 m, pohon dianggap hanya satu dan pengukuran diameternya dilakukan di bawah percabangan.

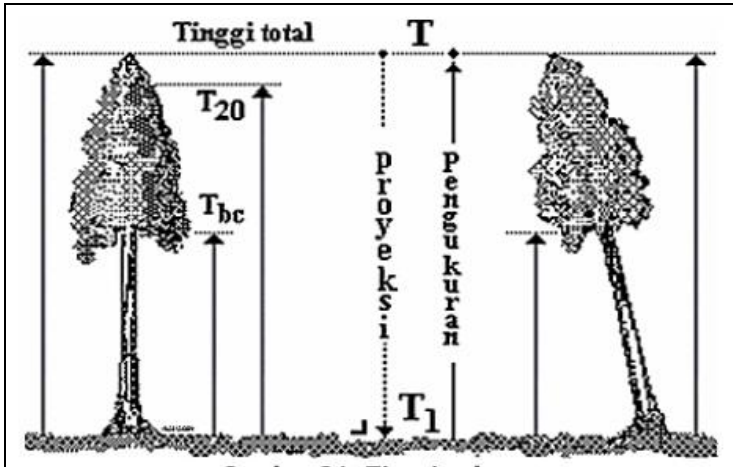
Permukaan tanah menjadi sulit dipakai sebagai acuan saat mengukur diameter pohon mangrove. Pohon mangrove biasanya memiliki akar yang sebagian berada di atas tanah, tetapi secara berkala akar tersebut tertutup oleh air laut yang pasang surut. Oleh karena itu, istilah permukaan tanah tidak lagi tepat digunakan. Pengukuran ketinggian 1,3 meter dihitung dari bagian bawah batang pohon, yaitu tempat batang berhubungan dengan sistem akar. Untuk menjadi lebih jelas, perlu ada penyeragaman dalam pembuatan kode pencacatan untuk menentukan diameter setinggi dada bagi pohon-pohon yang tidak normal, pohon berbanir, dan pohon di hutan mangrove. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa pengukuran diameter pohon yang berbeda-beda tersebut ditempatkan untuk disesuaikan dengan kondisi yang dihadapi. Pengukuran diameter setinggi dada untuk pohon dengan bentuk batang abnormal disajikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Pengukuran Diameter Setinggi Dada Untuk Pohon Dengan Bentuk Batang Abnormal (Simon, 2007)

- Menentukan pangkal batang pohon pada lereng yang miring dengan mengambil langkah atas permukaan tanah;
- Letak posisi pengukuran diameter pohon yang tidak lurus;
- Letak posisi pengukuran diameter pohon yang tidak normal, dengan mengambil rata-rata d1 dan d2;
- Letak diameter dua cabang pohon, yaitu yang bercabang di bawah 1,3 meter (d1) dan di atas 1,3 meter (d2).
- Letak pangkal batang pohon mangrove.

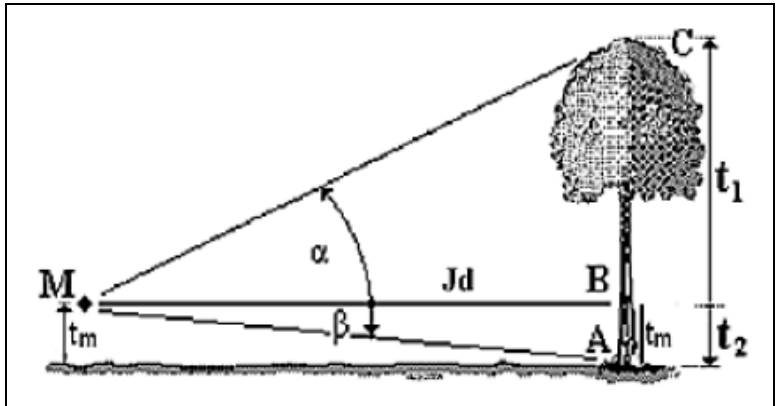
Tinggi pohon adalah salah satu ukuran yang digunakan saat mengukur kayu disajikan pada Gambar 2.2. Tinggi pohon didefinisikan sebagai jarak atau panjang garis terpendek antara suatu titik pada pohon dengan bayangan proyeksinya di atas permukaan datar.



Gambar 2.2. Tinggi Pohon (Asy'ari dkk.,2012)

Tinggi total yaitu jarak terpendek dari titik puncak pohon ke titik proyeksinya pada bidang datar. Tinggi pohon bebas cabang (T_{bc}) adalah jarak terpendek dari titik bebas cabang ke titik proyeksinya pada bidang datar. Selanjutnya rumus tersebut dikembangkan dengan memperhatikan posisi mata saat membidik pohon atau sebaliknya posisi pohon saat dibidik. Ada lima posisi mata saat membidik pohon, yaitu:

- a. Posisi mata berada diantara pangkal dan bagian atas batang (ujung batang atau tajuk bebas cabang atau tinggi tertentu) dan arah bidik sejajar dengan bidang datar atau arah posisi bidik data (Gambar 2.3).



Gambar 2.3. Rumus Dasar Tinggi Pohon Berdasarkan Posisi (Asy'ari dkk.,2012)

Dari gambar tersebut dapat diperoleh rumus tinggi pohon (persamaan 3), yaitu :

$$T = Jd \times (\text{tangen } \alpha + \text{tangen } \beta) \dots\dots\dots (\text{Persamaan 3})$$

Keterangan :

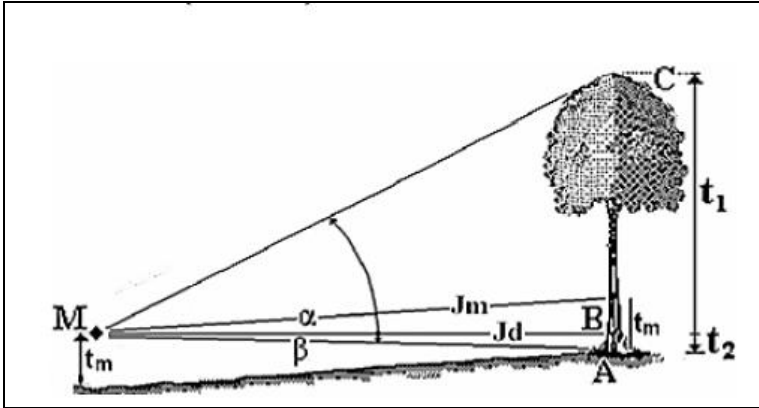
T = tinggi total pohon (m)

Jd = jarak datar antara pembidik dengan pohon (m)

α = sudut yang terbentuk saat membidik pucuk pohon (m)

β = sudut yang terbentuk saat membidik pangkal pohon (m)

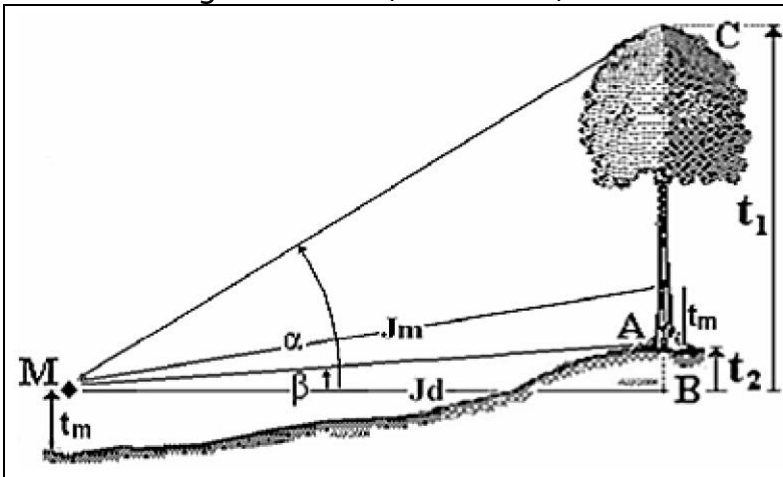
- b. Posisi mata masih berada diantara bagian bawah dan tengah batang, tetapi arah pandangan tidak sejajar dengan bidang datar/arah pandangan sedang naik (Gambar 2.4).



Gambar 2.4. Rumus Dasar Tinggi Pohon Berdasarkan Posisi Kedua (Asy'ari dkk.,2012)

Berdasarkan gambar diatas rumus tinggi pohon yang dihasilkan sama dengan persamaan 3.

- c. Posisi mata lebih rendah dari pangkal batang atau arah bidik bergerak keatas (Gambar 2.5)



Gambar 2.5. Rumus Dasar Tinggi Pohon Berdasarkan Posisi Ketiga (Asy'ari dkk.,2012)

Dari gambar tersebut dapat diperoleh rumus tinggi pohon (persamaan 4), yaitu :

$$T = Jd \times (\tan \alpha - \tan \beta) \dots\dots\dots (\text{Persamaan 4})$$

Keterangan :

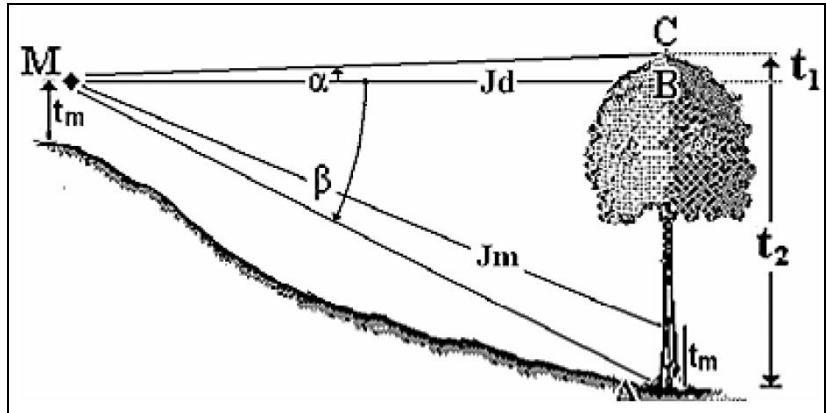
T = tinggi total pohon (m)

Jd = jarak datar antara pembidik dengan pohon (m)

α = sudut yang terbentuk saat membidik pucuk pohon (m)

β = sudut yang terbentuk saat membidik pangkal pohon (m)

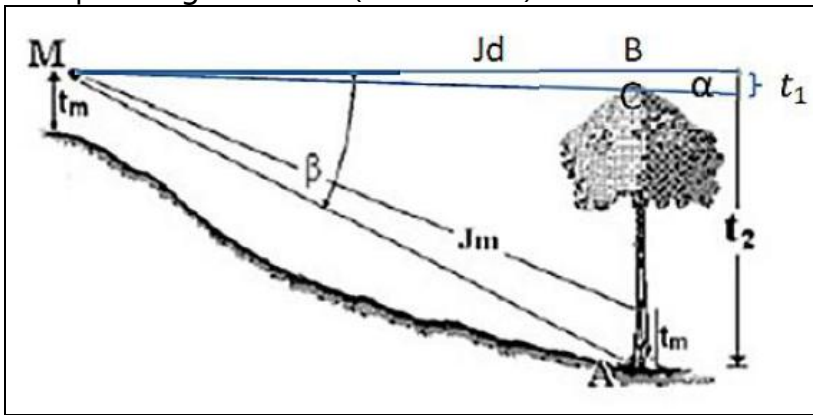
- d. Posisi mata masih berada di antara pangkal dan bagian atas batang, tetapi arah bidik tidak sejajar dengan bidang datar atau arah bidik menurun (Gambar 2.6).



Gambar 2.6. Rumus Dasar Tinggi Pohon Berdasarkan Posisi Keempat (Asy'ari dkk.,2012)

Dari Gambar 2.6 diatas maka diperoleh rumus tinggi pohon sama dengan Persamaan 3.

- e. Posisi mata lebih tinggi dari bagian atas batang atau arah pandang ke bawah (Gambar 2.7)



Gambar 2.7. Rumus Dasar Tinggi Pohon Berdasarkan Posisi Kelima (Asy'ari dkk.,2012)

Dari Gambar 2.7 maka diperoleh rumus (persamaan 5):

$$T = Jd \times (\text{tangen } \beta - \text{tangen } \alpha)$$

- T = tinggi total pohon (m)
 Jd = jarak datar antara pembidik dengan pohon (m)
 α = sudut yang terbentuk saat membidik pucuk pohon (m)
 β = sudut yang terbentuk saat membidik pangkal pohon (m)

Jika memperhatikan 5 posisi mata saat membidik, ternyata ada 3 rumus yang dihasilkan, yaitu :

- a. $T = Jd \times (\text{tangen } \alpha + \text{tangen } \beta)$

Rumus diatas digunakan ketika posisi pembidik dan pohon berdiri di posisi pertama, kedua dan keempat. Rumus yang sama digunakan karena dari ketiga posisi

tersebut, mata pembidik masih berada diantara pangkal dan bagian atas batang ketika melakukan pengukuran tinggi pohon.

b. $T = Jd \times (\text{tangen } \alpha - \text{tangen } \beta)$

Penggunaan rumus ini jika posisi pembidik dan pohon berada dalam posisi ketiga, yaitu saat mata pembidik berada lebih rendah daripada pangkal batang pohon (arah bidik keatas).

c. $T = Jd \times (\text{tangen } \beta - \text{tangen } \alpha)$

Rumus ini digunakan ketika posisi pembidik dan pohon berada di posisi kelima yaitu saat mata berada diatas bagian atas batang pohon dan arah bidik kebawah.

2. Luas Bidang Dasar

Luas Bidang Dasar (LBDS) yaitu ukuran penampang melintang dari diameter batang pohon yang diukur setinggi dada (1,3 meter) dari permukaan tanah (Sahid, 2009). Rumus LBDS (persamaan 6):

$$\text{LBDS} = \frac{1}{4} \pi D^2 \quad \text{..... (Persamaan 6)}$$

Keterangan :

LBDS = luas bidang dasar (cm²)

$$\pi = \frac{22}{7} \text{ atau } 3,14$$

D = diameter setinggi dada (cm)

3. Volume Pohon

LBDS atau diameter pangkal pohon; tinggi atau panjang batang; dan faktor bentuk batang menentukan volume pohon. Rumus volume pohon (persamaan 7):

$$\text{Vol} = \frac{1}{4} \pi D^2 \times H \times fb \quad \text{..... (Persamaan 7)}$$

Keterangan :

Konstanta $\pi = \frac{22}{7}$ atau 3,14

D = Diameter pohon (m)

H = Tinggi pohon (m)

fb = Faktor bentuk (yang umum dipakai 0,7)

2.2 Alat Inventarisasi Hutan

Sejumlah alat yang dapat digunakan untuk mengukur diameter, keliling dan tinggi pohon. Alat-alat ini dirancang untuk menghasilkan hasil pengukuran dengan eror yang sekecil mungkin. Hal ini disebabkan oleh bentuk batang yang tidak teratur (bukan lingkaran) dan pengukuran diameter dan keliling pohon untuk berbagai ketinggian yang diinginkan. Beberapa alat untuk mengukur diameter, keliling, dan tinggi pohon diantaranya:

1. Kaliper

Alat ukur ini digunakan untuk mengukur diameter pohon dengan hasil pengukuran yang cukup saksama. Alat ini berbentuk mistar berskala dan berkaki dua yang tegak lurus pada mistar, yang salah satu kakinya terletak pada ujung mistar dan tidak dapat digerakkan. Skala mistar dibagi berdasarkan sistem metrik maupun Inggris. Alat ini dapat terbuat dari kayu maupun logam yang masing-masing ada mempunyai kelemahan yaitu alatnya cukup besar, jadi kurang praktis untuk dibawa dan sulit digunakan jika diameter pohon lebih dari 100 cm; alat ini juga sulit dibawa terutama di daerah yang curam, serta kakinya sering sulit bergerak jika sudah kotor karena getah pohon. Sedangkan kelebihan dari kaliper ini pengukuran tidak memakan waktu yang lama; mudah dalam pembacaan; dan tingkat ketelitiannya cukup tinggi. Beberapa jenis kaliper yang sering digunakan antara lain *wodden beam*, *finnish parabolic*, *fork*, dan

visiormesswinkel. Selain itu, ada juga kaliper yang dilengkapi dengan alat optik berupa *pentaprism*. Untuk memperjelas bentuk berbagai jenis kaliper, dapat dilihat pada gambar 2.2.

2. *Phi band*

Phi band adalah alat yang paling sederhana dan pertama kali digunakan untuk mengukur diameter pohon. Sampai saat ini, di Indonesia *phi band* masih menjadi alat pengukur diameter pohon yang paling banyak digunakan karena harganya lebih murah, mudah digunakan, dan praktis dibawa kemana-mana. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam membuat atau memilih pita ukur sebagai alat pengukur diameter pohon adalah:

- a. Fleksibel tetapi tidak mudah melengkung
- b. Ukurannya tidak berubah panjangnya
- c. Huruf dan angka yang tertulis tidak mudah menghilang

3. Garpu Pohon

Garpu pohon memiliki bentuk fisik seperti mistar yang bercagak dengan skala. Skala awalnya adalah selang diameter, tetapi sekarang diubah menjadi satuan ukur. Untuk mengukur, satuan ukur terkecil adalah mm, dan cm. Pada tahun 1934, Lembaga Penelitian Hasil Hutan mengeluarkan alat berbentuk garpu dengan dua kaki yang membentuk sudut 60^0 . Alat ini bekerja dengan cara berikut: garis singgung lingkaran batang di tempat yang diukur garis tengahnya (diameter) membuat sudut satu sama lain. Cara menggunakan garpu pohon :

- Apitkan kedua lengan ke batang dan cari atau tentukan bagian lingkaran terkecil (d_1) dari batang sebagai pengukuran diameter pertama.
- Upayakan kedua lengan sama tinggi dengan tanah (setinggi dada = 130 cm).
- Pengukuran diameter kedua (d_2) tegak lurus dengan pengukuran diameter pertama atau diameter terpanjang.
- Diameter batang pohon adalah rata-rata dari keduanya, yaitu $d = \frac{1}{2} \times (d_1 + d_2)$

Kelebihan dari garpu pohon ini adalah cocok untuk pengukuran pohon berdiameter kecil. Sedangkan kelemahannya adalah sulit untuk dibawa dan digunakan serta ketelitiannya rendah.

4. *Biltmore Stick*

Biltmore Stick memiliki bentuk fisik seperti selang diameter dengan skala (satuan ukur). Skala awalnya berupa selang diameter, tetapi sekarang diubah menjadi satuan ukur. Satuan ukur yang digunakan adalah cm, dan satuan ukur terkecil adalah mm. Alat ini pertama kali digunakan di Amerika dengan bentuk yang sederhana dengan skala tertentu. Alat ini terbuat dari logam dengan pembagian skala tertentu dan memiliki jarak tetap 5 cm atau 10 cm. Ukuran diameter pohon diperoleh dengan melihat skala yang berimpitan dengan garis singgung arah pandang dengan sisi pohon lainnya. Penentuan skala dapat dibuat dengan menggunakan rumus Simon (2007) (persamaan 8) sebagai berikut:

$$s = d \sqrt{\frac{a}{a+d}} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 8)}$$

Dengan rumus diatas terlihat bahwa jarak antara pengukur dengan pohon mempengaruhi skala yang dibuat. Namun, skala tersebut bisa dibuat untuk berbagai jenis jarak pengukuran. Sebuah skala hanya bisa digunakan untuk jarak tertentu saja.

5. Dendrometer

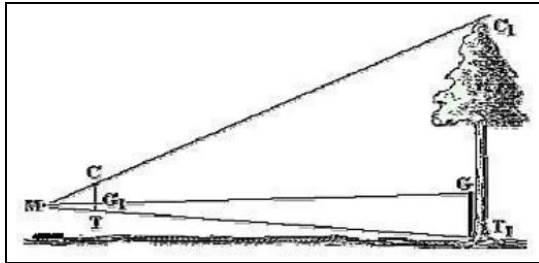
Dendrometer adalah alat yang dibuat untuk mengukur diameter pohon yang berdiri di berbagai tingkat ketinggian. Dua jenis dendrometer yang cukup populer adalah *Barr and Stroud* serta *Spiegel Relaskop*. Untuk meningkatkan akurasi hasil pengukuran, sekarang dendrometer juga dilengkapi dengan alat optik, sehingga dikenal sebagai teledendrometer.

Salah satu contoh alat ini yang dianggap paling canggih hingga saat ini adalah Tele-Relaskop yang dilengkapi dengan tripod, sehingga penggunaannya di lapangan terasa lebih nyaman. Alat ini mampu menghasilkan akurasi yang tinggi, digunakan untuk mengukur diameter batang pada berbagai ketinggian, meskipun harganya tergolong sangat mahal. Di Indonesia, alat ini masih belum tersedia di toko-toko, sehingga untuk mendapatkannya harus dipesan secara khusus.

6. *Christens Hypsometer*

Christens Hypsometer digunakan secara sederhana dengan bantuan alat berupa batang kayu atau logam. Alat tersebut memiliki skala untuk mengukur ketinggian yang dibuat berdasarkan prinsip geometri. Bentuk fisiknya adalah mistar atau penggaris dengan panjang skala 30 cm (CT). Saat digunakan, alat ini didukung oleh galah yang memiliki panjang 4 meter. Cara pengukuran tinggi pohon

dengan menggunakan *Christens Hypsometer* dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 8. Cara pengukuran tinggi pohon dengan menggunakan *Christens Hypsometer* (Asy'ari dkk. 2012)
Kelebihan alat *Christens Hypsometer* yaitu Alatnya sederhana, murah, dan praktis untuk dibawa. Sedangkan kekurangannya Sulit untuk digunakan di hutan campuran dan di daerah dengan topografi yang berat; galah harus dibawa dengan mudah.

7. Clinometer

Clinometer adalah alat sederhana yang digunakan untuk mengukur sudut elevasi antara garis datar dan titik yang menghubungkan titik puncak (ujung) sebuah objek. Fungsinya adalah untuk mengukur tinggi (panjang) suatu objek dengan menggunakan sudut elevasi, atau dengan kata lain, fungsinya adalah untuk mengetahui besarnya sudut elevasi saat mengukur tinggi objek secara tidak langsung.

Metode penggunaan alat ini hampir sama dengan *abney level*, tetapi dengan pembidikan, alat ini harus diletakkan pada lubang (A) dan kemudian diarahkan ke cabang atau puncak pohon yang diinginkan. Arahkan alat ke pangkal pohon dengan cara yang sama dengan puncak pohon dan baca sudut α pada skala yang member angka derajat yang

berhimpitan dengan garis horizontal. Selanjutnya, arahkan alat ke arah sasaran dan baca besar sudut β pada skala yang member angka derajat yang berhimpitan dengan garis horizontal.

8. Hagameter

Alat hagameter dapat dilihat pada Gambar 4. Cara menggunakan alat ukur ini adalah sebagai berikut:

- a. Ukur jarak datar ke sasaran, pastikan jaraknya sesuai dengan pilihan pada alat (15 m, 20 m, 25 m, 30 m).
- b. Lihat ke puncak pohon atau bagian bebas cabang, lalu tekan tombol F.
- c. Perhatikan jarum yang menunjukkan skala (H), ini merupakan tinggi (T1).
- d. Tekan tombol G untuk menggerakkan jarum.
- e. Lihat ke pangkal pohon, tekan tombol F lagi, dan baca skala yang menunjukkan (-T2) untuk daerah datar. Jika pangkal lebih tinggi dari pengamat, hasilnya adalah (T2). Jika pengamat lebih tinggi dari puncak pohon atau bagian bebas cabang, maka hasilnya (-T1) dan (-T2).

Rumus tinggi pohon (persamaan 9) :

$$H = T2 - T1 \dots\dots\dots (\text{Persamaan 9})$$

Keterangan:

T1 =Tinggi dari bebas cabang/puncak pohon ke bidang horizontal mata pengamat

T2 = Tinggi dari pangkal pohon ke bidang horizontal mata pengamat

2.3 Teknologi Inventarisasi Hutan

2.3.1 Teknik Inventarisasi Hutan Secara Terrestrial

Ada beberapa teknik inventarisasi hutan secara teresterial, diantaranya :

1. Teknik Sensus

Teknik ini mencakup pengukuran terhadap semua anggota populasi atau semua pohon didalam suatu area hutan. Sensus memberikan informasi yang sangat tepat dan detail. Meskipun demikian, teknik ini membutuhkan banyak waktu, biaya, dan tenaga kerja, sehingga hanya efektif diterapkan pada skala kecil, seperti hutan tanaman atau area penelitian.

2. Teknik Sampilng

Metode ini adalah yang paling banyak digunakan karena lebih efisien. Untuk mengestimasi kondisi hutan secara keseluruhan, pengukuran hanya dilakukan pada sampel populasi yang kecil, yang dianggap mewakili seluruh wilayah hutan. Hasil pengukuran sampel ini kemudian diekstrapolasi. Teknik sampling memiliki beberapa keuntungan diantaranya:

- a. Pekerjaan dapat selesai lebih cepat karena hanya sebagian kecil dari seluruh populasi yang diukur dan dicatat.
- b. Pekerjaan selesai lebih cepat, sehingga biaya yang diperlukan jauh lebih murah
- c. Angka-angka yang didapat dari sampling lebih sederhana dan volumenya lebih kecil, sehingga memudahkan dalam membuat kesimpulan dan meningkatkan ketelitian karena kesalahan dalam perhitungan bisa lebih mudah dikontrol dan segera diperbaiki

- d. Sifatnya sederhana, pengamatan bisa dilakukan dalam waktu yang sama untuk tujuan lain, perhatian tidak hanya fokus pada satu masalah saja, sehingga cakupan pemahaman menjadi lebih jelas

Ada beberapa jenis teknik sampling yang dapat digunakan, diantaranya:

1. *Simple Random Sampling*

Dalam *simple random sampling*, setiap kombinasi unit yang mungkin memiliki kesempatan yang sama untuk dipilih, yang merupakan dasar dari Random Sampling Simple atau Sampling secara sederhana. Karena setiap kombinasi dari unit yang mungkin memiliki kesempatan yang sama untuk dipilih sebagai contoh, metode sampling ini dapat menghasilkan penaksiran yang bebas dari bias. Meskipun metode *simple random sampling*, tetapi memainkan peran penting dalam pembentukan metode sampling lainnya.

2. *Stratified Random Sampling*

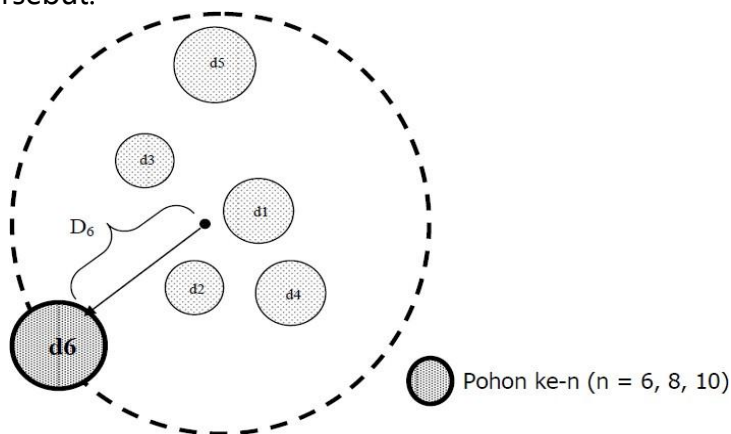
Untuk melakukan inventarisasi hutan, khususnya di hutan alam, akan menghadapi populasi yang sangat beragam. Kita mengenal berbagai tingkatan tumbuhan penyusun hutan, mulai dari *seedling*, *sapling*, *poles*, hingga *trees* yang jumlahnya sangat beragam. Selain itu, penyebaran pohon kadang-kadang ditemukan dalam situasi yang berkelompok, dengan beberapa pohon terdistribusi secara tidak merata atau tidak merata dalam tingkat kerapatan yang berbeda-beda, dan semakin.

3. *Systematic Sampling*

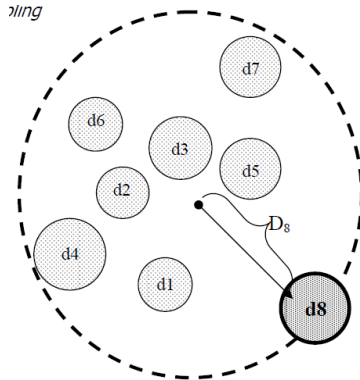
Cara pengambilan contoh *Systematic Sampling* adalah suatu metode pengambilan contoh yang dilakukan dengan menggunakan pola sistematis yang telah ditetapkan sebelumnya. Pola ini bervariasi tergantung pada tujuan inventore, waktu, biaya yang tersedia, dan kondisi populasi yang dihadapi.

4. *Tree Sampling*

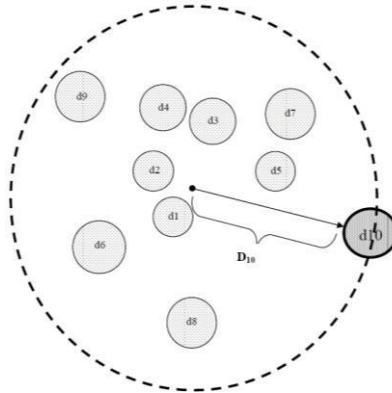
Tree sampling adalah suatu plot contoh (*sample unit*) yang bukan didasarkan pada luasan petak tertentu melainkan didasarkan pada sejumlah pohon tertentu yang tercakup dalam plot contoh tersebut (*n-tree sampling*), misalnya 6-*tree sampling* (Gambar 9), 8-*tree sampling* (Gambar 10), 10-*tree sampling* (Gambar 11), dan seterusnya. Untuk membuat plot contoh dengan cara ini adalah dengan menetapkan terlebih dahulu jumlah pohon yang akan diukur dalam suatu plot contoh. Dari titik pusat plot contoh yang telah ditetapkan, ditentukan n-pohon terdekat dari titik pusat plot contoh tersebut.



Gambar 2.9. Plot Contoh 6-*tree sampling*



Gambar 2.10. Plot Contoh 8-*tree sampling*



Gambar 2.11. Plot Contoh 10-*tree sampling*

Plot contoh berbentuk contoh pohon (*tree sampling*) pada dasarnya merupakan plot contoh berbentuk lingkaran, dimana untuk plot contoh dengan n-pohon yang sama, akan memiliki luas plot contoh yang berbeda. Luas plot contoh didasarkan pada jari-jari lingkaran yang ditentukan oleh jarak pohon ke-n (pohon yang terjauh dari n-pohon) dari titik pusat plot contoh ditambah setengah diameter pohon ke-n. Jari-jari lingkaran plot contoh dengan n-contoh pohon (n-tree sampling) ditentukan dengan persamaan 10 :

$$R_n = D_n + 0,5d_n \dots\dots\dots(\text{Persamaan 10})$$

Keterangan:

R_n : Jari-jari lingkaran pada plot contoh dengan n-contoh pohon (m)

D_n : Jarak pohon ke-n dari titik pusat plot contoh (m)

d_n : Diameter pohon ke-n (m)

Luas plot contoh dengan n-contoh pohon ditentukan dengan Persamaan 11:

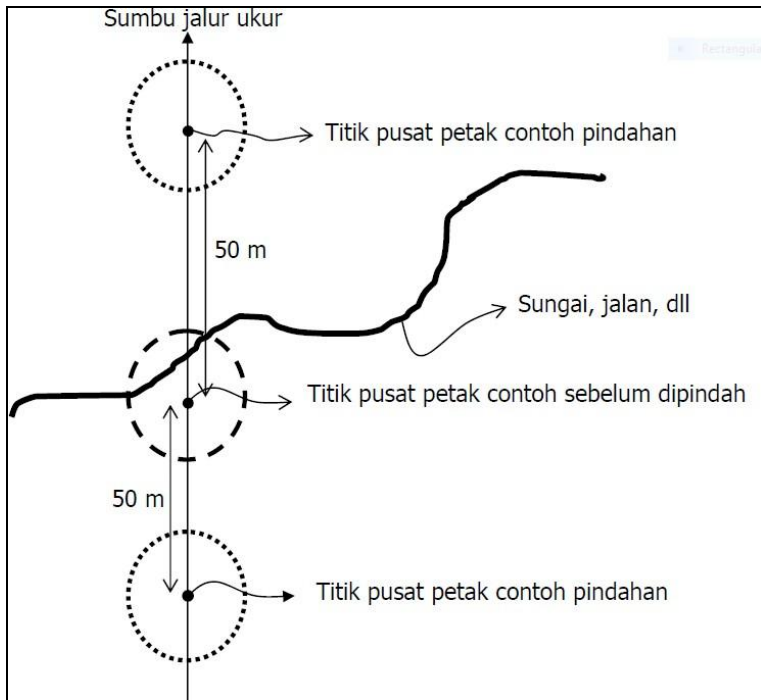
$$L_n = (R_n)^2 \dots\dots\dots (\text{Persamaan 11})$$

Keterangan:

L_n : Luas plot contoh dengan n-contoh pohon (m^2)

π : Bilangan phi (22/7)

Seandainya posisi plot contoh berada pada posisi yang tidak memungkinkan untuk dibuat (terpotong sungai, jalan, TPn, jurang, dan sebagainya dengan lebar lebih atau sama dengan 3 meter), maka pemindahan plot contoh (Gambar 2.12) dilakukan dengan merubah posisi plot contoh dengan memajukan atau memundurkan plot contoh 50 meter dari titik pusat plot contoh semula, dengan tetap berada pada jalur ukur.



Gambar 2.12. Pemindahan Plot Contoh

1. Pemasangan Label Pohon

Pemasangan label pohon pada hutan tanaman maupun hutan alam yang berada dalam plot contoh dimulai pada diameter 10cm ke atas atau mulai dari tingkat tiang. Label pohon dipasang pada ketinggian 15cm di atas lingkaran pengukuran diameter dan menghadap jalur ukur, agar lebih mudah dilihat dari jalur rintisan. Label pohon yang dipasang terbuat dari material yang tidak rusak sampai 2 tahun misalnya plat aluminium atau plastik berukuran 7cm x 4cm.

**INVENTARISASI HUTAN MENYELURUH BERKALA
DATA POHON TANAMAN KELAS UMUR I – II**

DI	No. Petak	No. Plot Contoh	No. Regu	Tanggal
4b				

JENIS TANAMAN :

UMUR TANAMAN : ... tahun

Data yang dikumpulkan adalah data semua pohon dalam plot contoh berbentuk 6-contoh pohon (*6-tree sampling*).

Jarak pohon ke-6 : D_6 : m

Jari-jari plot contoh : $R_6 = D_6 + 0,5d_6$: m

Luas plot contoh : $L_6 = \pi \times (R_6)^2$: $m^2 =$ ha

No. Pkn Ke-	Nomor Pohon/Label	Dia. 1,3 m (cm)	T_{bc} (m)	T_{tot} (m)	Volume Bebas Cabang (m^3)	Volume Total (m^3)	Gangguan (A / TA)
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							

Gambar 2.13. Daftar isian tally sheet 6-tree sampling:

**INVENTARISASI HUTAN MENYELURUH BERKALA
DATA POHON TANAMAN KELAS UMUR III – IV**

DI	No. Petak	No. Plot Contoh	No. Regu	Tanggal
5b				

JENIS TANAMAN :

UMUR TANAMAN : ... tahun

Data yang dikumpulkan adalah data semua pohon dalam plot contoh berbentuk 8-contoh pohon (*8-tree sampling*)

Jarak pohon ke-8 : D_8 : m
 Jari-jari plot contoh : $R_8 = D_8 + 0,5d_8$: m
 Luas plot contoh : $L_8 = \pi \times (R_8)^2$: m² =ha

No. Phn Ke-	Nomor Pohon/Label	Dia. 1,3 m (cm)	T _{BC} (m)	T _{Tot} (m)	Volume Bebas Cabang (m ³)	Volume Total (m ³)	Gangguan (A / TA)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

Gambar 2.14. Daftar isian tally sheet *8-tree sampling*

**INVENTARISASI HUTAN MENYELURUH BERKALA
DATA POHON TANAMAN KELAS UMUR $\geq V$ DAN MISKIN RIAP**

DI	No. Petak	No. Plot Contoh	No. Regu	Tanggal
6b				

JENIS TANAMAN :

UMUR TANAMAN : ... tahun

Data yang dikumpulkan adalah data semua pohon dalam plot contoh berbentuk 10-contoh pohon (*10-tree sampling*).

Jarak pohon ke-10 : D_{10} : m

Jari-jari plot contoh : $R_{10} = D_{10} + 0,5d_{10}$: m

Luas plot contoh : $L_{10} = \pi \times (R_{10})^2$: m² = ha

No. Phn Ke-	Nomor Pohon/Label	Dia. 1,3 m (cm)	T_{BC} (m)	T_{Tot} (m)	Volume Bebas Cabang (m ³)	Volume Total (m ³)	Gangguan (A / TA)
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
9.							
10.							

Gambar 2.15. Daftar isian *tally sheet* 10-tree sampling

2. Basal Areal Factor

Area penampang batang atau batang tanaman umumnya dinyatakan sebagai satuan persegi per unit dari area yang ditumbuhkan. Deskripsi volumetrik ini adalah rasio luas penampang pohon di DBH dengan luas total dan disebut area basal atau BA. Ini digunakan oleh para profesional kehutanan untuk menentukan persen tingkat stok pohon

di daerah tertentu. Untuk semak dan herba, digunakan untuk menentukan *phytomass*. Rumput, *forbs*, dan semak biasanya diukur pada atau kurang dari 1 inci di atas permukaan tanah.

Untuk pohon: luas penampang batang pohon dalam kaki persegi umumnya diukur pada panjang setinggi dada (1,5m di atas tanah) dan termasuk kulit kayu, biasanya dihitung dengan menggunakan DBH atau dihitung melalui penggunaan pengukur sudut faktor area basal atau prisma faktor.

Bitterlich stick merupakan alat sederhana berupa mistar sepanjang 1 meter, pada salah satu ujungnya terdapat plat berlobang dan yang lain merupakan plat berlekuk ukuran 2cm. Alat ini biasa digunakan untuk mengukur jumlah luas bidang tegakan persatuan luas / kerapatan pohon (Kemendikbud, 2013). Dalam praktikum BAF ini menggunakan alat yang telah dimodifikasi dan disederhanakan oleh Dosen Lab. Perencanaan Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman dengan 4 Basal Area yang dapat digunakan dalam pengukuran. Cara kerja alat ukur *Basal Area Factor (Bitterlich stick)* yaitu bidik batang pohon-pohon di keliling yang plotnya sudah ditentukan hitung N dengan melihat pohon pada celah bidik :

- a. Pohon yang lebih besar dari lebar plat dihitung 1
- b. Pohon yang sama dengan lebar plat dihitung $\frac{1}{2}$
- c. Pohon yang lebih kecil dari lebar plat dihitung 0
- d. Setelah N dihitung masukan pada persamaan 12:

$$LBD_s = BAF \times N \dots\dots\dots (Persamaan 12)$$

3. *Quick IHMB*

Salah satu faktor yang berperan penting dalam menjaga kelestarian fungsi produksi kawasan hutan adalah sediaan

tegakan (*standing stock*) dalam jumlah cukup. Untuk mengetahui besarnya sediaan/standing stock sumberdaya tersebut secara akurat, baik volume kayu dan non kayu, tanah dan unsur-unsur lain yang berkaitan dapat dilakukan dengan kegiatan inventarisasi tegakan hutan, namun yang terjadi selama ini kegiatan pemanfaatan hutan hanya bergantung pada sediaan tegakan hutan primer (*virgin forest*) dan hutan bekas tebangan (LOA) saja, sedangkan hutan sebagai ekosistem akan terus tumbuh dan berkembang. Dengan kondisi demikian maka kegiatan pemanfaatan hutan harus dilaksanakan dengan berbasis ekosistem, di mana jatah tebangan tahunan atau *Annual Allowabel Cut* (AAC) ditentukan oleh *growing stock* dan kemampuan regeneratif hutannya.

Pada dasarnya Inventarisasi Hutan Menyeluruh Berkala (IHMB) dilaksanakan dalam jangka waktu 10 tahunan. Pedoman pelaksanaan IHMB mengacu pada lampiran VI pada peraturan menteri diatas tentang Pedoman Pelaksanaan Inventarisasi Hutan Menyeluruh Berkala dengan lingkup kerja sebagai berikut:

- a. IHMB Berbasis Gabungan Terestris dan Citra Satelit (*Quick IHMB*), yaitu metode pendugaan sediaan tegakan melalui klasifikasi/stratifikasi kerapatan tegakan berdasarkan citra satelit yang dikombinasikan dengan hasil pengukuran plot contoh (*groundcheck*).
- b. Citra satelit yang digunakan setidaknya memiliki resolusi spasial sedang (10m – 30m) dengan liputan paling lama 2 (dua) tahun terakhir.
- c. Plot contoh berbentuk bujur sangkar berukuran 50m × 50m (lima puluh kali lima puluh meter) atau setara dengan luasan 0,25Ha (dua puluh lima perseratus hektare), yang dibuat secara purposive mengacu pada

hasil klasifikasi/stratifikasi kerapatan tegakan yang dibuat paling sedikit 5 (lima) kelas/stratum, di mana pada setiap kelas/stratum memiliki paling 3 (tiga) plot contoh yang dapat mewakili kondisi masing-masing kelas/stratum.

- d. Penentuan sediaan tegakan menurut kelas diameter dan kelompok jenis didasarkan pada rumus volume pohon berdiri dimana pengukuran diameter dilakukan pada plot IHMB dan model penduga tinggi yang dibangun pada saat pelaksanaan IHMB di lapangan.

Persamaan 13 menentukan jumlah plot contoh:

$$N = \frac{N \times t_{VAL}^2 \times (\sum W_i \times S_i)^2}{N \times E^2 \times t_{VAL}^2 \times (\sum W_i \times S_i)^2} \dots\dots\dots(\text{Persamaan 13})$$

Keterangan:

N : Total jumlah plot yang akan dibuat

n : Jumlah plot contoh yang dibutuhkan untuk menduga sediaan tegakan

n_i : Jumlah plot contoh yang dialokasikan pada stratum ke-i

t_{VAL} : Nilai table t-student (umumny bernilai 2 yang dipakai)

w_i : Nilai bobot luas stratum ke-I (luas stratum ke-I dibagi total luas)

S_i : Standar deviasi dari nilai sediaan tegakan pada stratum ke-i

E : Margin error yang diharapkan (jika diharapkan tingkat akurasi sebesar 10% maka nilai E adalah 0,1 × rata-rata sediaan tegakan)

Untuk pelaksaannya kegiatan IHMB perlu dibentuk tim pelaksana IHMB yang terdiri dari: (1) Ketua Tim Pelaksana; (2) Kepala Regu; dan (3) Anggota Regu. Ketua tim pelaksana bertanggung jawab penuh

terhadap semua pelaksanaan, maupun dalam pelaporan hasil IKHB. Ketua regu bertanggung jawab penuh terhadap pelaksanaan, pencatatan data, dan pelaporan hasil kerja regunya. Jumlah anggota setiap regu sekurang-kurangnya terdiri dari:

- a. 1 (satu) Kepala regu, bertugas mencatat dan mengisi *tally sheet*, serta bertanggung jawab dalam pencarian plot dengan GPS serta mengarahkan anggota perintis menuju plot;
- b. 2 (dua) personil untuk pembuatan plot contoh dan perintisan jalur;
- c. 2 (dua) personil untuk pengukuran dan identifikasi jenis pohon;
- d. 1 (satu) personil untuk membantu kelancaran operasional umum

Sedangkan perlengkapan regunya terdiri dari:

- a. Peta kerja skala 1:50.000 (satu banding lima puluh ribu) yang sudah ditumpang susun dengan peta rencana desain sampling (berisi informasi stratum, sebaran plot, jaringan jalan, sungai dsbg)
 - b. *Tally sheet*, alat tulis dan buku panduan
 - c. 1 (satu) buah kompas
 - d. 1 (satu) unit GPS (*Global Positioning System*)
 - e. 1 (satu) buah *clinometer* untuk mengukur lereng dan tinggi pohon
 - f. 1 (satu) buah meteran 50m (lima puluh meter)
 - g. 1 (satu) pita ukur diameter (phi-band)
 - h. Label untuk penandaan pohon dan patok
- Perlengkapan personal (botol air, tas, parang, kotak P3K dsbg)

Teknik Pembuatan Plot Contoh dan Pengumpulan Data:

a. Titik Ikat

Sebelum kegiatan lapangan dimulai, terlebih dahulu sudah dibuat rencana desain plot pengamatan berupa peta bagan sampling. Titik ikat yang sudah dibuat dalam peta tersebut (berupa bentuk-bentuk fisik permanen seperti simpang sungai, simpang jalan, jembatan atau *landmark* lainnya), kemudian posisinya dicari di lapangan dengan menggunakan GPS atau menggunakan koordinat peta yang ada. Titik ikat ini dimaksudkan untuk mendapatkan posisi awal plot contoh dengan mengukur jarak dan sudut arah atau azimuth dari titik ikat tersebut.

Tabel 2.1. Contoh daftar titik ikat untuk setiap Regu
IHMB

Regu Kelompok	Koordinat		Plot Target	Azimut h (°)	Jarak Datar (m)	Keterangan
	X	Y				
1	683843	135049	STR06_02	148	323	Titik Ikat 1
2	687760	123800	STR04_01	161	214	Titik Ikat 2
3	679785	126071	STR03_02	47	704	Titik Ikat 3

b. Titik Pusat Plot

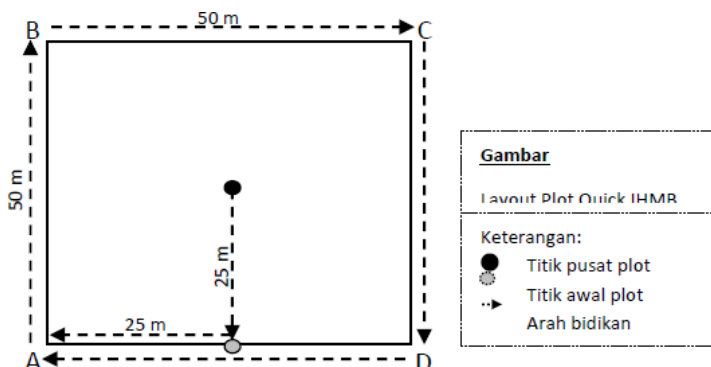
Mengukur azimuth atau sudut arah dan jarak dari titik ikat ke titik pusat plot awal; Menggambar jalan masuk menuju plot yang memperlihatkan keadaan setiap 50m (lima puluh meter) berdasarkan arah dan jarak rintisan dari titik ikat; dan saat membuat rintisan masuk, sedapat mungkin mengurangi kerusakan terhadap sumber daya seperti rotan atau jenis-jenis komersil lainnya. Patok rintisan dibuat hanya dari pancang jenis non komersil.

Tabel 2.2. Contoh rencana titik pusat plot

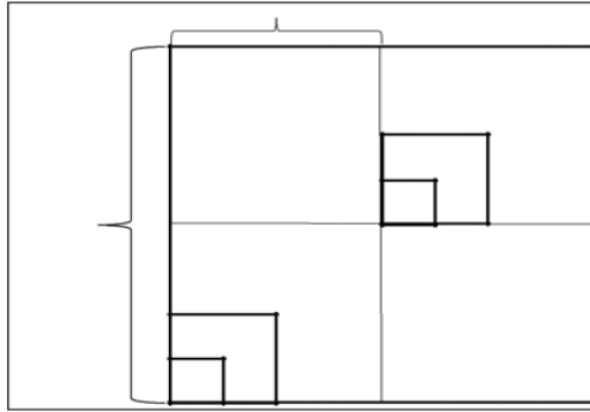
No	ID Plot	X_UTM	Y_UTM	Tutupan
1	STR01_01	684860	126100	Hutan Primer Kerapatan Rendah
2	STR03_02	680301	126550	Hutan Primer Kerapatan Tinggi
3	STR04_01	687831	123598	Hutan Sekunder Kerapatan Rendah
4	STR06_02	684012	134772	Hutan Sekunder Kerapatan Tinggi
5	STR08_01	682310	141537	Semak Belukar

c. Bentuk dan Ukuran Plot Contoh

Plot contoh untuk pengamatan pohon pada hutan alam berbentuk persegi (*square plot*) berukuran paling sedikit 0,25Ha (dua puluh lima perseratus hektare) dengan lebar 50m (lima puluh meter) dan panjang 50 m (lima puluh meter). Pada titik awal plot yang terletak di tengah jalur dengan arah utara-selatan dipasang sebuah patok permanen. Patok tersebut dapat digunakan sebagai tanda awal jalur. Patok permanen kemudian diberi nomor stratum dan nomor plot, misalnya STR01,01 yang berarti Stratum 01, plot nomor 1 (Satu).



Gambar 2.16. Ukuran Plot IHMB



Gambar 2.17. Desain Sub Plot IHMB

Keterangan :

Sub plot ukuran $5\text{m} \times 5\text{m}$ digunakan untuk mendapatkan data pancang (kuadran I dan III)

Sub plot ukuran $10\text{m} \times 10\text{m}$ digunakan untuk mendapatkan data tiang (kuadran I dan III)

Sub plot ukuran $25\text{m} \times 25\text{m}$ digunakan untuk mendapatkan data pohon kecil (kuadran I dan III)

Sub plot ukuran $50\text{m} \times 50\text{m}$ digunakan untuk mendapatkan data pohon besar (kuadran I-IV)

Informasi dan data yang akan dikumpulkan adalah sebagai berikut:

1) Nomor Petak

Dicatat nomor petak sesuai dengan nomor pada peta topografi atau peta jaringan jalan yang disediakan. Berikan informasi petak ini akan ditebang (D) atau tidak ditebang (TD). Petak akan ditebang apabila umur tanaman telah mencapai umur daur. Contoh nomor Petak : Ptk01/D (petak 01, ditebang).

2) Nomor Plot Contoh

Nomor plot contoh terdiri dari 2 bagian, nomor

jalur dan nomor plot contoh di jalur. Misal, jalur 3, plot contoh nomor 20, maka ditulis J03,20.

- 3) Nomor Regu Inventarisasi
Dimasukan nomor regu yang telah ditentukan sebelumnya dengan 1 digit
- 4) Tanggal Inventarisasi
Dicatat tanggal pengukuran plot contoh tersebut dengan pola "HHBBTT" (H untuk hari, B untuk bulan dan T untuk tahun).
- 5) Ketinggian
Ditentukan ketinggian dari permukaan laut (mdpl) dengan mengacu pada peta topografi yang disediakan.
- 6) Kemiringan Lereng
Diukur kemiringan lereng dalam persen (%) pada jalur sejauh 20m mulai dari titik awal plot contoh ke arah Utara, Timur, Selatan dan Barat.

d. Fisiografi (Keadaan Muka Bumi)

Ditentukan keadaan fisiografi daerah di sekitar plot contoh berdasarkan kriteria berikut:

- 1) Datar : Kelerengan tidak melebihi 10%; beda ketinggian antara titik tertinggi dengan terendah tidak lebih dari 2 meter
- 2) Bergelombang : Kelerengan berkisar antara 11 – 25 %; beda ketinggian antara titik tertinggi dengan terendah sekitar 2 – 5 meter
- 3) Puncak punggung : kelerengan melebihi 25%; dua kelerengan yang bertentangan mencapai titik tertinggi
- 4) Lereng atas : Kelerengan melebihi 25%; terletak pada bagian ketiga teratas dari lereng

- 5) Lereng tengah : Kelerengan melebihi 25%; terletak antara lereng atas dan lereng bawah
 - 6) Lereng bawah : Kelerengan melebihi 25%; terletak pada bagian ketiga terendah dari lereng
 - 7) Lembah : Terletak pada daerah lembah yang lebar minimalnya 20m
 - 8) Lembah curam : Kelerengan melebihi 25%; dua kelerengan yang bertentangan mencapai titik terendah
- e. Kondisi Tapak
- Kondisi tapak ditentukan di dalam sub-plot 20 m x 20 m dan dinyatakan dalam 2 kategori yaitu kondisi tapak khusus dan kelas tekstur tanah. Sedangkan untuk penentuan jenis tanah, digolongkan ke dalam jenis tanah mineral atau gambut. Kondisi tapak khusus dinyatakan dalam kelas berikut ini:
- 1) Tidak ada : tidak ada ciri khas tentang kondisi tapak di daerah tersebut
 - 2) Berbatu : lebih dari 1/3 areal merupakan areal berbatu
 - 3) Rawa : lebih dari separuh areal merupakan areal yang digenangi air (terutama pada musim hujan)
 - 4) Labil : lebih dari 1/3 areal dipengaruhi oleh erosi seperti tanah longsor atau terkikis air.
- f. Bekas Tebangan
- 1) Baru : umur tebangan ≤ 5 tahun
 - 2) Lama : umur tebangan > 5 tahun
- g. Bekas Kebaran
- Dicatat tahun kejadian kebakaran

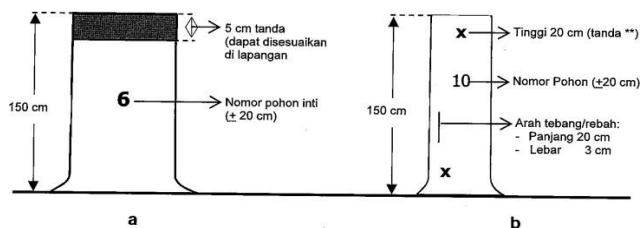
4. Inventarisasi Tegakan Sebelum Penebangan (ITSP)

Inventarisasi Tegakan Sebelum Penebangan (ITSP) adalah kegiatan pencatatan, pengukuran dan penandaan pohon dalam areal blok kerja tahunan untuk mengetahui jumlah, jenis, dan diameter pohon inti, pohon yang dilindungi, dan pohon yang akan ditebang serta data medan kerja. Pohon inti adalah pohon muda dari jenis niagawi yang berdiameter $\geq$ (lebih dari sama dengan) 20cm, yang akan membentuk tegakan utama untuk ditebang pada rotasi tebang berikutnya. Pohon yang dilindungi adalah jenis-jenis pohon yang berdasarkan peraturan/ketentuan dinyatakan sebagai pohon dilindungi. Tujuan kegiatan ITSP adalah menetapkan target produksi pada blok kerja tahunan yang bersangkutan, serta memudahkan perencanaan, pelaksanaan, pemantauan dan pengawasan pengendalian kegiatan penebangan hutan pada blok kerja tahunan yang bersangkutan. Kegiatan umum:

- a. Kegiatan ITSP dilaksanakan pada blok kerja tahunan 1 (satu) tahun sebelum penabangan (Et-1).
- b. Kegiatan ITSP untuk tingkat pohon diameter $\geq$ 20cm dilakukan dengan pencacaham 100% (sensus) pada masing-masing petak kerja, sedangkan intensitas contoh untuk tingkat permudaan pancang 1,25% dan tiang 25%.
- c. Jenis data dan informasi yang dikumpulkan dalam kegiatan ITSP, meliputi data dan informasi yang berkenaan dengan pohon yang akan ditebang, pohon int, pohon yang dilindungi dan keadaan fisik lapangan.
- d. Pencacahan dan pengukuran pohon yang akan ditebang dilakukan terhadap jenis-jenis pohon

komersial dengan diameter 30cm ke atas. Pohon inti dipilih dengan kriteria sebagai berikut:

- 1) Tergolong jenis pohon komersial diutamakan yang sejenis dengan pohon yang akan ditebang.
 - 2) Berdiameter minimum 20cm.
 - 3) Keadaan pohon sehat.
 - 4) Tersebar relatif merata pada petak kerja tahunan.
- e. Jenis-jenis pohon yang dilindungi dicatat nama daerah dan nama latinnya sesuai peraturan/ketentuan yang berlaku.
- f. Penandaan pohon (Gambar 2.18) dilakukan pada bagian-bagian batang setinggi $\pm 1,45$ m dari permukaan tanah.



Gambar 2.18. Penandaan pohon inti (a) dan pohon yang akan ditebang (b)

- g. Perhitungan isi pohon dapat dilakukan dengan bantuan Tabel Isi Pohon baik yang disusun dengan menggunakan angka bentuk maupun yang disusun berdasarkan persamaan regresi.
- h. Pelaksanaan ITSP dilakukan dengan system jalur, lebar jalur untuk inventarisasi adalah 20m.
- i. Untuk setiap areal tebangan seluas 500ha/tahun, setiap pemegang areal PHPB harus mempunyai minimal 1 (satu) regua pelaksana inventarisasi hutan.

Susunan regu *timber cruising*:

- a) Ketua regu bertugas:
 - Mengkoordinir regu dalam pelaksanaan *timber cruising*.
 - Mengontrol pengenalan jenis.
 - Mencatat nomor jenis, diameter, koordinat
- b) 1 orang kompasman
 - Memandu arah dalam perintisan jalur *cruising*.
 - Melakukan bidikan sesuai arah jalur yaitu Utara – Selatan (0° - 180°) atau sebaliknya dan mengarahkan pemegang tali batas bagian depan.
- c) 2 orang pemegang tali batas sekaligus mengukur data topografi (Tabel 6)
 - Pemegang tali depan mengikatkan ujung tali ke pinggangnya sehingga mudah bergerak mengikuti arah yang ditunjukkan kompasman.
 - Pemegang tali belakang memegang ujung tali terakhir dan berteriak "*stop*" setiap akhir ujung tali serta menyampaikan hasil pengukurannya ke petugas pencatat.
 - Pemegang tali belakang juga bertugas memberi tanda berupa patok yang diberi tanda cat pada setiap akhir ujung tali.
 - Mengukur kelereng dengan satuan persen.

Tabel 2.3. Pengukuran Topografi

Jalur	No.Titik	Jarak Lapangan JL (m)	Jarak Datar JD (m)	Azimuth (°)	Slope (%)	Keterangan

Keterangan :

Jalur 0 → Baseline (pengukuran keliling batas)

Jalur 1 s/d terletak di dalam petak (lihat pada sketsa plot)

d) 2 orang perintis batas jalur

Bertugas merintis batas jalur sesuai ketentuan yang berlaku selebar 1 meter dan diupayakan untuk tidak memotong atau menebas anakan/pohon jenis niagawi yang nantinya pada rotasi kedua menjadi pohon inti/pohon tebang.

e) 2 orang pengenalan dan pengukur pohon:

- Bertugas melakukan cacah pohon dan menyampaikannya kepada pencatat.
- Pohon diukur tinggi dan diameternya, meliputi pohon inti; pohon tebang; dan pohon dilindungi.
- Pengukuran diameter dan tinggi dilakukan dengan menggunakan alat ukur dimensi pohon yang dibawa.
- Bertugas menempelkan tanda pada pohon inti; pohon tebang; dan pohon dilindungi.
- Pohon inti (pohon bina) dan pohon dilindungi diberi label plastik warna kuning.
- Pohon tebang berlabel merah. Pelabelan dilakukan dengan cara memaku label menggunakan paku sirap, arah label menghadap sumbu jalur. Label dipasang kira-kira setinggi dada ($\pm 145\text{cm}$).

f) 1 Orang pencatat pohon

- Bertugas mencatat data *cruising* yang dilakukan meliputi panjang jarak yang telah ditempuh, membuat peta pohon sementara di *tally sheet*, dan mencatat dimensi pohon (tinggi & diameter) pohon-pohon yang diukur oleh petugas lainnya.
- Pencatat juga bertugas memberikan keterangan pada jalur yang dilalui misalnya kondisi tanah, batuan, adanya anak sungai, dll.

Persiapan perlatan diantaranya:

a) Penyiapan peta kerja skala 1:10.000

b) Peralatan yang digunakan antara lain:

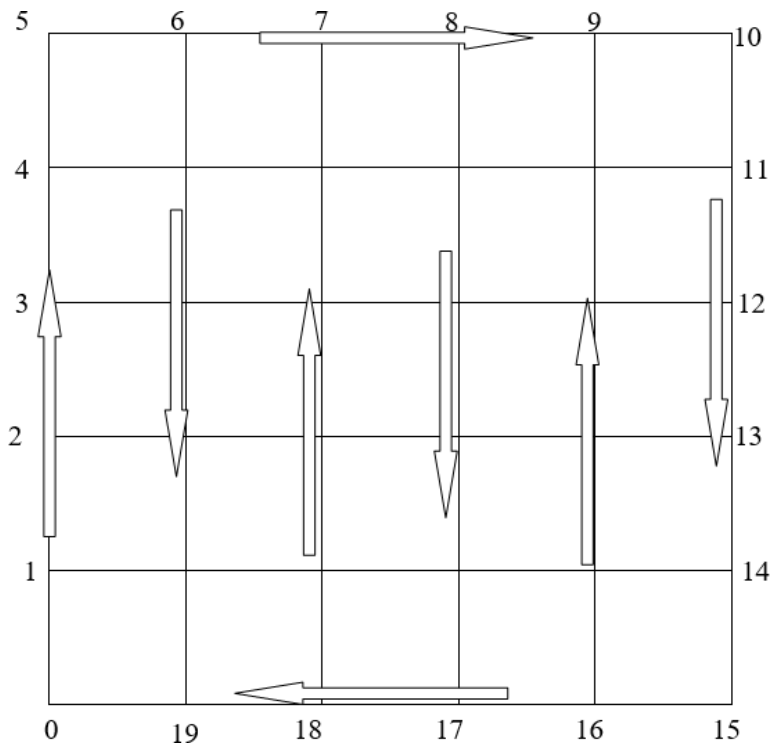
- Buku lapangan
- Kompas
- Pengukur diameter (pita diameter)
- Pengukur lereng (clinometer)
- Parang
- Tali Panjang 20m, tiap 5m diberi tanda simpul
- Pena, spidol, pensil dan penghapus
- Daftar ukur (*tally sheet*)
- Label pohon
- Stapler tembak

Pelaksanaan *timber cruising*:

a) Penentuan batas petak

- Ditentukan titik nol sebagai titik awal dalam pembuatan jalur *timber cruising*.
- Batas petak Utara – Selatan (sumbu Y) berfungsi sebagai ordinat, dan batas petak Timur – Barat (sumbu X) berfungsi sebagai absis.
- Penomoran jalur *timber cruising* dimulai dari angka 0 pada batas petak Utara – Selatan sebelah kanan, dan

berakhir pada nomor 19 sebelum batas petak berikutnya.



Gambar 2.19. Sketsa pembuatan plot ITSP

- Tanda batas jalur di lapangan dibuat se jelas mungkin, pada lorong batas jalur diusahakan tidak memotong/menebas permudaan dari jenis-jenis pohon niagawi.
- Pada tempat yang berbatasan dengan bagian-bagian hutan yang dikecualikan dari kegiatan produksi, misalnya untuk areal hutan wisata dan suaka alam/margasatwa, sumber mata air dan lain-lain, harus diberi batas yang jelas dan diberi tanda khusus sesuai peruntukannya. Tanda-tanda khusus

juga perlu dibuat pada tempat-tempat yang mengandung batu galian tambang dan batuan lain yang bernilai tinggi dan digambarkan pada cruising dan peta kerja.

Pelaksanaan *timber cruising*.

- a) Pembuatan petak ukur
- b) Pengukuran diameter pohon
- c) Pengukuran posisi pohon
 - Posisi pohon ditentukan dengan menggunakan koordinat X dan Y tiap PU (Petak Ukur), sehingga nilai X dan Y akan bernilai 0 sampai 20m.
 - Kalau PU terletak disebelah barat jalur maka nilai X akan bernilai negative sementara kalua terletak di timur jalur bernilai positif.
 - Untuk nilai Y bernilai positif jika jalur menuju utara, jika jalur menuju selatan maka Y bernilai negatif.
- d) Pengenalan jenis dengan menyebut jenis pohon yang ditemui sepanjang jalur cruising dan menuliskan identitas pohon sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
- e) Tata cara penomoran:
 - Label merah bernomor digunakan untuk pohon yang akan ditebang (diameter 40cm up), diurut per jalur cruising, dipasang dengan menggunakan stapler atau paku
 - Label kuning bernomor digunakan untuk penandaan pohon inti (diameter 20 sampai kurang dari 40cm) dan pohon yang dilindungi. Penomoran dilakukan per petak dan per jalur secara urut. Dipasang dengan menggunakan

paku Panjang 5cm, sepanjang 3cm masuk ke dalam kulit.

- Label dipasang menghadap sumbu jalur diisi dengan spidol permanen warna hitam.
- Dalam penomoran pohon yang ditebang; pohon inti; dan pohon yang dilindungi dibuat berurutan.

Tabel 2.4. *Tally sheet* lapangan untuk pencatatan data hasil pengamatan dan pengukuran dalam petak ukur 20m x 20m

No. Jalur	No. PU	No. Pohon	Jenis Pohon	Diameter (cm)	Lokasi pohon dalam PU	Keterangan	
						X (m)	Y (m)

3. Analisis Vegetasi

Analisis vegetasi merupakan hal yang harus dilakukan oleh para peneliti ekologi agar dapat mendeskripsikan dan menggali informasi secara tepat mengenai komunitas tumbuhan yang dikaji, misalnya bagaimana pengaruh interaksi dengan faktor lingkungan terhadap perkembangan komunitas tumbuhan dan bagaimana proses suksesi suatu komunitas. Tujuan analisis vegetasi umumnya berkaitan dengan informasi struktur floristik (yaitu komposisi spesies) atau struktur tegakan (stand). Untuk dapat mendeskripsikan suatu komunitas tumbuhan, seringkali diperlukan data masing-masing individu spesies yang hidup dalam komunitas tersebut. Pengukuran dan perhitungan langsung (sensus) jarang memungkinkan untuk dilaksanakan, mengingat dalam penelitian selalu ada keterbatasan waktu dan sumberdaya (misalnya tenaga kerja, peralatan dan biaya). Oleh karena

itu seorang peneliti biasanya hanya meneliti kurang lebih 1 persen dari keseluruhan komunitas yang dikaji. Inilah yang disebut dengan sampling.

Pemilihan sampel yang baik akan mampu mencerminkan karakter populasi (dalam statistik) yang diteliti (bersifat representatif), sehingga data parameter sampel tersebut dapat digunakan untuk mengestimasi parameter populasinya dengan akurat (ekstrapolasi data). Oleh karena itu, dalam menganalisis vegetasi seorang peneliti harus memahami teknik-teknik dan strategi sampling. Pemilihan teknik sampling yang tepat sangat vital dalam analisis vegetasi, karena kesesuaian teknik sampling dengan metode serta tujuan penelitian akan menentukan keakuratan hasil penelitian.

a. Metode sampling vegetasi

Secara umum, metode sampling dikelompokkan menjadi dua, yaitu metode dengan plot dan metode tanpa plot (*plotless*). Dalam metode dengan plot, vegetasi dicuplik dengan menggunakan suatu luasan tertentu yang disebut plot. Plot dapat berbentuk bujur sangkar (persegi), persegi panjang atau lingkaran. Contoh metode ini adalah metode kuadrat dan metode releve. Sebaliknya, metode tanpa plot tidak menggunakan plot dalam pencuplikan. Termasuk dalam metode ini adalah metode garis, metode titik dan metode jarak. Plot yang digunakan dalam metode kuadrat memiliki ukuran yang berbeda berdasarkan bentuk pertumbuhannya (*growthform*). Ukuran plot untuk metode kuadrat tersebut adalah sebagai berikut:

- 1) Pohon, memiliki berbagai tingkat pertumbuhan, yaitu pohon, tiang, pancang, dan semai/anakan.

- Pohon merupakan tumbuhan dengan diameter lebih dari 20 cm. Ukuran plot (kuadrat) untuk pengukuran pohon adalah 20m x 20m.
 - Tiang merupakan tumbuhan dengan diameter antara 10 – 20 cm. Plot ukur untuk pengukuran tiang adalah 10m x 10 m.
 - Pancang adalah regenerasi pohon dengan ukuran lebih tinggi dari 1,5 meter dan diameter batang kurang dari 10 cm. Plot ukur untuk pengukuran pancang adalah 5m x 5 m.
 - Semai/anakan pohon adalah regenerasi awal dari pohon dengan ukuran ketinggian kurang dari 1,5 meter. Ukuran plot yang digunakan untuk pengukuran anakan adalah 2m x 2m.
- 2) Liana adalah tumbuhan yang biasanya tumbuh melilit atau memanjat pohon (woody climbers). Liana terdiri dari dua jenis yaitu liana berkayu dan tidak berkayu. Yang tergolong dalam kelompok liana berkayu adalah jika panjang batang utamanya lebih dari 1,5 meter, sedangkan liana tidak berkayu (non-woody liana) jika panjang batang utamanya kurang dari 1.5 meter. Petak contoh untuk pengamatan liana berukuran 5m x 5m.
- 3) Epifit adalah tumbuhan yang menempel di pohon lain atau yang menjadikan pohon lain sebagai inangnya. Anggrek adalah jenis epifit yang banyak ditemui di dalam hutan. Selain

jenis-jenis anggrek, epifit berupa paku-pakuan juga banyak dijumpai. Untuk memperlancar pengamatan di lapangan, pengamatan terhadap epifit hanya dilakukan sampai pada ketinggian 2 meter dari permukaan tanah karena pengamatan pada ketinggian lebih dari 2 meter akan sulit dilakukan atau diperlukan pemanjatan pohon kecuali jika fokus pengamatannya adalah epifit. Pengukuran terhadap epifit dilakukan pada plot 5m x 5m.

4) Tumbuhan bawah adalah semua tumbuhan yang hidup di lantai hutan kecuali regenerasi pohon (anakan dan pancang). Ukuran plot contoh pengamatan tumbuhan bawah adalah 5m x 5m. Beberapa tumbuhan bawah diantaranya adalah :

- Keluarga palma, jika tingkatan pohon dewasanya lebih tinggi dari 1,5 meter;
- Pandan
- Paku-pakuan
- Semak atau herba lainnya

b. Desain Sampling

Setelah suatu lokasi penelitian ditentukan, maka sampel siap dicuplik di lokasi tersebut. Peneliti harus memahami metode pengambilan sampel secara tepat, sehingga dapat memenuhi asumsi kebenaran statistik. Inilah yang disebut desain sampling, yaitu cara penempatan sampel dan jumlah sampel yang harus diambil. Asumsi dasar statistik adalah sampel harus diambil secara random (acak), yaitu semua bagian populasi harus mempunyai kesempatan yang sama untuk terpilih sebagai sampel. Berikut ini adalah

sejumlah cara sampling yang sering diterapkan dalam ekologi, yaitu:

- a) Sampling acak sederhana (*simple random sampling*);
- b) Sampling acak berstrata (*stratified random sampling*);
- c) Sampling sistematis (*systematic sampling*);
- d) Sampling acak blok (*block random sampling*);
- e) Sampling dua-tingkat (*two-stage sampling*); dan
- f) Sampling dua-fase (*two-phase sampling*).

Namun pada akhirnya, pemilihan desain sampling akan bergantung pada tujuan penelitian, kondisi aktual area penelitian, serta keterbatasan anggaran dan waktu.

c. Perhitungan Parameter Vegetasi

Dalam sampling vegetasi terdapat parameter-parameter kuantitatif yang dapat dihitung berdasarkan pengukuran data tumbuhan di lapangan. Parameter kuantitatif tersebut dapat berupa indeks nilai penting (meliputi densitas, frekuensi dan dominansi), indeks keanekaragaman spesies dan indeks kesamaan komunitas.

1) Indeks Nilai Penting

Nilai penting didapatkan dari hasil penjumlahan densitas (kerapatan) relatif, dominansi (kerimbunan) relatif, dan frekuensi relatif yang jika dijumlahkan bernilai 300 persen. Untuk tingkat pertumbuhan sapling dan semai merupakan penjumlahan kerapatan relatif dan frekuensi relatif sehingga maksimum nilai penting adalah 200. Densitas adalah cacah individu suatu spesies persatuan luas. Frekuensi menunjukkan seringnya suatu spesies hadir dalam plot-plot sampel. Frekuensi dapat

dinyatakan baik dalam pecahan maupun persen. Dominansi merupakan luas bidang dasar suatu spesies dalam suatu luasan tertentu. Densitas spesies (persamaan 14); densitas relatif (persamaan 15); frekuensi spesies (persamaan 16); frekuensi relatif (persamaan 17); dominansi spesies (persamaan 18); dominansi relatif (persamaan 20); luas bidang dasar (persamaan 21); dan indeks nilai penting (persamaan 22) disajikan dibawah ini:

$$\text{Densitas spesies (D)} = \frac{\text{Cacah individu spesies A}}{\text{Ukuran plot sampel}} \dots (\text{Persamaan 14})$$

$$\text{Densitas relatif (DR)} = \frac{\text{Kerapatan spesies A}}{\text{Kerapatan spesies total}} \times 100\% \dots (\text{Persamaan 15})$$

$$\text{Frekuensi spesies (F)} = \frac{\text{Jumlah plot spesies A ditemukan}}{\text{Jumlah total plot}} \dots (\text{Persamaan 16})$$

$$\text{Frekuensi relatif (FR)} = \frac{\text{Frekuensi spesies A}}{\text{Frekuensi total spesies}} \times 100\% \dots (\text{Persamaan 17})$$

$$\text{Dominansi spesies (DO)} = \frac{\text{Luas bidang dasar spesies A}}{\text{Ukuran Plot}} \dots (\text{Persamaan 18})$$

Untuk persamaan 18 dominansi spesies khusus untuk pohon, tiang dan pancang

$$\text{Dominansi relatif (DoR)} = \frac{\text{Dominansi spesies A}}{\text{Dominansi total spesies}} \times 100\% \dots (\text{Persamaan 19})$$

$$\text{Luas Bidang Dasar (LBD)} = \frac{1}{4} \pi . d^2 \dots (\text{Persamaan 20})$$

$$\begin{aligned} \text{Indeks Nilai Penting} &= \text{DF} + \text{FR} + \text{DoR} \\ &= \text{DR} + \text{FR} \text{ (untuk tumbuhan)} \dots (\text{Persamaan 21}) \end{aligned}$$

2) Indeks Keanekaragaman Spesies

Keanekaragaman spesies dapat dianalisis dengan menggunakan indeks keanekaragaman Simpson dan

indeks keanekaragaman Shannon-Wiener. Kedua indeks keanekaragaman ini merupakan indeks yang paling sederhana dan banyak dipergunakan, namun kedua indeks keanekaragaman tersebut terdapat perbedaan. Indeks Shanon-Wiener menekankan pada kekayaan dan pemerataan spesies, sedangkan indeks Simpson lebih menekankan pada dominansi spesies. Oleh karena itu indeks Simpson disebut juga indeks dominansi. Semakin tinggi jumlah spesies, maka semakin tinggi juga nilai dominannya. Persamaan 22 dan 23 keanekaragaman Simpson dan keanekaragaman Shanon-Wiener, sebagai berikut:

$$D = 1 - \sum_{i=1}^s (p_i)^2 \dots\dots\dots \text{Persamaan 22}$$

$$H' = \sum_{i=1}^s (p_i)(\log_2 p_i) \dots\dots\dots \text{Persamaan 23}$$

Keterangan:

D = indeks keanekaragaman Simpson

H' = indeks keanekaragaman Shanon-Wiener

S = jumlah spesies

Pi = ni/N = proporsi individu spesies i dalam komunitas

ni = total cacah individu spesies i

N = jumlah seluruh individu dalam total n

Besarnya indeks keanekaragaman spesies menurut Shannor-Wiener didefinisikan dalam Tabel 2.5 berikut.

Tabel 2.5. Definisi Indeks Keanekaragaman Spesies Menurut Shannor-Wiener

Kelas	Keanekaragama n Spesies (H')	Tingkat Keanekaragaman
5	> 4	Sangat tinggi
4	3,1 – 4	Tinggi
3	2,1 – 3	Sedang
2	1,1 – 2	Rendah
1	0 – 1	Sangat rendah

3) Indeks Keanekaragan Spesies

Indeks kesamaan atau indeks of similarity (IS) diperlukan untuk mengetahui tingkat kesamaan antara beberapa tegakan, antara beberapa unit sampling, atau beberapa komunitas yang dipelajari dan dibandingkan komposisi dan struktur komunitasnya. Indeks similaritas yang digunakan adalah indeks similaritas Sørensen. Rumus indeks similaritas tersebut (Persamaan 24) adalah sebagai berikut:

$$IS_{Serensen} = \frac{2\ W}{A+B} \times 100\% \dots\dots\dots(Persamaan\ 24)$$

Keterangan :

- IS = Indeks similaritas
- W = Besarnya nilai kuantitatif terkecil dari suatu spesies yang sama pada dua lokasi yang diperbandingkan
- A = total nilai kuantitatif pada lokasi pertama
- B = total nilai kuantitatif pada lokasi kedua

Tujuan indeks keanekaragaman spesies yaitu:

- a) Mengetahui spesies-spesies penyusun vegetasi di lokasi pengamatan.

- b) Menentukan nilai penting dari setiap spesies penyusun vegetasi.
- c) Mengetahui spesies yang dominan dan pengaruh atau perannya terhadap komunitas.
- d) Mengetahui pengaruh faktor lingkungan abiotik terhadap dominasi spesies pada komunitas di lokasi pengamatan.
- e) Menentukan indeks keanekaragaman dan indeks kemiripan dari setiap plot pengamatan.
- f) Memprediksikan perkembangan hutan di masa mendatang berdasarkan struktur hutan di masa sekarang.

Alat dan bahan yang digunakan untuk pengukuran indeks keanekaragaman spesies yaitu meteran, tali rafia, patok pembatas, sekop/cangkul, lat-alat pengukur parameter abiotik, termometer, higrometer, luxmeter, anemometer, soil tester, alat tulis dan papan dada, dan lembar laporan sementara.

4) Indeks Ekologi

Indeks dominansi digunakan untuk menentukan dominansi jenis di dalam komunitas untuk menentukan dimana dominansi dipusatkan (Odum 1993). Indeks dominansi ditentukan dengan menggunakan persamaan 25 sebagai berikut:

$$C = \sum \left(\frac{N_i}{N} \right)^2 \dots\dots\dots \text{(Persamaan 25)}$$

Keterangan:

C = Indeks dominansi

Ni = INP tiap jenis

N = Total INP seluruh jenis

5) Indeks Ekologi

Untuk mengetahui besarnya kekayaan jenis digunakan indeks Margalef (Ludwigs dan Reynold 1988), persamaan 26:

$$R1 = \frac{S-1}{\ln(N)} \dots\dots\dots(\text{Persamaan 26})$$

Keterangan:

R1 = Indeks kekayaan jenis Margalef

S = Jumlah jenis

N = Jumlah total individu

Berdasarkan Magurran (1988) besaran $R1 < 3,5$ menunjukkan kekayaan jenis tergolong rendah, $3,5 < R1 < 5,0$ menunjukkan kekayaan jenis tergolong sedang dan $R1 > 5,0$ menunjukkan kekayaan jenis tergolong tinggi.

6) Kemeretaan Jenis

Persamaan 27 yaitu persamaan pemerataan jenis:

$$E = \frac{H'}{\ln(S)} \dots\dots\dots(\text{Persamaan 27})$$

Keterangan:

E = Indeks pemerataan jenis

H' = Indeks keanekaragaman jenis

S = Jumlah jenis

Berdasarkan Magurran (1988) besaran $E < 0,3$ menunjukkan pemerataan jenis rendah, $0,3 < E < 0,6$ menunjukkan tingkat pemerataan jenis tergolong sedang dan $E > 0,6$ menunjukkan tingkat pemerataan jenis tergolong tinggi. Selanjutnya untuk parameter dan indikator pengambilan data vegetasi disajikan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6. Parameter dan Indikator Pengambilan Data Vegetasi

No	Sub Komponen	Indikator	Parameter
1	Vegetasi	Tipe vegetasi Keanekaragaman jenis Keanekaragaman jenis	Dominasi jenis Kerapatan Status, Jumlah jenis
2	Vegetasi budidaya	Tipe vegetasi Keanekaragaman jenis Keanekaragaman jenis	Dominasi jenis Kerapatan Status, jumlah jenis

4. Metode Pengamatan Fauna

a. Survei serangga (Kupu-Kupu dan Ngengat)

Alat dan bahan yang digunakan untuk pengkoleksian dan survei kupu-kupu dan ngengat yaitu Buku panduan lapangan untuk identifikasi antara lain:

- 1) *Butterflies of Peninsular Malaysia, Singapore & Thailand* (Kirton 2014), *Practical Guide to the Butterflies of Bogor Botanic Garden* (Peggie & Amir 2006), *The Butterflies of the Malay Peninsular* (Corbert & Pendlebury 1993).
- 2) *Global Positioning System* (GPS)
- 3) Jaring serangga (insecting net)
- 4) Jaring yang berbentuk silinder (*cylindrical gauze*)
- 5) Atraktan (buah-buahan yang difermentasi, air seni maupun kotoran)
- 6) Lampu (sumber cahaya) untuk light trap
- 7) Kain sebagai media penjerat serangga.
- 8) Kamera
- 9) Kertas papilot (kertas minyak)

10) Pinset

11) Papan perentang (bisa dari bahan styrofoam)

12) Jarum suntik dan jarum penusuk

Terdapat beberapa metode yang dapat diterapkan untuk mengamati kupu-kupu dan ngengat sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Pengumpulan data untuk survei kupu-kupu perlu juga dilengkapi informasi lengkap yang mencakup tempat ditemukan, tanggal koleksi, ketinggian tempat, informasi habitat atau tempat dijumpai di tanah, serasah, air, atau tumbuhan. Selain itu waktu yang tepat saat pengkoleksian juga perlu diinformasikan karena ada kupu-kupu yang aktif pada siang hari (diurnal), pada malam hari (nocturnal) atau hanya aktif pada pagi dan sore menjelang matahari terbenam (crepuscular). Selanjutnya perlu juga diperhatikan keadaan musim, karena musim dapat mempengaruhi keberadaan dan aktivitas serangga sehingga mempengaruhi perolehan spesimen. Pengumpulan spesimen dapat dilakukan secara kualitatif (untuk studi sistematika) tanpa dipengaruhi oleh satuan luas dan jarak tertentu melalui metode eksplorasi sedangkan untuk keperluan studi ekologi biasanya pengambilan spesimen dapat dilakukan dengan metode acak (random sampling) pada satuan tertentu atau sistem transek pada jarak tertentu. Beberapa metode yang umum digunakan dalam pengamatan dan pengkoleksian kupu-kupu dan ngengat.

1) Tangkap langsung (*Direct sweeping*)

Teknik ini merupakan teknik yang paling umum dan sering dilakukan oleh para kolektor untuk

mencari dan mengumpulkan kupu-kupu dan ngengat. Peralatan yang digunakan sederhana. Selain peralatan dasar, peralatan tambahan yang digunakan cukup dengan menggunakan jaring serangga. Pengamatan dan pengumpulan serangga dilakukan dengan cara menangkap langsung serangga (hand collecting) dengan bantuan jaring (insecting net). Pengamatan dilakukan terhadap jenis kupu-kupu dengan menggunakan buku panduan lapangan untuk identifikasinya. Metode pengamatan yang dilakukan mencakup metode eksplorasi, transek baik mengikuti jalur maupun transek garis. Namun lebih sering digunakan metode transek mengikuti jalur (bisa berupa jalan setapak yang ada) karena menyesuaikan dengan serangga yang memiliki mobilitas tinggi. Kupu-kupu atau ngengat yang tertangkap lalu diambil dengan menggunakan tangan dengan sangat hati-hati, ditekan pada kedua sisi thorax dan disimpan pada kertas segitiga dan diberi label, serta dicatat tanggal dan lokasi penangkapan. Hal yang perlu diperhatikan adalah saat memegang kupu-kupu pastikan untuk tidak menyentuh bagian sayap atau antena, karena kedua bagian ini sangat rapuh dan mudah sekali rusak.

2) Teknik Jebakan (*Trapping*)

Jebakan merupakan sebuah metode yang mampu menghalangi, menjebak dan menghentikan pergerakan dari suatu organisme. Metode jebakan sangat sering digunakan secara intensif dalam

entomologi dengan menggunakan perangkat peralatan tertentu baik dengan umpan, atraktan ataupun tidak. Bentuk maupun mekanisme jebakan bergantung dari pengetahuan kita tentang perilaku, makanan, maupun habitat serangga. Beberapa modifikasi banyak dilakukan oleh kolektor mengacu pada pertimbangan dasar dari jenis serangga yang ingin ditangkap. Banyak teknik dan peralatan yang dapat digunakan dan tergantung dari jenis serangga target.

Ketinggian perangkat jebakan terhadap permukaan tanah sangat penting diperhatikan karena dapat mempengaruhi efektifitas perangkat jebakan tersebut, terutama untuk perangkap cahaya (*light traps*). Ketinggian optimum saat meletakkan perangkat jebakan masih menjadi perdebatan para ahli sampai saat ini karena sangat dipengaruhi oleh serangga target, karakteristik habitat, serta ukuran dan warna dari jebakan itu sendiri. Beberapa teknik jebakan yaitu

- a) Perangkap umpan (*Bait trap*) adalah salah satu teknik penjebakan serangga dengan menggunakan atraktan/umpan seperti buah-buahan yang difermen-tasi, air seni maupun kotoran yang dapat menarik kupu-kupu maupun ngengat. Perangkap ini terdiri dari jaring yang berbentuk silinder (*cylindrical gauze*) bagian atasnya digantungkan papan dengan celah berukuran kurang lebih 3 cm. Alat ini dapat digantungkan di pohon atau diletakkan di semak belukar. Umpan diletakkan di tengah-

tengah papan. Serangga kupu-kupu atau ngengat yang tertarik pada umpan akan masuk melalui celah. Kupu-kupu yang telah memakan umpan akan terbang ke atas di dalam jala net (mistnet) dan tidak dapat keluar lagi.

- b) Perangkap cahaya (*Light trap*) pada prinsipnya digunakan berdasarkan perilaku kebanyakan serangga yang tertarik akan sumber cahaya. Dapat digunakan pada berbagai panjang gelombang cahaya sebagai agen atraktan. Beberapa jenis perangkap cahaya dapat digunakan untuk menangkap ngengat yang aktif pada malam hari.
- c) Lembar cahaya *Light Sheet* merupakan jenis modifikasi perangkap cahaya yang secara prinsip tidak berbeda dengan jenis perangkap cahaya lainnya, hanya saja pada jenis perangkat ini menggunakan kain sebagai media penjerat serangga. Kain yang digunakan pada umumnya berwarna cerah terutama putih. Kain dibentangkan tegak lurus terhadap permukaan tanah, lampu atau sumber cahaya diletakkan disalah satu sisi kain (sebaiknya ditaruh pada bagian yang tidak terkena angin secara langsung). Kain yang digunakan sebaiknya berbahan nilon karena ringan, mudah dicuci, dan mudah kering. Perangkat jebakan ini sering dipakai untuk menjerat jenis-jenis ngengat. Biasanya, serangga-serangga yang terjerat akan menempel pada permukaan kain yang

seolah-olah menyala akibat modifikasi pencahayaan dari lampu.

b. Survei serangga (Kupu-Kupu dan Ngengat)

Beberapa metode yang dapat dipergunakan untuk survei cepat keanekaragaman amfibi dan reptil antara lain Metode Survei Perjumpaan/*Visual Encounter Survey* (VES), Metode kombinasi Garis Transek dengan Survei Perjumpaan, Metode Road Cruising, Metode Sampling Kuadrat (*Quadrat/Patch Sampling*), Metode Straight Line Drift Fence dan Pitfall Traps. Setiap metode memiliki kelebihan dan kelemahan masing-masing, tetapi pada panduan survei cepat ini dianjurkan untuk menggunakan Metode kombinasi Garis Transek dengan Survei Perjumpaan/*Visual Encounter Survey* (VES) karena metode ini lebih ekonomis dan mudah dilakukan, sehingga dapat lebih efektif dalam survei cepat. Beberapa alat dan bahan yang diperlukan untuk survei herpetofauna antara lain:

- 1) Buku panduan lapangan untuk identifikasi spesies antara lain seperti: Panduan Lapangan Amfibi Jawa dan Bali (Iskandar 1998), Panduan Bergambar Identifikasi Amfibi Jawa Barat (Kusrini 2013), Panduan Lapangan Amfibi & Reptil di Areal Mawas Propinsi Kalimantan Tengah (Mistar, 2008), A Field Guide to The Reptiles of South East Asia (Das 2015), A Naturalist's Guide to the Snakes of South-East Asia: Malaysia, Singapore, Thailand, Myanmar, Borneo, Sumatra, Java and Bali (Das 2012)
- 2) GPS (Global Positioning System) dan Kompas

- 3) Kamera
 - 4) Tongkat ular dengan ujung "L" sangat praktis digunakan untuk membantu memegang ular, mengorak serasah dengan panjang 1-1,5 meter
 - 5) Bubu dari kawat untuk jebakan kura-kura
 - 6) Headlamp/Senter untuk survei herpetofauna di malam hari
 - 7) Perangkat sumuran (pitfall trap)
 - 8) Perangkat lem untuk menangkap reptil kecil
 - 9) Kantong plastik berbagai ukuran/Kantong spesimen/Toples
 - 10) Lembar data (tallysheet) dan alat tulis
 - 11) Jaring skop penangkap katak
 - 12) Perekam suara/sound recorder (jika ada)
 - 13) Roll meter dan Tali raffia serta jangka sorong
 - 14) Pinset, gunting kecil dan gunting bedah
 - 15) Sarung tangan karet dan sarung tangan kulit
 - 16) Bahan pengawet: chloroform, formalin 10 % dan alkohol 96%.
- c. Kombinasi transek garis dengan survei penjumpaan
- Metode dan teknik koleksi dalam survei Herpetofauna (Amfibi dan Reptil) sangat bervariasi. Salah satu cara yang praktis dan mudah diterapkan di lapangan adalah metode kombinasi Transek Garis dengan Survei Perjumpaan atau Visual Encounter Survey (VES). Cara ini dimulai dengan menentukan titik lokasi pengamatan, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan jalur pengamatan menggunakan alat bantu berupa tali dan roll meter. Panjang transek biasanya sekitar 200-400 meter untuk habitat akuatik dan 800-1000 meter untuk habitat

terrestrial (Kusrini 2008). Panjang pendeknya jalur pengamatan

tergantung pada kondisi jalur pengamatan itu sendiri (Prasetyo et al. 2015). Waktu dan titik koordinat posisi awal dan akhir dari masing-masing transek harus dicatat. Survei dilakukan dari titik awal sampai ke titik akhir transek dengan mengamati dan mencatat jenis-jenis herpetofauna yang terlihat dan khusus untuk jenis amfibi dapat ditambahkan penggunaan alat perekam suara (opsional). Metode ini dapat digunakan untuk mengetahui keanekaragaman jenis herpetofauna di suatu kawasan, dengan mengumpulkan daftar jenis herpetofauna dan memperkirakan kelimpahan relatifnya. Survei dilakukan pada suatu habitat tertentu dengan periode waktu yang sudah ditentukan sebelumnya. Dalam melaksanakan kegiatan survei ini, perlu diperhatikan waktu pelaksanaan survei (musim hujan atau musim kemarau dan siang atau malam).

Pelaksanaan survei di lapangan sebaiknya dimulai pada pagi hari sampai menjelang siang (07.00-10.00 WIB) dan malam hari (19.00-22.00 WIB). Pencarian dapat dilakukan dibawah serasah,kayu,batu atau yang terdapat dipermukaan tanah atau pepohonan. Khusus untuk pengambilan data amfibi lebih efektif dilakukan pada malam hari dengan menyusuri jalan setapak atau di dekat aliran air seperti sungai, kolam, ataupun danau.

Metode penangkapan individu, sangat cocok untuk diterapkan pada kelompok reptil karena kelompok reptil cenderung bersifat tersembunyi dan mobile.

Khusus untuk jenis kura-kura terdapat dua metode survei yaitu dengan metode penyisiran dan zigzag, disesuaikan dengan perilaku dan kondisi habitatnya.

d. Teknik metode penyisiran.

Teknik ini diawali dengan membuat petak pengamatan yang luasnya telah disesuaikan dengan kondisi habitat, batas petak tersebut ditandai dengan pita penanda. Sebelum dilakukan penyisiran, jarak ideal antar pengamat harus ditentukan sesuai dengan kondisi areal yang disurvei untuk meminimalisir kemungkinan satu individu terhitung lebih dari satu kali.

e. Teknik zigzag

Pengamat terlebih dahulu membuat petak pengamatan dengan luasan tertentu, kemudian dilakukan pengamatan dengan berjalan zigzag pada petak pengamatan tersebut. Setiap spesies yang ditemukan dicatat jumlah, jenis, ukuran, dan diberi penandaan dengan sedikit cat dari bahan yang tidak berbahaya. Penandaan ini untuk meminimalisir kemungkinan satu individu terhitung lebih dari satu kali (untuk keperluan identifikasi, individu spesies yang ditemukan dapat dikoleksi, sedangkan untuk spesies yang telah diketahui dilepaskan kembali).

f. Survei Burung

1) Garis transek dan titik hitung

Metode garis transek dan metode titik hitung dilakukan dengan mencatat semua spesies yang terlihat atau mendengar di sepanjang rute yang

telah ditentukan. Idealnya, transek akan diposisikan secara acak untuk menghindari bias, tapi ini tidak selalu dapat dijadikan acuan. Namun penting untuk memastikan bahwa transek ditempatkan di lokasi yang mewakili habitat yang sedang disurvei. Transek harus tidak kurang dari 200-250 m, dan tiap transek harus terpisah dengan jarak sekitar 1-2 km.

Waktu dan data kordinat pada posisi awal dan akhir dari masing-masing transek harus dicatat. Waktu optimal untuk melakukan pengamatan adalah antara jam 06.00–09.00 WIB, sedangkan untuk sore harinya jam 15.00–18.00 WIB. Pengamat harus berjalan pada kecepatan lambat dan konsisten (+1 km/jam). Untuk setiap spesies yang terlihat atau terdengar, dicatat nama spesies, jumlah individu dan waktu pengamatan. Jika tujuannya adalah untuk memperkirakan kepadatan populasi maka jarak tegak lurus transek dari burung pada penampakan pertama harus dicatat. Transek dapat berupa variabel jarak, dimana jarak yang tepat dari burung diperkirakan, atau lebar tetap, dimana burung-burung yang ditemukan paling tepat jarak (misalnya 0-5m, 5-10 m, dan lain-lain) dari transek. Burung yang terbang di luar transek harus dicatat secara terpisah.

2) Jaring kabut

Teknik survei dengan menggunakan jaring kabut merupakan suatu cara efektif untuk mencatat jenis burung pendiam dan burung yang mempunyai kebiasaan suka mengendap-

endap pada lapisan bawah hutanyang mungkin tidak tercatat dan teramati jika menggunakan teknik lainya. Jaring kabut dengan ukuran 12x3 m dapat dipasang pada ketinggian 1–5 m dari permukaan tanah. Lokasi pemasangan jaring kabut mengikuti lokasi transek yang telah di tentukan. Setelah jaring kabut terpasang, catat koordinat tempat pemasangannya. Jaring diperiksa secara berkala setiap 2-3 jam.

g. Survei Mamalia

Mamalia teresterial merupakan satwa yang dapat diamati dan dipantau secara cepat. Untuk pengamatan tersebut terdapat tujuh metode yang direkomendasikan dan sering digunakan, antara lain: *Transec Reconnaissance (Recce walk)*, Pemantauan Langsung, Perangkap Hidup (*Life Trap*), Jaring Kabut (Mistnet), Camera Trap, Jejak Aktifitas, dan Wawancara. Dalam penerapannya, masing-masing metode tentu memiliki kelebihan dan kekurangan.

1) *Transek Reconnaissance* (Recce walk)

Recce walk sangat cocok diterapkan untuk pengamatan mamalia besar. Metode ini melibatkan pengamat bergerak melalui habitat dalam arah tertentu, dan pengamat tidak harus mengikuti garis transek dengan rute tertentu. Pengamat diperbolehkan untuk mengambil jalur yang paling mudah dan efisien. Transek recce dapat dilakukan dengan berjalan kaki, atau dengan menggunakan perahu atau mobil bergerak perlahan di sepanjang sungai atau jalan yang melalui habitat mamalia (Imanuddin et al 2013).

Waktu dan koordinat GPS harus dicatat untuk tiap titik awal dan akhir dari masing-masing transek. Pengamatan langsung maupun tidak langsung terhadap keberadaan mamalia seperti kotoran, sarang atau tanda, dapat direkam dan dicatat. Data yang dicatat meliputi nama spesies, jenis observasi (pengamatan langsung, tanda, dan sejenisnya), lokasi dan waktu pengamatan.

Penjelajahan transek harus dilakukan pada waktu kelompok spesies sasaran diperkirakan aktif, yaitu pagi atau sore hari untuk mamalia diurnal, dan setelah matahari terbenam untuk spesies nokturnal. Jika tujuan survei adalah untuk menghasilkan inventarisasi spesies yang komprehensif, maka lokasi/daerah yang diambil sebagai sampling harus mewakili rentang tipe habitat yang ada pada kawasan tersebut. Jika tujuannya adalah untuk membandingkan kekayaan spesies antara habitat yang berbeda maka upaya pengambilan sampel di setiap jenis habitat harus distandarisasi atau diperlakukan dengan teknik/cara kerja yang sama.

2) Perangkap Hidup (*Life Trap*)

Pengamatan mamalia kecil kelas Rodentia, Scandentia dan Insectivora dapat dilakukan dengan menggunakan perangkap tikus yang terbuat dari kawat. Sebanyak 1 sampai 20 perangkap tikus berukuran sedang misalnya 25x10x10 cm dapat digunakan untuk menangkap tikus dan mamalia kecil lainnya. Pemasangan dilakukan dengan mempertimbangkan lokasi transek, kondisi vegetasi, dan kemungkinan jalur

lintasan satwa yang hendak ditangkap. Perangkap di pasang masuk ke dalam sekitar 10 m dari jalan setapak. Umpan yang digunakan adalah kelapa bakar, keju, dan nanas.

3) Jaring Kabut/ Mist net

Untuk pengamatan terhadap kelelawar dan mamalia terbang lainnya dapat digunakan jaring kabut misalnya ukuran 12x3 m dengan ketinggian 1 sampai 5 m diatas permukaan tanah. Lokasi pemasangan jaring kabut dilakukan dengan mengikuti plot perangkap hidup. Sebanyak 1 sampai 3 jaring kabut atau tergantung ketersediaan dan kondisi habitat, dapat dipasang pada tempat-tempat yang diperkirakan merupakan jalur terbang mamalia tersebut. Pemasangan jaring dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa faktor antara lain, jalur setapak atau dekat pohon yang sedang berbuah dan berbunga atau di dekat sungai. Jaring kabut dipasang sore hari sebelum matahari terbenam, untuk menghindari supaya tidak ada burung yang terperangkap dan kelelawar tidak bisa mendeteksi adanya jaring kabut yang terpasang. Untuk setiap pengamatan langsung atau tidak langsung spesies, nama spesies, jenis observasi (pengamatan langsung, tanda,dll), lokasi dan waktu pengamatan harus dicatat.

2.3.2 Teknik Inventarisasi Hutan dengan memanfaatkan Teknologi Penginderaan Jauh (*Remote Sensing*)

Teknologi ini memungkinkan proses inventarisasi tanpa perlu di lokasi secara langsung. Penginderaan jauh adalah Ilmu dan seni yang digunakan untuk mendapatkan informasi tentang suatu objek atau fenomena dengan menggunakan alat, tanpa menyentuh secara langsung objek, daerah, atau fenomena tersebut. Penginderaan jauh sangat efektif untuk memetakan area yang sangat luas. Ada beberapa data penginderaan jauh yang bisa digunakan untuk inventarisasi hutan diantaranya :

1. Citra satelit digunakan untuk memetakan kondisi permukaan tanah, mengenali perubahan hutan (seperti penebangan atau rehabilitasi), serta memperkirakan ketebalan tajuk pohon. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk menginterpretasikan citra satelit diantaranya interpretasi visual (Kardika, dkk., Pahleviannur, 2019; Adinata & Sigit, 2020), interpretasi dengan metode *supervised classification* dan *unsupervised classification* (Rahmawan, dkk., 2020; Septiani, dkk., 2019), metode *ridge regression* dan *support vector machine* (Christian, dkk., 2020); metode *post- classification Comparisson* (Pangestu & Jatmiko, 2014), metode *Google Earth Engine* (Novianti, 2021; Putri & Sibarani, 2023; Fikri, dkk., 2022; Rashid & Kashani, 2025; Zurqani, 2020)
2. Drone dan foto udara memberikan gambar dengan detail sangat jelas yang bisa digunakan untuk menghitung jumlah pohon dan mengukur tinggi pohon tersebut. Metode yang digunakan untuk analisis data drone adalah Agisoft Metashape (Kardika, *et al.*, 2018; Li, *et.al.*, 2024; Sari, *et al.*, 2025)

3. LiDAR (*Light Detection and Ranging*): Teknologi canggih yang menggunakan pulsa laser untuk membuat model tiga dimensi yang sangat akurat dari struktur hutan, termasuk ketinggian pohon, kepadatan kanopi, dan topografi di bawah kanopi (Li., *et.al.*, 2024; Wijanarko & Djurdjani, 2022). Data LiDAR sangat baik untuk estimasi biomassa dan karbon.
4. Radar (*Radio Detection and Ranging*): Menggunakan gelombang radio untuk menembus kanopi dan mendapatkan informasi tentang struktur hutan di bawahnya, berguna untuk area berawan atau hutan padat (Blickensdörfer, *et al.*, 2024; Dyatmika, 2024).

2.3.3 Teknik Inventarisasi Hutan dengan Pemodelan (*Modeling*)

Data dari pengukuran lapangan dan penginderaan jauh seringkali diintegrasikan ke dalam model komputasi untuk memprediksi atau mengestimasi parameter hutan.

1. Model Alometrik: Persamaan matematika yang menghubungkan dimensi pohon yang mudah diukur (seperti DBH dan tinggi) dengan parameter yang sulit diukur (seperti biomassa atau volume kayu).
2. Model Spasial (GIS-based Models): Sistem Informasi Geografis (GIS) digunakan untuk mengintegrasikan berbagai lapisan data (tutupan lahan, topografi, tanah) dengan model matematika.
3. Model InVEST (*Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs*) adalah contoh model spasial yang dapat mengestimasi stok dan penyerapan karbon, serta jasa ekosistem lainnya, dengan menggunakan data tutupan lahan dan faktor biomassa.

4. Model Pertumbuhan Hutan: Memprediksi hutan akan tumbuh dan berubah seiring waktu, berdasarkan kondisi awal, jenis pohon, dan kondisi lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adinata, I., & Sigit, A. A. 2020. *Analisis Perubahan Penggunaan Lahan di Kecamatan Colomadu Kabupaten Karanganyar Tahun 2009 dan 2019* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Asy'ari, M., dan Karim, A.A. 2012. Pengukuran Kayu, Fakultas Kehutanan, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru
- Baker, F. S. 1950. Principles of Silviculture. Mc Graw Hill Book Company, Inc.
- Balenović, I., Seletković, A., Pernar, R., & Jazbec, A. 2015. Estimation of the mean tree height of forest stands by photogrammetric measurement using digital aerial images of high spatial resolution. *Annals of Forest Research*, 58(1), 125-143.
- Blickensdörfer, L., Oehmichen, K., Pflugmacher, D., Kleinschmit, B., & Hostert, P. (2024). National tree species mapping using Sentinel-1/2 time series and German National Forest Inventory data. *Remote Sensing of Environment*, 304, 114069.
- Christian, C., Hendryli, J., & Herwindiati, D. E. 2020. Program Pendeteksi Perubahan Fungsi Lahan Menggunakan Metode Ridge Regression Dan Support Vector Machine (Studi Kasus: 95 Kecamatan Di Wilayah Bekasi, Depok Dan Tangerang). *Computatio: Journal of Computer Science and Information Systems*, 4(1), 9-20.
- Dyatmika, H. S., Sari, I. L., Muchsin, F., Indriasari, N., & Budiono, M. E. 2020. Analisis Perubahan Tutupan Lahan dari Citra TerraSAR-X Menggunakan Metode Analisis Texture dan Segmentasi di Jakarta. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 17(1), 11-19.

- Kardika, A., Jaya, I. N. S., Puspaningsih, N., & Mulia, F. 2018. Growth-site quality assessment of nypa fruticans using unmanned aerial vehicles images: A case study in kubu raya regency, west kalimantan province. *Indonesian Journal of Electrical Engineering Computer Science*, 9(2), 502-511.
- Kardika, A. J., Istanto, J., Sufiana, K., Murniyati, A., Kamarati, K. F. A., & Rudito, R. 2023. Utilizing Geographic Information Systems to Estimate Biomass and Carbon Based on Slope in Secondary Dryland Forests in the Forest Area of Mulawarman University. *Tepian*, 4(2), 89-98.
- Li, L., Peng, Z., Chen, Q., Wang, Z., Huang, Q., Wang, B., Cai, Q., Fang, W, Ma, S., & Zhang, Z. 2024. Mapping elevational patterns of functional diversity of canopy species in an alpine forest using drone multispectral and LiDAR data. *Ecological Indicators*, 169, 112965.
- Novianti, T. C. 2021. Klasifikasi Tutupan Lahan Menggunakan Google Earth Engine. *Jurnal Swarnabhumi: Jurnal Geografi dan Pembelajaran Geografi*, 6(1), 75-85.
- Pahleviannur, M. R. 2019. Pemanfaatan Informasi Geospasial Melalui Interpretasi Citra Digital Penginderaan Jauh untuk Monitoring Perubahan Penggunaan Lahan. *JPIG (Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Geografi)*, 4(2), 18-26.
- Pangestu, S. A., & Jatmiko, R. H. 2014. Analisa Citra Satelit Multitemporal Untuk Deteksi Perubahan Penggunaan Lahan Dengan Menggunakan Metode Post-classification Comparisson Di Sebagian DKI Jakarta. *Jurnal Bumi Indonesia*, 5(1), 223080.
- Putri, R. A., & Sibarani, R. 2023. Analisis Tutupan Lahan Menggunakan Google Earth Engine Dan Citra Landsat 8 OLI. *Jupiter*, 15(2), 1031-1042.

- Rahmawan, A. D., Pawestri, D. A., Fakhriyah, R. A., Pasha, H. D. S., Ferryandy, M., Sugandi, D., & Somantri, L. 2020. Penggunaan metode unsupervised (iso data) untuk mengkaji kerapatan vegetasi di Kecamatan Pangandaran. *Jurnal Pendidikan Geografi Undiksha*, 8(1), 01-11.
- Rashid, I., & Kashani, S. D. R. 2025. Forest dynamics and above-ground forest biomass changes utilizing Google Earth Engine, machine learning, and field-based observations in the Kashmir Himalaya, India. *Environmental and Sustainability Indicators*, 100759.
- Sari, I. L., Roswintiarti, O., Kustiyo, K., Indriasari, N., Kartika, T., Widiyasmoko, G., Permana, BS., Tosiani, A., Promono, TH., Muslimah, H., Suprianto, HE., Fadil, F., Dalila, F., & Arief, R. (2025). Tree counting of tropical tree plantations using the maximum probability spectral features of high-resolution satellite images and drones. *Geomatica*, 77(1), 100045.
- Sahid, S. 2009. Penafsiran Luas Bidang Dasar Tegakan Pinus Merkusii menggunakan Foto Udara di Kesatuan Pemangkuan Hutan (KPH) Kedu Perum Perhutani Unit 1 Jawa Tengah. In *Forum Geografi* (Vol. 23, No. 2, pp. 112-122).
- Simon, H. 2007. Metode Inventore Hutan. Yogyakarta: Pustaka Pelajar,
- Septiani, R., Citra, I. P. A., & Nugraha, A. S. A. 2019. Perbandingan metode supervised classification dan unsupervised classification terhadap penutup lahan di Kabupaten Buleleng. *Jurnal Geografi: Media Informasi Pengembangan Dan Profesi Kegeografian*, 16(2), 90-96.

- Wijanarko, B., & Djurdjani, D. 2022. Klasifikasi Digital Tutupan Lahan Berbasis Objek menggunakan Integrasi Data Lidar dan Citra Satelit di Kawasan Tamalanrea Indah, Kota Makassar. *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 5(1), 51-62.
- Zurqani, HA. 2024. An automated approach for developing a regional-scale 1-m forest canopy cover dataset using machine learning and Google Earth Engine cloud computing platform. *Journal Software Impacts*, 19. <https://doi.org/10.1016/j.simpa.2023.100607>.

BAB 3

PERALATAN DAN TEKNOLOGI DALAM INVENTARISASI SUMBER DAYA HUTAN

3.1 Peralatan Pengukuran Hutan

3.1.1 Alat Pengukur Diameter dan Tinggi Pohon

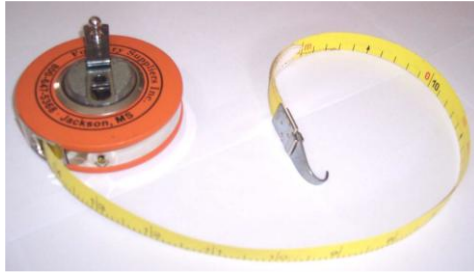
Penjelasan mengenai pentingnya pengukuran diameter dan tinggi pohon dalam inventarisasi kehutanan. Hal ini berkaitan dengan penilaian volume, pertumbuhan pohon, serta pengelolaan sumber daya hutan yang berkelanjutan. Tujuan pengukuran diameter dan tinggi pohon, misalnya untuk analisis ekosistem, perhitungan hasil hutan, serta penelitian ilmiah terkait pertumbuhan pohon.

Alat Pengukur Diameter Pohon

Pengukuran diameter pohon umumnya dilakukan pada ketinggian 1,3m di atas permukaan tanah (setinggi dada). Terdapat beberapa jenis alat yang umum digunakan, antara lain:

1. Pita ukur diameter (phi-band)

Pita ukur diameter merupakan alat paling praktis dan ringan, berbentuk seperti pita fleksibel dengan skala metrik maupun imperial yang telah dikalibrasi agar langsung menunjukkan nilai diameter berdasarkan keliling batang pohon.



Gambar 3.1. Pita ukur diameter (*phi-band*)

Alat ini umum digunakan pada pohon dengan permukaan batang yang rata dan tidak memiliki struktur morfologis kompleks seperti banir. Meskipun efisien dan ekonomis, alat ini memiliki keterbatasan dalam hal akurasi ketika digunakan pada pohon berbanir atau pohon dengan bentuk batang yang tidak bulat sempurna. Kesalahan dapat muncul apabila pita tidak melingkar secara horizontal sempurna. Alat ini kurang direkomendasikan untuk pohon berbanir atau diameter sangat besar.

2. Caliper/apitan pohon

Caliper/apitan merupakan alat berbentuk seperti jangka sorong berukuran besar, yang memungkinkan pengukuran diameter secara langsung melalui pembacaan panjang garis lurus antar dua rahang penjepit. Alat ini sangat direkomendasikan untuk pohon dengan diameter besar, bentuk batang tidak bulat, atau berbanir.

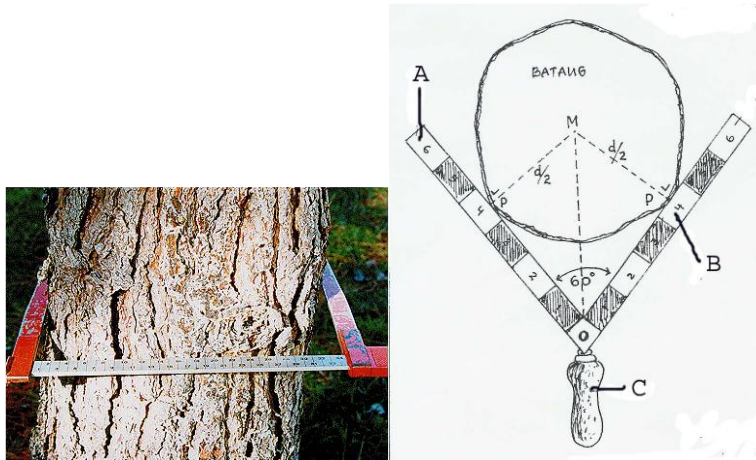


Gambar 3.2. Caliper/apitan pohon

Caliper/apitan memiliki keunggulan dalam mengukur diameter secara orthogonal, sehingga dapat digunakan untuk menghitung rata-rata geometrik diameter pohon. Di Indonesia, pengembangan alat ini telah dilakukan dengan bahan baku kayu lokal dan telah diujicobakan pada kawasan hutan rawa gambut di Kalimantan. Keberadaan Caliper/apitan lokal ini menunjukkan pendekatan inovatif berbasis sumber daya lokal dalam mendukung kegiatan inventarisasi hutan tropis.

3. Garpu pohon:

Garpu pohon merupakan alat pengukur diameter berbentuk seperti garpu dengan dua taji sejajar yang diletakkan melingkar pada batang pohon. Alat ini memungkinkan pengukuran cepat terhadap diameter luar batang tanpa perlu memutar alat di sekeliling pohon.



Gambar 3.3. Garpu pohon

Penggunaannya sangat sesuai untuk kegiatan inventarisasi cepat, terutama di hutan sekunder atau pada

pohon dengan pangkal batang tidak rata. Meskipun kurang presisi dibandingkan caliper atau pita ukur, keunggulan utama garpu pohon adalah efisiensi waktu dalam kegiatan taksasi tegakan awal. Digunakan pada pohon dengan pangkal batang tidak rata. Cocok untuk inventarisasi cepat di hutan sekunder.

4. Biltmore stick:

Biltmore stick adalah alat sederhana menyerupai penggaris atau tongkat kayu yang dilengkapi dengan skala pengukuran yang dikalibrasi untuk pembacaan visual terhadap diameter pohon dari jarak dan sudut tertentu.



Gambar 3.4. Biltmore stick

Alat ini sangat populer di Amerika Utara dan digunakan secara luas dalam pelatihan kehutanan. Di Indonesia, penggunaan Biltmore stick mulai diperkenalkan pada balai pelatihan dan lembaga pendidikan tinggi kehutanan sebagai alat bantu edukatif. Keunggulannya terletak pada kemudahan operasional dan biaya yang sangat rendah, meskipun dengan tingkat akurasi yang terbatas.

Alat-alat tersebut dipilih berdasarkan kondisi lapangan dan jenis pohon yang diukur. Pita ukur sangat praktis dan ringan, namun kurang efisien pada pohon berdiameter sangat besar atau berbanir tinggi. Alternatif seperti caliper dan wesyano memiliki nilai akurasi yang tinggi dan efisien digunakan pada pohon besar atau berbanir tinggi.

Alat Pengukur Tinggi Pohon:

Untuk mengukur tinggi pohon digunakan instrumen seperti hagameter dan clinometer. Kedua alat ini bekerja berdasarkan prinsip trigonometri, menggunakan variabel jarak dan sudut kemiringan antara posisi pengamat dengan puncak dan pangkal pohon. Dalam perkembangan modern, ada juga instrumen berbasis sensor accelerometer.

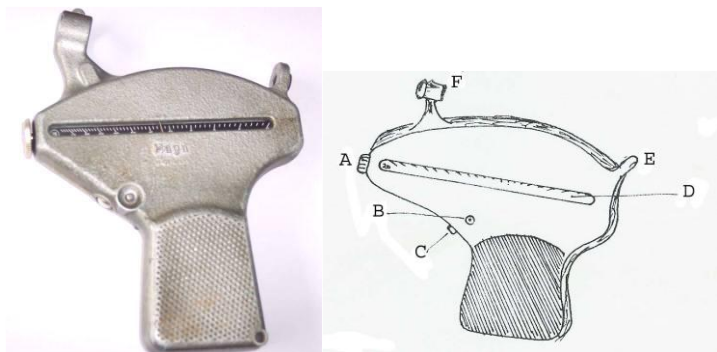
1. Hagameter

Hagameter adalah alat yang digunakan untuk mengukur tinggi pohon dengan menggunakan prinsip trigonometri. Alat ini bekerja dengan mengukur jarak horizontal antara posisi pengamat dan pohon, serta sudut kemiringan (sudut elevasi) dari titik pengamatan ke puncak pohon. Berdasarkan data tersebut, tinggi pohon dapat dihitung menggunakan rumus trigonometri:

$$\text{Tinggi Pohon} = \text{Jarak} \times \tan(\theta)$$

di mana:

- a. **Jarak** adalah jarak horizontal antara pengamat dan pohon (dalam satuan meter),
- b. **θ (theta)** adalah sudut elevasi antara posisi pengamat dan puncak pohon.



Gambar 3.5. Hagameter

Hagameter sering kali digunakan dalam kondisi lapangan yang tidak terlalu sulit dan memungkinkan pengamat untuk memperoleh hasil yang cepat dan akurat, terutama pada pohon-pohon dengan kanopi yang mudah dijangkau oleh alat ini. Meskipun begitu, alat ini memerlukan ketelitian dalam pengukuran jarak dan sudut agar hasil pengukuran tetap akurat.

2. Clinometer

Clinometer adalah alat optik yang sering digunakan untuk mengukur sudut kemiringan atau elevasi, termasuk dalam pengukuran tinggi pohon. Dengan menggunakan prinsip yang sama dengan hagameter, clinometer mengukur sudut antara posisi pengamat dan puncak pohon, sementara jarak antara pengamat dan pohon bisa diukur secara manual dengan pita ukur. Beberapa model clinometer modern, seperti **hypsonometer**, mengintegrasikan sensor digital untuk mengukur sudut secara otomatis dan lebih presisi.



Gambar 3.6. Clinometer

Clinometer biasanya lebih mudah digunakan di medan berbukit atau pada pohon yang lebih tinggi, dan sangat berguna di hutan tropis dengan kanopi lebat, di mana pengukuran langsung dengan pita atau alat lainnya sulit dilakukan. Meskipun alat ini cukup akurat, kesalahan bisa terjadi akibat ketidaktepatan dalam membaca sudut atau kesalahan dalam pengukuran jarak horizontal.

3. Instrumen Berbasis Sensor Accelerometer

Dengan perkembangan teknologi, kini tersedia alat pengukur tinggi pohon yang lebih modern berbasis sensor **accelerometer**. Alat ini bekerja dengan mengukur perubahan posisi berdasarkan pergerakan yang terdeteksi oleh sensor. Sensor accelerometer dapat mengukur percepatan gerakan, yang kemudian diolah untuk menghitung sudut elevasi atau kemiringan antara pengamat dan puncak pohon, yang dapat digunakan untuk menghitung tinggi pohon secara lebih otomatis dan akurat.

Beberapa alat modern mengintegrasikan accelerometer dengan **gyroscope** untuk mendapatkan pengukuran sudut yang lebih stabil, bahkan dalam kondisi medan yang bergelombang. Keunggulan dari instrumen berbasis accelerometer adalah kemampuannya untuk mengurangi kesalahan akibat pergerakan tangan atau pengamat yang tidak stabil, serta meningkatkan kecepatan dalam pengukuran di lapangan. Dalam konteks inventarisasi hutan, penggunaan alat berbasis sensor ini sangat bermanfaat karena dapat memberikan pengukuran yang lebih cepat dan efektif, meskipun pada daerah yang sulit dijangkau atau pohon yang sangat tinggi.

Alat pengukur tinggi pohon, mulai dari hagameter dan clinometer hingga teknologi sensor accelerometer, memainkan peran penting dalam mendapatkan data akurat tentang tinggi pohon dalam berbagai kondisi lapangan. Pemilihan alat yang tepat tergantung pada bentuk dan karakteristik pohon, kondisi medan, serta kebutuhan akan tingkat akurasi yang diinginkan. Di masa depan, teknologi berbasis sensor akan semakin mendominasi dalam pengukuran tinggi pohon, mengingat efisiensinya dalam memperoleh data yang lebih cepat dan akurat, sekaligus mengurangi potensi kesalahan pengukuran yang disebabkan oleh faktor manusia.

3.1.2 Alat untuk Pengukuran Volume dan Biomassa

Pengukuran volume dan biomassa pohon adalah dua aspek penting dalam inventarisasi hutan, karena keduanya memberikan informasi tentang potensi sumber daya hutan, baik dari segi volume kayu yang dapat dipanen maupun dari sisi cadangan karbon yang tersimpan dalam biomassa. Alat dan teknik yang digunakan untuk mengukur volume dan biomassa pohon bergantung pada beberapa pendekatan yang umum diterapkan dalam praktikum kehutanan.

1. Pengukuran Volume

Volume pohon dihitung berdasarkan data diameter (DBH) dan tinggi pohon yang diukur menggunakan alat pengukur seperti pita ukur diameter, weslyano (caliper), hagameter, dan clinometer. Formula volume batang yang sering digunakan adalah model Smalian atau Huber yang memerlukan pengukuran diameter pada beberapa titik sepanjang batang, umumnya pada 0,3 m, 1,3 m, dan di pangkal cabang utama. Namun, ada beberapa metode

alternatif yang dapat digunakan untuk pengukuran volume:

a. Biltmore Stick

Biltmore stick adalah alat pengukur yang dapat digunakan untuk menentukan volume pohon secara langsung. Meskipun pada dasarnya digunakan untuk mengukur diameter pohon dari jarak tertentu, Biltmore stick juga dapat digunakan dalam perhitungan volume melalui pembacaan langsung terhadap diameter pohon pada beberapa titik tertentu. Volume pohon yang dihitung menggunakan Biltmore stick umumnya sangat bergantung pada tabel konversi atau model alometrik yang ada.

b. Tabel Volume Berdasarkan Diameter dan Tinggi

Pengukuran volume pohon juga dapat dilakukan dengan menggunakan tabel volume yang sudah dikembangkan sebelumnya berdasarkan diameter dan tinggi pohon. Tabel ini berisi angka konversi volume berdasarkan pengukuran DBH dan tinggi pohon pada spesies tertentu. Tabel volume ini sering digunakan dalam inventarisasi hutan yang lebih cepat dan praktis. Meskipun demikian, hasil pengukuran ini mungkin kurang akurat pada spesies atau daerah yang belum terwakili dalam tabel.

c. Prinsip Archimedes (Pengukuran Submersi)

Untuk pohon yang lebih kecil atau sampel pohon yang dipotong, pengukuran volume dapat dilakukan dengan menggunakan prinsip Archimedes, yang mengukur volume batang pohon dengan cara menyelamkan potongan batang dalam cairan (biasanya air) dan mengukur volume cairan yang terdislokasi. Metode ini dapat digunakan sebagai verifikasi pengukuran volume dengan metode

konvensional dan lebih efektif dalam menentukan volume pohon berbentuk tidak teratur.

d. Pengukuran Biomassa

Pengukuran biomassa pohon umumnya dilakukan dengan dua pendekatan utama: estimasi berdasarkan model alometrik dan analisis berat kering yang dilakukan di laboratorium.

e. Model Alometrik

Estimasi biomassa pohon sering menggunakan model alometrik, yang menghubungkan ukuran fisik pohon, seperti diameter setinggi dada (DBH) dan tinggi pohon, dengan nilai biomassa. Model ini digunakan untuk memprediksi biomassa pohon tanpa perlu menebang pohon tersebut. Salah satu model yang sering digunakan adalah model IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) yang telah dikembangkan untuk hutan tropis, dengan persamaan alometrik berikut:

$$\text{Biomassa Pohon} = \alpha \times (\text{DBH}^b \times \text{Tinggi}^c)$$

Di mana α , b , dan c adalah koefisien yang ditentukan berdasarkan data spesifik hutan atau jenis pohon yang dimaksud. Model alometrik sangat berguna dalam inventarisasi hutan besar karena memungkinkan estimasi biomassa tanpa perlu pengukuran destruktif.

2. Pengukuran Biomassa Destruktif (Metode Laboratorium)

Untuk mendapatkan biomassa yang lebih akurat, terutama untuk keperluan penelitian atau pengukuran yang lebih rinci, biomassa dapat dihitung dengan cara pengukuran destruktif. Proses ini melibatkan penebangan pohon, pemotongan batang dan cabang, lalu mengeringkan potongan-potongan tersebut dalam oven

untuk menghilangkan kadar air dan memperoleh berat kering. Berat kering ini kemudian digunakan untuk menghitung biomassa total pohon.

Selain itu, dalam penelitian yang lebih rinci, pengukuran biomassa sering kali dilakukan dengan sampling pada bagian-bagian pohon (misalnya, batang, cabang, dan akar) untuk memperoleh estimasi total biomassa dengan lebih efisien. Untuk proses ini, alat yang diperlukan meliputi oven pengering, alat penentu posisi (GPS) untuk memastikan lokasi pohon yang tepat, serta alat tulis untuk mencatat hasil pengukuran.

3. Peralatan Tambahan untuk Pengukuran Biomassa
 - a. GPS (*Global Positioning System*): Digunakan untuk mencatat lokasi geospasial pohon yang diukur agar data biomassa dapat dipetakan dengan akurat dan digunakan dalam sistem informasi geografis (SIG).
 - b. Alat Tulis: Digunakan untuk mencatat data lapangan seperti pengukuran DBH, tinggi pohon, dan data lainnya yang diperlukan untuk analisis.
 - c. Oven Pengering: Digunakan untuk mengeringkan potongan pohon guna memperoleh berat kering, yang merupakan langkah penting dalam pengukuran biomassa destruktif.

3.2 Teknologi Remote Sensing

Remote sensing merupakan teknologi yang memanfaatkan penginderaan jauh untuk memperoleh informasi tentang objek atau fenomena tanpa kontak langsung dengan objek tersebut. Dalam konteks inventarisasi hutan, teknologi ini sangat berguna karena memungkinkan pengumpulan data dalam skala besar dengan biaya yang

relatif lebih rendah dan waktu yang lebih efisien. Penggunaan citra satelit dan drone semakin berkembang dan menjadi komponen penting dalam manajemen dan pengelolaan sumber daya hutan.

3.2.1 Satelit dan Citra Penginderaan Jauh

Citra satelit telah digunakan untuk inventarisasi sumber daya hutan sejak tahun 1972 melalui peluncuran satelit **Landsat**. Seiring dengan perkembangan teknologi, kemampuan deteksi citra satelit pun semakin canggih, dengan resolusi spasial yang kini mencapai 10 cm, memungkinkan identifikasi dan pemantauan tutupan hutan serta perubahan lahan secara lebih terukur, efisien, dan dengan cakupan yang sangat luas. Beberapa satelit yang sering digunakan dalam pemantauan hutan antara lain **Landsat**, **SPOT**, dan **IKONOS**.

1. **Landsat**: Sebagai salah satu satelit penginderaan jauh tertua, Landsat telah menyediakan data citra dengan resolusi 30 meter sejak 1972. Saat ini, satelit Landsat yang terbaru (Landsat 9) menyediakan data yang sangat berguna untuk analisis perubahan tutupan lahan dan monitoring deforestasi, serta perubahan ekosistem hutan. Meskipun resolusi spasialnya terbatas, Landsat tetap menjadi alat penting untuk pemantauan hutan dalam skala besar.
2. **SPOT**: Satelit **SPOT** (Satellite Pour l'Observation de la Terre) menawarkan resolusi lebih tinggi daripada Landsat, yakni hingga 1,5 meter pada citra multispektral. Satelit ini lebih banyak digunakan untuk pemetaan penggunaan lahan, pengklasifikasian tutupan lahan, serta estimasi volume tegakan dan biomassa pada area yang lebih kecil.
3. **IKONOS**: Satelit **IKONOS** menawarkan resolusi spasial hingga 1 meter, memungkinkan pemetaan dan

pengawasan detail terhadap hutan dengan presisi tinggi. Citra dari IKONOS sangat berguna untuk mendeteksi perubahan tutupan hutan dalam jangka waktu yang lebih singkat dan lebih akurat.

Penggunaan citra satelit memungkinkan pemantauan tutupan hutan dan perubahan lahan dalam skala luas secara terus-menerus, dengan kelebihan utama berupa pengumpulan data secara efisien tanpa memerlukan interaksi langsung dengan area yang diteliti. Data satelit dapat digunakan untuk:

1. **Klasifikasi Penutupan Lahan:** Pengklasifikasian jenis tutupan lahan (hutan, perkebunan, lahan terbuka, dll.) menggunakan teknik seperti **supervised classification** atau **unsupervised classification** yang berbasis pada citra multispektral.
2. **Estimasi Volume Tegakan:** Data citra satelit juga dapat digunakan untuk mengestimasi volume tegakan hutan dengan menggabungkan teknik penginderaan jauh dengan model alometrik.
3. **Deteksi Perubahan Tutupan:** Penggunaan citra satelit yang teratur dalam waktu yang lama memungkinkan deteksi perubahan tutupan hutan, termasuk identifikasi laju deforestasi dan degradasi hutan.
4. **Pemetaan Deforestasi:** Citra satelit membantu mengidentifikasi area yang mengalami perubahan akibat konversi hutan menjadi lahan non-hutan, serta mendeteksi titik-titik hotspot yang membutuhkan tindakan mitigasi.

Dengan adanya citra satelit resolusi tinggi, kita kini dapat memantau perubahan tutupan lahan dan kondisi hutan

secara lebih akurat, memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih baik dalam pengelolaan hutan yang berkelanjutan.

3.2.2 Drone dalam Inventarisasi Hutan

Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan drone atau *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) telah meningkat secara signifikan dalam inventarisasi dan pemetaan hutan. Drone memiliki keunggulan utama, yaitu kemampuannya untuk memetakan area luas dalam waktu singkat dengan citra beresolusi tinggi, serta kemampuan untuk menjangkau wilayah yang sulit diakses oleh manusia atau kendaraan. Penggunaan drone memungkinkan survei hutan dengan tingkat ketelitian yang sangat tinggi dan waktu yang lebih efisien, serta memberikan data yang lebih terkini dibandingkan dengan metode lainnya.

Drone digunakan untuk melakukan pemetaan topografi, mengidentifikasi batas kawasan hutan, serta melakukan monitoring perubahan tutupan dan laju deforestasi. Jenis drone yang digunakan dapat dibedakan menjadi dua kategori utama: *fixed wing* dan *multirotor*.

1. **Fixed Wing UAV:** Tipe drone fixed wing lebih efisien untuk pemetaan area yang luas karena dapat terbang lebih jauh dan lebih lama. Meskipun memiliki kecepatan terbang lebih tinggi, drone tipe ini memerlukan area lepas landas dan pendaratan yang lebih luas. Fixed wing UAV sangat cocok untuk survei hutan dalam skala besar, serta pemetaan topografi atau model digital permukaan (DSM/DEM) untuk analisis lebih lanjut.
2. **Multirotor UAV:** Drone multirotor, seperti yang digunakan untuk pemetaan dengan **kamera RGB** atau **kamera Near Infrared (NIR)**, dapat menghasilkan citra dengan resolusi sangat tinggi. Keunggulan utama drone

jenis ini adalah kemampuannya untuk terbang secara vertikal, memberikan fleksibilitas dalam mengakses area yang lebih sempit dan sulit dijangkau. Drone multirotor cocok digunakan di hutan dengan kondisi medan yang berat atau hutan tropis yang padat.

Penggunaan kamera RGB (*Red-Green-Blue*) pada drone memungkinkan pengambilan citra yang sangat detail, sedangkan penggunaan kamera NIR (*Near Infrared*) membantu dalam mengidentifikasi kondisi kesehatan tanaman melalui indeks vegetasi seperti NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Selain itu, penggunaan **RTK GPS** (*Real-Time Kinematic*) pada drone dapat meningkatkan akurasi pengukuran posisi horizontal dan vertikal hingga beberapa sentimeter.

Keunggulan lainnya dari penggunaan drone dalam inventarisasi hutan adalah kemampuannya untuk:

- 1. Memetakan Tutupan Hutan:** Penggunaan kamera multispektral pada drone memungkinkan identifikasi jenis tutupan hutan dan karakteristik ekosistem yang lebih baik.
- 2. Memonitor Biomassa:** Drone juga dapat digunakan untuk memetakan biomassa dengan memanfaatkan data citra multispektral, serta mendeteksi perubahan struktur kanopi seiring waktu.
- 3. Monitoring Perubahan Lingkungan:** Drone memberikan data yang lebih terkini terkait risiko lingkungan, seperti kebakaran hutan, degradasi lahan, dan potensi kerusakan hutan akibat kegiatan ilegal.

Dengan kecepatan, akurasi, dan biaya yang lebih rendah dibandingkan metode konvensional, penggunaan drone dalam inventarisasi hutan memungkinkan pemantauan

yang lebih efektif terhadap kesehatan hutan serta pengelolaannya yang berkelanjutan.

3.3 Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan salah satu teknologi yang sangat penting dalam pengelolaan sumber daya alam, termasuk dalam pengelolaan dan inventarisasi hutan. SIG mengintegrasikan data spasial dan non-spasial untuk menghasilkan informasi yang dapat digunakan dalam pengambilan keputusan yang lebih baik.

3.3.1 Konsep Dasar SIG

Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah sistem komputer yang digunakan untuk menangkap, menyimpan, mengelola, menganalisis, dan memvisualisasikan data spasial atau data yang berhubungan dengan lokasi geografis. Dengan menggunakan SIG, data geospasial yang berhubungan dengan sumber daya alam, seperti peta hutan, data topografi, jenis tutupan lahan, dan data hasil pengukuran di lapangan, dapat dikelola secara terpusat dan digunakan untuk berbagai analisis yang mendalam.

SIG memungkinkan integrasi berbagai jenis data dalam satu platform yang sama. Sebagai contoh, data penginderaan jauh dari citra satelit dapat diintegrasikan dengan data pengukuran lapangan, data sosial, serta informasi lainnya, untuk dianalisis dalam konteks spasial. Hal ini sangat penting dalam pengelolaan sumber daya alam, terutama dalam pemantauan hutan dan ekosistem lainnya.

Keunggulan utama SIG terletak pada kemampuannya untuk menyediakan analisis spasial yang mendalam, di mana informasi tidak hanya dilihat secara terpisah, tetapi dipahami

dalam kaitannya dengan lokasi geografisnya. Beberapa komponen dasar dari SIG antara lain adalah:

1. **Data Spasial:** Data yang memiliki komponen geografis atau lokasi (misalnya, koordinat, batas wilayah).
2. **Basis Data Spasial:** Penyimpanan data geospasial dalam format yang dapat diakses dan diolah, seperti *shapefile*.
3. **Perangkat Lunak SIG:** Program yang digunakan untuk menganalisis dan memvisualisasikan data spasial, seperti **ArcGIS**, **QGIS**, atau perangkat lunak berbasis web seperti *Google Earth Engine*.
4. **Analisis Spasial:** Proses menganalisis hubungan spasial antar data dan objek, termasuk penggunaan teknik seperti overlay, buffering, interpolasi, dan analisis pola.

Dengan adanya SIG, pemahaman tentang distribusi sumber daya alam dan perubahan lingkungan dapat dilakukan dengan lebih baik, serta memungkinkan perencanaan yang lebih efektif dan berbasis data.

3.3.2 Implementasi SIG dalam Inventarisasi Hutan

Implementasi SIG dalam inventarisasi hutan menjadi sangat penting di era modern, di mana kebutuhan akan data akurat, terintegrasi, dan cepat semakin mendesak. SIG memungkinkan pemantauan sumber daya hutan dengan lebih efisien dan memberikan data yang dapat digunakan untuk berbagai tujuan, mulai dari perencanaan hingga kebijakan pengelolaan hutan yang berkelanjutan. Beberapa aplikasi SIG dalam inventarisasi hutan antara lain:

1. Pemetaan dan Inventarisasi Sumber Daya Hutan Secara Rinci

Dengan menggunakan SIG, pemetaan sumber daya hutan dapat dilakukan dengan tingkat kedalaman yang lebih tinggi. Data geospasial dari penginderaan jauh (seperti

citra satelit dan data LiDAR) dapat dipadukan dengan data hasil pengukuran lapangan untuk menghasilkan peta rinci yang menggambarkan jenis tutupan lahan, distribusi spesies pohon, serta volume tegakan hutan. Hal ini sangat berguna dalam melakukan inventarisasi untuk pengelolaan hutan berkelanjutan.

2. Pemantauan Perubahan Tutupan Lahan dan Deforestasi dari Waktu ke Waktu

Pemantauan perubahan tutupan lahan dan deforestasi merupakan salah satu aplikasi utama SIG dalam pengelolaan hutan. Dengan menggunakan data citra satelit dan penginderaan jauh yang terintegrasi dengan data SIG, perubahan lahan dari hutan menjadi lahan pertanian atau perkebunan dapat dipetakan dengan akurat. SIG memungkinkan analisis temporal yang menunjukkan dinamika tutupan hutan dalam beberapa dekade, serta membantu dalam pemantauan laju deforestasi dan degradasi hutan.

3. Analisis Spasial untuk Mengidentifikasi Area Kritis dan Prioritas Restorasi

Dengan menganalisis data spasial dalam SIG, area hutan yang mengalami degradasi atau kerusakan dapat diidentifikasi dan diprioritaskan untuk kegiatan restorasi atau rehabilitasi. Analisis spasial yang menggabungkan data lingkungan (misalnya, kemiringan tanah, kelembaban, dan jenis tanah) memungkinkan identifikasi area yang lebih rentan terhadap erosi atau kebakaran, serta area yang memiliki potensi untuk dikembalikan menjadi hutan yang sehat.

4. Mendukung Perencanaan, Monitoring, Evaluasi, dan Kebijakan Pengelolaan Hutan Berkelanjutan

SIG juga memainkan peran penting dalam perencanaan pengelolaan hutan yang berkelanjutan. Data yang

diperoleh dari SIG dapat digunakan untuk merencanakan zonasi pengelolaan hutan, menetapkan area konservasi, serta merancang strategi pemanenan yang berkelanjutan. Selain itu, SIG mendukung pemantauan dan evaluasi program-program pengelolaan hutan, dengan menyediakan data yang mudah diakses dan dianalisis untuk pengambilan keputusan berbasis bukti.

5. Integrasi dengan Data Penginderaan Jauh, GPS, dan Basis Data Hasil Lapangan

SIG memungkinkan integrasi yang mulus antara data penginderaan jauh (seperti citra satelit dan data LiDAR), data GPS (untuk menentukan posisi koordinat yang akurat), dan basis data hasil lapangan yang dikumpulkan dari survei lapangan. Integrasi ini sangat penting untuk memantau dan mengelola sumber daya hutan secara efisien. Sebagai contoh, Sistem Monitoring Hutan Nasional (Simontana) yang digunakan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) mengintegrasikan data SIG dengan penginderaan jauh dan informasi lainnya untuk memantau status hutan Indonesia secara nasional.

6. Visualisasi Data Dinamis untuk Kebutuhan Pendidikan, Riset, serta Pelaporan

Salah satu keunggulan SIG adalah kemampuannya untuk memvisualisasikan data dalam bentuk peta interaktif atau grafik yang mudah dipahami. Visualisasi data dinamis ini sangat berguna untuk kebutuhan pendidikan, riset, serta pelaporan kepada pemangku kepentingan atau publik. Dengan visualisasi yang jelas dan mudah diakses, informasi tentang kondisi hutan dapat disampaikan dengan cara yang lebih transparan dan efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- Husch, B., Miller, C. I., & Beers, T. W. (2003). *Forest Mensuration* (4th ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Brown, S. (2002). *Measuring Carbon in Forests: A Handbook for Protocols and Methods*. Earthscan.
- FAO. (2001). *State of the World's Forests 2001*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Soehodo, A. (2005). *Teknik Inventarisasi Sumber Daya Alam dan Pengukuran Pohon*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia.
- Keller, G. H., & Wright, R. H. (2006). *Principles of Forest Measurements*. McGraw-Hill.
- Turner, W., et al. (2015). *Free and Open-Access Satellite Data: A Review of Resources for Forest Monitoring*. *Remote Sensing*, 7(2), 179–201.
- Zhang, Q., et al. (2019). *Application of UAVs in Forest Monitoring and Management*. *Forest Ecology and Management*, 432, 110–120.

BAB 4

APLIKASI INVENTARISASI DALAM PENGELOLAAN HUTAN SERTA TANTANGAN DAN PROSPEK INVENTARISASI SUMBER DAYA HUTAN DI MASA DEPAN

4.1 Peran Kunci Inventarisasi dalam Pengelolaan Hutan

Inventarisasi Sumber Daya Hutan (ISDH) adalah proses sistematis untuk mengumpulkan, mengelola, dan menganalisis data kuantitatif dan kualitatif tentang kondisi hutan. Kegiatan ini menjadi fondasi pengambilan keputusan berkelanjutan, mulai dari kebijakan tebang pilih hingga konservasi biodiversitas. Tanpa ISDH, pengelolaan hutan akan kehilangan pijakan empiris dan rentan terhadap konflik ekologis-sosial (Dau, 2015). Hal tersebut berkenaan dimensi utama yang dimiliki ISDH sebagai penentu efektifitasnya.

ISDH sebagai sebuah sistem memiliki peran multidimensi yang berdiri di atas tiga dimensi utama yang saling berkaitan untuk menciptakan pengelolaan hutan yang holistik. Dimensi tersebut antara lain dimensi ekologis, sosial-ekonomi dan teknologi. Dimensi ekologis merupakan dimensi yang berfungsi untuk menghitung volume kayu, biomassa, stok karbon, dan kesehatan tegakan (Manuri et al., 2020). Dimensi sosial-ekonomi merupakan dimensi yang mampu memetakan hak adat, mendukung *social forestry*, dan mencegah konflik tenurial. Selanjutnya, dimensi teknologi

berkaitan dengan inovasi yang mampu meningkatkan efisiensi ISDH. Salah satu contohnya adalah penggunaan LiDAR, drone, dan *machine learning* untuk akurasi data (Chen et al., 2018; Kelly & Tommaso, 2015; Lin et al., 2021; Reddy et al., 2018; Tusa et al., 2020). Ketiga dimensi tersebut menunjukkan bahwa ISDH bukan sebatas alat hitung kayu, melainkan sistem kompleks yang menjembatani kepentingan ekologi, masyarakat, dan inovasi teknologi dalam pengelolaan hutan berkelanjutan.

Meskipun ISDH memiliki peran multidimensi yang krusial, ISDH masih menghadapi tantangan kompleks yang sering kali menurunkan efektivitas hingga kegagalan implementasinya di lapangan. Tantangan-tantangan tersebut diharapkan menjadi pengantara ISDH ke era yang lebih maju, mentransformasikan ISDH menjadi alat pengelolaan hutan yang lebih cerdas dan inklusif. ISDH berevolusi dari sekadar inventarisasi menjadi sistem kecerdasan hutan berbasis *Artificial Intelligent* (AI), berkat terobosan-terobosan seperti melakukan integrasi Data dengan Sistem yang menggabungkan data lapangan, citra satelit, dan AI. Adanya kolaborasi atau Kemitraan pemerintah, swasta, dan masyarakat adat dalam pengumpulan data, serta transparansi dengan penggunaan platform digital terbuka untuk memantau tutupan hutan secara real-time.

Oleh karena itu, ISDH bukan hanya sebagai alat teknis, tetapi merupakan tulang punggung pengelolaan hutan berkelanjutan. Dengan mengatasi tantangan harmonisasi data, kapasitas SDM, dan pemerataan teknologi, ISDH dapat menjadi pondasi kebijakan kehutanan yang adil dan berbasis bukti atau data sesungguhnya di lapangan.

4.2 Aplikasi Inventarisasi dalam Pengelolaan Hutan

4.2.1 Perencanaan dan Pemantauan Hutan Produksi

ISDH memegang peranan yang sangat penting dalam pengelolaan hutan produksi, yaitu pada kegiatan perencanaan dan pemantauan hasil dan kawasan hutannya. Inventarisasi mendukung perencanaan tebangan, penanaman kembali, dan monitoring hasil produksi, termasuk penghitungan karbon dan cadangan biomassa (Mukhopadhyay, 2024).

Dari sisi pemantauan, kolaborasi Kementerian Kehutanan dan LAPAN telah menghasilkan sistem pemantauan nasional berbasis citra satelit yang lebih akurat dan efisien. Dengan metode pemrosesan mosaik Landsat dan indeks spektral perubahan, sistem ini memungkinkan pelacakan kehilangan luas hutan produksi dan degradasi secara tahunan (Wijaya et al., 2019). Penelitian ini memperlihatkan kemajuan dalam akurasi spasial dan konsistensi pemetaan nasional.

Namun, beberapa kelemahan signifikan masih mewarnai sistem perencanaan dan pemantauan di Indonesia. Pertama, menurut (Ota, 2018), sebagian besar Rencana Pengelolaan Jangka Panjang (RPJP) dari Unit Pengelola Hutan (KPH/FMU) hanya menyajikan daftar kegiatan tanpa rincian implementasi teknis yang konkret. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan kapasitas kelembagaan dan ketidakpastian pendanaan.

Kedua, praktik *Reduced Impact Logging* (RIL) yang sudah menjadi standar internasional di negara-negara seperti Brasil dan Malaysia belum diadopsi secara luas di Indonesia. Riset Dulsalam et al., (2021) menunjukkan bahwa efisiensi RIL lebih tinggi daripada logging konvensional, namun tingkat

adopsinya rendah karena biaya awal yang tinggi dan minimnya pelatihan teknis.

4.2.2 Pengelolaan Hutan Konservasi

Pengelolaan kawasan hutan dengan fungsi konservasi sangat membutuhkan ISDH sebagai sarana pengumpulan data untuk memastikan pengelolaan dapat berjalan dengan baik. Data inventarisasi digunakan untuk mengevaluasi keragaman hayati, tingkat degradasi, dan upaya restorasi (Latifi & Heurich, 2019).

Dalam satu dekade terakhir, fokus penelitian pengelolaan hutan konservasi di Indonesia telah meluas dari sekadar perlindungan keanekaragaman hayati menjadi pendekatan berbasis masyarakat, teknologi, dan tata kelola adaptif. Salah satu perkembangan penting adalah penggunaan data penginderaan jauh berbasis *cloud computing* dan *machine learning* untuk pemantauan hutan konservasi secara nasional. Studi oleh Vatesia (2018) memproses lebih dari 144.000 citra Landsat untuk memetakan deforestasi selama 43 tahun, menghasilkan sistem informasi konservasi digital yang digunakan oleh para ranger di lapangan melalui aplikasi mobile.

Selain pendekatan teknologi, kebijakan konservasi juga mulai mengintegrasikan kehutanan sosial (*social forestry*). Penelitian oleh Gunawan et al., (2022) menunjukkan bahwa program ini meningkatkan akses masyarakat terhadap lahan konservasi namun cenderung mengesampingkan aspek ekologi. Sementara manfaat sosial dan ekonomi meningkat, perhatian terhadap keberlanjutan fungsi ekologis seperti habitat satwa liar masih terbatas. Temuan ini menegaskan perlunya pendekatan konservasi yang lebih seimbang antara manfaat manusia dan kelestarian hayati.

4.2.3 Basis Informasi Tata Kelola dan Legalitas

Pemanfaatan ISDH dalam pengelolaan hutan di Indonesia melibatkan banyak aspek dan lembaga. Hal itu membuat ISDH membutuhkan kekuatan dalam sistem informasi dan akurasi data agar seluruh kegiatan penyelenggaraan hutan berjalan baik dan lancar. Sistem informasi inventarisasi membantu dalam pengawasan hak kelola, penebangan ilegal, serta alokasi konsesi secara transparan (Chao et al., 2015).

Selama satu dekade terakhir, perhatian terhadap integrasi informasi tata kelola dan legalitas dalam inventarisasi sumber daya hutan meningkat tajam, terutama karena kebutuhan transparansi dalam kerangka REDD+ dan Perjanjian Paris. Penguatan kapasitas kelembagaan di Kementerian Kehutanan telah memungkinkan Indonesia mengelola inventarisasi emisi gas rumah kaca secara mandiri, suatu langkah penting dalam penguatan tata kelola berbasis data.

Di sisi legalitas, sistem *Sistem Verifikasi Legalitas Kayu (SVLK)* menjadi instrumen utama untuk menjamin bahwa data inventarisasi sejalan dengan pengelolaan yang sah. Namun, efektivitas SVLK masih terbatas pada rantai pasok berskala besar dan tidak menjangkau aktor kecil seperti hutan rakyat. Fragmentasi sistem pelacakan kayu dan lemahnya audit independen menjadi hambatan struktural yang belum sepenuhnya terpecahkan.

Selain itu, integrasi data geospasial dalam pembuatan kebijakan kehutanan adalah hal yang sangat penting. Data spasial yang terpisah antar kementerian dan lembaga menjadi penyebab konflik batas wilayah dan memperlemah dasar hukum tata kelola hutan. Dibandingkan dengan negara-negara seperti Brasil dan Finlandia, Indonesia masih tertinggal

dalam hal koordinasi data dan interoperabilitas sistem informasi hutan. Brasil, misalnya, memiliki sistem *TerraBrasilis* yang menyediakan akses terbuka ke data deforestasi, termasuk integrasi dengan legalitas kepemilikan tanah dan lisensi eksploitasi. Indonesia belum memiliki sistem publik terpadu yang menghubungkan data inventarisasi, izin usaha, peta kawasan, dan penilaian dampak lingkungan secara daring dan real-time. Kelemahan lainnya adalah kurangnya kejelasan lembaga penanggung jawab utama atas integrasi informasi dan legalitas. Wibowo et al., (2022) mengungkapkan bahwa kebijakan legalitas seperti SVLK, REDD+, dan One Map Policy sering bersifat simbolik: memiliki struktur kebijakan tanpa implementor yang kuat, pendanaan stabil, atau lembaga pengarah yang independen.

4.3 Kemajuan Teknologi dalam Inventarisasi

4.3.1 Penggunaan LiDAR dan *Remote Sensing*

LiDAR (*Light Detection and Ranging*) adalah teknologi penginderaan jauh aktif yang menggunakan pulsa laser untuk mengukur jarak antara sensor dan permukaan target, membentuk representasi tiga dimensi dari struktur objek, termasuk pohon, permukaan tanah, dan kanopi hutan. Dalam konteks kehutanan, LiDAR digunakan untuk mengestimasi atribut struktur hutan seperti tinggi pohon, diameter, volume, biomassa, dan kepadatan tegakan (Hartanto et al., 2025).

LiDAR menggunakan pulsa laser untuk mengukur jarak secara presisi, menghasilkan point cloud tiga dimensi dari kanopi pohon, batang, dan permukaan tanah. Sementara itu, remote sensing optic, misalnya Landsat, Sentinel yang menangkap pantulan cahaya tampak atau inframerah untuk menganalisis warna daun, tutupan vegetasi dan indeks vegetasi seperti NDVI. Menurut Shrama et al., (2020),

kombinasi LiDAR (data struktural) dan *hyperspectral imagery* (data spektral) menghasilkan pemantauan hutan yang jauh lebih akurat karena menggabungkan informasi bentuk dan fungsi vegetasi. LiDAR unggul dalam mendeteksi struktur vertikal hutan (tinggi pohon, lapisan kanopi), sedangkan *Remote sensing* pasif unggul dalam mengidentifikasi tipe vegetasi, kelembaban, dan stres fisiologis tanaman.

Karakteristik LiDAR dan merupakan keunggulan yang dimilikinya antara lain Akurasi Tinggi: LiDAR dapat memberikan estimasi metrik struktural pohon dengan ketelitian tinggi, terutama dalam estimasi tinggi dan diameter pohon. Bahkan pendekatan berbasis *backpack LiDAR* mampu memberikan hasil setara dengan TLS (*Terrestrial Laser Scanning*) tradisional (Su et al., 2021). Resolusi 3D Detail: LiDAR menghasilkan *point cloud* tiga dimensi yang merekam bentuk detail dari kanopi hingga permukaan tanah, memungkinkan pemetaan spasial vertikal seperti klasifikasi strata tajuk pohon (Zhou et al., 2023). Kemampuan Penetrasi Tajuk: LiDAR mampu menembus celah kanopi pohon dan mengukur permukaan tanah di bawahnya, yang merupakan kualitas penting yang tidak dimiliki oleh citra satelit optik. Platform Beragam: Dapat diaplikasikan melalui udara (*airborne*), darat (*terrestrial*), atau platform bergerak seperti *drone* dan *backpack LiDAR*, memberikan fleksibilitas operasional di berbagai tipe medan. Kelemahan LiDAR antara lain memerlukan biaya tinggi, terutama pada akuisisi udara atau UAV skala luas. LiDAR juga tidak menyediakan informasi spektral atau kesehatan fisiologis tanaman.

Remote Sensing Optik memiliki keunggulan seperti cakupan spasial sangat luas dengan resolusi temporal tinggi, seperti citra Sentinel-2 tersedia setiap 5 hari). Berbanding terbalik dengan LiDAR, biaya yang dibutuhkan rendah dan

data banyak tersedia gratis. Kelemahan Remote Sensing Optik berkenaan dengan mudah terpengaruh oleh awan, kabut, dan pencahayaan. Selain itu, tidak mampu mengukur struktur vertikal secara langsung.

Tujuan Penggunaan LiDAR dalam Inventarisasi Hutan

1. **Estimasi Biomassa dan Volume:** LiDAR digunakan untuk menghitung biomassa di atas tanah dan volume tegakan secara cepat dan efisien, yang penting dalam perhitungan karbon dan produktivitas hutan (Babcock et al., 2016).
2. **Monitoring dan Pemantauan:** Data LiDAR memungkinkan pembaruan berkala atas kondisi hutan untuk mendeteksi perubahan tutupan, degradasi, dan pertumbuhan vegetasi.
3. **Perencanaan Silvikultur:** Memberikan informasi penting untuk pemetaan spasial, zonasi tegakan, dan desain kegiatan penanaman atau penjarangan.
4. **Efisiensi Inventarisasi:** Dibandingkan metode tradisional yang berbasis plot manual, LiDAR mempercepat proses inventarisasi dengan cakupan luas dan mengurangi bias manusia (Seleznovs et al., 2019).

Di Indonesia, pemanfaatan teknologi LiDAR dalam inventarisasi hutan masih dalam tahap penguatan kapasitas. Studi oleh Hartanto et al., (2025) menunjukkan bahwa penggunaan LiDAR di hutan produksi di Jawa pada tegakan jati dan pinus meningkatkan akurasi inventarisasi dibandingkan metode konvensional. Data LiDAR yang dikumpulkan menggunakan drone memberikan hasil yang sangat sejalan dengan pengukuran lapangan (*ground-truthing*), khususnya dalam estimasi tinggi pohon, volume, dan struktur tegakan.

Namun, penelitian ini juga mencatat tantangan besar dalam penerapan di hutan alam tropis yang lebih kompleks dan beragam, seperti kebutuhan akan pemrosesan data lebih canggih dan potensi bias ketika digunakan pada wilayah dengan kanopi rapat dan spesies campuran. Di sisi kelembagaan, masih sedikit unit pengelola hutan (KPH) yang memiliki kapasitas teknis maupun infrastruktur untuk mengoperasikan perangkat dan menginterpretasikan data LiDAR.

Keunggulan dan Kelemahan LiDAR dan Remote Sensing

Keunggulan:

1. Akurasi tinggi: Terutama dalam pengukuran tinggi pohon dan volume tajuk, bahkan di area kompleks atau multi-layered (Chen et al., 2018).
2. Efisiensi luas wilayah: Dapat mencakup area ribuan hektar dalam waktu singkat tanpa perlu banyak tenaga lapangan.
3. Automatisasi analisis: Banyak pengembangan algoritma semi-otomatis seperti *trunk detection* dan *mean shift clustering* yang mengurangi kesalahan manusiawi (Farajelahi et al., 2023).

Kelemahan:

1. Biaya akuisisi tinggi, terutama untuk pemetaan berulang, pengadaan drone/LiDAR, dan pelatihan personil.
2. Keterbatasan penetrasi tajuk. Pada hutan tropis dengan kanopi padat (seperti di Sumatera dan Kalimantan), sinyal LiDAR sulit menembus hingga ke permukaan tanah, menyebabkan bias dalam estimasi struktur bawah kanopi.

Kelemahan Riset di Indonesia dibanding Luar Negeri. Riset di Indonesia sebagian besar masih bersifat studi kasus, dengan cakupan area terbatas dan belum bersifat longitudinal (jangka panjang). Selain itu, integrasi data LiDAR

dengan sistem nasional seperti Inventarisasi Hutan Nasional (IHN) atau SIMONTANA belum optimal. Sebaliknya, di negara-negara maju, data LiDAR telah dikombinasikan dengan model simulasi dinamis seperti FORMIND untuk menjawab dinamika biomassa dan gangguan hutan pada berbagai skenario manajemen (Knapp et al., 2018).

Rekomendasi Riset Masa Depan

1. Pengembangan model pemetaan biomassa yang menggabungkan LiDAR dengan data pertumbuhan pohon lokal, untuk mengatasi kekurangan kalibrasi model luar negeri yang diterapkan di Indonesia. Selain itu, perlu untuk melakukan penyesuaian sistem di wilayah tropis. Hal ini berkenaan dengan riset khusus untuk mengadaptasi algoritma LiDAR agar sesuai dengan kondisi hutan tropis Indonesia yang kompleks, seperti struktur multistrata dan kanopi lebat.
2. Penerapan algoritma berbasis AI dan machine learning untuk otomatisasi klasifikasi spesies dan segmentasi individu pohon di hutan alam tropis multistrata. Mengembangkan model machine learning berbasis cloud untuk otomatisasi analisis LiDAR dan citra satelit secara ultis, mengingat volume datanya sangat besar dan kompleks (Weinstein et al., 2019).
3. Riset kolaboratif antar universitas dan KPH untuk mengembangkan standar nasional pemanfaatan LiDAR dalam inventarisasi, khususnya pada kawasan hutan lindung dan konservasi.
4. Evaluasi biaya-manfaat penggunaan LiDAR dibanding metode konvensional dalam konteks skala kecil (hutan rakyat) dan skala besar (konsesi industri), agar adopsi lebih efisien dan inklusif. Selain itu perlu juga melakukan

- riset tentang kajian teknis dan ekonomi terhadap penggunaan LiDAR berbiaya rendah, seperti backpack LiDAR atau UAV-based LiDAR) di kawasan konservasi dan hutan rakyat.
5. Integrasi Multi-Sensor: Pengembangan metode *data fusion* antara LiDAR dan citra hyperspectral/ 129 ultispectral untuk klasifikasi spesies pohon dan pemodelan pertumbuhan pohon secara spasial-temporal (Tusa et al., 2020).

4.3.2 Terrestrial Laser Scanning (TLS)

TLS pertama kali diperkenalkan dalam konteks kehutanan sekitar dua dekade lalu sebagai teknologi pengukuran 3D berbasis laser dengan akurasi milimeter. TLS digunakan untuk mendapatkan data struktur tegakan pohon secara rinci tanpa kontak langsung. TLS memberikan potensi luar biasa untuk estimasi biometrik seperti diameter, tinggi, volume batang, dan struktur tajuk secara otomatis dan periodik. Hal tersebut menunjukkan bahwa TLS mampu menangkap struktur pohon secara detail dan menjadi pelengkap metode inventarisasi konvensional. Berbagai studi global telah membuktikan bahwa TLS sangat efektif untuk estimasi diameter pohon (DBH), tinggi, dan biomassa di hutan tropis maupun sedang, antara lain:

1. Di Indonesia, TLS digunakan untuk pemetaan arsitektur dan biomassa pohon besar tropis. TLS mampu menghasilkan model biomassa di atas tanah (AGB) yang lebih akurat daripada model alometrik konvensional, khususnya pada pohon besar berdiameter >70 cm (Sarmiento & Ivan, 2018).
2. Dalam studi di India, pendekatan multi-scan TLS memberikan tingkat deteksi pohon hingga 97% dan

estimasi DBH yang sangat mendekati pengukuran lapangan ($R^2 = 0.99$) (Reddy et al., 2018).

Di Indonesia:

1. Pemanfaatan TLS masih terbatas pada riset universitas dan proyek percontohan di hutan produksi dan konservasi.
2. Data TLS sering belum terintegrasi dalam sistem nasional seperti Inventarisasi Hutan Nasional (IHN).
3. Masih rendahnya kapasitas SDM dalam pemrosesan dan interpretasi *point cloud* menghambat aplikasi luas di tingkat KPH.

Internasional (contoh: Eropa, Amerika, Malaysia):

1. TLS telah digunakan secara operasional dalam *National Forest Inventory* (NFI).
2. Diterapkan dalam pemodelan pertumbuhan, struktur tegakan, bahkan metabolisme pohon melalui analisis arsitektur cabang (Wei et al., 2021).
3. TLS juga digunakan sebagai data validasi (*ground truth*) dalam sistem penginderaan jauh satelit nasional seperti NASA GEDI dan NEON.

Keunggulan dan Kelemahan TLS

Keunggulan:

1. Non-destruktif & akurat: Ideal untuk ekosistem yang rentan.
2. Detail 3D: Dapat merekonstruksi struktur batang dan tajuk.
3. Independen dari cahaya matahari: Bisa digunakan dalam kondisi kanopi rapat.

Kelemahan:

1. *Occlusion* (terhalang vegetasi): Menyebabkan kehilangan data di bagian atas pohon.
2. Proses berat: Memerlukan perangkat lunak dan keahlian tinggi untuk olah data.
3. Biaya mahal: Khususnya pada sistem multi-scan dan area hutan luas.

Rekomendasi Riset Masa Depan

1. **Integrasi TLS dan LiDAR Udara:** Kombinasi TLS (presisi lokal) dan ALS (cakupan luas) akan memperkuat estimasi biomassa dan validasi model satelit.
2. **Pengembangan algoritma otomatisasi:** Seperti penggunaan *deep learning* untuk deteksi batang dan klasifikasi spesies langsung dari point cloud.
3. **Penggunaan TLS pada hutan rakyat dan hutan adat:** Untuk mendukung pemetaan partisipatif berbasis data objektif, terutama dalam perizinan kehutanan sosial.
4. **Studi longitudinal dan pemodelan pertumbuhan pohon:** TLS sangat potensial untuk pemantauan perubahan struktural pohon tahunan tanpa menebang atau merusak ekosistem.

4.3.3 Model Digital dan Simulasi Virtual

Model digital dan simulasi virtual telah berkembang dari sekadar visualisasi spasial menjadi alat interaktif berbasis data real-time untuk perencanaan dan pengambilan keputusan hutan. Teknologi ini menggabungkan data inventarisasi hutan (*field plots*), penginderaan jauh, serta pemodelan pertumbuhan pohon dan ekosistem. Model ini mampu menjadi alternatif pengukuran manual dalam inventarisasi hutan nasional.

Model Digital Hutan adalah representasi komputerisasi dari struktur dan dinamika ekosistem hutan yang dibangun menggunakan data inventarisasi, penginderaan jauh, dan pemodelan pertumbuhan. Simulasi Virtual mengacu pada proses visualisasi dan interaksi terhadap model tersebut dalam lingkungan 3D atau virtual reality untuk mengeksplorasi skenario manajemen hutan.

Contoh awal aplikasi ini dapat dilihat pada simulasi virtual berbasis data inventarisasi untuk memvisualisasikan perubahan hutan dari waktu ke waktu. Model digital hutan dibangun dari integrasi data inventarisasi lapangan, citra satelit, dan pemodelan 3D. Hal ini dapat digunakan untuk menampilkan dinamika pertumbuhan pohon, perubahan jenis pohon, dan gangguan ekosistem.

Tujuan dan Manfaat Model Digital dan Simulasi Virtual

Tujuan:

1. Mewakili kondisi hutan secara visual dan spasial-dinamis.
2. Memproyeksikan dampak skenario pengelolaan (penebangan, konservasi, perubahan iklim).
3. Menyediakan platform analitik untuk perencanaan dan pengambilan keputusan.

Manfaat:

1. Mempercepat proses evaluasi skenario manajemen tanpa eksperimen lapangan langsung.
2. Memfasilitasi keterlibatan pemangku kepentingan dalam proses perencanaan partisipatif.
3. Meningkatkan akurasi estimasi biomassa dan karbon secara spasial.
4. Mengurangi biaya survei jangka panjang dengan menggunakan simulasi yang terkalibrasi.

Secara sederhana, data yang diperlukan untuk membuat model digital dan simulasi virtual hutan antara lain data hasil inventarisasi lapangan (diameter, tinggi pohon, dan lainnya), data LiDAR atau TLS, citra satelit multispectral, DEM, data vector spasial dan pertumbuhan pohon (Tabel 4.1).

Tabel 4.1. Data Pembuatan Model Digital

Jenis Data	Format Umum	Sumber Data	Fungsi
Inventarisasi lapangan (diameter, tinggi pohon, spesies)	.csv, .xlsx	Pengukuran langsung, plot	Dasar model struktur tegakan
Data LiDAR atau TLS	.las, .laz, .ply	Drone/UAV, pemindai TLS	Membuat model 3D tegakan dan permukaan tanah
Citra satelit multispektral	.tif, .jpeg, .hdf	USGS Earth Explorer, Copernicus, Google Earth Engine	Validasi jenis tutupan lahan, NDVI
Digital Elevation Model (DEM)	.tif	USGS SRTM, BIG Geospasial Indonesia	Representasi permukaan topografi
Data vektor spasial (batas petak, jalan, sungai)	.shp, .geojson	Peta kehutanan, BPKH, One Map	Simulasi kontekstual spasial
Data pertumbuhan pohon	.txt, .csv, model	Hasil riset atau database	Simulasi dinamika pertumbuhan jangka panjang

Pembuatan model digital membutuhkan proses yang dilakukan pada aplikasi yang mampu membuat representasi dan simulasi digital objek yang diteliti, yaitu kawasan hutan. Perangkat lunak yang digunakan ditampilkan pada Tabel 4.2. Agar lebih mudah memahami karakteristik Lidar, Remote Sensing Pasif, TLS, Model Digital dan Simulasi Virtual dalam Inventarisasi Hutan, kelebihan dan keunggulan masing-masing disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.2. Rekomendasi perangkat lunak untuk Pembangunan Model Digital dan Simulasi Virtual dalam Inventarisasi Hutan

Perangkat Lunak	Fungsi	Format Input	Sumber Unduhan
QGIS + plugin 3D Map View, ForestTools	Pemetaan digital, analisis spasial, rendering 3D	.shp, .las, .csv	qgis.org
Fusion/LDV (US Forest Service)	Visualisasi dan analisis data LiDAR untuk kehutanan	.las, .csv	fusion.ladssci.com
Blender + BlenderGIS Plugin	Pembuatan simulasi hutan virtual 3D berbasis model	.obj, .shp, .geotiff	blender.org
Unreal Engine / Unity 3D	Simulasi interaktif dan visualisasi VR untuk kebijakan dan edukasi	.fbx, .obj, .csv	unrealengine.com, unity.com
Envi-met (untuk simulasi vegetasi mikroklimat)	Simulasi lingkungan mikro, interaksi tutupan vegetasi	.dxf, .ini	envi-met.com

Contoh penerapannya dapat ditemukan pada simulasi pertumbuhan pohon poplar berbasis *Digital Twin Plantation System* oleh Li et al., (2023), yang menghasilkan prediksi pertumbuhan diameter dengan akurasi >87%.

Tabel 4.3. Karakteristik Pemanfaatan Lidar, Remote Sensing Pasif, TLS, Model Digital dan Simulasi Virtual dalam Inventarisasi Hutan

Teknologi	Tipe	Fungsi Utama	Keunggulan	Kelemahan
LiDAR	Penginderaan jauh aktif	Mengukur tinggi, volume, dan struktur tegakan	Akurasi spasial tinggi, mampu menembus kanopi	Biaya mahal, kompleks pemrosesan
Remote Sensing Pasif	Penginderaan jauh optik	Mendeteksi tutupan lahan, tipe vegetasi, indeks NDVI	Cakupan luas, biaya rendah, data gratis (Landsat, Sentinel)	Tergantung cuaca, tidak mengukur vertikal struktur
TLS (Terrestrial Laser Scanning)	Sensor darat 3D	Mengukur diameter, tinggi, tajuk secara presisi	Resolusi tinggi, cocok untuk analisis struktur mikro	Sulit digunakan di area luas, mahal dan berat
Model Digital & Simulasi Virtual	Sistem pemodelan dan visualisasi	Simulasi perubahan hutan secara spasial-dinamis	Interaktif, proyeksi skenario, edukatif	Membutuhkan data lengkap, kompleksitas tinggi

Perkembangan Penelitian 10 Tahun Terakhir dan Temuan Utama

- 1. Digital Twin Forest:** Teknologi “kembaran digital hutan” dikembangkan untuk menciptakan lingkungan hutan interaktif berbasis waktu nyata yang memungkinkan simulasi penjarangan pohon, interaksi spasial-pohon, dan pertumbuhan jangka panjang. Model ini berhasil meningkatkan akurasi prediksi tinggi pohon dan DBH lebih dari 90% menggunakan pendekatan Bayesian dan interaksi virtual-nyata (Qiu et al., 2023).
- 2. Computational Virtual Measurement (CVM):** Usulan mengenai pendekatan baru dimana simulasi virtual menggantikan pengukuran fisik pohon melalui model digital, misalnya displacement air virtual dan analisis sinar matahari. Ini memungkinkan estimasi tanpa validasi lapangan karena “ukuran digital” dihasilkan berdasarkan simulasi proses fisis.
- 3. Pemodelan Lanskap Virtual:** Di Italia, penggunaan model lanskap berbasis proses berhasil menggabungkan data iklim, tanah, vegetasi, dan inventarisasi hutan untuk memproyeksikan dinamika regenerasi alami dan gangguan iklim di masa depan. Ini digunakan dalam pengelolaan lanskap skala besar dan adaptasi perubahan iklim.
- 4. Simulasi VR dan Game Engine:** Penggunaan teknologi game seperti Unreal Engine memungkinkan pengguna “berjalan” dalam hutan masa depan di bawah skenario iklim berbeda. Ini digunakan untuk komunikasi kebijakan dan pelibatan publik (Huang et al., 2020).

Keunggulan dan Kelemahan tentang Pemanfaatan Model Digital dan Simulasi Virtual

Keunggulan:

1. Meningkatkan pemahaman spasial dan prediktif terhadap dinamika hutan.
2. Memungkinkan pengambilan keputusan berbasis simulasi skenario (*what-if analysis*).
3. Memfasilitasi partisipasi pemangku kepentingan non-teknis dalam perencanaan.

Kelemahan:

1. Ketergantungan tinggi pada data berkualitas tinggi (NFI, LiDAR, pertumbuhan historis).
2. Masalah interoperabilitas antar sistem.
3. Kurangnya standar internasional untuk validasi model virtual.

Rekomendasi Riset untuk Masa Depan tentang Pemanfaatan Model Digital dan Simulasi Virtual

1. **Pengembangan Forest Digital Twin di Indonesia:** Perlu riset untuk mengembangkan prototipe “kembaran digital hutan” berbasis data lokal, seperti data SIMONTANA, data UAV, dan SVLK, dengan uji coba di beberapa KPH.
2. **Integrasi dengan *One Map Policy*.** Penelitian untuk menyambungkan visualisasi hutan digital dengan kebijakan pemetaan dan izin legal.
3. **Riset Partisipatif:** Mengembangkan simulasi yang dapat digunakan oleh masyarakat adat dan petani hutan untuk memproyeksikan hasil konservasi dan pengelolaan, serta untuk pendidikan berbasis digital.
4. **Pengembangan Antarmuka Pengguna Partisipatif**
Studi lanjutan diperlukan untuk menciptakan aplikasi simulasi hutan yang mudah digunakan masyarakat adat

dan kelompok tani hutan guna mendukung kehutanan sosial.

5. Integrasi AI dan Big Data

Kombinasi machine learning dengan simulasi virtual memungkinkan model prediktif pertumbuhan pohon dan dampak iklim di seluruh tipe hutan Indonesia, termasuk mangrove dan gambut.

6. Validasi Model Virtual terhadap Data Lapangan

Riset untuk menguji akurasi model digital terhadap hasil inventarisasi nyata masih sangat dibutuhkan untuk membangun kepercayaan pada sistem simulasi.

7. Evaluasi Efektivitas Kebijakan: Menggunakan simulasi virtual untuk mengevaluasi dampak kebijakan kehutanan (REDD+, moratorium izin, rehabilitasi DAS) secara visual dan terukur.

4.4 Tantangan Inventarisasi di Lapangan

4.4.1 Ketertinggalan dan Ketidakakuratan Data

Kegiatan inventarisasi hutan di Indonesia masih menghadapi dua hambatan besar. Masalah utama adalah keterlambatan pembaruan data dan akumulasi kesalahan prediksi akibat model pertumbuhan yang tidak presisi (Luoma et al., 2017). Ketertinggalan data berkaitan dengan banyaknya data inventarisasi yang tidak diperbarui secara periodik, terutama di wilayah-wilayah terpencil seperti Papua dan Kalimantan (Dorebayo et al., 2015). Masalah lainnya yaitu ketidakakuratan data. Hal ini berkenaan dengan kesalahan dalam pengukuran diameter, tinggi, atau biomassa menyebabkan keputusan manajemen yang salah dan berpotensi menimbulkan kerugian ekonomi.

Strategi dan Langkah Teknis untuk Mengatasinya:

1. Modernisasi Teknologi Inventarisasi: Pemanfaatan LiDAR dan GEDI

Penggunaan sensor LiDAR dan data satelit GEDI dapat meningkatkan akurasi dan mempercepat pengumpulan data hutan, terutama di wilayah tropis dengan akses terbatas. Studi di Jambi menunjukkan bahwa model hierarkis berbasis GEDI + ALS mampu menghasilkan peta biomassa akurat dengan tingkat kesalahan hanya 8–26% (May et al., 2024). Oleh karena itu, direkomendasikan agar pemerintah mengintegrasikan data GEDI ke dalam sistem SIMONTANA dan memperluas pembelajaran lokal untuk penggunaannya.

2. Standardisasi & Integrasi Data Perusahaan dan Pemerintah

Data inventarisasi yang dimiliki perusahaan pemegang konsesi, seperti OPTI dan PSP sangat kaya akan informasi, namun belum digunakan secara maksimal dalam sistem nasional. Studi oleh Manuri et al., (2020) menerangkan perlunya pembentukan platform inventarisasi nasional berbasis data perusahaan dan negara dengan sistem QA/QC (*Quality Assurance*) terstandar.

3. Penggunaan Model Statistik dan Machine Learning

Kelemahan dalam data yang hilang (gap) bisa diatasi dengan metode statistik modern seperti model spasial-hierarkis atau machine learning. Riset oleh May et al., (2024) menunjukkan bahwa pendekatan ini bisa memetakan hutan secara menyeluruh meskipun data GEDI bersifat tidak lengkap.

4. Perluasan Kegiatan Inventarisasi Rutin dan IHMB

Program IHMB (Inventarisasi Hutan Menyeluruh Berkala) dinilai belum mencakup data ekosistem secara menyeluruh. Perlu redefinisi “komprehensif” agar tidak

hanya menyangkut pohon tetapi juga data sosial, karbon, dan keanekaragaman hayati. Dorebayo et al., (2015) menekankan IHMB hanya mencakup “hutan produktif” dan kurang mendukung pengelolaan berkelanjutan secara ekosistemik.

5. Pelatihan SDM dan Sistem Insentif

Kurangnya akurasi seringkali berasal dari keterbatasan SDM teknis di tingkat tapak (KPH dan UPTD). Strategi: Adakan pelatihan teknis bersertifikat (misalnya drone LiDAR, pemrosesan GEDI, QGIS) dan insentif berbasis akurasi serta kecepatan data.

6. Sistem Audit Kualitas dan Akses Terbuka

Akurasi data meningkat ketika publik bisa mengakses dan mengauditnya. Strategi yang dapat dilakukan dengan menerapkan sistem audit data inventarisasi yang terbuka dan dapat diakses secara daring untuk meningkatkan transparansi dan akuntabilitas.

Rekomendasi Penelitian Selanjutnya

1. Evaluasi integrasi data LiDAR dan GEDI ke sistem perencanaan KPH (studi kasus Kalimantan).

Penelitian ini bertujuan mengkaji bagaimana data LiDAR dari UAV atau airborne dan data satelit GEDI (*Global Ecosystem Dynamics Investigation*) dapat diintegrasikan dalam sistem perencanaan kehutanan di tingkat Kesatuan Pengelolaan Hutan (KPH). Fokus studi di Kalimantan karena wilayah ini memiliki kombinasi antara hutan alam tropis, hutan tanaman, dan wilayah dengan tekanan konversi tinggi.

Hasil akhir yang diharapkan:

- a. Tersusunnya protokol integrasi spasial antara data GEDI/LiDAR dengan peta kerja RPHJP.

- b. Peningkatan ketepatan spasial perencanaan terbangun dan zonasi habitat.
- c. Rekomendasi bagi KLHK untuk mengadopsi sistem ini secara nasional.

2. Pengembangan standar interoperabilitas data kehutanan antara KLHK, pemerintah daerah, dan perusahaan. Riset ini bertujuan menyusun framework interoperabilitas data kehutanan, agar data dari SIMONTANA, IHMB, e-RPHJP, dan sistem perusahaan (OPTI, PSP) dapat dikonsolidasikan dalam satu sistem nasional. **Hasil akhir yang diharapkan antara lain:**

- a. Tersusunnya format baku (template) dan standar metadata kehutanan.
- b. Terbitnya dokumen teknis interoperabilitas sebagai acuan nasional.
- c. Penurunan duplikasi data dan efisiensi perencanaan lintas lembaga.

3. Riset validasi model spasial untuk mengisi kekosongan data inventarisasi (data gap-filling). Menggunakan pendekatan machine learning atau model regresi spasial untuk memprediksi atribut hutan (diameter, tinggi, biomassa) di lokasi tanpa data langsung berdasarkan titik-titik yang tersedia. Hasil akhir yang diharapkan antara lain:

- a. Tersusunnya algoritma prediksi biomassa dan struktur hutan dengan akurasi tinggi.
- b. Peta inventarisasi kontinu untuk wilayah yang belum tersurvei, misalnya Papua, Sulawesi tengah, dan perbatasan Kalimantan.
- c. Pengurangan kebutuhan survei lapangan tanpa mengorbankan akurasi.

4. Studi longitudinal tentang akurasi data dari IHMB dan dampaknya terhadap penetapan jatah tebangan (AAC).

Menelusuri data IHMB secara historis dan membandingkannya dengan realisasi lapangan serta kebijakan *Annual Allowable Cut* (AAC), untuk mengidentifikasi deviasi atau kesalahan penetapan jatah terbang. Hasil akhir yang diharapkan yaitu:

- a. Laporan akuntabilitas ilmiah sistem IHMB terhadap kebijakan terbang nasional.
- b. Rekomendasi revisi metode penghitungan AAC berdasarkan akurasi data terkini.
- c. Penyesuaian regulasi teknis perencanaan tebangan berkelanjutan.

5. Pengembangan dashboard nasional berbasis AI untuk mendeteksi anomali dalam data lapangan.

Mengembangkan sistem berbasis kecerdasan buatan (AI) untuk mendeteksi pola anomali dalam data lapangan seperti outlier DBH, nilai biomassa ekstrem, atau perbedaan antara rencana dan realisasi tebangan. Hasil akhir yang diharapkan ialah:

- a. Tersedianya dashboard visual yang dapat diakses oleh KLHK, KPH, dan publik.
- b. Peningkatan transparansi data inventarisasi dan pengawasan independen.
- c. Sistem peringatan dini (early warning) untuk mendeteksi pelaporan data palsu, manipulatif, atau keliru.

4.4.2 Biaya dan Infrastruktur Teknologi

Teknologi modern seperti LiDAR, TLS, dan model digital memang menawarkan akurasi tinggi dalam inventarisasi hutan, namun sangat mahal secara finansial dan keahlian

teknis tinggi. Tantangan biaya dan infrastruktur dalam inventarisasi hutan di Indonesia berakar pada ketimpangan akses teknologi, minimnya kapasitas SDM dan pembiayaan, serta belum adanya sistem nasional yang terstandar dan terjangkau.

Tantangan biaya dan infrastruktur teknologi yang dihadapi pada kegiatan ISDH dalam rangka pengelolaan hutan di Indonesia

1. Keterbatasan Akses Teknologi di Wilayah Terpencil.

Infrastruktur teknologi seperti jaringan internet, listrik, dan logistik sangat terbatas di sebagian besar kawasan hutan Indonesia (terutama di Papua, Kalimantan pedalaman, dan Maluku), sehingga penggunaan teknologi tinggi seperti LiDAR, UAV, TLS, atau pemrosesan cloud menjadi tidak optimal. Menurut Brearley et al., (2019), kelemahan infrastruktur dasar menyebabkan keterbatasan pelaksanaan plot permanen (*Permanent Sample Plot/PSP*) yang konsisten, padahal PSP adalah tulang punggung monitoring jangka panjang.

2. Biaya Peralatan dan Operasional yang Tinggi.

Teknologi inventarisasi canggih seperti airborne LiDAR, TLS, dan sensor hiperspektral memerlukan investasi awal besar, termasuk untuk pembelian alat, pelatihan SDM, transportasi, dan pengolahan data. Hasilnya, banyak KPH dan instansi daerah tidak mampu mengakses teknologi ini secara mandiri. Hartanto et al., (2025) menemukan bahwa penerapan LiDAR pada hutan produksi di Jawa sangat akurat, tetapi skalabilitasnya terbatas oleh biaya tinggi dan kebutuhan tenaga ahli.

3. Ketimpangan Kapasitas dan Infrastruktur Antar Daerah.

Tidak semua wilayah memiliki tingkat kesiapan infrastruktur dan kapasitas SDM yang sama. Akibatnya, terjadi kesenjangan dalam kualitas dan frekuensi

inventarisasi antar KPH. Fuji Widyawati & Istiqomah (2023) menekankan bahwa indeks infrastruktur telekomunikasi di sektor kehutanan masih sangat rendah, terutama untuk akses tetap seperti internet broadband dan layanan daring yang diperlukan dalam inventarisasi berbasis digital.

4. Kebutuhan Data yang Bersifat Real-Time dan Akurat.

Sistem inventarisasi modern menuntut ketersediaan data yang cepat, presisi tinggi, dan dapat diperbarui secara berkala, namun sistem konvensional (manual atau semi-digital) tidak mampu memenuhinya tanpa bantuan teknologi. Solusi berbasis UAV dan Backpack LiDAR terbukti menghasilkan data diameter dan biomassa dengan akurasi memadai serta biaya operasional yang lebih rendah dibanding metode TLS atau airborne LiDAR.

5. Ketergantungan pada Donor dan Proyek Eksternal.

Mayoritas inventarisasi modern di Indonesia masih bergantung pada proyek pendanaan luar negeri, sehingga keberlanjutannya tergantung pada siklus pendanaan, bukan kebutuhan jangka panjang pengelolaan hutan. Hal ini disebutkan secara implisit dalam (Brearley et al., 2019), yang menyoroti potensi besar jaringan pengamatan hutan, namun terkendala koordinasi pembiayaan jangka panjang di luar proyek-proyek riset tertentu.

Beberapa strategi yang mungkin dilakukan untuk menghadapi tantangan ini antara lain:

- 1. Optimalisasi Teknologi Rendah Biaya seperti UAV + Backpack LiDAR.** Penggabungan drone (UAV) dengan Backpack LiDAR telah terbukti menjadi alternatif yang efisien dan hemat biaya dibandingkan dengan sistem LiDAR airborne konvensional. Penelitian oleh Ila et al., (2024) menunjukkan bahwa UAV dan Backpack LiDAR menghasilkan data biomassa dan tinggi pohon dengan

akurasi tinggi (RMSE DBH = 0,79 m) namun dengan biaya lebih rendah dan logistik lebih fleksibel. Langkah teknis yang dapat dilakukan yaitu menggunakan drone lokal rakitan dalam negeri dan melatih SDM lokal untuk operasionalisasi UAV dan analisis data point cloud sederhana.

2. **Pemanfaatan Infrastruktur Terbuka dan Gratis.** Alih-alih membangun sistem infrastruktur dari nol, penggunaan data dan perangkat lunak terbuka seperti GEDI NASA untuk estimasi biomassa, Sentinel-2 atau Landsat untuk tutupan lahan dan QGIS dan FUSION/LDV untuk pemrosesan spasial. Integrasi data GEDI dan ALS di Jambi menghasilkan estimasi biomassa yang sangat akurat, bahkan di hutan tropis heterogen (May et al., 2024).
3. **Pembangunan Jaringan Monitoring Kolaboratif.** Jika dibandingkan dengan melakukan investasi besar-besaran di tiap KPH, strategi terbaik adalah dengan membentuk jaringan pengawasan inventarisasi hutan berbasis kolaborasi antar universitas, lembaga riset, dan KPH. Selain itu, perlu fokus pada integrasi data permanen dari *Permanent Sample Plots* (PSPs) nasional. Brearley et al., (2019) menunjukkan bahwa PSP yang dikelola bersama lembaga nasional dan internasional memiliki potensi menjadi tulang punggung sistem monitoring jangka panjang, dengan biaya terdistribusi.
4. **Penyediaan Infrastruktur Teknologi Terpusat dan Portabel.** Daripada setiap KPH membeli alat mahal seperti TLS, strategi efisien adalah penyediaan unit keliling atau "*forest inventory mobile labs*" oleh Balai Pemantapan Kawasan Hutan (BPKH) atau BLI. Selain itu, alat disimpan di titik sentral dan digunakan bergilir. Harapannya,

pendekatan digital terpusat dengan *e-governance* dan perangkat keliling dapat mempercepat transparansi inventarisasi tanpa membebani daerah.

- 5. Hibah Teknologi dan Skema Insentif Kolaboratif.** Perlu adanya skema hibah alat inventarisasi berbasis capaian kinerja (misalnya target updating data per 1000 ha). Hal lain yang tidak kalah penting untuk dilakukan adalah melakukan pembukaan program CSR atau dukungan lembaga donor (GIZ, FAO, KOICA) untuk pengadaan alat dan pelatihan SDM. Sangat penting untuk melakukan uji coba teknologi (*Proof of Concept*) sebelum implementasi besar, yang bisa didanai oleh kerja sama multistakeholder.

Jika strategi-strategi ini dijalankan secara konsisten, maka diharapkan akan tercapai hal-hal sebagai berikut:

1. Biaya inventarisasi dapat ditekan hingga 40–60% dibanding sistem konvensional TLS/LiDAR airborne.
2. Setiap KPH mampu melakukan inventarisasi mandiri minimal setiap 5 tahun.
3. Muncul sistem inventarisasi nasional yang inklusif, hemat biaya, dan efisien teknologi, mendukung implementasi REDD+, pengelolaan berbasis KPH, serta peta jalan dekarbonisasi sektor kehutanan.

4.4.3 Integrasi dan Harmonisasi Data

Indonesia memiliki banyak sistem data kehutanan, misalnya SIMONTANA, IHMB, PSP, OPTI, RKT, dan RPHJP, namun belum saling terintegrasi secara sistemik. Masih banyak sistem informasi kehutanan yang belum terintegrasi secara menyeluruh, menyulitkan proses pengambilan keputusan yang lintas sektor (Chao et al., 2015; Sarodja, 2019). Data berasal dari berbagai sumber yaitu pemerintah, perusahaan, LSM, akademisi dengan format, skala, dan

metode yang berbeda, menyebabkan duplikasi dan inkonsistensi data, sulitnya pengambilan keputusan lintas sektor, dan terhambatnya sistem Monitoring, Reporting, Verification (MRV) REDD+. Menurut Manuri et al., (2020), data dari 17.000+ plot perusahaan HPH di Kalimantan sebenarnya bernilai tinggi untuk pemantauan karbon dan biomassa, namun belum masuk sistem nasional karena ketiadaan platform integratif dan standar mutu data.

Jika strategi ini diterapkan secara sistemik dan nasional, maka dapat dihasilkan:

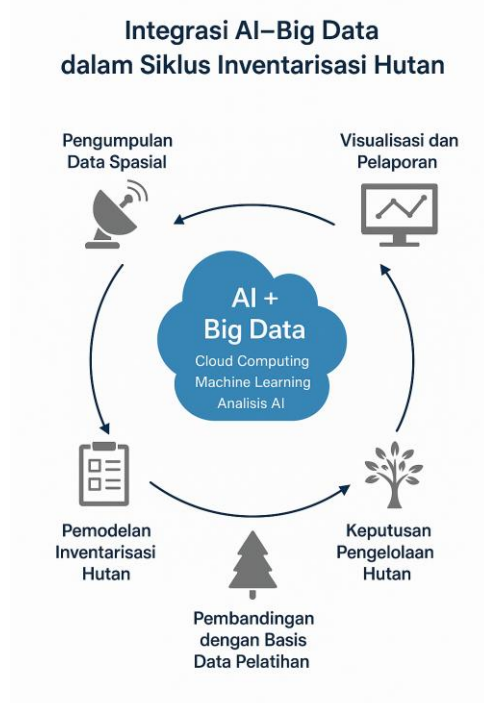
1. Satu platform nasional inventarisasi hutan berbasis spasial dan berbagi pakai data.
2. Konsistensi antara sistem perusahaan, pemerintah, dan masyarakat.
3. Kemampuan pelaporan MRV REDD+ dan FOLU Net Sink 2030 yang lebih akurat dan dapat diaudit.

4.5 Prospek Masa Depan Inventarisasi Sumber Daya Hutan

4.5.1 Integrasi Big Data dan AI

Big Data dalam konteks kehutanan mencakup volume besar data spasial dan temporal dari berbagai sumber, seperti LiDAR, satelit (Sentinel, GEDI), UAV, sensor lapangan, serta data sosial dan administratif. AI (*Artificial Intelligence*), terutama pembelajaran mesin dan deep learning, digunakan untuk mengotomatisasi klasifikasi, segmentasi pohon, pemetaan biomassa, dan deteksi perubahan hutan. Keberhasilan platform monitoring hutan berbasis big data terbukti dapat digunakan multi-negara dan multi-institusi secara daring (Ilham et al., 2019; Miettinen et al., 2021) . Perbandingan penerapan data di dalam dan luar negeri disajikan pada Tabel C. Integrasi AI dan point cloud 3D seperti

LiDAR menghasilkan akurasi tinggi dalam identifikasi spesies, pemisahan pohon individu, dan estimasi biomassa melalui model deep learning yang jauh melampaui metode tradisional. Secara umum, integrasi AI-Big Data dalam siklus inventarisasi hutan dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Visualisasi Integrasi AI-Big Data dan Inventarisasi Hutan

Strategi dan Langkah Teknis Integrasi Big Data & AI

1. Pembangunan Infrastruktur Data Kehutanan Terpusat

- a. Menggabungkan data dari SIMONTANA, IHMB, drone, dan sensor lapangan.
- b. Menyusun warehouse spasial dengan dukungan cloud server seperti GEE (*Google Earth Engine*) atau AWS.

2. Pengembangan Model AI untuk Prediksi dan Otomatisasi

Pengembangan dengan menggunakan algoritma seperti Random Forest, CNN (*Convolutional Neural Network*), dan *Graph Neural Networks* untuk klasifikasi jenis pohon, deteksi deforestasi otomatis, serta prediksi stok karbon dan pertumbuhan pohon individu. Studi oleh Kulicki et al., (2024); Rudiastuti et al., (2016) juga menyarankan pendekatan *self-supervised learning* untuk mengatasi keterbatasan data latih.

3. Penerapan Explainable AI (XAI)

Penerapan dengan memberikan transparansi atas keputusan model AI dalam konteks kebijakan publik. Hal ini diterapkan untuk menjelaskan pengambilan keputusan dalam pemilihan wilayah tebang, restorasi, atau konservasi. (Buchelt et al., 2024) menerangkan hal ini sebagai langkah penting untuk membangun kepercayaan publik terhadap AI di kehutanan.

Tabel 4.4. Perbandingan Penerapan Data, AI dan Big Data di Indonesia dan Luar Negeri

Aspek	Indonesia	Internasional
Data	Terfragmentasi antar lembaga (KPH, perusahaan, BPKH)	Terpadu secara nasional (misal: FIA-USA, LULUCF-Finlandia)
AI	Masih dalam tahap uji coba riset	Sudah operasional (deep learning untuk pohon individu, estimasi karbon)
Big Data	Belum banyak digunakan untuk pengambilan keputusan publik	Digunakan untuk prediksi kebakaran, restorasi, dan laporan karbon
Platform	Terbatas pada lokal server	Gunakan GEE, cloud forest dashboard, dan online API

Rekomendasi Penerapan di Indonesia

1. **Bangun “AI Forest Hub” Nasional.** Ini menjadi platform integratif cloud-based untuk menampung data dari SIMONTANA, PSP, drone, dan satelit.
2. **Kembangkan AI untuk Prediksi Deforestasi dan Degradasi.** AI digunakan untuk mendeteksi perubahan tutupan hutan dalam waktu <1 minggu.
3. **Adopsi Explainable AI untuk Kebijakan Publik.** Penjelasan model dapat memperkuat legitimasi hasil AI dalam perizinan, pemantauan tebang, dan REDD+.
4. **Kolaborasi Pemerintah-Universitas-Start-up.** Universitas dan start-up lokal dapat berperan dalam mengembangkan model AI untuk plot uji di KPH.
5. **Pembangunan Data Training Nasional.** Kumpulan data open-source dari plot PSP, drone, dan LiDAR untuk pelatihan AI nasional.

4.5.2 Partisipasi Masyarakat dan Data Sosial

Partisipasi masyarakat dalam inventarisasi hutan adalah proses yang mengintegrasikan warga lokal, baik petani hutan, masyarakat adat, atau kelompok tani ikut aktif dalam:

1. Pengumpulan data biogeofisik, seperti diameter, tinggi pohon, jenis pohon.
2. Pemetaan wilayah kelola dan nilai sosial pada wilayah adat, sumber air, jalur jelajah satwa.
3. Pemantauan dan pelaporan kondisi hutan dengan penggunaan aplikasi digital, foto geotagging.

Data sosial meliputi informasi tentang: struktur kelembagaan, hak tenurial, praktik lokal, persepsi risiko, dan nilai-nilai budaya terhadap hutan. Konsep ini merupakan pendekatan integratif biofisik-sosial, yang tidak hanya memperkuat basis data inventarisasi teknis, tetapi juga

memperluas aspek legitimasi, keadilan sosial, dan kelestarian jangka panjang.

Menggabungkan partisipasi masyarakat dan data sosial dalam inventarisasi adalah prospek masa depan pengelolaan hutan yang adil, adaptif, dan berbasis kearifan lokal. Model ini tidak hanya memperluas basis data teknis, tetapi juga memperkuat legitimasi sosial dan memperkecil konflik tenurial.

Strategi dan Langkah Teknis Pelibatan Masyarakat & Data Sosial

1. Pemetaan Partisipatif Berbasis Aplikasi Mobile

- a. Gunakan aplikasi berbasis Android seperti *Open Foris Collect Mobile*, *Sapelli*, atau *GeoODK*.
- b. Latih masyarakat mencatat data diameter, lokasi pohon (GPS), dan nilai sosial di wilayah adat.

2. Pelatihan Enumerasi Sosial-Ekologis

Bentuk enumerator dari komunitas untuk mengisi format: siapa yang mengelola hutan, nilai penting pohon tertentu, zona konservasi adat.

3. Integrasi ke Sistem Resmi

- a. Data lapangan yang dikumpulkan masyarakat diproses dan diunggah ke SIMONTANA atau dashboard monitoring nasional.
- b. Dibutuhkan format terstandar agar bisa diharmonisasi secara spasial.

Contoh Praktik di Indonesia

- 1. Studi di Flores Timur.** Menggabungkan pemetaan adat oleh masyarakat dengan pengukuran hutan yang difasilitasi LSM (Fatem et al., 2018). Hasilnya: pengakuan hutan adat dan pengurangan konflik tenurial.
- 2. Program Hutan Kemasyarakatan (HKm) di Sumatera.** Komunitas dilatih untuk mencatat pertumbuhan pohon

dan mengidentifikasi gangguan hutan. Data digunakan untuk menyusun Rencana Kerja Usaha Perhutanan Sosial.

Perbandingan dengan Praktik Internasional

Aspek	Indonesia	Luar Negeri (Contoh: Nepal, Tanzania, Kosta Rika)
Pelibatan Masyarakat	Sudah dilakukan pada kehutanan sosial, tapi belum terintegrasi ke sistem nasional	Sudah menjadi bagian dari NFI dan REDD+ MRV
Teknologi	Terbatas pada pelatihan manual dan offline	Menggunakan <i>real-time mobile monitoring</i> dan cloud upload
Legalitas Data	Masih dianggap sebagai pendukung, bukan primer	Diakui sebagai data sah untuk laporan karbon (REDD+)
Sumber Daya	Bergantung pada LSM atau proyek donor	Didukung sistem insentif nasional dan lembaga riset

Rekomendasi Penerapan di Indonesia

1. Buat Skema “Inventarisasi Berbasis Komunitas” (IBC) Nasional

Hal ini berkaitan dengan komunitas menjadi subjek pengumpul data tetap dalam sistem inventarisasi hutan, dengan pelatihan resmi.

2. Integrasi Format Data Sosial ke IHMB dan SIMONTANA

Integrasi bersifat menyeluruh. Format pelaporan tidak hanya mencakup data pohon, tapi juga nilai sosial-budaya wilayah.

3. Digitalisasi Alat Pengumpulan Data Sosial

Dilakukan dengan adopsi aplikasi *open-source* dengan panduan visual (untuk masyarakat buta huruf) seperti Sapelli.

4. Pemberian Insentif Monitoring Berbasis Komunitas

Komunitas diberi insentif atas pelaporan periodik yang valid (kontrak data dengan KPH).

5. Kemitraan LSM-KPH-Universitas dalam Validasi Data

Data dikompilasi oleh masyarakat, divalidasi oleh akademisi atau pendamping teknis, lalu diunggah ke sistem nasional.

4.5.3 Fokus pada Jasa Ekosistem dan Hasil Hutan Bukan Kayu (HHBK)

Inventarisasi jasa ekosistem dan HHBK adalah proses sistematis untuk mencatat, memetakan, dan menilai: Produk hutan non-kayu yaitu madu, getah, rotan, buah hutan, tanaman obat, dll. Jasa ekosistem: penyimpanan karbon, perlindungan air, keanekaragaman hayati, wisata alam, dan nilai budaya. Tujuannya adalah mengintegrasikan nilai-nilai ekologi dan sosial-ekonomi ke dalam sistem perencanaan dan pengelolaan hutan secara berkelanjutan.

Perkembangan 5 Tahun Terakhir

1. Peningkatan fokus pada HHBK dan ekowisata sebagai basis ekonomi masyarakat di hutan lindung dan produksi.
2. Inventarisasi sosial partisipatif untuk mencatat kebutuhan lokal dan zonasi penggunaan HHBK(Haqqin et al., 2024).

3. Munculnya sertifikasi jasa lingkungan (ForCES/FSC) untuk jasa air dan karbon, namun belum berjalan masif karena belum sinkron dengan regulasi nasional (Ningsih et al., 2020).

Prospek Masa Depan Inventarisasi Sumber Daya Hutan

1. Ekspansi REDD+ dan FOLU Net Sink 2030 mendorong pengukuran jasa karbon dan HHBK sebagai indikator utama.
2. HHBK menjadi daya tarik ekonomi alternatif yang berbasis konservasi, seperti sarang walet, madu, minyak atsiri, dan wisata alam.
3. Penekanan pada multi-nilai hutan (multifungsi) dibanding sekadar produksi kayu.

Strategi dan Langkah Teknis Pelibatan Masyarakat dan Data Sosial

Strategi:

1. Pemetaan partisipatif HHBK dan jasa ekosistem: melibatkan masyarakat mencatat lokasi tumbuhan obat, pohon madu, atau jalur satwa.
2. Kuesioner sosial budaya dan nilai ekonomi lokal.
3. Aplikasi digital sederhana seperti Sapelli, Open Foris Collect Mobile.

Langkah teknis yang dapat dilakukan:

1. Latih kelompok tani atau lembaga masyarakat desa hutan (LMDH) menggunakan GPS dan formulir HHBK.
2. Integrasikan hasil dengan SIG dan sistem nasional (SIMONTANA/SILK).
3. Contoh praktik: Praktik di Central Kalimantan, masyarakat Dayak Ngaju menginventarisasi tanaman obat dan hasil

air rawa gambut, namun terhambat pemasaran saat pandemi COVID-19 (Suwito et al., 2021).

Perbandingan Indonesia vs Luar Negeri

Aspek	Indonesia	Negara Lain (Contoh: Kosta Rika, Nepal)
Pelibatan masyarakat	Terbatas proyek donor, belum sistematis nasional	Terintegrasi dalam skema REDD+, MRV, dan PES
Platform data	Masih berbasis kertas atau spreadsheet	Menggunakan GIS cloud, drone, apps lokal
Pengakuan HHBK	Sebagai pendukung ekonomi lokal	Diakui sebagai indikator ekosistem nasional
Sertifikasi jasa lingkungan	Masih pilot project (ForCES)	FSC-ES atau PES sudah terlembaga dan dibayar rutin

Rekomendasi Implementasi di Indonesia

- 1. Bangun Modul Inventarisasi HHBK dan Jasa Ekosistem Nasional.** Kegiatan ini dapat meningkatkan efektivitas pengelolaan hutan berkelanjutan melalui integrasi nilai-nilai ekonomi, ekologi, dan sosial masyarakat lokal. Kegiatan ini juga menyediakan data spasial-temporal yang valid dan partisipatif untuk mendukung perencanaan, perizinan, konservasi, dan skema insentif seperti REDD+ dan PES (*Payment for Ecosystem Services*). Selain itu, kegiatan ini juga mengarusutamakan hasil hutan non-kayu dan nilai ekosistem sebagai komponen penting

dalam Inventarisasi Hutan Menyeluruh Berkala (IHMB) dan Sistem Informasi SIMONTANA.

2. Adopsi Teknologi Terjangkau dan Aplikasi Lokal.

Melalui penggunaan *smartphone* dan aplikasi *open-source* seperti GeoODK, Sapelli dan *Open Foris Collect*. Informasi yang dapat ditambahkan ke dalam aplikasi tersebut antara lain input GPS, foto HHBK, klasifikasi jenis, volume panen, serta input nilai budaya lokal.

3. Sertifikasi HHBK berbasis Masyarakat. HHBK seperti madu, minyak atsiri, atau rotan disertifikasi melalui skema FSC Ecosystem Services atau REDD+ Voluntary Carbon Market dan dikombinasikan dengan Perhutanan Sosial.

4. Kolaborasi Multi Pihak. Pemerintah (KLHK), LSM, akademisi, dan KPH bersama menyusun zonasi HHBK dan jasa lingkungan. Salah satu contohnya adalah kolaborasi antara jasa lingkungan karbon dan air dengan satwa.

5. Pelatihan Enumerator HHBK. Setiap desa hutan memiliki 2–3 enumerator yang rutin mencatat data HHBK dan dikompilasi per tahun. Enumerator memiliki kemampuan untuk mengidentifikasi spesies HHBK, mengukur dan pencatatan volume hasil, serta Input data ke aplikasi lapangan. Selanjutnya, Data harus dikompilasi oleh KPH dan diserahkan ke pusat setiap tahun untuk memudahkan penggunaannya.

Rekomendasi Implementasi di Indonesia

1. Percepat legalisasi modul HHBK dan jasa ekosistem sebagai bagian dari IHMB dan SIMONTANA.
2. Wajibkan pelaporan HHBK dalam skema Perhutanan Sosial dan RPHJP di tingkat KPH.
3. Bangun pusat data nasional HHBK dan jasa ekosistem berbasis komunitas.

4. Berikan insentif fiskal atau sertifikasi berbasis data partisipatif (PES, FSC, REDD+).
5. Libatkan universitas dan LSM sebagai pelatih enumerator dan validator data.

DAFTAR PUSTAKA

- Babcock, C., Finley, A., Cook, B., Weiskittel, A., & Woodall, C. (2016). Modeling Forest Biomass and Growth: Coupling Long-Term Inventory and Lidar Data. *Remote Sensing of Environment*, 182, 1–12. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2016.04.014>
- Brearley, F., Adinugroho, W., Cámara-Leret, R., Krisnawati, H., Ledo, A., Qie, L., Smith, T., Aini, F., Garnier, F., Lestari, N., Mansur, M., Murdjoko, A., Oktarita, S., Soraya, E., Tata, H., Tiryana, T., Trethowan, L., Wheeler, C., Abdullah, M., ... Webb, C. (2019). Opportunities and challenges for an Indonesian forest monitoring network. *Annals of Forest Science*, 76, 1–12. <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0840-0>
- Buchelt, A., Adrowitzer, A., Kieseberg, P., Gollob, C., Nothdurft, A., Eresheim, S., Tschatschek, S., Stampfer, K., & Holzinger, A. (2024). Exploring artificial intelligence for applications of drones in forest ecology and management. *Forest Ecology and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121530>
- Chao, L., Luming, F., Ji, L., & Changhe, Z. (2015). *Design and implementation of an integrated forest resources information system*. 32, 890–896. <https://doi.org/10.11833/J.ISSN.2095-0756.2015.06.010>
- Chen, W., Hu, X., Chen, W., Hong, Y., & Yang, M. (2018). Airborne LiDAR remote sensing for individual tree forest inventory using trunk detection-aided mean shift clustering techniques. *Remote Sensing*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/rs10071078>
- Dau. (2015). *Role of Forest Inventory in Sustainable Forest Management: A Review*.

<https://consensus.app/papers/role-of-forest-inventory-in-sustainable-forest-management-dau/0c73ea8d01a65df8a6203f881d6e22d4/>

- Dorebayo, F., Suhendang, E., & Muhdin. (2015). Periodic comprehensive forest inventory on production forest management in papua province. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 21(3), 119–127. <https://doi.org/10.7226/jtfrm.21.3.119>
- Dulsalam, Soenarno, Suhartana, S., Sukadaryati, Yuniawati, Herniningrum, M., & Andini, S. (2021). Reduced impact logging in the dried land natural production forests in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 914. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/914/1/012060>
- Farajelahi, B., Eya, F. F., & Arefi, H. (2023). FOREST MODELING AND INVENTORY ESTIMATION USING LIDAR DATA. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 10(4/W1-2022), 159–164. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-4-W1-2022-159-2023>
- Fatem, S. M., Awang, S. A., Pudiyatmoko, S., Sahide, M. A. K., Pratama, A. A., & Maryudi, A. (2018). Camouflaging economic development agendas with forest conservation narratives: A strategy of lower governments for gaining authority in the re-centralising Indonesia. *Land Use Policy*, 78, 699–710. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.07.018>
- Fuji Widyawati, L., & Istiqomah, A. (2023). Implementation Of Good Forest Governance In Forest Management In Indonesia. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia*, 2. <https://doi.org/10.58471/esaprom>

- Gunawan, H., Yeny, I., Karlina, E., Suharti, S., Murniati, Subarudi, Mulyanto, B., Ekawati, S., Garsetiasih, R., Pratiwi, Sumirat, B. K., Sawitri, R., Heriyanto, N. M., Takandjandji, M., Widarti, A., Surati, Desmiwati, Kalima, T., Effendi, R., ... Nurlia, A. (2022). Integrating Social Forestry and Biodiversity Conservation in Indonesia. In *Forests* (Vol. 13, Issue 12). MDPI. <https://doi.org/10.3390/f13122152>
- Haqqin, F., Arkan, F., Ibriza, N. M., Fadhilah, R. N., Safira, R. N., Dewangga, A., Kusumaningrum, L., Thenya, T., & Setyawan, A. D. (2024). Diversity, composition, and role of woody Non-Timber Forest Products in Tawangmangu, Central Java, Indonesia. *Asian Journal of Ethnobiology*.
<https://doi.org/10.13057/asianjethnobiol/y070108>
- Hartanto, R. P., Kusmana, C., & Nugroho, N. (2025). Enhancing Performance Production Forest Inventory in Java Using LiDAR Technology. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*.
<https://doi.org/10.29244/jpsl.15.2.218>
- Huang, J., Lucash, M., Scheller, R., & Klippel, A. (2020). Walking through the forests of the future: using data-driven virtual reality to visualize forests under climate change. *International Journal of Geographical Information Science*, 35, 1155–1178.
<https://doi.org/10.1080/13658816.2020.1830997>
- Ila, Q. P. A. N., Cahyadi, M., Handayani, H., Raharjo, A. B., Mardiyanto, R., Farid, I., Saptarini, D., & Saratoga, E. E. (2024). Integration of Aerial Mapping using UAV and Low-cost Backpack LiDAR for Biomass and Carbon Stock Estimation Calculation. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial*

- Information Sciences*. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlvi-2-w8-2024-201-2024>
- Ilham, Q. P., Purnomo, H., & Nugroho, T. (2019). Model of multi-stakeholder forest management: A system study of Protected Forest Management Unit in Solok, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 285(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/285/1/012009>
- Kelly, M., & Tommaso, S. Di. (2015). Mapping forests with Lidar provides flexible, accurate data with many uses. *California Agriculture*, 69(1), 14–20. <https://doi.org/10.3733/ca.v069n01p14>
- Knapp, N., Fischer, R., & Huth, A. (2018). Linking lidar and forest modeling to assess biomass estimation across scales and disturbance states. *Remote Sensing of Environment*, 205, 199–209. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2017.11.018>
- Kulicki, M., Cabo, C., Trzciński, T., Będkowski, J., & Stereńczak, K. (2024). Artificial Intelligence and Terrestrial Point Clouds for Forest Monitoring. *Current Forestry Reports*. <https://doi.org/10.1007/s40725-024-00234-4>
- Latifi, H., & Heurich, M. (2019). Multi-scale remote sensing-assisted forest inventory: A glimpse of the state-of-the-art and future prospects. In *Remote Sensing* (Vol. 11, Issue 11). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/rs11111260>
- Li, W., Yang, M., Xi, B., & Huang, Q. (2023). Framework of Virtual Plantation Forest Modeling and Data Analysis for Digital Twin. *Forests*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/f14040683>
- Lin, Y. C., Liu, J., Fei, S., & Habib, A. (2021). Leaf-off and leaf-on uav lidar surveys for single-tree inventory in forest

- plantations. *Drones*, 5(4).
<https://doi.org/10.3390/drones5040115>
- Luoma, V., Vastaranta, M., Eyvindson, K., Kankare, V., Saarinen, N., Holopainen, M., & Hyyppä, J. (2017). *Errors in the Short-Term Forest Resource Information Update*. 155–166. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45123-7_12
- Manuri, S., Brack, C., Silva, N., & Noor'an, F. (2020). *Synthesising Existing Forest Inventory Datasets for Estimating Historical Aboveground Biomass Stocks, Growth and Mortality in Logged-over Tropical Dipterocarp Forests of Kalimantan, Indonesia*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-26380/v1>
- May, P., Schlund, M., Armston, J., Kotowska, M., Brambach, F., Wenzel, A., & Erasmi, S. (2024). Mapping aboveground biomass in Indonesian lowland forests using GEDI and hierarchical models. *Remote Sensing of Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114384>
- Miettinen, J., Bonnet, S., Nielsen, A., Huurinainen, S., & Tergujeff, R. (2021). Forest Variable Estimation and Change Monitoring Solutions Based on Remote Sensing Big Data. *Big Data in Bioeconomy*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-71069-9_24
- Mukhopadhyay, R. (2024). Forest Attribute Prediction and Mapping using 3D Remote Sensing Data. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*. <https://doi.org/10.54612/a.7q6n063f5u>
- Ningsih, I. K., Ingram, V., & Savilaakso, S. (2020). Voluntary sustainability certification and state regulations: Paths to promote the conservation of ecosystem services? Experiences in Indonesia. *Forests*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/F11050503>

- Ota, M. (2018). An analysis of long-term forest management plans for Forest Management Units in Sumatra, Indonesia. *Journal of Sustainable Development*, 11, 817. https://doi.org/10.11519/JFSC.127.0_817
- Qiu, H., Zhang, H., Lei, K., Zhang, H., & Hu, X. (2023). Forest digital twin: A new tool for forest management practices based on Spatio-Temporal Data, 3D simulation Engine, and intelligent interactive environment. *Comput. Electron. Agric.*, 215, 108416. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108416>
- Reddy, R., Rakesh, A., Jha, C., & Rajan, K. (2018). Automatic Estimation of Tree Stem Attributes Using Terrestrial Laser Scanning in Central Indian Dry Deciduous Forests. *Current Science*, 114, 201–206. <https://doi.org/10.18520/CS/V114/I01/201-206>
- Rudiastuti, A., Yuwono, D., Niendyawati, Pramono, G., & Rahmanto, B. (2016). Overview of National Thematic Data Integration (An Experience on One Map Mangrove Sulawesi). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 47. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/47/1/012012>
- Sarmiento, L., & Ivan, A. (2018). *Assessing biomass and architecture of tropical trees with terrestrial laser scanning*. <https://consensus.app/papers/assessing-biomass-and-architecture-of-tropical-trees-with-ivan-sarmiento/5e4c51b7891f5207a1b1ff572bdb82f8/>
- Sarodja, D. (2019). *Integrating field and optical RapidEye data for above-ground biomass estimation: A study in the tropical peat-swamp forest of Sebangau, Central Kalimantan, Indonesia*. <https://consensus.app/papers/integrating-field-and->

optical-rapideye-data-for-

sarodja/f02ed7d0b42f579a8fc599a1f146a0bc/

- Seleznovs, A., Smits, I., & Dubrovskis, D. (2019). Use of the LiDAR combined forest inventory in the estimation of sample trees height. *Research for Rural Development*, 1, 7–11. <https://doi.org/10.22616/rrd.25.2019.001>
- Shrama, L., Gupta, R., & Verma, R. K. (2020). *Efficacy of Advanced Remote Sensing (Hyperspectral and LIDAR) in Enhancing Forest Resources Management*. 97–121. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-5027-4.ch006>
- Su, Y., Guo, Q., Jin, S., Guan, H., Sun, X., Qinfeng, Hu, T., Wang, R., & Li, Y. (2021). The Development and Evaluation of a Backpack LiDAR System for Accurate and Efficient Forest Inventory. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 18, 1660–1664. <https://doi.org/10.1109/lgrs.2020.3005166>
- Suwito, D., Suratman, & Poedjirahajoe, E. (2021). The Covid-19 pandemic impact on indigenous people livelihoods in the peat swamp forest ecosystem in Central Kalimantan Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 894. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/894/1/012023>
- Tusa, E., Monnet, J. M., Barré, J. B., Dalla Mura, M., & Chanussot, J. (2020). Fusion of LiDAR and hyperspectral data for semantic segmentation of forest tree species. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 43(B3), 487–494. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2020-487-2020>
- Vatresia, A. (2018). *HARNESSING REMOTE SENSED AND CLOUD-BASED DATA TO IMPROVE THE MANAGEMENT*

OF CONSERVATION AND BIODIVERSITY IN INDONESIA.

<https://consensus.app/papers/harnessing-remote-sensed-and-cloudbased-data-to-improve-vatresia/4febbb42eae15ebeac3f7ad02f3b3561/>

- Wei, W. W., Wu, P., You, X. Y., Xue, J. H., Xu, L. X., & Wei, X. Y. (2021). Dihydrochalcones from the leaves of *Lithocarpus litseifolius*. *Journal of Asian Natural Products Research*, 23(9), 819–824. <https://doi.org/10.1080/10286020.2020.1786067>
- Weinstein, B. G., Marconi, S., Bohlman, S., Zare, A., & White, E. (2019). Individual tree-crown detection in rgb imagery using semi-supervised deep learning neural networks. *Remote Sensing*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/rs11111309>
- Wibowo, A. D., Riswan, & Rahmawati. (2022). Model Kebijakan dalam Pengendalian Bencana Kebakaran Hutan dan Lahan. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 21(1), 13–18.
- Wijaya, A., Firmansyah, R., Said, Z., & Nathania, B. (2019). Monitoring of Indonesia Tropical Rainforests and Land Cover Change Using Hybrid Approach of Time Series Landsat Data. *IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 5980–5983. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2019.8900121>
- Zhou, M., Li, C., Li, Z., Yu, Z., & Zhou, X. (2023). Stratification of vertical canopy structure to improve estimation of forest inventory attributes using airborne LiDAR data in a large subtropical region of China. *Annals of Forest Research*. <https://doi.org/10.15287/afr.2023.3361>

BIODATA PENULIS



Ir. Andi Nurul Mukhlisa, S.Hut., M.Hut., IPP

Dosen Program Studi Kehutanan

Fakultas Pertanian dan Kehutanan Universitas Sulawesi Barat

Penulis Memulai hidup 35 tahun yang lalu di Kota Bone, Sulawesi Selatan. Penulis pernah menjadi dosen tetap pada program studi kehutanan di PTS selama +-5 tahun. Pada tahun ini penulis resmi diangkat sebagai dosen ASN pada program studi kehutanan, Fakultas Pertanian dan Kehutanan Universitas Sulawesi Barat.

Pendidikan tinggi pada level sarjana dan magister diselesaikan penulis di Universitas Hasanuddin. Bidang keahlian yang tertera pada jabatan fungsional penulis yaitu inventarisasi hutan dan sistem informasi geografis (SIG). Buku ini merupakan buku kedua penulis yang diterbitkan oleh HEI PUBLISHING. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: andi.nurulmukhlisa@unsulbar.ac.id

BIODATA PENULIS



Adelia Juli Kardika, S.Hut., M.Si

Dosen Program Studi Pengelolaan Hutan
Jurusan Lingkungan dan Kehutanan
Politeknik Pertanian Negeri Samarinda

Lahir di Rappang tanggal 14 Juli 1992. Pendidikan tinggi S1 di Universitas Hasanuddin Fakultas Kehutanan peminatan Perencanaan dan Sistem Informasi Spasial Kehutanan tahun (2009-2013). Sedangkan pendidikan Magister S2 di Institut Pertanian Bogor Program Studi Ilmu Pengelolaan Hutan Peminatan *Remote Sensing* (2014-2017). Memulai karier di Politeknik Pertanian Negeri Samarinda tahun 2019 sebagai staf pengajar di Program Studi Pengelolaan Hutan.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail:
adeliajk@politanisamarinda.ac.id

BIODATA PENULIS



Anugrahandini Nasir, S.Hut, M.Si

Dosen Program Studi Kehutanan

Fakultas Pertanian

Universitas Islam Makassar

Penulis lahir di Ujung Pandang tanggal 20 November 1990. Penulis adalah dosen tetap pada Program Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Islam Makassar. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Ilmu Kehutanan dan melanjutkan S2 pada Ilmu Pengelolaan Hutan. Penulis menekuni bidang Kehutanan. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: andininasir90@gmail.com

BIODATA PENULIS



Hanifah Ikhsani, S.Hut., M.Si

Dosen Jurusan Kehutanan
Fakultas Pertanian Universitas Riau

Penulis lahir di Pekanbaru tanggal 22 Mei 1993. Penulis adalah dosen tetap pada Jurusan Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Riau. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Kehutanan, Universitas Riau dan melanjutkan S2 pada Program Studi Ilmu Pengelolaan Hutan, Fakultas Kehutanan IPB. Pada bidang ilmu Manajemen Hutan, penulis fokus menekuni pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan Penginderaan Jauh di bidang Kehutanan. Kemampuan dalam teknologi geospasial memungkinkan penulis menyajikan perspektif modern dan aplikatif dalam pengelolaan sumber daya hutan, menjadi salah satu kontributor dalam literatur kehutanan terkini. Buku ajar referensi ini merupakan perwujudan komitmen penulis untuk mentransformasi pengetahuan kompleks menjadi materi yang mudah dipahami dan relevan bagi mahasiswa serta praktisi di lapangan. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: hanifah.ikhsani@lecturer.unri.ac.id

