



# Teknik Pendugaan Cadangan Karbon Hutan



**Solichin Manuri**

**Chandra Agung Septiadi Putra**

**Agus Dwi Saputra**

MERANG REDD PILOT PROJECT – GERMAN INTERNATIONAL COOPERATION



Supported by :

Federal Ministry for the  
Environment, Nature Conservation  
and Nuclear Safety

# Tehnik Pendugaan Cadangan Karbon Hutan

Solichin Manuri

Chandra Agung Septiadi Putra

Agus Dwi Saputra

Palembang, Oktober 2011

Merang REDD Pilot Project – German International Cooperation (MRPP-GIZ)



**Supported by :**  
Federal Ministry for the  
Environment, Nature Conservation  
and Nuclear Safety

## Sitasi

Manuri, S., C.A.S. Putra dan A.D. Saputra. 2011. Teknik Pendugaan Cadangan Karbon Hutan. Merang REDD Pilot Project, German International Cooperation – GIZ. Palembang

## Perpustakaan Nasional : Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Manuri, S., C.A.S. Putra dan A.D. Saputra.  
Teknik Pendugaan Cadangan Karbon Hutan.  
Palembang, MRPP-GIZ.2011  
x + 91 hlm; 18,2 cm x 25,7 cm  
ISBN: 978-602-99492-2-3

## Copy Right

©MRPP-GIZ, 2011

Mengutip buku ini diperbolehkan dengan menyebutkan sumber dan penerbitnya.

## Kontak Detail

Solichin Manuri (solichin.solichin@giz.de atau ichin89@gmail.com)  
Chandra Agung Septiadi Putra (dendocoker@yahoo.com)  
Agus Dwi Saputra (agus\_ds01@yahoo.com)

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH - German International Cooperation  
Merang REDD Pilot Project (MRPP)  
Kantor Dinas Kehutanan Sumsel  
Jl. Jend. Sudirman No.2837 KM 3.5. P.O. BOX 1229 – Palembang 30129  
South Sumatera, Indonesia

T: ++ 62 – 711 – 353 185

F: ++ 62 – 711 – 353 176

E: project@merang-redd.org

I: www.merang-redd.org

## Kata Sambutan

Upaya mitigasi perubahan iklim merupakan komitmen global yang memiliki konsekuensi terhadap semua negara di dunia. Peran serta aktif dan komitmen dari negara maju dan berkembang sangat berpengaruh terhadap kemajuan proses negosiasi pengurangan emisi global. Sebagai salah satu negara berkembang yang memiliki hutan tropis terluas di dunia, Indonesia menjadi negara penting yang dapat mengurangi emisi dari deforestasi dan degradasi hutan, sekaligus melalui penyerapan karbon oleh hutan. Selain itu, komitmen Indonesia untuk mengurangi emisi sebesar 26% atau 41% dengan dukungan internasional pada tahun 2020, telah memposisikan diri di dalam upaya negosiasi penurunan emisi di tingkat internasional.

Seiring dengan proses negosiasi di tingkat internasional, Indonesia juga perlu memperkuat kapasitas dan kelembagaan di tingkat nasional serta meningkatkan kredibilitas di dalam pengembangan sistem MRV, khususnya terkait dengan *National Carbon Accounting System*. Peningkatan kapasitas dan memperkuat kelembagaan dilakukan dengan mengoptimalkan segala dukungan baik dari dalam maupun luar negeri. Dalam hal ini, Kementerian Kehutanan telah menyiapkan beberapa peraturan terkait dengan REDD serta mengkoordinir penyusunan Standard Nasional Indonesia (SNI) pengukuran cadangan karbon hutan. Dengan demikian upaya pengembangan sistem MRV yang kredibel, akurat, lengkap, konsisten dan komparabel dapat dilakukan secara bersama-sama dengan para pihak terkait yang terdiri dari unsur lembaga pemerintah, donor, LSM, pihak swasta dan juga masyarakat.

Karena itu saya menyambut baik upaya penulisan buku Teknik Pendugaan Cadangan Karbon Hutan yang didasari atas pengalaman Merang REDD Pilot Project – GIZ di Sumatera Selatan. Buku ini selain untuk mendokumentasikan metodologi yang dikembangkan dan diterapkan oleh project, juga mengklarifikasi kesesuaiannya terhadap SNI Pengukuran Cadangan Karbon. Sehingga diharapkan dapat menjadi salah satu panduan teknis baku mengenai pengukuran dan pendugaan cadangan karbon hutan yang dapat diterapkan di Indonesia.

Sekretaris Jenderal Kementerian Kehutanan



Dr. Ir. Hadi Daryanto, DEA

## Kata Pengantar

Diperkirakan sekitar seperlima dari total emisi gas rumah kaca disebabkan oleh dideforestasi dan degradasi hutan. Penelitian independen menunjukkan bahwa Indonesia selain menjadi salah satu emitor gas rumah kaca terbesar di dunia, juga merupakan negara yang akan terkena dampak akibat adanya perubahan iklim. Karena itu, pemerintah Indonesia membuat komitmen kuat untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub> sebanyak 26% hingga tahun 2020. Sektor kehutanan akan menyumbangkan porsi terbesar di dalam pencapaian target yang ambisius tersebut, dan rehabilitasi hutan rawa gambut juga akan memiliki peran yang sangat penting.

Didanai oleh Kementerian Lingkungan, Konservasi Alam dan Pengamanan Nuklir Jerman, proyek kerjasama Indonesia Jerman Merang REDD Pilot Project (MRPP) bertujuan untuk melindungi dan merehabilitasi salah satu kawasan hutan rawa gambut yang masih tersisa di Sumatera Selatan. MRPP telah mengembangkan metodologi pengukuran karbon yang telah diadopsi sebagai salah satu model oleh Kementerian Kehutanan Indonesia.

Publikasi ini memberikan panduan yang jelas mengenai tehnik pendugaan karbon hutan yang sebagian besar didasari atas pengalaman MRPP. Publikasi ini juga ditujukan untuk para praktisi kehutanan yang terlibat dalam kegiatan pengelolaan hutan lestari serta REDD+, serta memberikan acuan bagi upaya pemantauan hutan yang berkaitan dengan karbon di Indonesia.

MRPP Principal Advisor

Rolf Krezdorn

## Ucapan Terima Kasih

Penyusun mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Karl-Heinz Steinmann, Team Leader MRPP-GIZ serta seluruh TA dan supporting staff yang telah mendukung segala kegiatan lapangan dan administrasinya. Selain itu dukungan dari semua staf di *Field Office* Merang terkait dengan pengaturan transport, akomodasi dan logistik sangat berpengaruh penting terhadap keberhasilan semua kegiatan survey lapangan.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Ir. Sigit Wibowo, Kepala Dinas Kehutanan Provinsi Sumatera Selatan dan Ir. Zulfikhar MM Sekretaris Dinas Kehutanan Provinsi Sumatera Selatan beserta jajarannya yang selalu memberikan dukungan, fasilitasi perizinan serta masukan di dalam persiapan maupun implementasi kegiatan. Juga kepada Ir. Djazim Arifin Kepala Dinas Kehutanan Kabupaten MUBA dan jajarannya diucapkan terima kasih atas dukungan dan kerjasama yang baik selama ini.

Selama proses pengembangan metodologi, penulis banyak mendapatkan masukan dari pihak-pihak dari berbagai lembaga yang secara baik hati bertukar pikiran dan pengalaman. Karena itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dr. Marcus Lingenfelder (Albert-Ludwig Universitaet, Freiburg), Prof. Kurniatun Hairiah (Universitas Brawijaya, Malang), Zoe Ryan (Flora Fauna International), Grahame Applegate (KFCP-AusAID), Dr. Tatang Tiryana (Fakultas Kehutanan IPB) dan Dr. Haruni Krisnawati (Puslitbang Kemenhut).

Terima kasih diucapkan kepada Dr. Ir. Nur Masripatin M.For.Sc, Kepala Pustanling Kementrian Kehutanan, yang telah menyempatkan membaca draft dan memberikan masukan pada buku ini. Penulis juga banyak belajar dari para senior dan kolega saat diskusi pembahasan Rancangan Standard Nasional Indonesia (RSNI) Pengukuran Cadangan Karbon yang dikomandoi oleh teman-teman di Pustanling Kementrian Kehutanan.

Terima kasih kepada Lou Verchot dan Kristell Hergoualc'h di CIFOR Bogor serta Bu Yulita dan Reza di Lab CIFOR Jambi yang juga berkenan memberikan ruang untuk analisa biomasa untuk pengembangan persamaan alometrik. Juga terima kasih kepada Bu Orbita Roswintiarti dan Pak Kustiyo dari LAPAN yang sangat membantu di dalam upaya penyediaan citra satelit dan tutupan lahan.

Kami juga mengucapkan terima kasih kepada Pak Kurniawan Gotama, Pak Daniel, Pak Junaidi, Pak Fitriandi, Pak Tatang Rosida, Pak Amin dan Bu Ernita dari PT Rimba Hutani Mas, Sinar Mas Forestry di Jambi, Palembang dan Camp Teluk Pulai yang telah

memberikan izin serta dukungan selama di lapangan. Antisipasi yang cepat dan profesional oleh pihak PT RHM, sehingga memungkinkan salah satu anggota regu kami yang digigit ular dapat ditangani dengan baik dan selamat kembali ke rumah.

Tak lupa kami ucapkan terima kasih kepada para anggota Kelompok Masyarakat Peduli Hutan (KMPH) Tembesu dan Petaling yang telah terlibat secara aktif di setiap kegiatan lapangan. Secara khusus penulis menyampaikan terima kasih kepada Pak Yanto, Pak Guntur, Parno, Dedi Pong, Dedi Jamrong dan Jupri dari KMPH Tembesu dan Pak Charles, Pak Robert, Amir, Heri, Toni dari KMPH Petaling. Pengalaman dan pengetahuan lokal mereka memberikan kontribusi yang luar biasa di dalam suksesnya pelaksanaan pengukuran karbon. Tak kalah penting, peran Om Yanto, Uyung, Jaja dan Pesrol yang mengatur regu selama pengukuran di lapangan. Tanpa kerja keras mereka, kegiatan lapangan tidak akan berjalan sesuai rencana.

Palembang, Oktober 2011

Solichin Manuri  
Chandra Agung Septiadi Putra  
Agus Dwi Saputra

# Daftar Isi

Sambutan	i
Kata Pengantar	ii
Ucapan Terima Kasih	iii
Daftar Gambar	vii
Daftar Tabel	viii
Daftar Akronim	x
I. Pendahuluan	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan dan Manfaat	3
1.3. Cakupan Panduan	3
2. Sekilas tentang Karbon Hutan	4
2.1. Karbon Hutan dan Iklim Global	4
2.2. Siklus Karbon Hutan	5
2.3. Identifikasi Sumber Karbon Penting	6
3. Pengukuran Lapangan Karbon Hutan	10
3.1. Desain Metode Inventarisasi	11
3.1.1. Metode Sampling .....	11
3.1.2. Bentuk Plot.....	15
3.1.3. Ukuran Plot .....	15
3.1.4. Jumlah Plot.....	17
3.2. Parameter yang Diukur	18
3.2.1. Biomasa.....	18
3.2.2. Bahan Organik Mati atau Nekromasa.....	21
3.3. Persiapan dan Pelaksanaan Inventarisasi	24
3.3.1. Persiapan Survey.....	24
3.3.2. Pelaksanaan di Lapangan .....	26
4. Metode Survey Karbon Tanah	31
4.1. Tanah Gambut	31

4.1.1	Desain Survey Karbon Tanah Gambut .....	31
4.1.2.	Prosedur dan Data yang Diukur di Lapangan.....	32
4.1.3.	Pemantauan Karakteristik Gambut.....	33
4.2.	Tanah Mineral	33
4.3.	Tanah Mangrove	34
4.4.	Alat Pengukuran Tanah	35
5.	Pengembangan Persamaan Alometrik dan Faktor Konversi	36
5.1.	Penyusunan Persamaan Alometrik Biomasa Pohon	36
5.1.1.	Bahan dan Alat yang Diperlukan.....	37
5.1.2.	Prosedur Pelaksanaan.....	39
5.2.	Pengembangan Persamaan Nekromasa untuk Pohon Mati	45
5.3.	Pengembangan Faktor Konversi dari Hubungan Empirik	46
5.3.1.	Rasio Berat Kering/Berat Basah Serasah.....	46
5.3.2.	Persamaan Biomasa Tumbuhan Bawah.....	47
5.3.3.	Berat Jenis Kayu mati.....	47
6.	Pendugaan Cadangan Karbon dan Penghitungan Nilai <i>Uncertainties</i>	49
6.1.	Pendugaan Biomasa Atas Permukaan	49
6.1.1.	Model Alometrik Biomass Pohon.....	49
6.1.2.	Model Alometrik Biomasa Akar .....	50
6.1.3.	Pendugaan Biomasa Tumbuhan Bawah, Palm dan Liana .....	51
6.2.	Pendugaan Nekromasa	52
6.2.1.	Nekromasa Pohon Mati .....	52
6.2.2.	Nekromasa Kayu Mati.....	53
6.2.3.	Nekromasa Serasah.....	53
6.3.	Pendugaan Rata-Rata Karbon	54
6.4.	Penghitungan Nilai <i>Uncertainties</i>	55
6.5.	Pendugaan Cadangan Karbon dalam sebuah Areal Project	57
7.	Penutup	61
	Daftar Pustaka	63

## Daftar Gambar

Gambar 1. Penentuan lokasi plot disesuaikan dengan aksesibilitas (secara purposive).....	12
Gambar 2. Metode penyebaran plot dengan stratified systematic (A) dan stratified random (B).....	14
Gambar 3. Grafik perbandingan luas sub plot dengan rata-rata kisaran DBH pohon yang diukur .....	16
Gambar 4. Bentuk plot ukur survey karbon modifikasi dari IHMB dan Hinrichs dkk, 1998) .....	16
Gambar 5. Kaidah penentuan lokasi pengukuran DBH pohon .....	21
Gambar 6. Kategori kayu mati yang mempertimbangkan jumlah karbon tersisa: A: tersisa 90%; B: tersisa 80%; C: tersisa 70% dan D: bervariasi hingga tunggul pohon.....	22
Gambar 7. Tingkat pelapukan kayu mati juga didasari tingkat kekerasannya .....	23
Gambar 8. Kaidah penetapan pohon "masuk" dan pohon "keluar" (Hinrichs dkk, 1998) .....	29
Gambar 9. Penyesuaian plot yang terpotong sungai atau jalan (dimodifikasi dari Hinrichs dkk, 1998) .....	30
Gambar 10. Rataan kuadrat berat jenis kayu mati dari berbagai tingkat pelapukan di hutan rawa gambut Merang .....	48
Gambar 11. Nilai dugaan rata-rata biomasa tiap stratum di areal MRPP (Solichin dkk, 2011b).....	59

## Daftar Tabel

Tabel 1. Definisi sumber karbon berdasarkan IPCC guidelines (2006)	7
Tabel 2. Sumber karbon penting disesuaikan dengan tipe project (Ravindranat dkk, 2008)	8
Tabel 3. Rasio biomasa bawah permukaan dengan biomasa atas permukaan atau root shoot rasio (IPCC, 2006)	51
Tabel 4. Jenis kesalahan (error) yang terjadi dalam pendugaan karbon	56
Tabel 5. Kelas tutupan lahan di areal MRPP	58
Tabel 6. Total cadangan karbon dari berbagai tutupan lahan di areal MRPP	60

## Daftar Lampiran

Lampiran 1. Persamaan Alometrik	67
Lampiran 2. Daftar pohon di hutan rawa gambut merang	69
Lampiran 3. Lembar pencatatan hasil pengukuran lapangan (Tally sheet)	76
Lampiran 4. Foto-Foto selama kegiatan lapangan pengukuran karbon	85

## Daftar Akronim

BAP	Biomasa Atas Permukaan
BAU	Business as Usual
BB	Berat Basah
BBP	Biomasa Bawah Permukaan
BJ atau $\rho$	Berat Jenis
BK	Berat Kering
BP	Biomasa Pohon
C	Carbon
CF	Carbon Fraction
CI	Confidence Inteval
CO <sub>2</sub>	Carbon Dioksida
CV	Coeffisient of Variation
DBH	Diameter at Breast Height
GIZ	German Internationale Zusameneibet
GPS	Global Positioning System
IHMB	Inventory Hutan Menyeluruh Berkala
INP	Indeks Nilai Penting
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KMPH	Kelompok Masyarakat Peduli Hutan
IUPHHK	Izin Usaha Pemanfaatan Hasil Hutan Kayu
LIDAR	Light Detection and Ranging
MRPP	Merang REDD Pilot Project
MRV	Measurment Reporting and Verification
NFI	National Forest Inventory
NKM	Nekromass Kayu Mati
NPM	Nekromass Pohon Mati
NS	Nekromass Serasah
PDD	Project Design Document
RADAR	Radio Detection and Ranging
REDD+	Reduction Emission Degradation Deforestation Plus
RIL	Reduced Impact Logging
RK BJ atau $\rho$	Rataan Kuadrat Berat Jenis
RSR	root to shoot ratio
SE	Standar Error
SNI	Standar Nasional Indonesia
TBC	Tinggi Bebas Cabang
UNFCCC	United Nation For Climate Change Conference
USFS	United State Forest Service
%U	Percent of Uncertainty



# I. Pendahuluan

## 1.1. Latar Belakang

Pada akhir tahun 2008, pihak GTZ (Lembaga Kerjasama Teknis Jerman-Indonesia, sekarang menjadi Lembaga Kerjasama Internasional Jerman-GIZ) mengajukan usulan pengembangan program untuk menjaga kelestarian hutan rawa gambut Merang yang tersisa di Sumatera Selatan melalui program *Reducing Emissions from Deforestation and Degradation* (REDD) kepada pihak Kementerian Lingkungan Hidup Jerman. Pemerintah Kabupaten Musi Banyuasin memberikan rekomendasi areal seluas 24 ribu hektar di kawasan hutan Merang untuk dikelola mengikuti mekanisme REDD. Sebagai salah satu proyek kerjasama bilateral dengan Pemerintah Indonesia, khususnya dibawah Kementerian Kehutanan, Merang REDD Pilot Project (MRPP) menjadi salah satu program *Demonstration Activity* terkait dengan pengkajian metodologi dan teknologi dalam penerapan mekanisme REDD di Indonesia.

Salah satu persyaratan di dalam mengikuti mekanisme perdagangan karbon, adalah dengan menghitung potensi karbon yang kemungkinan dapat

diselamatkan dengan adanya program REDD tersebut. Untuk itu perhitungan cadangan karbon dan potensi emisi dengan sekenario tanpa adanya proyek (*Bussiness as Usual* – BAU) dan dengan adanya proyek, perlu dilakukan secara konsisten, lengkap, transparan, dapat diperbandingkan dan akurat. Karena itu diperlukan system pengukuran dan pemantauan emisi karbon yang *measurable*, *reportable* dan *verifiable* (MRV).

Pendugaan emisi karbon memerlukan 2 komponen data utama, yaitu *Activity Data* dan *Emission Factor*. *Activity data* adalah data perubahan tutupan lahan yang terjadi pada periode 1 hingga beberapa dekade ke belakang. Untuk memperoleh data ini disarankan untuk menggunakan pendekatan teknologi penginderaan jauh, yang saat ini sudah sangat berkembang pesat. Walaupun kendala dengan banyaknya awan sering terjadi di wilayah tropis, beberapa metode telah dikembangkan untuk mengurangi permasalahan tersebut, baik melalui resolusi temporal yang tinggi maupun dengan aplikasi sensor aktif seperti RADAR atau LIDAR.

Sedangkan data *Emission factor* merupakan data penting terkait dengan nilai emisi karbon yang terjadi akibat terjadinya perubahan tutupan lahan. Data ini dapat diperoleh dari berbagai sumber, antara lain nilai *default* yang tersedia pada IPCC Guidelines (2006), data hasil penelitian maupun pengukuran langsung di lapangan. Untuk keakurasian yang lebih baik, IPCC menyarankan untuk melakukan pengukuran langsung di lapangan. Tingkat ketelitian yang paling tinggi ini dikenal dengan Tier 3.

Pendugaan *Emission factor* dengan tingkat ketelitian yang tinggi tersebut melibatkan berbagai kegiatan pengukuran langsung di lapangan. Sejak tahun 2008, MRPP-GIZ telah melakukan kajian metodologi dan penerapan langsung di lapangan untuk mendapatkan data yang akurat berdasarkan spesifikasi tapak. Panduan Inventarisasi Karbon Hutan Rawa Gambut (Solichin, 2009) juga telah disusun berdasarkan pengalaman penerapan di lapangan yang disesuaikan dengan metode Inventarisasi Hutan Menyeluruh Berkala (IHMB) yang telah diterapkan pada Izin Usaha Pemanfaatan Hasil Hutan Kayu (IUPHHK). Namun, dengan berkembangnya metodologi yang ada dan pengalaman pada beberapa proyek, diperlukan perbaikan dan penambahan berbagai aspek pengukuran karbon yang lebih luas, sehingga lebih melengkapi dan memudahkan pihak *stakeholder* untuk menerapkannya.

Karena itu, dokumen ini dibuat selain untuk dokumentasi pengalaman MRPP terkait dengan pengukuran karbon juga memperbaiki dokumen yang ada untuk disesuaikan dengan isu-isu yang telah berkembang. Salah satu perkembangan penting yang terjadi adalah, dengan diterbitkannya Standard Nasional Indonesia (SNI) Pengukuran Cadangan Karbon oleh Badan Standarisasi Nasional. Penyusunan Rancangan SNI tersebut dikoordinir oleh Kementerian Kehutanan, dimana MRPP juga terlibat di dalamnya. Hal ini merupakan langkah awal yang sangat baik untuk memulai mekanisme pengumpulan data yang lebih baik di tingkat nasional. Perbaikan dokumen ini merupakan representasi dari upaya untuk menuju sistem pengukuran cadangan karbon di Indonesia yang lebih yang konsisten, lengkap, transparan, akurat dan dapat diperbandingkan.

## **1.2. Tujuan dan Manfaat**

Penyusunan buku Pendugaan Cadangan Karbon Hutan ini adalah untuk mendokumentasikan dan menyebarkan hasil kajian dan pengalaman penerapan metodologi pengukuran karbon hutan di MRPP dengan mempertimbangkan SNI Pengukuran Cadangan Karbon.

Dokumen ini akan memudahkan pihak stakeholder baik di tingkat kabupaten dan provinsi untuk menerapkan metodologi pengukuran karbon pasca proyek MRPP berakhir. Selain itu diharapkan dokumen ini dapat menambah wacana pengembangan metodologi pengukuran karbon hutan di tingkat nasional di Indonesia.

## **1.3. Cakupan Panduan**

Panduan ini mencakup prosedur dan metode pengukuran cadangan karbon yang dilakukan oleh MRPP-GIZ yang meliputi inventarisasi karbon hutan, pengembangan persamaan alometrik biomasa pohon, hingga pendugaan cadangan karbon hutan dari berbagai sumber karbon. Walaupun panduan ini utamanya didasari pada pengalaman di hutan rawa gambut, panduan ini juga dapat digunakan untuk penerapan di hutan tanah mineral melalui sedikit penyesuaian khususnya pada bagian pengukuran cadangan karbon tanah.



## 2. Sekilas tentang Karbon Hutan

### 2.1. Karbon Hutan dan Iklim Global

Karbon merupakan salah satu unsur alam yang memiliki lambang “C” dengan nilai atom sebesar 12. Karbon juga merupakan salah satu unsur utama pembentuk bahan organik termasuk makhluk hidup. Hampir setengah dari organisme hidup merupakan karbon. Karenanya secara alami karbon banyak tersimpan di bumi (darat dan laut) dari pada di atmosfer.

Karbon tersimpan dalam daratan bumi dalam bentuk makhluk hidup (tumbuhan dan hewan), bahan organik mati ataupun sediment seperti fosil tumbuhan dan hewan. Sebagian besar jumlah karbon yang berasal dari makhluk hidup bersumber dari hutan. Seiring terjadinya kerusakan hutan, maka pelepasan karbon ke atmosfer juga terjadi sebanyak tingkat kerusakan hutan yang terjadi.

Akumulasi gas rumah kaca akibat perubahan tutupan lahan dan kehutanan diperkirakan sebesar 20% dari total emisi global yang berkontribusi terhadap

pemanasan global dan perubahan iklim. Hal ini menegaskan bahwa upaya mitigasi perubahan iklim perlu melibatkan sektor perubahan tutupan lahan dan kehutanan. Mengingat hutan berperan sangat penting tidak hanya sebagai penyimpan karbon, tetapi secara alami juga berfungsi sebagai penyerap karbon yang paling efisien di bumi sekaligus menjadi sumber emisi gas rumah kaca pada saat tidak dikelola dengan baik.

## 2.2. Siklus Karbon Hutan

Secara alami, pelepasan karbon hutan ke atmosfer, atau disebut emisi, terjadi melalui berbagai mekanisme seperti respirasi makhluk hidup, dekomposisi bahan organik serta pembakaran biomasa. Selain melakukan proses fotosintesis untuk merubah karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) menjadi oksigen ( $\text{O}_2$ ), tumbuhan juga melakukan proses respirasi yang melepaskan  $\text{CO}_2$ . Namun proses ini cenderung tidak signifikan karena  $\text{CO}_2$  yang dilepas masih dapat diserap kembali pada saat proses fotosintesis.

Pada saat tumbuhan atau satwa hutan mati, akan terjadi proses dekomposisi oleh bakteri dan mikroba yang juga melepaskan  $\text{CO}_2$  ke atmosfer. Di hutan alam akan banyak terjadi mortalitas akibat usia, persaingan tempat tumbuh maupun akibat penyebab lain seperti hama, penyakit maupun bencana alam. Mortalitas tumbuhan juga secara alami selalu diimbangi dengan proses regenerasi, sehingga terjadi keseimbangan ekologis termasuk keseimbangan karbon atau yang dikenal dengan istilah "*carbon neutral*". Namun pada saat unsur antropogenik terlibat secara berlebihan dalam ekologi hutan, maka akan terjadi proses percepatan pelepasan emisi akibat dekomposisi. Dan pada kenyataannya, pelepasan emisi antropogenik tersebut tidak dapat diimbangi oleh laju penyerapan karbon oleh hutan. Sehingga luas dan kualitas hutan semakin menyusut.

Proses eksploitasi atau pemanenan hutan, akan menyebabkan kematian pohon yang ditebang maupun "*logging damage*" bagi pohon-pohon kecil di sekitarnya akibat penebangan, penyaradan maupun pembuatan jalan sarad oleh traktor. Tanpa menerapkan pembalakan berdampak rendah (*Reduced Impact Logging*–RIL), kerusakan akibat penebangan menjadi sangat besar dan meningkatkan tingkat mortalitas yang tinggi. Secara otomatis pula, tingkat emisi akibat dekomposisi menjadi lebih besar.

Jika tebang pilih (*selective logging*) yang diterapkan, dan hutan dibiarkan untuk pulih selama bertahun-tahun, Maka masih ada kesempatan bagi hutan untuk menyerap kembali  $\text{CO}_2$  yang terlepas kembali ke permukaan bumi. Namun jika terjadi penggundulan hutan atau deforestasi akibat penebangan liar, kebakaran

hutan, perambahan maupun konversi lahan, maka penyerapan cadangan karbon menjadi tidak seimbang lagi. Seperti yang terjadi saat ini, degradasi dan deforestasi hutan tidak diimbangi dengan laju regenerasi hutan alam. Hal ini menyebabkan laju deforestasi yang sangat tinggi yang diperkirakan sebesar lebih dari 1 juta hektar per tahun (Kemenhut, 2006) atau sebesar 0,7 juta hektar pertahun untuk periode 2000-2005 (Winrock, 2010).

Proses pelepasan emisi karbon ke atmosfer lainnya adalah melalui pembakaran (*combustion*). Proses pembakaran biomasa yang terjadi akibat kebakaran hutan dan gambut melepaskan karbon dioksida ke atmosfer. Kekeringan merupakan proses alam yang disebabkan oleh anomali iklim *El-Nino* yang telah terjadi sejak puluhan tahun yang lalu. Namun kebakaran besar di Indonesia baru terjadi sejak tahun 1982 dan 1997, dimana sangat terkait erat dengan pola pengelolaan hutan maupun strategi pembangunan yang mengkonversi menjadi perkebunan sawit.

Tekanan manusia terhadap sumber daya hutan, menyebabkan deforestasi dan degradasi terhadap hutan yang ada. Penurunan jumlah dan kualitas hutan tidak hanya menyebabkan berkurangnya jumlah karbon yang tersimpan, tetapi juga menyebabkan pelepasan emisi karbon ke atmosfer serta mengurangi kemampuan hutan dalam menyerap karbon. Karenanya hutan berperan penting di dalam upaya mitigasi perubahan iklim, melalui penyerapan CO<sub>2</sub> menjadi pertumbuhan riap pohon.

Upaya pengurangan emisi dari deforestasi dan degradasi (REDD+) merupakan salah satu opsi mekanisme yang sedang diperjuangkan di dalam UNFCCC agar dapat diterapkan. Mekanisme ini melibatkan peran aktif negara pemilik hutan tropis untuk menjaga hutannya agar tetap lestari serta peran krusial negara maju untuk mengurangi emisi nasionalnya. Penghindaran deforestasi dan degradasi hutan dapat memberikan kesempatan kepada hutan untuk tumbuh kembali dan memberikan manfaat yang lebih besar bagi pembangunan kehutanan, masyarakat sekitar maupun keanekaragaman hayatinya.

### **2.3. Identifikasi Sumber Karbon Penting**

Sumber karbon (*Carbon Pool*) dikelompokkan menjadi 3 kategori utama, yaitu biomasa hidup, bahan organik mati dan karbon tanah IPCC (2006). Biomasa hidup dipilah menjadi 2 bagian yaitu Biomasa Atas Permukaan (BAP) dan Biomasa Bawah Permukaan (BBP). Sedangkan bahan organik mati dikelompokkan menjadi 2 yaitu:

kayu mati dan serasah. Sehingga, secara keseluruhan IPCC menetapkan 5 sumber karbon hutan yang perlu dihitung dalam upaya penurunan emisi akibat perubahan tutupan lahan.

Tabel 1. Definisi sumber karbon berdasarkan IPCC guidelines (2006)

Sumber		Penjelasan
Biomasa	Atas Permukaan	Semua biomasa dari vegetasi hidup di atas tanah, termasuk batang, tunggul, cabang, kulit, daun serta buah. Baik dalam bentuk pohon, semak maupun tumbuhan herbal.  Ket: tumbuhan bawah di lantai hutan yang relatif sedikit, dapat dikeluarkan dari metode penghitungan
	Bawah Tanah	Semua biomasa dari akar yang masih hidup. Akar yang halus dengan diameter kurang dari 2 mm seringkali dikeluarkan dari penghitungan, karena sulit dibedakan dengan bahan organik mati tanah dan serasah.
Bahan Organik Mati atau Nekromasa	Kayu mati	Semua biomasa kayu mati, baik yang masih tegak, rebah maupun di dalam tanah. Diameter lebih besar dari 10 cm
	Serasah	Semua biomasa mati dengan ukuran > 2 mm dan diameter kurang dari sama dengan 10 cm, rebah dalam berbagai tingkat dekomposisi.
Tanah	Bahan Organik Tanah	Semua bahan organik tanah dalam kedalaman tertentu ( 30 cm untuk tanah mineral). Termasuk akar dan serasah halus dengan diameter kurang dari 2mm, karena sulit dibedakan.

Untuk pendugaan karbon bagi proyek penghindaran deforestasi, biomasa atas-permukaan merupakan sumber karbon (*carbon pool*) penting yang harus diukur.

Tingginya laju perubahan kandungan karbon juga menjadi kriteria penting di dalam menentukan sumber karbon yang harus diukur. Kayu mati dan serasah di hutan rawa gambut yang mudah terbakar, juga memiliki potensi menyumbang emisi yang besar.

Tabel 2. Sumber karbon penting disesuaikan dengan tipe project (Ravrindanath dkk, 2008)

Tipe Project	Sumber Karbon				
	Biomasa Atas	Biomasa Bawah	Serasah	Kayu Mati	Tanah
Penghindaran Deforestasi	***	***	***	***	***
Aforestasi dan Reforestasi	***	**	*	*	***
Lahan Bioenergi	***	***	*	-	***
Pengelolaan Hutan Lestari	***	*	*	*	*
Hutan Kemasyarakatan	***	-	-	-	**
Agroforestry	***	*	-	-	*

Ket: \* : penting. Semakin banyak bintang semakin penting; - : tidak penting

Di hutan yang terdegradasi, baik akibat penebangan dan kebakaran, masih cukup banyak dijumpai pohon mati atau batang pohon yang rebah. Sekitar 80% dari total bahan organik mati yang ada di hutan bekas terbakar merupakan pohon mati atau batang rebah. Karena itu, bahan organik mati, khususnya batang dan pohon merupakan sumber karbon penting yang perlu diperhitungkan di hutan terdegradasi yang rawan kebakaran.

Pengukuran biomasa bawah permukaan (BBP) atau akar, biasanya sangat sulit serta memakan waktu dan biaya yang besar. Di lahan gambut, akar dari pohon yang ditebang tetap terawetkan oleh kondisi anaerob dan tidak terdekomposisi.

Karena itu perubahan biomasa akar di hutan gambut cenderung tidak besar dan dapat menggunakan rumus alometrik yang ada untuk pendugaannya.



### 3. Pengukuran Lapangan Karbon Hutan

Pendugaan karbon untuk proyek penyerapan karbon di sektor perubahan penggunaan lahan dan kehutanan (*Land Use Change and Forestry*) maupun proyek penghindaran emisi karbon, memerlukan prosedur pengukuran lapangan yang benar dan berbasis ilmiah agar memiliki keakurasian dan presisi yang cukup baik. Metode yang digunakan biasanya dikembangkan berdasarkan metode survey potensi hutan atau analisa vegetasi yang telah lama dikembangkan oleh praktisi kehutanan. Namun beberapa pengembangan dan penyesuaian perlu dilakukan mengingat parameter yang diukur lebih banyak. Sehingga konsekuensinya adalah biaya dan waktu pelaksanaan akan menjadi lebih besar.

Upaya pendugaan karbon untuk keperluan perdagangan karbon menggunakan mekanisme REDD+, perlu diterapkan dengan tingkat keakurasian dan ketepatan yang sebaik-baiknya, namun juga perlu mempertimbangkan kompensasi biaya yang ditimbulkan. Untuk itu juga disarankan agar inventarisasi karbon tersebut dapat dilakukan untuk mendapatkan informasi tambahan lainnya secara paralel, seperti potensi tegakan hutan, biodiversity maupun data lainnya terkait dengan

sistem pengelolaan hutan, sehingga dana yang digunakan menjadi lebih efektif (MacDicken, 1997).

### 3.1. Desain Metode Inventarisasi

Desain inventarisasi dilakukan untuk mengalokasikan plot-plot pengukuran sehingga dapat meningkatkan keakurasian dan keakuratan data hasil sampling. Selain itu, desain inventarisasi yang baik juga mempertimbangkan aspek-aspek teknis pelaksanaan di lapangan, sehingga memudahkan regu di dalam pelaksanaannya serta tidak menghabiskan biaya yang lebih besar.

Seiring dengan perkembangan metodologi dan pengalaman dari berbagai proyek REDD dan perdagangan karbon, semakin banyak metode inventarisasi yang dikembangkan oleh masing-masing pihak untuk kepentingannya masing-masing. Seringkali hal tersebut bermuara pada perbedaan metode yang cukup nyata sehingga menyulitkan di dalam proses penggabungan dan perbandingan data. Karena itu, pihak Kementerian Kehutanan mengambil inisiatif untuk menyusun SNI untuk Pengukuran dan Pendugaan Cadangan Karbon Hutan. Penyusunan SNI ini juga mempertimbangkan metode-metode pengukuran karbon yang sebelumnya telah dikembangkan oleh berbagai pihak di Indonesia. Karena itu, SNI masih dapat memberikan ruang terhadap penyesuaian disain inventarisasi yang sesuai dengan kondisi di lapangan.

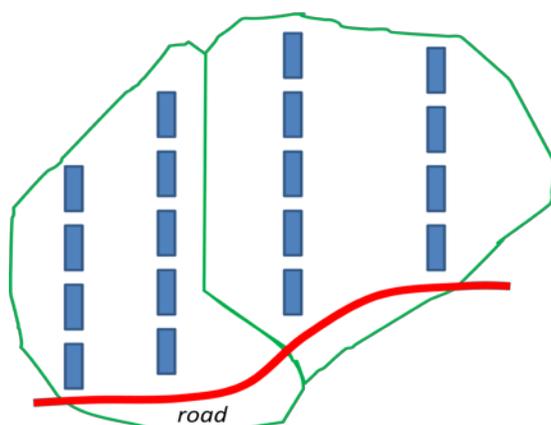
#### 3.1.1. Metode Sampling

##### Purposive, Random dan Systematic Sampling

Penentuan lokasi plot harus menghindari bias dan memberikan kesempatan yang sama bagi suatu areal untuk disurvei. Penentuan plot secara *purposive* biasanya dilakukan saat melakukan penelitian khusus, dimana populasi yang menjadi target sangat spesifik. Selain itu, untuk menghindari biaya yang besar, seringkali penentuan lokasi plot disesuaikan dengan aksesibilitas yang ada, baik mengikuti jalan, sungai atau kanal. Hal ini dapat menyebabkan bias sistematis. Karenanya disarankan untuk menerapkan metode penyebaran plot secara acak (*random*) atau sistematis (Pearson, 2005).

Keuntungan penentuan lokasi plot secara sistematis adalah memudahkan regu di lapangan di dalam pencarian plot. Selain itu, sistematis plot juga dapat

memberikan keakuratan yang lebih baik dibandingkan secara acak, jika populasi yang diukur sangat bervariasi (Kauffman dan Donato, 2010).



Gambar 1. Penentuan lokasi plot disesuaikan dengan aksesibilitas (secara purposive)

Teknik penentuan plot secara acak (*random*) dapat menghindari bias akibat adanya kecenderungan yang seragam di lapangan. Seperti di hutan rawa gambut bekas tebangan yang secara historis telah dieksploitasi mengikuti jalur kanal atau jalur lori (semacam lokomotif kecil) yang lurus dan relatif teratur. Untuk pemantauan karbon hutan, secara umum metode *stratified random sampling* dapat menghasilkan pendugaan yang lebih teliti dibandingkan metode lain (MacDicken, 1997).

Dalam SNI Pengukuran Cadangan Karbon, penentuan lokasi plot dapat dilakukan baik secara acak maupun secara sistematis.

### [Stratified vs Simple Sampling](#)

Stratifikasi merupakan salah satu teknik untuk mengelompokkan sub populasi sehingga memiliki keragaman antar plot yang rendah. Dengan demikian, populasi akan dipilah-pilah ke dalam stratum-stratum berdasarkan kesamaan perkiraan nilai tengah populasi.

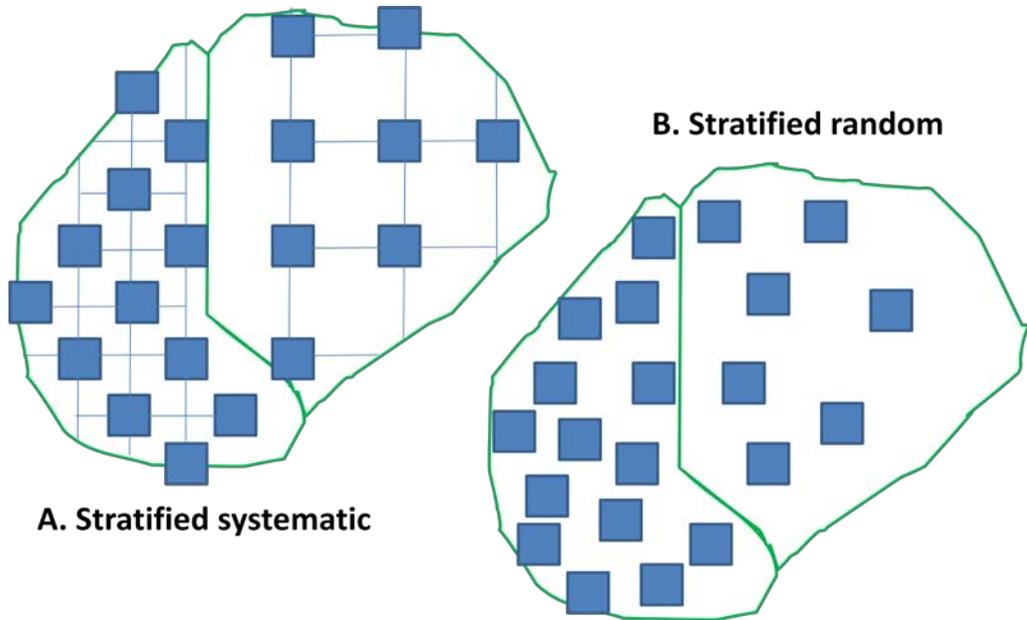
Dalam hal pendugaan cadangan karbon, perkiraan rata-rata karbon per hektar digunakan sebagai dasar pemilahan sub-populasi ke dalam stratum tertentu. Karena itu informasi mengenai kelas tutupan lahan merupakan informasi utama di dalam penentuan stratifikasi untuk survey cadangan karbon. Selain itu kondisi

biofisik juga dapat digunakan sebagai tambahan informasi untuk stratifikasi, jika berpengaruh secara signifikan. Misalnya jika suatu areal terbentang pada wilayah yang memiliki elevasi yang bervariasi, maka peta elevasi dan kelerengan diperlukan sebagai salah satu informasi dasar stratifikasi.

Peta tipe pengelolaan juga dapat digunakan sebagai dasar stratifikasi. Namun penggunaan data ini untuk stratifikasi perlu diterapkan secara hati-hati. Seringkali informasi tersebut tidak secara nyata mewakili kondisi di lapangan, misalnya peta status kawasan (Hutan Produksi, Hutan Lindung atau Hutan Konservasi) atau zonasi kawasan. Batas yang ada di lapangan adalah imajiner dan tidak sepenuhnya didasari oleh kondisi hutan aktual. Untuk di Indonesia, sebaiknya informasi ini tidak digunakan sebagai dasar stratifikasi pendugaan cadangan karbon.

Berbeda dengan teknik stratifikasi, penarikan contoh sederhana (*simple sampling*) tidak mengelompokkan populasi contoh sehingga variasi antar plot menjadi lebih besar. Hal ini dapat diterapkan jika data awal mengenai perkiraan sebaran cadangan karbon tidak tersedia. Sehingga metode ini relatif sederhana dan tidak memerlukan data atau persiapan pendahuluan. Karena itu teknik ini sangat cocok untuk wilayah yang tidak memiliki data dasar tutupan lahan atau data hasil interpretasi citra satelit.

Stratifikasi menjadi sangat efektif digunakan karena berpengaruh terhadap peningkatan homogenitas di dalam masing-masing stratum. Sistem ini juga mengurangi terjadinya kemungkinan perbedaan antar plot yang tinggi. Tujuan utama di dalam penetapan stratifikasi adalah membedakan tegakan berdasarkan perbedaan volume biomasa dan kandungan karbonnya, sehingga dapat meningkatkan ketelitian dengan jumlah plot yang lebih sedikit. Untuk itu tipe dan kerapatan vegetasi serta kedalaman gambut menjadi kriteria penting di dalam stratifikasi di lahan gambut. Citra satelit resolusi sedang seperti Landsat atau SPOT dapat digunakan untuk membuat stratifikasi dari tipe dan kerapatan vegetasinya.



Gambar 2. Metode penyebaran plot dengan stratified systematic (A) dan stratified random (B)

Penerapan stratifikasi awal untuk pendugaan cadangan karbon menggunakan data penginderaan jauh dapat meningkatkan keakuratan dan efektifitas biaya (GOF-GOLD, 2009). Stratified sampling juga disarankan dalam IPCC guidelines (2006). Metode *stratified random sampling* dan *stratified systematic sampling* karenanya sangat disarankan untuk digunakan di dalam pengukuran jumlah karbon di hutan tropis Indonesia yang memiliki variasi kandungan karbon yang sangat tinggi.

SNI Pengukuran Cadangan Karbon juga menyarankan untuk menerapkan metode stratifikasi, namun tetap memberi ruang untuk penerapan *simple random sampling* pada wilayah-wilayah yang tidak memiliki data tutupan lahan yang aktual.

Secara spesifik, SNI Pengukuran Cadangan Karbon mensyaratkan stratifikasi berdasarkan peta tutupan lahan (*land cover*) yang diperoleh dari interpretasi citra satelit dengan resolusi paling rendah 30 m, dengan klasifikasi tutupan lahan sesuai dengan SNI 7645:2010. Sistem klasifikasi yang dimaksud adalah sama dengan klasifikasi yang dikembangkan Kementerian Kehutanan dengan 23 kelas tutupan lahan.

### 3.1.2. Bentuk Plot

Plot bujur sangkar atau persegi panjang merupakan bentuk plot yang relatif sering digunakan di dalam analisa vegetasi hutan di Indonesia (Soeryanegara, 1983; Hinrichs dkk, 1999; Hairiah dkk, 2011; Dephut, 2007). Hal ini karena kemudahannya di dalam memastikan pohon-pohon yang masuk dibandingkan dengan plot lingkaran. Kelemahan bentuk plot ini adalah, semakin luas plot yang diukur, maka semakin panjang batas plot yang harus dibuat.

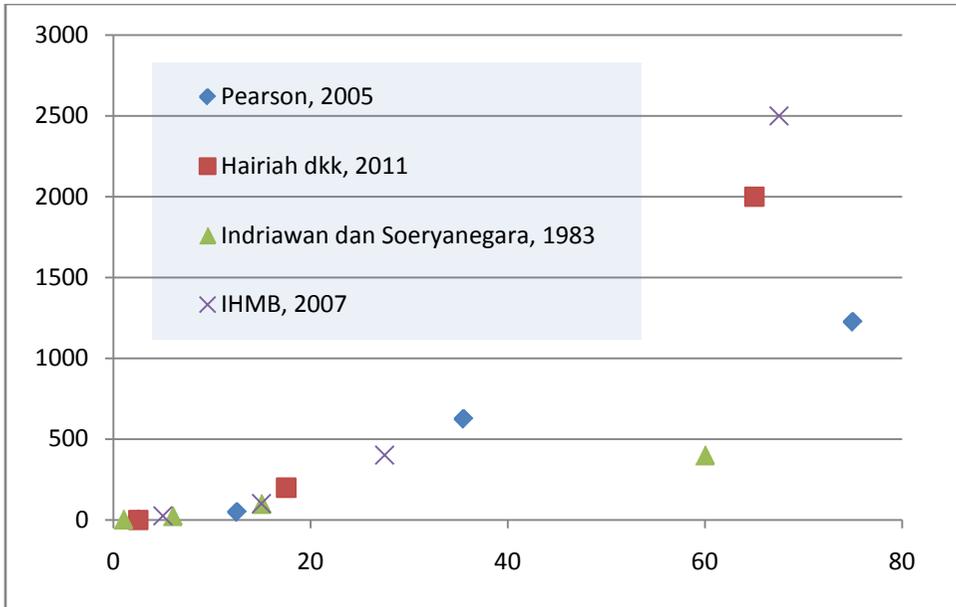
Plot berbentuk lingkaran juga banyak digunakan karena memiliki tingkat keterwakilan yang tinggi dibanding plot persegi dengan luas yang sama. Program *National Forest Inventory* (NFI) juga menerapkan bentuk plot lingkaran. Demikian pula dengan protokol pengukuran yang dikembangkan oleh *United States Forest Service* (USFS) untuk penilaian karbon di hutan mangrove di seluruh Asia dan Micronesia, termasuk Indonesia (Kauffman dan Donato, 2010). Hanya saja biasanya pengukuran di lapangan relatif sulit untuk plot lingkaran yang lebih luas dan berada pada topografi yang miring.

Plot yang terdiri dari beberapa sub-plot (*combined plots* atau *nested plots*) juga lebih sering digunakan di hutan alam tropis daripada *single plot*. *Combined plot* sangat sesuai untuk digunakan pada hutan dengan stratum tajuk yang bervariasi. Sedangkan *single plot* biasa digunakan di hutan tanaman yang memiliki kelas umur yang relatif homogen.

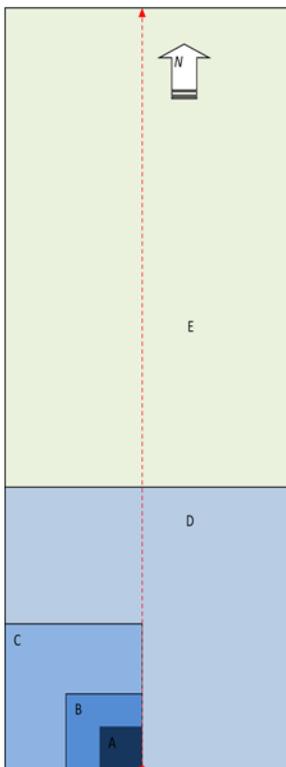
SNI Pengukuran Cadangan Karbon menyarankan kedua bentuk, baik persegi maupun lingkaran untuk diterapkan dalam pengukuran karbon baik secara terpisah maupun digabungkan. Metode *Nested plot* juga disarankan dalam SNI untuk diterapkan.

### 3.1.3. Ukuran Plot

Ukuran plot yang cukup luas akan meningkatkan ketelitian hasil inventarisasi. Selain itu ukuran plot di hutan alam harus lebih luas dari pada plot di hutan tanaman, yang memiliki variasi antar plot lebih rendah. Plot di hutan alam juga sebaiknya cukup luas sehingga paling tidak dapat mencakup pohon-pohon berukuran diameter besar, mengingat pohon berdiameter besar mengandung biomasa dan karbon yang besar pula.



Gambar 3. Grafik perbandingan luas sub plot dengan rata-rata kisaran DBH pohon yang diukur



Penghitungan khusus tentang luas plot yang diperlukan bagi sebuah proyek REDD atau perdagangan karbon, mungkin dapat dilakukan. Namun hal ini akan menambah kerumitan dan tambahan pekerjaan. Analisa perbandingan yang dilakukan terhadap 4 metode survey plot yang biasa digunakan baik untuk pemantauan karbon, vegetasi maupun potensi tegakan, menunjukkan bahwa metode survey yang digunakan oleh Kementerian Kehutanan untuk Inventarisasi Hutan Menyeluruh Berkala (IHMB) memiliki keterwakilan yang cukup tinggi dengan luas sub-plot terbesar 0,25 ha. Selain itu bentuk plot yang disarankan Hairiah dkk (2011) juga memberikan peluang yang besar bagi pohon besar untuk diukur. Bentuk sub-plot persegi panjang juga dapat mengurangi tingkat kesulitan di lapangan karena regu

Gambar 4. Bentuk plot ukur survey karbon modifikasi dari IHMB dan Hinrichs dkk, 1998)

dapat berjalan pada jalur yang berada tepat di tengah plot (Hinrichs dkk, 1998).

Namun demikian, bentuk plot yang digunakan dalam kegiatan IHMB, utamanya ditujukan untuk mengetahui potensi pohon jenis komersil. Untuk pengukuran tingkat semai, semak dan serasah tidak dilakukan. Karena itu, kami memodifikasi bentuk plot yang sesuai untuk kegiatan pemantauan karbon (Gambar 3). Mengingat dalam IHMB tidak mengukur semai dan serasah, maka ditambahkan plot ukuran 2m x 2m untuk mengukur semai dan tumbuhan bawah serta serasah. Hal ini juga sesuai dengan SNI Pengukuran Cadangan Karbon.

SNI Pengukuran Cadangan Karbon memberikan keleluasaan bagi pelaksana proyek untuk menetapkan luas plot. Namun luas minimal ditetapkan oleh SNI untuk menjamin tingkat keakurasian yang lebih baik. Luasan minimal untuk sub plot adalah:

- a. Semai dengan luasan minimal 4 m<sup>2</sup> atau lingkaran dengan r minimal 1,13 m
- b. Pancang dengan luasan minimal 25 m<sup>2</sup> atau lingkaran dengan r minimal 2,82 m
- c. Tiang dengan luasan minimal 100 m<sup>2</sup> atau lingkaran dengan r minimal 5,64 m
- d. Pohon dengan luasan minimal 400 m<sup>2</sup> atau dengan r minimal 11,29 m

### 3.1.4. Jumlah Plot

Penentuan jumlah plot sebaiknya didasari atas penghitungan statistik yang memenuhi kaidah-kaidah dan persyaratan di dalam metode pengambilan sampling. Hal ini sangat penting, karena akan menjadi persyaratan di dalam penyusunan *Project Design Document* (PDD). Penentuan jumlah plot (n) sebaiknya disesuaikan dengan tingkat ketelitian yang diharapkan (*sampling error- SE*), galat baku (*standard deviation*) tiap stratum (Sh), rata-rata dari estimasi potensi karbon ( $\bar{y}$ ) serta ukuran populasi dalam stratum h (Nh). Jumlah plot (n) dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut (Avery dan Burchart, 2002):

$$n = \frac{(\sum_{h=1}^L Nh * Sh)^2}{\frac{N^2 * (SE * \bar{y})^2}{t^2} + (\sum_{h=1}^L Nh * Sh^2)}$$

Sedangkan jumlah plot tiap stratum (nh) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$nh = n * \frac{Nh * Sh}{\sum_{h=1}^L Nh * Sh}$$

Penentuan keragaman tiap stratum dan estimasi potensi karbon dapat dilakukan berdasarkan survey pendahuluan atau literatur dari penelitian sebelumnya. *Sampling error* sebesar 10% biasanya cukup atau dalam kisaran 5% - 20%. Nilai “t” diperoleh dari tabel statistik t-student dalam selang kepercayaan 95%, atau untuk memudahkan, biasanya digunakan nilai 2.

Namun cara penghitungan jumlah plot yang lebih sederhana dan mudah adalah menggunakan rumus yang umum digunakan dalam inventarisasi hutan, seperti dalam digunakan dalam IHMB (Husch et al, 2003; Hinrics et al, 1998; Kemenhut, 2007).

$$N = \left(\frac{t * CV}{SE\%}\right)^2 \text{ atau } N = \left(\frac{t * s}{SE}\right)^2$$

N = Jumlah plot

t = Nilai tabel t-Student

CV= Koefisien variasi (%)

s = Simpangan baku

SE= Standard Error

Metode penghitungan ini dapat digunakan untuk menghitung jumlah plot tanpa stratifikasi (*simple random/systematic sampling*).

SNI Pengukuran Cadangan Karbon tidak menyebutkan secara khusus berapa jumlah plot atau bagaimana menghitung jumlah plot. Namun disyaratkan *Standard Error* maksimal yang diperbolehkan yaitu sebesar 20%.

## 3.2. Parameter yang Diukur

### 3.2.1. Biomasa

#### Pohon

Bentuk hidup (*life form*) pohon mulai tingkat pancang, tiang, pohon kecil dan pohon besar, dicatat jenis dan diameter setinggi dada (DBH-*Diameter at Breast Height*). Di sektor kehutanan, pengukuran DBH diterapkan pada ketinggian tetap

yaitu 1,3 m atau untuk pohon yang tidak normal, pengukuran dilakukan pada tempat yang ditentukan (Gambar 4). Data yang dikumpulkan untuk adalah:

1. **No Pohon** : nomor urut pengukuran pohon
2. **Nama Pohon** : nama lokal pohon (sesuaikan dengan daftar nama lokal)
3. **Diameter** : diameter pohon setinggi dada (DBH) dalam centimeter (cm).
4. **Keterangan** : diisi semua informasi terkait dengan kondisi pohon, misal: mati, berbanir 2 meter atau memiliki akar nafas setinggi 70 cm.

Pohon dikelompokkan berdasarkan tingkat pertumbuhannya dan diukur pada sub plot yang berbeda pula.

1. Semai ( $DBH < 2\text{cm}$ ) diukur dalam sub plot A ukuran 2m x 2m
2. Pancang ( $2\text{ cm} \leq DBH < 10\text{ cm}$ ) diukur dalam sub plot B ukuran 5m x 5 m
3. Tiang ( $10 \leq DBH < 20$ ) diukur dalam sub plot C ukuran 10m x 10m
4. Pohon ( $20 \leq DBH < 35$ ) diukur dalam sub plot D ukuran 20m x 20m
5. Pohon Besar ( $DBH \geq 35$ ) diukur dalam sub plot E ukuran 20m x 125 m

Tingkat pertumbuhan Pohon dikelompokkan menjadi 2 kelompok, yaitu pohon kecil dan pohon besar ( $DBH \geq 35\text{ cm}$ ). Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa pohon besar dapat terwakili dengan baik khususnya pada plot berukuran besar. Mengingat kandungan karbon pada pohon besar sangat tinggi.

### Semak dan Herba

Perkirakan **persen kerapatan** vegetasi, **tinggi rata-rata** serta **vegetasi dominan**. Lakukan *destructive sampling* pada 10-30 plot dan ambil contohnya.

Kecuali pada stratum rumput dan semak, tumbuhan bawah relatif tidak menyimpan kandungan karbon yang besar. Karenanya, diperlukan metode sederhana untuk menduga di lapangan. Namun demikian, metode sederhana ini memerlukan informasi tambahan tentang faktor konversi atau faktor koreksi yang memerlukan analisa laboratorium (lihat Bab V).

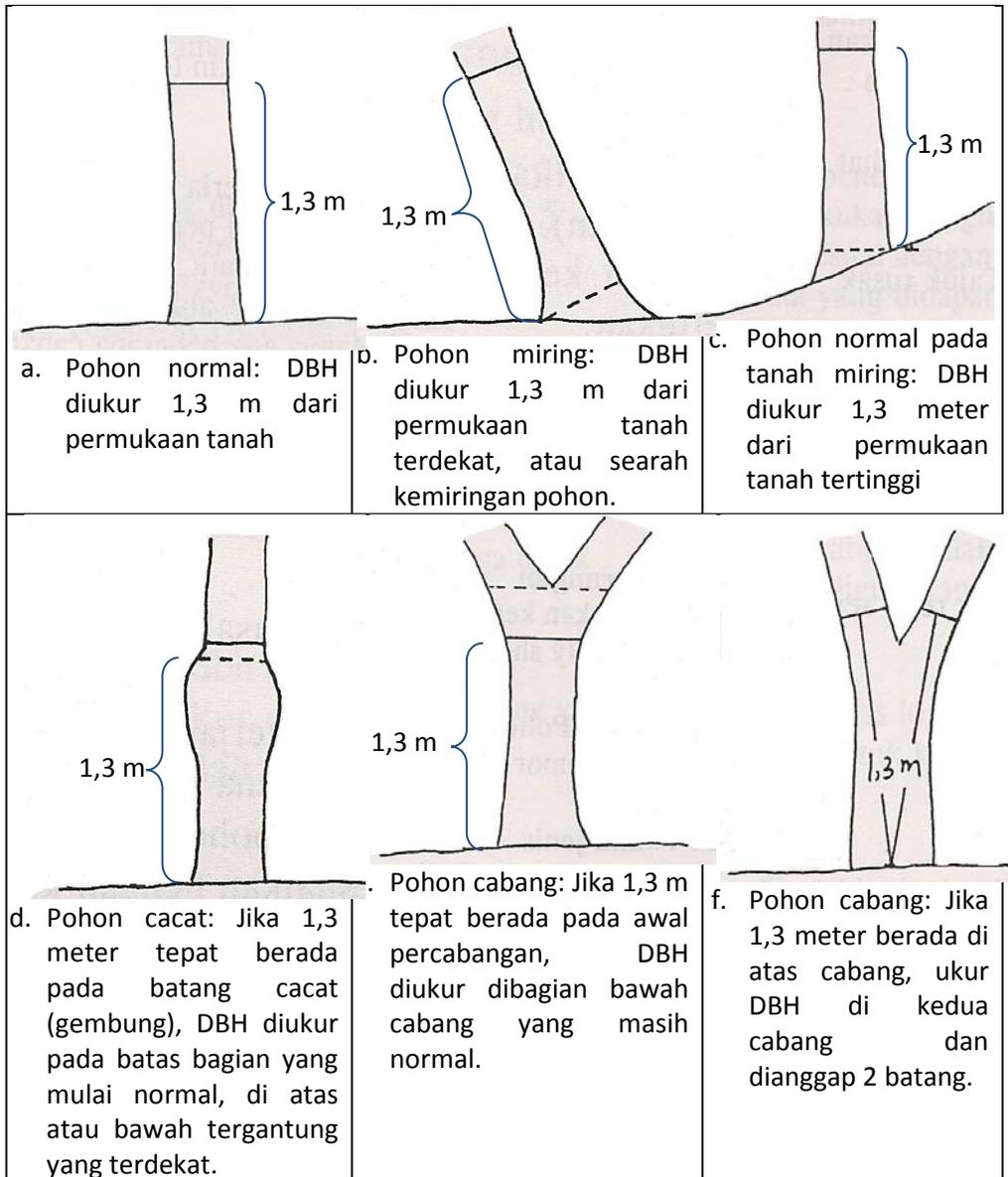
### Palem

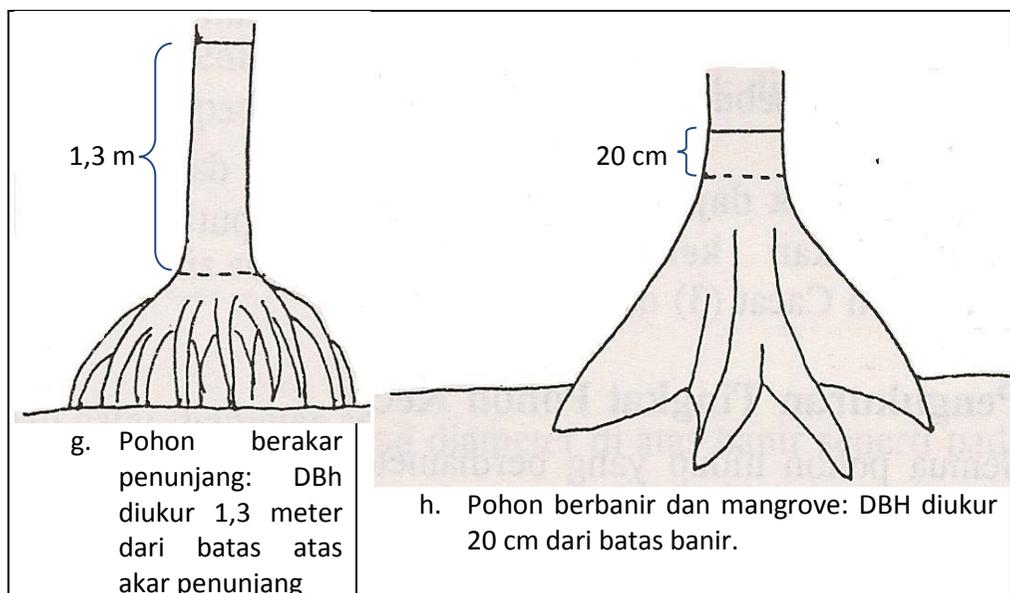
Semua jenis palem yang memiliki diameter dalam kisaran batas diameter plot, dicatat **nama**, **DBH** dan ukur **tinggi bebas cabang** dan **tinggi total**. Untuk Palm

yang didominasi oleh pelepah daun, seperti salak hutan, asem payau atau nipah, cukup **nama** dan **jumlah pelepah**.

Liana dan Rotan

Semua liana dan rotan yang masuk dalam plot B, dicatat **nama**, **diameter** (dalam mm) dan perkiraan **panjang**.





Gambar 5. Kaidah penentuan lokasi pengukuran DBH pohon

Dalam SNI Pengukuran Cadangan Karbon, parameter yang diukur atau dicatat untuk biomasa pohon adalah: nama jenis dan DBH dengan titik pengukuran seperti pada gambar 4.

Sedikit perbedaan pada tingkat semai, dimana definisi tingkat semai pada SNI adalah tumbuhan berkayu dengan DBH < 2 cm dan tinggi  $\leq 1,5$  m. Dengan definisi tersebut, terdapat kemungkinan pohon dengan diameter < 2 cm namun memiliki tinggi > 1,5 meter tidak masuk dalam tingkat pertumbuhan manapun, sehingga tidak diukur.

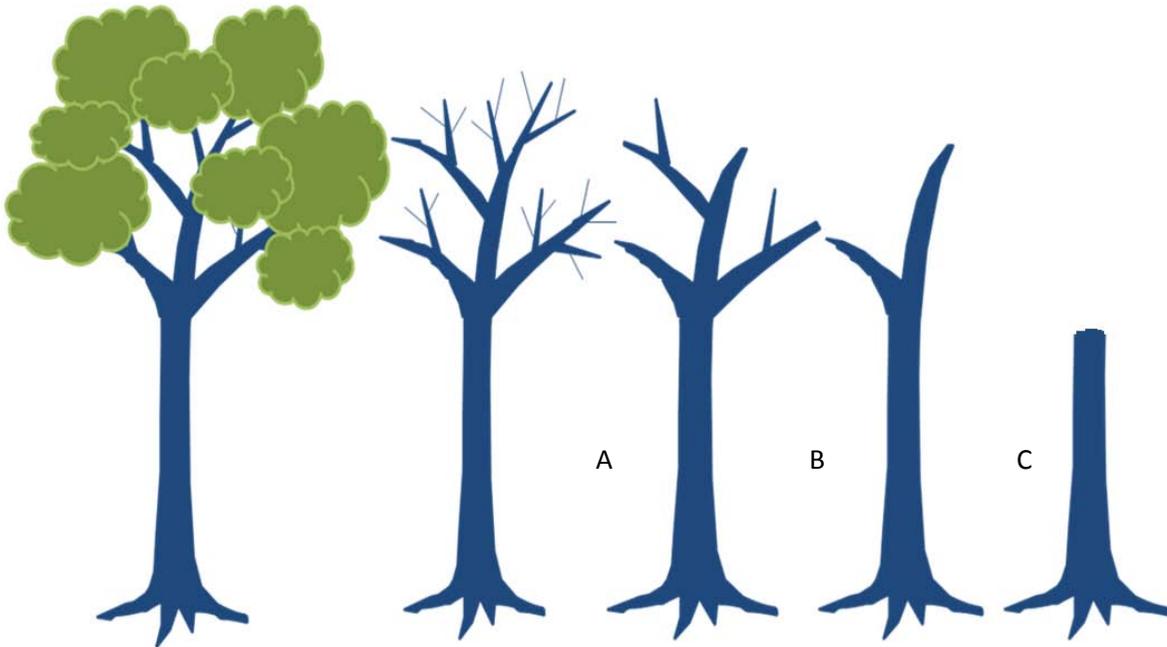
Untuk pengukuran biomasa tumbuhan bawah, dilakukan *destructive sampling* dengan pengambilan sampel sebanyak 300 gram untuk analisa berat kering di laboratorium dengan suhu  $70^{\circ} - 85^{\circ}$  hingga mencapai berat konstan. Pengukuran palem dan liana tidak diatur dalam SNI.

### 3.2.2. Bahan Organik Mati atau Nekromasa

#### Pohon mati

Pohon mati adalah semua pohon yang telah menunjukkan berhentinya proses asimilasi, yang ditandai dengan matinya jaringan-jaringan sel pada kulit dan batang, dan pohon tersebut masih berdiri tegak. Semua pohon mati yang

diameternya masuk dalam plot ukur, tentukan sebelumnya **tingkat keutuhannya**. Jika tingkat keutuhan **A, B** dan **C** maka cukup diukur **DBH** dan **nama lokal** jika mungkin. Untuk tingkat keutuhan **D** diukur **diameter pangkal** dan **tinggi total**.



Gambar 6. Kategori kayu mati yang mempertimbangkan jumlah karbon tersisa: A: tersisa 90%; B: tersisa 80%; C: tersisa 70% dan D: bervariasi hingga tunggul pohon

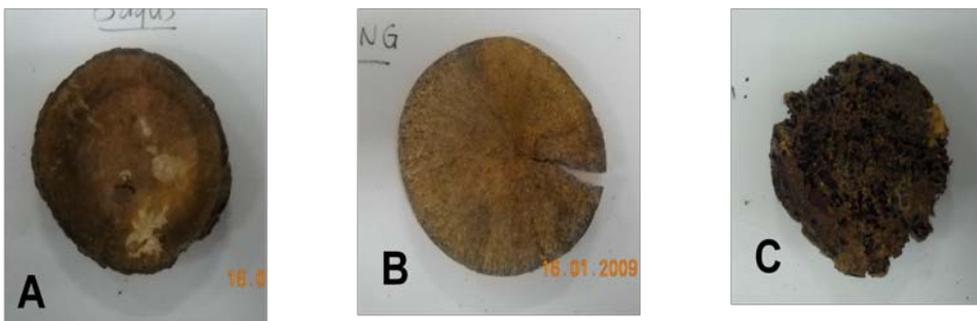
Pohon mati dengan keutuhan A merupakan pohon mati yang tidak memiliki daun, tetapi ranting dan cabang masih tersisa. Sedangkan Keutuhan B sudah tidak memiliki daun dan ranting. Keutuhan C jika hanya tersisa sedikit cabang utama. Sedangkan keutuhan D, merupakan pohon mati yang patah dan tidak diketahui batas bebas cabangnya, termasuk tunggul.

### Kayu Mati

Kayu mati atau batang rebah adalah semua atau bagian pohon mati yang sudah rebah dengan diameter lebih dari 10 cm. Semua batang rebah yang masuk dalam plot, dicatat **diameter pangkal; diameter ujung; diameter growong, panjang total; tingkat pelapukan** dan jika memungkinkan **nama lokal**. Jika hanya sebagian yang masuk dalam plot, maka ukur dan catat bagian yang masuk plot saja. Tingkat

pelapukan dikategorikan menjadi 3 kelas yaitu, bagus, sedang dan lapuk yang memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

- A. **Bagus:** kulit masih melekat sempurna pada batang kayu, atau kayu masih cukup keras dan sulit untuk dipotong dengan parang atau gergaji. Pelapukan kayu hanya terjadi kurang dari 10 %.
- B. **Sedang:** kulit sebagian lepas dan lapuk. Pelapukan terjadi antara 10 – 50 %
- C. **Lapuk:** kulit sebagian besar atau seluruhnya telah lapuk. Kayu sangat rapuh dan mudah dipotong dengan parang atau gergaji. Pelapukan terjadi lebih dari 50%.



Gambar 7. Tingkat pelapukan kayu mati juga didasari tingkat kekerasannya

Gunakan gergaji kecil untuk melihat dan merasakan persentase pelapukan yang terjadi. Pelapukan yang terjadi pada kulit tidak selalu merepresentasikan pelapukan kayu bagian dalam. Pada jenis kayu keras, seperti Ulin atau Kempas, pelapukan pada kayu relatif sulit terjadi. Kumpulkan sampel dari kayu mati sebanyak 10 sampel pada tiap tingkat pelapukan, untuk diuji berat jenisnya.

### Serasah

- Serasah adalah semua biomasa mati dengan ukuran > 2 mm dan diameter kurang dari sama dengan 10 cm, rebah dalam berbagai tingkat dekomposisi. Serasah dipilah menjadi 2 kelompok, yaitu **serasah halus** (daun dan ranting kecil diameter < 2 cm) dan **serasah ranting** (2cm < diameter < 10 cm). Semua serasah yang masuk dalam plot A dicatat **ketebalannya** (ketinggian dari tanah) lalu ditimbang untuk mendapatkan **berat total**.
- Perkiraan tingkat kelembaban serasah: **Basah**, **Lembab** atau **Kering**. Ambil sebagian serasah untuk sampel kira-kira 200-300 gram.

- Dari masing-masing tingkat kelembaban, minimal 10 sampel sebanyak 200-300 gr, diambil dari plot yang berbeda-beda. Simpan dalam plastik untuk dikirim ke laboratorium untuk pengujian kadar air dan karbon.

Untuk pengukuran bahan organik mati atau nekromasa, pada dasarnya sesuai dengan SNI Pengukuran Cadangan Karbon. Beberapa perbedaan antara lain:

- Dalam SNI tidak dimasukkan faktor kayu growong dalam pengukuran kayu mati.
- Tingkat keutuhan pada pohon mati dikelompokkan ke dalam 4 kelas, lebih detail dibandingkan SNI yang hanya 3 kelas.
- Penetapan berat jenis kayu mati dalam SNI dilakukan dengan metode pengamatan empiris, yang artinya perlu dilakukan pengumpulan sampel dan analisa lab. Hal tersebut pada dasarnya sesuai dengan yang diterapkan dalam metode ini, yang menyarankan untuk mengumpulkan masing-masing 10 sampel dari tiap tingkat pelapukan.

### **3.3. Persiapan dan Pelaksanaan Inventarisasi**

#### **3.3.1. Persiapan Survey**

##### 3.3.1.1. Komposisi regu

Dalam satu regu inventarisasi karbon, terdapat dua sub-regu yang bertugas untuk pengukuran biomasa atas permukaan dan pengukuran karbon tanah. Komposisi untuk sub regu biomasa, meliputi:

1. Ketua regu: bertanggung jawab terhadap pelaksanaan inventarisasi secara keseluruhan, serta bertugas mencatat dan mengisi tally sheet. Ketua regu juga bertanggung jawab di dalam pencarian plot dengan GPS serta mengarahkan anggota perintis menuju plot.
2. Perintis: sebanyak 2 orang, membuat rintisan menuju titik awal plot, serta membuat plot ukur dan membantu pengukuran.
3. Pengenal Jenis: sebanyak 1 orang melakukan identifikasi jenis pohon dan tumbuhan lain serta membantu pengukuran dan pemasangan pita riap.
4. Pengukur: sebanyak 1 orang, melakukan pengukuran dan penimbangan biomasa dan memasang pita riap.
5. Tukang masak: sebanyak 1 orang, menyiapkan makanan dan minuman anggota regu.

Sedangkan sub-regu tanah terdiri dari:

1. Ketua regu bertugas untuk mencari titik pengeboran dengan GPS dan membantu pengeboran atau pengambilan sampel tanah.
2. Asisten bor sebanyak 2 orang: bertugas membawa alat bor dan melakukan pengeboran.

### 3.3.1.2. Alat yang diperlukan

#### Alat Survey untuk 1 regu

1. GPS 1 buah
2. Kompas 1-2 buah
3. Phi Band 2 buah
4. Timbangan 10 kg 1 buah
5. Parang minimal sebanyak 2 buah
6. Meteran 50 m sebanyak 2 buah
7. Gergaji kecil 1 buah
8. Gunting stek 1 buah
9. Tally sheet atau buku saku
10. Pencil, rautan dan penghapus
11. Tempat sampel serasah, tumbuhan bawah, kayu mati dan tanah
12. Clinometer atau alat pengukur tinggi (opsional)

#### Alat Petak Ukur Permanen (opsional)

1. Pita riap
2. Pegas kecil
3. Cat
4. Plastik nomor pohon.
5. Spidol permanen
6. Gunting
7. Pembolong pita

### 3.3.1.3. Persiapan lain

Jika luasan areal yang akan disurvei cukup luas, maka logistik perlu disuplai secara berkala. Karena itu diperlukan tim penyuplai logistik untuk keperluan regu. Komunikasi antara regu survey dan tim logistik diperlukan selain untuk pengaturan suplai logistik juga untuk kondisi darurat.

Akses bagi regu untuk menjangkau plot-plot, perlu direncanakan sebelumnya. Paling tidak disediakan peta penyebaran plot yang dilengkapi dengan jalur aksesibilitas, seperti jalan, sungai atau kanal.

Pelatihan perlu dilakukan bagi anggota regu yang akan dilibatkan. Selain pelatihan pelaksanaan inventarisasi, juga diperlukan pelatihan pengenalan jenis pohon bagi para pengenal jenis. Sehingga diharapkan kualitas data yang dikumpulkan menjadi lebih akurat dan konsisten.

### 3.3.2. Pelaksanaan di Lapangan

#### 3.3.2.1. Mencari Titik Awal Plot

GPS akan sangat bermanfaat bagi regu di dalam pencarian titik awal plot. Gunakan GPS yang memiliki kemampuan untuk memasukkan peta yang kita miliki. Sehingga regu di lapangan tidak perlu membawa serta peta selama pencarian plot dengan memanfaatkan akses yang tersedia. Namun paling tidak, semua titik koordinat plot sebelumnya dimasukkan ke dalam GPS. Sehingga kepala regu dan perintis cukup memanfaatkan fasilitas GOTO, FIND atau NAVIGATE untuk mencari plot yang akan dituju, dan selanjutnya mengikuti arah yang ditunjukkan GPS.

#### 3.3.2.2. Membuat Plot dan Mengukur Parameter Biomasa

##### Tumbuhan bawah Sub Plot A (2 m x 2 m)

- Pastikan di dekat titik awal, semua semai dan semak tidak ditebas.
- Pasang patok yang ditandai dengan cat di titik awal.
- Buat plot ukuran 2 m x 2 m di sebelah Barat jalur utama. Gunakan meteran dan kompas. Pasang patok di setiap ujungnya
- Catat **nama lokal** dan **jumlah** semai (anakan pohon) yang ada dalam plot.
- Semua herba atau semak dicatat tingkat **kerapatan vegetasinya (%)**, **rata-rata tinggi vegetasi (cm)** dan **jenis vegetasi dominan**.
- Lakukan *destructive sampling* pada beberapa plot (sekitar 30 plot), dan ambil sampel serasah sebanyak 200-300 gr untuk analisa kandungan biomasa di laboratorium.

##### Serasah Sub Plot A (2 m x 2 m)

- Ukur dan catat **ketebalan rata-rata serasah (cm)**.
- Perkirakan tingkat kelembaban dalam serasah: **Basah, Lembab dan Kering**

- Kumpulkan semua serasah daun dan ranting (diameter < 2 cm) yang masuk dalam plot ke dalam karung, lalu timbang **berat basahnya** (gr). Lakukan yang sama untuk ranting (2 cm ≤ diameter < 10 cm).
- Letakkan kembali serasah ke dalam plot.
- Ambil sampel serasah dan ranting masing-masing sebanyak 200-300 gr. Dari masing-masing tingkat kelembaban, minimal 10 sampel diambil dari plot yang berbeda-beda.

#### Sub Plot B (5 m x 5 m)

- Dari titik awal, buat sub-plot B dengan menggunakan meteran dan kompas agar bentuk dan ukuran plot lebih akurat.
- Pastikan semua tumbuhan (pohon, liana, palem) berukuran 2 cm ≤ DBH < 10 cm teramati dan diukur
- Pohon mati (2 cm ≤ DBH < 10 cm) dicatat tingkat keutuhan dan DBH (untuk tingkat keutuhan A, B dan C). Sedangkan untuk tingkat keutuhan D, diukur DBH dan tinggi pohon.

#### Sub Plot C (10 m x 10 m)

- Dari titik awal, buat sub plot C di sebelah Barat jalur utama. Gunakan kompas dan meteran.
- Pastikan semua tumbuhan (pohon, palem dan liana) berukuran diameter lebih dari 10 cm dan kurang dari sama dengan 20 cm, diukur DBH nya dan dicatat nama jenisnya.
- Pohon mati (10 cm ≤ DBH < 20 cm) dicatat tingkat keutuhan dan DBH (untuk tingkat keutuhan A, B dan C). Sedangkan untuk tingkat keutuhan D, diukur DBH dan tinggi pohon.
- Catat semua kayu mati (rebah) 10 cm < diameter ≤ 30 cm. Ukur diameter pangkal (D1), diameter ujung (D2), diameter growong (Dg), panjang batang (cm) serta tingkat pelapukan.

#### Sub Plot D (20 m x 20 m)

- Buat sub-plot D dengan jalur utama berada tepat di tengah.
- Pastikan semua tumbuhan (pohon, palem dan liana) dan pohon mati berukuran diameter lebih dari dan sama dengan 20 cm dan kurang dari 35 cm (20 cm ≤ DBH < 35 cm), teramati dan diukur.

- Kayu mati diukur diameter pangkal (D1), diameter ujung (D2), Diameter Growong (Dg), panjang serta tingkat pelapukan (%).

#### Sub Plot E (20 m x 125 m)

- Buat sub-plot E dengan jalur utama berada tepat di tengah sepanjang plot.
- Pastikan semua tumbuhan berukuran diameter lebih dari 35 cm, teramati dan diukur. Pohon besar yang berada di sekitar batas plot, harus diukur jaraknya dari sumbu transek, untuk memastikan pohon masuk atau keluar.

#### 3.3.2.3. Pengambilan sampel batang mati, serasah dan tumbuhan bawah

Tingkat pelapukan pada batang mati rebah sangat berbeda satu sama lain. Hal ini juga akan berpengaruh terhadap kandungan biomasa dan karbon yang tersimpan. Untuk itu diperlukan informasi tambahan mengenai tingkat berat jenis kayu rebah yang berpengaruh terhadap kandungan karbon. Untuk memudahkan di lapangan, tingkat pelapukan dipilah menjadi 3 kategori, yaitu: bagus, sedang dan lapuk (lihat sub bab 3.2.2). Dari 3 kelompok pelapukan tersebut, kumpulkan masing-masing 10 contoh batang. Gunakan gergaji untuk memotong kayu. Ambil potongan melingkar penuh batang selebar 2-3 cm. Simpan dalam amplop dan beri tanda (nomor plot, sub plot dan no batang).

Hal yang sama juga dilakukan untuk pengambilan sampel serasah yang memiliki 3 kategori tingkat kelembaban, yaitu basah, sedang, kering (lihat sub bab 3.2.2). Sedangkan untuk tumbuhan bawah, sekitar 10 sampel dapat diambil pada tiap-tiap stratum.

#### 3.3.2.4. Konsistensi di dalam Pengukuran di Lapangan

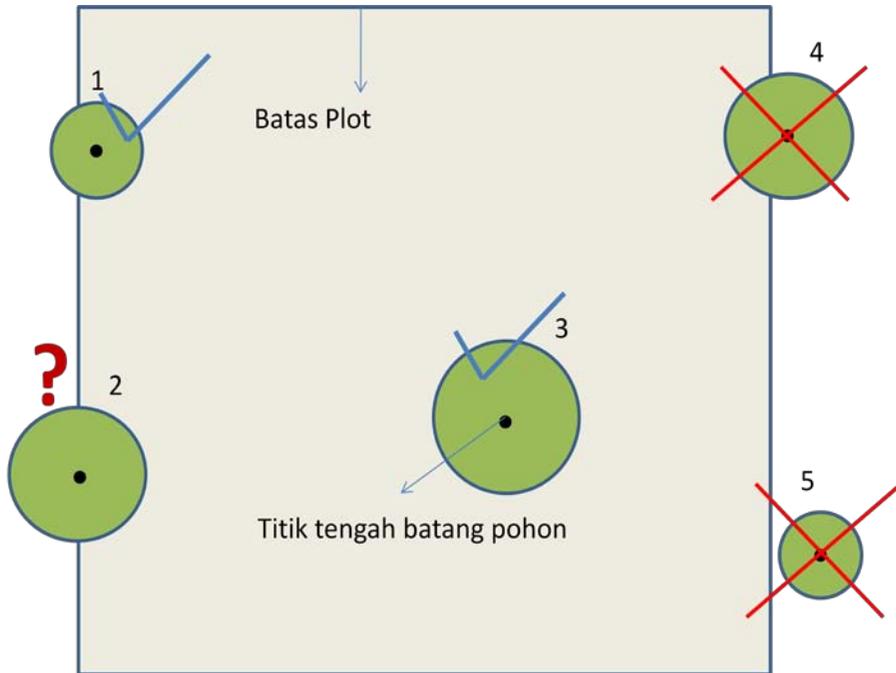
Kualitas hasil inventarisasi akan sangat dipengaruhi oleh implementasi di lapangan. Karenanya, pengambil data di lapangan dituntut agar selalu konsisten di dalam pengukuran biomasa. Beberapa kaidah perlu disusun dan dipahami agar tiap regu yang melakukan pengambilan data dapat melakukannya dengan cara yang sama dan konsisten. Antara lain di dalam penentuan posisi pengukuran diameter serta penetapan pohon masuk atau keluar plot.

Selain itu, diperlukan pemahaman yang sama antar kepala regu di dalam menentukan parameter-parameter yang didasari atas observasi seperti:

1. Kelas keutuhan pohon mati

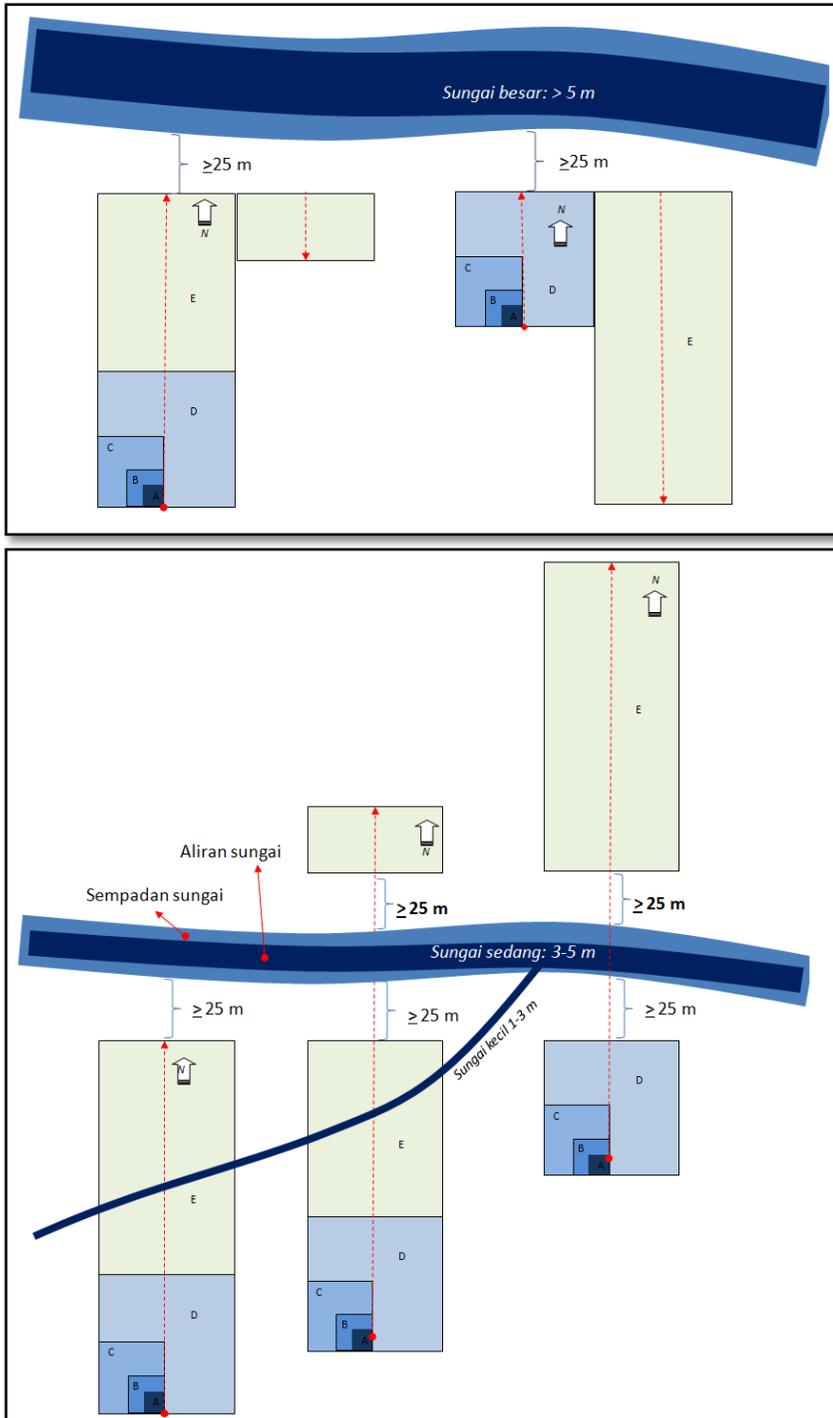
2. Tingkat pelapukan kayu mati
3. Tingkat kelembaban serasah
4. Kerapatan dan tinggi rata-rata tumbuhan bawah

Untuk itu, sebelum survey dilakukan, paling tidak kepala regu perlu dilatih untuk menyelaraskan pemahaman tentang bagaimana penentuan parameter-parameter tersebut ditetapkan secara sistematis.



**Gambar 8. Kaidah penetapan pohon "masuk" dan pohon "keluar"**  
(Hinrichs dkk, 1998)

Penetapan pohon masuk atau tidak di dalam plot perlu dilakukan secara sistematis dan konsisten. Semua pohon berdiameter sesuai, yang titik tengah batangnya berada dalam plot, merupakan pohon yang harus diukur (Gambar x, pohon no 1 dan 2). Sedangkan semua pohon yang titik tengah batangnya berada di luar batas plot, tidak diukur (pohon no 4 dan 5). Jika terdapat pohon berdiameter sesuai dan memiliki titik tengah batang tepat berada pada garis batas plot (pohon no 2), maka pohon pertama dianggap "masuk" dan pohon selanjutnya dianggap "keluar" plot, demikian seterusnya berselingan.



Gambar 9. Penyesuaian plot yang terpotong sungai atau jalan (dimodifikasi dari Hinrichs dkk, 1998)



## 4. Metode Survey Karbon Tanah

### 4.1. Tanah Gambut

Lahan gambut menyimpan karbon dalam bentuk tanah organik yang sangat besar. Dalam kondisi terdegradasi, lahan gambut menjadi areal dengan tingkat kerawanan kebakaran yang sangat tinggi (Solichin dkk, 2007). Selain itu pembukaan kanal di lahan gambut juga dapat meningkatkan emisi karbon akibat adanya pelapukan (Uryu dkk, 2008). Karena itu karbon tanah di lahan gambut juga merupakan salah satu sumber karbon yang penting untuk diukur dan dimonitor.

#### 4.1.1 Desain Survey Karbon Tanah Gambut

Tujuan utama survey karbon gambut adalah untuk mengetahui volume gambut dan kandungan bahan organik atau karbon yang ada di lokasi project. Metode interpolasi banyak digunakan untuk menduga volume dalam sebuah kubah gambut (Siegert dan Annete, 2005; Mott dan Siegert, 2006; serta Ballhorn dan Siegert, 2007). Metode ini memerlukan data titik kedalaman gambut yang tersebar merata di seluruh areal.

Metode survey kedalaman gambut banyak dilakukan dengan teknik *systematic line plot sampling*. Keuntungan metode ini adalah kemudahan penerapannya di lapangan dan efisien waktu. Selain itu, profil kedalaman gambut juga dapat terlihat secara baik dengan metode ini. Namun jika arealnya cukup luas, sebaran plot menjadi kurang merata.

Survey kedalaman gambut yang diterapkan oleh MRPP-GIZ dilakukan dengan mengintegrasikan survey potensi karbon, sehingga lebih efektif biaya dan waktu. Lokasi titik pengeboran gambut disesuaikan dengan jalur transek regu survey karbon. Pada saat regu survey karbon membuka jalan menuju plot ukur, regu gambut mengikuti jalur transek tersebut dan melakukan pengeboran gambut tiap 200-500 meter, disesuaikan dengan kondisi di lapangan dan jarak transek menuju plot. Jika metode *systematic sampling* yang diterapkan, maka penentuan jarak antar titik bor gambut dapat langsung ditetapkan saat perencanaan atau bahkan dimasukkan dalam peta survey.

Harap diperhatikan, keakurasian pendugaan model volume kubah gambut dengan metode interpolasi, sangat dipengaruhi oleh jumlah titik bor dan pemerataan penyebarannya. Fleksibilitas di lapangan karenanya diperlukan untuk menjamin pemerataan penyebaran titik bor.

#### 4.1.2. Prosedur dan Data yang Diukur di Lapangan

Untuk mengukur kedalaman gambut diperlukan bor gambut yang dapat mencapai batas terdalam gambut. Karena itu diperlukan referensi kedalaman gambut berdasarkan hasil penelitian dan survey gambut sebelumnya.

Pengeboran dilakukan di titik yang telah direncanakan untuk dibor. Pengeboran dilakukan secara bertahap, sesuai dengan panjang besi penyambung (*extension rod*) yang biasanya sepanjang 1 m. Setiap penambahan kedalaman 1 meter, bor dicabut untuk mengetahui keberadaan tanah lempung atau liat. Jika belum mencapai tanah, tambahkan lagi besi penyambung, hingga mencapai batas tanah.

Catat batas kedalaman gambut ke dalam *tally sheet*. Gunakan meteran untuk mengukur panjang ujung bor yang ditutupi tanah. Panjang tersebut digunakan untuk mengurangi panjang total bor gambut dan besi penyambung yang digunakan, sehingga diperoleh nilai **kedalaman gambut**. Selain itu pengukuran **kedalaman permukaan air tanah** juga dapat dilakukan dengan mengukur jarak antara batas besi penyambung yang terkena air dengan bagian paling atas bor.

### 4.1.3. Pemantauan Karakteristik Gambut

Karakteristik gambut, khususnya tingkat kematangan gambut dapat diketahui secara fisik di lapangan. Gambut yang lebih matang, biasanya memiliki tingkat kerapatan karbon yang lebih tinggi. Penetapan tingkat kematangan gambut di lapangan di lakukan dengan prosedur sebagai berikut (Agus, 2008):

- Ambil segenggam gambut yang akan diketahui tingkat kematangannya.
- Peras dengan tangan secara perlahan hingga gambut sulit diperas lagi.
- Perhatikan gambut yang tersisa untuk menentukan tingkat kematangan menggunakan kriteria sebagai berikut:
  1. **Saprik** (matang): gambut yang tersisa kurang dari 1/3 jumlah gambut semula
  2. **Hemik** (Setengah matang): gambut yang tersisa antara 1/3 hingga 2/3 dari gumpalan gambut semula
  3. **Fibrik** (mentah): gambut yang tersisa lebih dari 2/3 gumpalan gambut sebelumnya.

Selain itu, penentuan karakteristik gambut juga dapat dilakukan di laboratorium. Bahkan kita dapat mengetahui lebih rinci karakteristik baik kimia maupun fisiknya, termasuk kandungan karbon dan *bulk density*. Namun untuk keperluan itu diperlukan *peat sampler*, atau bor gambut type Eijkelkamp yang memiliki kemampuan untuk mengambil sampel contoh pada kedalaman tertentu dengan volume tertentu.

Sampel tanah gambut diambil pada setiap kedalaman (misal per 1 atau 2 meter) pada setiap plot ukur. Sampel disimpan dalam tempat tertutup untuk dibawa ke laboratoriu untuk analisa kerapatan lindi (*bulk density*) dan kandungan karbon (*carbon fraction*).

## 4.2. Tanah Mineral

Kandungan karbon dalam tanah mineral jauh lebih sedikit dibandingkan tanah organik. Hal ini dapat mempengaruhi penting atau tidaknya sebuah project untuk mengukur karbon tanah, sebagai salah satu sumber karbon yang akan dimonitor. IPCC menyarankan untuk mengukur karbon tanah mineral hingga kedalaman 30 cm, dimana pada lapisan tersebut terkandung karbon yang paling tinggi. SNI mensyaratkan pengambilan sampel tanah pada kedalaman 0- 5 cm; 5 – 10 cm; 10 –

20 cm dan 20 -30 cm. Untuk menghindari jumlah sampel yang banyak, cukup ambil komposit sampel tanah diambil dari 5 titik dalam sebuah plot.

Teknik sampling dapat disesuaikan dengan teknik sampling pengukuran biomasa pohon. Pengambilan sampel cukup dilakukan pada tiap plot ukur biomasa, biasanya di sekitar titik awal plot.

### **4.3. Tanah Mangrove**

Mangrove atau hutan bakau merupakan salah satu ekosistem lahan basah yang memiliki cadangan karbon tanah yang tinggi setelah ekosistem lahan gambut (Murdiyarto dkk, 2010). Karena itu pengukuran karbon tanah di mangrove juga disarankan untuk diukur.

Kauffmann dan Donato (2010) mengembangkan metode pengukuran karbon di ekosistem mangrove, termasuk karbon tanah. Berbeda dengan tanah mineral, sampel diambil dari berbagai kedalaman hingga 2-3 meter.

	Kedalaman 0 - 15 cm: ambil sampel 5 cm dari kedalaman 5-10 cm
	Kedalaman 15 – 30 cm: ambil sampel 5 cm dari kedalaman 20-25 cm
	Kedalaman 30 - 50 cm: ambil sampel 5 cm dari kedalaman 37,5 – 42,5 cm
	Kedalaman 50 – 100 cm: ambil sampel 5 cm dari kedalaman 70-75 cm
	Kedalaman 100 – 300 cm: ambil sampel 5 cm dari kedalaman 150 – 155 cm

Teknik sampling dapat disesuaikan dengan teknik sampling pengukuran biomasa pohon. Pengambilan sampel cukup dilakukan pada tiap plot ukur biomasa, biasanya di sekitar titik awal plot.

#### **4.4. Alat Pengukuran Tanah**

Alat dan bahan yang digunakan untuk pengukuran karbon tanah meliputi:

1. GPS 1 buah untuk pencarian titik awal dan menyimpan koordinat titik bor.
2. Parang 1 buah untuk merintis
3. Bor tanah atau bor gambut 1 set untuk tanah mangrove dan gambut. Untuk tanah gambut, perkirakan tingkat kedalaman paling dalam berdasarkan literatur atau penelitian sebelumnya. Pastikan panjang besi penyambung yang dibawa cukup panjang untuk mencapai lapisan tanah pada bagian terdalam. Pada tanah mangrove biasanya kedalaman hingga 2 meter. Untuk tanah mineral, bisa menggunakan soil ring atau soil sampel dari besi berukuran 20x20x20 cm.
4. Pita meteran (1 buah)
5. Tempat sampel
6. Tally sheet untuk mencatat data hasil pengukuran



## 5. Pengembangan Persamaan Alometrik dan Faktor Konversi

### 5.1. Penyusunan Persamaan Alometrik Biomasa Pohon

*Allometry* merupakan evolusi morfologi makhluk hidup yang didasari atas hubungan antara ukuran dari makhluk hidup tersebut dengan ukuran salah satu bagian makhluk hidup tersebut. Sedangkan persamaan alometrik yang digunakan untuk pendugaan kandungan biomasa atau karbon merupakan hubungan antara salah satu parameter pohon, misalnya diameter atau tinggi, dengan jumlah total biomasa atau karbon yang terkandung dalam pohon tersebut.

Untuk menyusun persamaan alometrik lokal merupakan kegiatan yang memakan waktu dan biaya, serta dilakukan dengan metode destruktif atau dengan cara ditebang. Namun penggunaan persamaan alometrik lokal berdasarkan tipe hutan yang sesuai dapat meningkatkan keakurasian pendugaan biomasa. Cara menyusun tabel biomasa dengan metode destruktif, telah dijelaskan di beberapa literatur (Pearson, 2005; dan Ravindranath, 2008). Selain itu prosedur pengembangan allometrik biomasa pohon juga dijelaskan dalam SNI Pengukuran cadangan karbon.

Penting untuk mendapatkan persamaan alometrik lokal yang disusun dengan metode penebangan dan penimbangan langsung di tipe hutan yang sama. Hal ini dapat meningkatkan keakurasian dan mengurangi tingkat *uncertainty*. Sayangnya, belum banyak penelitian terkait dengan pengembangan persamaan allometrik di Indonesia, mengingat banyaknya tipe ekosistem dan keanekaragaman jenis pohon.

Sebagai contoh, belum banyak persamaan alometrik yang disusun berdasarkan penelitian di hutan rawa gambut di Indonesia. Karena itu, penelitian yang dilakukan proyek MRPP mengenai persamaan alometrik di hutan rawa gambut akan memberikan kontribusi yang besar di dalam peningkatan keakurasian pendugaan karbon di hutan rawa gambut Indonesia.

Persamaan alometrik yang paling akurat adalah yang berdasarkan spesies pohon. Untuk di hutan tanaman atau di zona *temperate*, hal ini masih memungkinkan. Tetapi akan sangat sulit dan memerlukan waktu dan biaya yang besar jika diterapkan di wilayah tropis yang memiliki ratusan bahkan ribuan jenis pohon. Karena itu, beberapa pemilahan persamaan alometrik didasari atas kelompok jenis (Basuki dkk, 2009) atau kelompok hutan alam dan sekunder (Solichin dkk, 2011).

### 5.1.1. Bahan dan Alat yang Diperlukan

Secara umum, kegiatan penyusunan alometrik dapat dikelompokkan ke dalam 4 kegiatan utama, yaitu:

1. Pengukuran plot untuk penentuan pohon tebang,
  2. Penebangan pohon dan pemilahan bagian pohon
  3. Penimbangan dan pengukuran
  4. Pengambilan sampel
  5. Analisa laboratorium
  6. Pengembangan model alometrik.
- 
1. Untuk pengukuran plot, alat yang diperlukan meliputi:
    - Meteran 50 m 2 unit
    - Alat ukur diameter pohon (phi band) sebanyak 1-2 unit
    - Parang untuk merintis dan membuat patok, 2 buah
    - Kompas 1 unit
    - GPS dengan error jarak horizontal maksimal 10m, 1 unit

2. Untuk penebangan dan pemilahan bagian pohon, alat dan bahan yang diperlukan meliputi:
  - Chain saw, 1 unit
  - Bahan bakar dan oli untuk chainsaw, disesuaikan dengan volume pekerjaan
  - Parang, 2 – 4 unit
  - Gergaji, 2 unit
  - Terpal ukuran 1,5 m x 1,5 m sebanyak 2 buah;
  - Gunting stek
  
3. Untuk penimbangan berat basah dan pengukuran volume kayu, bahan dan alat yang digunakan meliputi:
  - Timbangan gantung 25 kg, 50 kg dan 100 kg atau 200 kg
  - Tali webbing panjang 2 m, 5 m dan 10 m
  - Carrabiner/ cincin kait 2 buah
  - Karung
  - Phi band 2 buah
  - Meteran 1 buah
  - Tally sheet dan alat tulis
  
4. Untuk pengambilan sampel, bahan dan alat yang diperlukan meliputi:
  - Plastik sampel
  - Timbangan digital analitik dengan ketelitian 0,01gr atau timbangan digital 2000 gr
  - Spidol permanen
  
5. Untuk analisa laboratorium
  - Oven
  - Timbangan analitik
  - Gelas ukur
  - Wadah (bak) air
  - Keran air plastik
  - Amplop kertas A4 untuk tempat sampel serasah
  
6. Untuk penyusunan model
  - Komputer
  - Software Statistik atau Spread Sheet

## 5.1.2. Prosedur Pelaksanaan

### 5.1.2.1. Penentuan pohon dominan

Penentuan jenis pohon dominan dapat dilakukan dengan menganalisa indeks nilai penting dari data hasil inventarisasi keseluruhan. Jika data inventarisasi karbon hutan belum tersedia, penentuan jenis dominan dapat dilakukan melalui survey cepat yang dilakukan di lokasi rencana pengembangan persamaan alometrik.

Desain plot dapat disesuaikan dengan desain inventarisasi karbon hutan atau menggunakan metode analisis vegetasi yang relatif lebih cepat (Indrawan dan Soeryanegara, 2002).

Menurut Soerianegara dan Indrawan (2002), Indeks Nilai Penting (INP) dapat diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$\text{Kerapatan suatu jenis (K)} = \frac{\text{Total individu suatu jenis}}{\text{total luas seluru h plot}}$$

$$\text{Kerapatan relatif suatu jenis (KR)} = \frac{K * 100\%}{\text{Kerapatan seluru h jenis}}$$

$$\text{Frekuensi suatu jenis (F)} = \frac{\text{Jumla h plot ditemukannya suatu jenis}}{\text{Total luas seluru h plot}}$$

$$\text{Frekuensi relatif suatu jenis (FR)} = \frac{F * 100\%}{\text{Frekuensi seluru h jenis}}$$

$$\text{Dominansi suatu jenis (D)} = \frac{\text{Luas bidang dasar suatu jenis}}{\text{Total luas seluru h plot}}$$

$$\text{Dominansi realtif suatu spesies (DR)} = \frac{D * 100\%}{\text{Dominansi seluru h jenis}}$$

$$\text{Indeks Nilai Penting (INP)} = KR + FR + DR$$

Penghitungan INP dapat dilakukan pada tiap-tiap kelas pertumbuhan, sehingga dapat diketahui komposisi vegetasi pada berbagai kelas. Jenis dengan INP paling tinggi menjadi prioritas untuk dipilih sebagai pohon yang akan ditebang.

Selain keterwakilan jenis atau kelompok jenis, keterwakilan kelas diameter juga perlu diperhatikan untuk memilih pohon tebang dalam suatu tegakan. Pembagian kelas diameter dapat dibuat dengan selang diameter tiap 10 cm, atau berdasarkan tingkat pertumbuhannya: pancang ( $D < 10\text{cm}$ ), tiang ( $10\text{cm} \leq D < 20\text{cm}$ ), pohon kecil ( $20\text{cm} \leq D < 35\text{cm}$ ) dan pohon besar ( $D \geq 35\text{cm}$ ). Dari masing-masing kelas diameter diambil minimal 3 pohon yang akan dijadikan pohon contoh.

Perlu diperhatikan bahwa pohon besar memiliki kandungan karbon yang sangat besar, dan biasanya memiliki variasi yang besar pula antar pohon besar dengan diameter yang sama. Karena itu penting untuk mendapatkan pohon wakil dengan diameter besar, agar persamaan alometrik yang dibuat menjadi lebih akurat dan mewakili.

#### 5.1.2.2. Penebangan pohon contoh dan pembagian fraksi pohon

Penebangan pohon dilakukan dengan memperhatikan keselamatan anggota regu serta dengan cara yang meminimalisir kerusakan yang terjadi. Sebaiknya jika terdapat pohon besar yang akan ditebang, perkirakan arah rebah dan luasan dampaknya. Lakukan penebangan dan pengukuran dari pohon-pohon yang kemungkinan akan tertimpa pohon besar tersebut. Sehingga dengan kerusakan minimal, diperoleh data yang lebih banyak.

Pengukuran tinggi total pohon dilakukan setelah pohon contoh rebah. Tinggi total merupakan panjang total pohon contoh yang telah rebah hingga ujung tajuk ditambah panjang tunggak yang tersisa di tanah. Pengukuran tinggi bebas cabang juga dilakukan dengan mengukur panjang batang mulai dari tunggak hingga percabangan pertama yang mempengaruhi diameter batang.

Pembagian fraksi pohon contoh dilakukan untuk memisahkan bagian-bagian biomasa batang, cabang, ranting, daun dan bagian pohon yang mati. Definisi batang, cabang, ranting dan daun sesuai dengan definisi dalam SNI Pengukuran cadangan karbon. Namun ditambahkan pengkelasan diameter batang, cabang dan ranting agar pengambilan sampel untuk analisa laboratorium lebih terwakili.

- a) Batang merupakan bagian utama pohon yang menopang seluruh bagian pohon dan menghubungkan antara akar dengan tajuk (sesuai SNI Pengukuran Karbon). Batang termasuk tunggul hingga tinggi bebas cabang.
- b) Cabang merupakan bagian dari pohon yang tumbuh dari batang (SNI Pengukuran Karbon). Agar sampel yang diambil lebih mewakili, Cabang dipilah lagi ke dalam 3 kategori kelas diameter (Kettering dkk, 2001; Basuki dkk, 2009) yaitu:
  - Cabang Kecil ( $D < 3,2$  cm)
  - Cabang Sedang ( $3,2$  cm  $\leq$   $D < 6,4$  cm)
  - Cabang Besar ( $D \geq 6,4$  cm)
- c) Ranting merupakan bagian pohon yang tumbuh dari cabang (SNI Pengukuran Karbon). Sama seperti Cabang, Ranting juga dikelompokkan ke dalam 3 kategori kelas diameter:
  - Ranting kecil ( $D < 3,2$  cm)
  - Ranting sedang ( $3,2$  cm  $\leq$   $D < 6,4$  cm)
  - Ranting besar ( $D \geq 6,4$  cm)
- d) Daun merupakan bagian dari pohon yang berperan di dalam proses fotosintesis. Bagian daun yang dipisahkan dari ranting termasuk tangkai daun. Perhatikan apakah jenis daun tunggal atau majemuk, untuk memastikan posisi tangkai daun yang harus dipetik.
- e) Bunga dan buah juga dipisahkan jika cukup banyak atau memiliki berat jenis yang berbeda dengan daun. Jika sedikit, bunga dan buah dapat digabungkan ke dalam daun.
- f) Pada pohon besar sering dijumpai bagian pohon yang sudah mati. Biasanya dalam jumlah yang cukup banyak. Bagian pohon mati ini dipisahkan tersendiri untuk diukur dan diambil sampelnya.

#### 5.1.2.3. Penimbangan dan pengukuran berat basah

Semua fraksi sebelumnya telah dipisahkan ke dalam 11 kelompok:

1. Batang,
2. Cabang Kecil,
3. Cabang Besar,

4. Cabang Sedang,
5. Ranting Besar,
6. Ranting Sedang,
7. Ranting Kecil,
8. Daun,
9. Buah,
10. Bunga dan
11. Kayu Mati

Semua fraksi masing-masing ditimbang untuk mendapatkan berat basah total atau diukur volumenya. Untuk bagian batang, apabila timbangan tidak cukup untuk menimbang sekaligus, maka batang dibagi menjadi beberapa bagian sehingga cukup untuk ditimbang menggunakan timbangan yang tersedia.

Jika pohon yang ditebang berukuran DBH lebih dari 50 cm atau merupakan jenis komersil, sebaiknya dilakukan pengukuran volume batang agar kayu komersil tersebut masih dapat dimanfaatkan.

#### 5.1.2.4. Pengambilan dan penimbangan berat basah sub-sampel

##### a) Batang

Sub-sampel fraksi batang diambil dengan cara memotong melintang batang sehingga berbentuk cakram dengan ketebalan sekitar 3-5 cm. Jika terlalu besar, bisa dipotong lebih kecil menjadi  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{8}$  dan seterusnya. Pastikan bagian empulur dan kuliat bagian luar terwakili secara proporsional. SNI Pengukuran Cadangan Karbon mensyaratkan minimal 250 gr sub-sampel yang diambil. Timbang sub-sampel dengan timbangan digital, catat lalu simpan sampel dalam plastik sampel untuk dibawa ke laboratorium.

##### b) Cabang

Lakukan prosedur yang sama dengan fraksi batang dari tiap-tiap kelas ukuran (Cabang Besar, Cabang Sedang dan Cabang Kecil).

##### c) Ranting

Timbang dan catat semua ranting berdasarkan kelas ukurannya. Sub-sampel ranting dari tiap-tiap kelas ukuran diambil minimal 250 gram, dengan mempertimbangkan keterwakilan ukuran ranting.

d) Daun

Timbang semua daun dan catat berat basahnya. Sub-sampel daun diambil dengan berat minimal 250gram. Jika penimbangan daun dalam satu pohon dilakukan pada tingkat kelembaban yang berbeda, maka sub-sampel perlu diambil pada setiap tingkat kelembaban. Hal ini dapat terjadi jika pengukuran dilanjutkan pada hari berikutnya yang berbeda tingkat kelembabanya (misal terjadi hujan atau panas matahari yang menerpa daun secara langsung).

e) Bunga dan buah

Jika ada, timbang dan catat berat basah bunga dan buah. Jika cukup banyak, pisahkan buah dan bunga. Lalu ambil sampel dengan berat minimal 250 gram (jika memungkinkan).

#### 5.1.2.5. Analisis berat kering di laboratorium

a) Batang dan cabang

Contoh uji dari fraksi batang dan cabang atau diameter lebih dari 6,4 cm dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 80 °C selama 4 hari atau hingga mencapai berat konstan.

b) Ranting, daun, bunga dan buah

Sampel dari fraksi ranting, daun, bunga dan buah atau sampel dengan diameter kurang dari 6,4 cm dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 80 °C selama 2 hari atau hingga mencapai berat konstan.

Setelah sampel dikeringkan dalam oven, contoh uji didinginkan dulu dalam desikator atau didiamkan dalam oven selama beberapa jam. Kemudian sampel ditimbang dengan timbangan digital analitik dengan ketelitian minimal 2 desimal.

#### 5.1.2.6. Analisa berat jenis kayu

Untuk fraksi-fraksi berukuran besar yang tidak dapat ditimbang langsung di lapangan, biasanya dilakukan pengukuran volume. Karena itu diperlukan analisa berat jenis kayu untuk mendapatkan berat kering total. Pengukuran berat jenis kayu dapat mengikuti metode yang sudah ada (Chave, 2005; Basuki dkk, 2009). Berat jenis diperoleh dari nilai berat kering sampel dibagi volume sampel tersaturasi.

- Rendam sampel kayu dalam air selama 48 jam. Untuk sampel kayu yang kecil, bisa dilakukan selama 24 jam. Bahkan sampel hasil dari bor kayu, perendaman cukup dilakukan selama ½ jam (Chave, 2005).
- Ukur volume sampel kayu dengan metode “water displacement” atau mengukur volume sampel dengan perpindahan masa air. Siapkan sebuah gelas ukur berisi air yang cukup untuk memasukkan sampel kayu ke dalamnya. Perubahan volume air merupakan volume sampel kayu.
- Lakukan pengeringan dengan oven untuk mendapatkan berat kering, lihat sub bab 5.1.2.5.

Berat jenis dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$BJ = BK / V \text{ tersaturasi}$$

Dimana BK adalah berat kering sampel setelah dioven (gr) dan V tersaturasi adalah volume sampel yang sudah direndam dalam air hingga tersaturasi.

#### 5.1.2.7. Pemilihan model alometrik terbaik

Model atau persamaan alometrik biomasa yang biasa digunakan adalah dengan menerapkan diameter, tinggi dan berat jenis sebagai nilai penduga. Namun menggunakan diameter sebagai penduga tunggal, biasa digunakan karena relatif lebih mudah dikembangkan dan diterapkan. Di banyak kasus, sangat sulit melakukan pengukuran tinggi pohon pada hutan alam tropis secara akurat. Jika data input yang digunakan memiliki keakurasian yang rendah, maka pendugaan biomasa atau karbon secara total akan mengalami akumulasi bias yang besar. Karena itu, penentuan parameter atau penduga yang akan digunakan perlu disesuaikan dengan situasi yang ada.

Persamaan alometrik biomasa diperoleh dengan menghubungkan antara DBH pohon contoh (X) sebagai penduga dengan total biomasa seluruh bagian pohon contoh (Y).

$$\text{Biomasa} = f(\text{DBH})$$

Dengan menggunakan software spreadsheet (MS Excel) atau statistik (SPSS). Model persamaan terbaik biasanya dilihat dari nilai  $R^2$  yang tinggi dan RMSE yang rendah. Beberapa model matematika yang banyak digunakan untuk membuat

persamaan alometrik biomasa antara lain: *model linear, exponential, power function* dan *polinomial*.

SNI Pengukuran Cadangan Karbon menetapkan penggunaan DBH sebagai penduga dan memberikan ruang untuk memilih model matematika terbaik yang akan digunakan.

## 5.2. Pengembangan Persamaan Nekromasa untuk Pohon Mati

Pohon mati dibagi ke dalam 4 tingkat keutuhan (lihat sub bab 3.2.2), yaitu:

- A. Pohon mati tanpa daun,
- B. Pohon mati tanpa daun dan ranting,
- C. Pohon mati tanpa daun, ranting dan cabang dan
- D. Pohon mati yang sudah patah sehingga tidak diketahui batas bebas cabang, termasuk tunggul.

Engembangan persamaan alometrik untuk menduga nilai total biomasa pohon mati juga dapat dibedakan berdasarkan pengelompokan tersebut dengan menambahkan total Berat Batang (BBt), Berat cabang (BC), dan Berat ranting (BR).

$$\text{Pohon Mati A} = (\sum BBt + \sum BC + \sum BR) * \text{Faktor Dekomposisi}$$

$$\text{Pohon Mati B} = (\sum BBt + \sum BC) * \text{Faktor Dekomposisi}$$

$$\text{Pohon Mati C} = \sum BBt * \text{Faktor Dekomposisi}$$

Sedangkankan untuk Pohon Mati D, rumus penghitungan yang digunakan seperti dalam penghitungan bahan organik kayu mati yaitu:

$$\text{Bahan Organik} = \text{Volume} * \text{berat jenis kayu.}$$

Penghitungan Faktor Dekomposisi memerlukan penelitian dan analisa lanjutan mengenai kandungan bahan organik di laboratorium dari berbagai sampel batang, cabang dan ranting dari pohon mati yang dibandingkan dengan kandungan biomasa dari sampel pohon hidup yang memiliki jenis yang sama.

Jika penelitian tersebut belum tersedia, penghitungan biomasa pohon mati dapat menggunakan rumus alometrik pohon hidup dan mengintegrasikan faktor koreksi

sesuai tingkat keutuhan pohon. SNI Pengukuran Cadangan Karbon menggunakan faktor koreksi di bawah ini:

Pohon Mati A: dikalikan 0,9

Pohon Mati B: dikalikan 0,8

Pohon Mati C: dikalikan 0,7

Jika persamaan alometrik pohon hidup harus dibuat, maka persamaan alometrik untuk ketiga tipe pohon mati juga dapat dikembangkan secara lokal. Hal ini dapat dilakukan dengan menghubungkan DBH dengan total biomasa yang ada pada masing-masing tipe keutuhan.

### **5.3. Pengembangan Faktor Konversi dari Hubungan Empirik**

Pengukuran cadangan karbon dengan cara destruktif merupakan metode yang paling akurat, namun memerlukan konsekuensi yang tinggi terhadap biaya, waktu dan lingkungan. Karena itu metode inventarisasi karbon biasanya hanya mengukur parameter-parameter yang digunakan untuk menduga kandungan karbon pada sumber karbon tertentu. Bahkan pada tipe project tertentu, pengukuran karbon pada beberapa sumber karbon dapat diacuhkan.

Namun demikian, untuk menjaga tingkat keakurasian yang baik, khususnya pada sumber karbon penting, disarankan untuk mengembangkan persamaan atau faktor konversi yang dikembangkan berdasarkan hubungan empirik dari data pengukuran lokal secara destruktif pada sampel yang lebih kecil.

#### **5.3.1. Rasio Berat Kering/Berat Basah Serasah**

Untuk menghitung kandungan bahan organik atau karbon pada sebuah areal, biasanya tim hanya mengukur berat basah atau mencatat ketebalan dan tingkat kelembaban. Yang selanjutnya perlu dikonversi menjadi nilai kandungan bahan organik atau karbon. Karena itu diperlukan sebuah nilai atau faktor konversi yang terkait dengan hubungan antara rasio berat kering (BK) / Berat basah (BB) dengan tingkat kelembaban (lembab, sedang dan kering).

Sebanyak minimal 10 sampel serasah dikumpulkan dari masing-masing tingkat kelembaban (total 30 sampel) untuk dianalisa berat kering. Pengukuran berat

kering dapat dilihat pada sub bab 5.1.2.5. Rasio berat kering /berat basah dari masing-masing tingkat kelembaban dihitung dan dirata-rata.

### 5.3.2. Persamaan Biomasa Tumbuhan Bawah

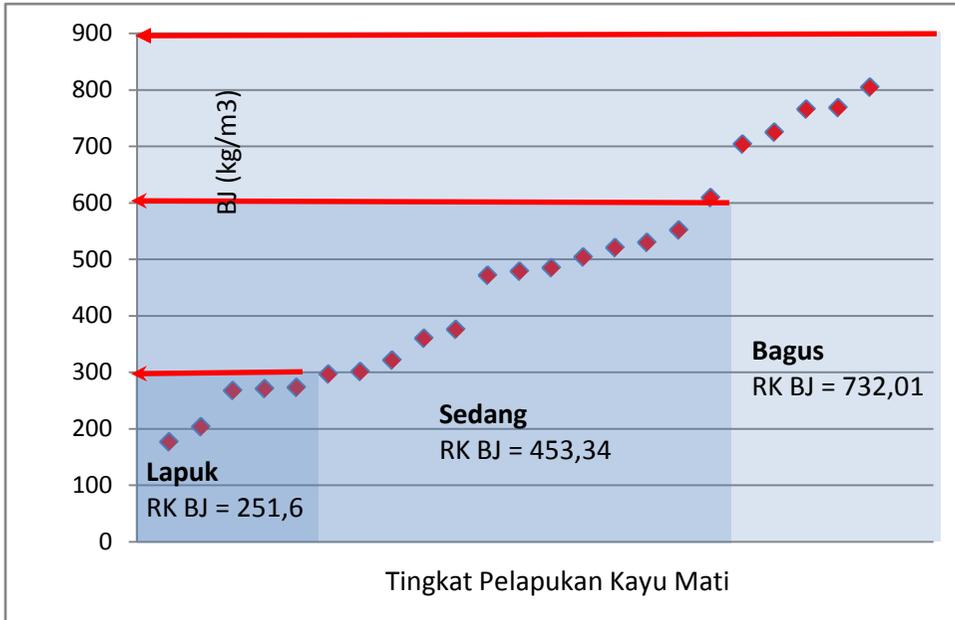
Pengukuran tumbuhan bawah relatif lebih sulit dan kompleks, mengingat variasi vegetasi yang tinggi. Parameter yang diukur pada saat inventarisasi karbon tumbuhan bawah adalah, ketinggian dan kerapatan tumbuhan bawah serta komposisi vegetasi.

Diperlukan analisa lanjutan untuk mengetahui hubungan antara parameter tersebut dengan total biomasanya. Total biomasa diperoleh dengan metode *destructive* pada sekitar 30 plot. Dengan model penduga lebih dari 1 (tinggi dan kerapatan), diperlukan software statistik untuk mengembangkan persamaan biomasa untuk tumbuhan bawah.

### 5.3.3. Berat Jenis Kayu mati

Kayu mati di hutan tropis alami merupakan salah satu sumber karbon yang cukup besar, khususnya di hutan bekas tebangan atau terdegradasi. Parameter yang diukur di lapangan bisa berupa: berat basah atau volume, serta tingkat pelapukan (Bagus, Sedang dan Lapuk).

Untuk itu diperlukan minimal 10 sampel kayu mati dari tiap tingkat pelapukan untuk dianalisa berat jenis (*wood density*) di laboratorium. Penghitungan berat jenis kayu bisa dilihat pada sub bab 5.1.2.6.



**Gambar 10. Rataan kuadrat berat jenis kayu mati dari berbagai tingkat pelapukan di hutan rawa gambut Merang**

Dari hasil uji laboratorium sampel kayu mati yang diperoleh dari data inventarisasi karbon hutan di kawasan hutan rawa gambut Merang, diperoleh sebaran berat jenis dari berbagai tingkat pelapukan. Untuk kemudahan penerapan di lapangan, selang berat jenis dari tiap tingkat pelapukan adalah:

- Lapuk: BJ < 300 dengan nilai Rataan Kuadrat : **251,6**
- Sedang : BJ antara 300 – 400 dengan nilai Rataan Kuadrat : **453,34**
- Bagus : BJ > 400 dengan nilai Rataan Kuadrat : **732,01**

Nilai Rataan Kuadrat Berat Jenis (RK BJ) selanjutnya digunakan sebagai nilai BJ dari masing-masing tingkat pelapukan.



## 6. Pendugaan Cadangan Karbon dan Penghitungan Nilai *Uncertainties*

### 6.1. Pendugaan Biomasa Atas Permukaan

#### 6.1.1. Model Alometrik Biomass Pohon

Sebagian besar karbon hutan di atas-permukaan berasal dari biomasa pohon. Tabel volume biomasa berdasarkan persamaan alometrik sangat membantu di dalam perhitungan biomasa dan karbon di atas tanah. Hal ini dikarenakan sulitnya pengukuran tinggi pohon selama inventarisasi hutan, sehingga menyebabkan kesalahan yang sangat besar jika digunakan untuk pendugaan karbon. Karena itu, persamaan alometrik meningkatkan akurasi pendugaan karbon dan memudahkan proses pelaksanaan inventarisasi hutan.

Beberapa persamaan alometrik yang dapat digunakan untuk hutan tropis telah disusun berdasarkan penelitian yang dilakukan secara global maupun lokal (lihat lampiran 1). Beberapa persamaan memerlukan data berat jenis kayu sebagai salah satu penduga biomasa total pohon (Kettering, 2005; Chave dkk, 2007). Data berat jenis pohon-pohon hutan tropis telah dikompilasi oleh ICRAF South East Asia: <http://www.worldagroforestry.org/sea> atau dalam lampiran Bab 4 dalam IPCC Guidelines (IPCC, 2006). Sedangkan data berat jenis pohon hutan rawa gambut Merang dapat dilihat di Lampiran 2.

Untuk menghitung total biomasa pohon menggunakan persamaan biomasa yang ada, dapat menerapkan prosedur di bawah ini:

1. Tentukan persamaan alometrik yang paling sesuai untuk diterapkan di wilayah kerja. Pilih persamaan yang dikembangkan berdasarkan tipe hutan yang serupa. Jika tidak ada, pilih persamaan generik yang dikembangkan dari data global, seperti persamaan yang dikembangkan oleh Chave (2005) atau Brown (1997).
2. Sebelum menerapkan pendugaan biomasa menggunakan persamaan allometrik yang ada, sangat dianjurkan untuk membandingkannya dengan data pengukuran langsung pada beberapa contoh pohon yang berada pada ekosistem hutan yang akan diukur. Jika terdapat perbedaan kurang dari 10%, maka persamaan tersebut dapat digunakan. Jika lebih dari 10%, sebaiknya menggunakan persamaan alometrik yang dikembangkan secara lokal (lihat Bab V).
3. Beberapa persamaan memerlukan tidak hanya DBH sebagai penduga, tetapi juga memerlukan Tinggi dan/atau berat jenis pohon. Pastikan parameter yang diperlukan tersebut diukur di lapangan.
4. Hitung biomasa semua pohon yang diukur pada kegiatan inventarisasi karbon hutan, dengan menggunakan persamaan terpilih.

### 6.1.2. Model Alometrik Biomasa Akar

Untuk pendugaan kandungan biomasa akar, terlalu sulit untuk dilakukan pengukuran di lapangan. Karena itu, dapat digunakan metode *root to shoot ratio* (RSR) atau rasio perbandingan antara biomasa akar (biomasa bawah permukaan) dengan biomasa atas permukaan (BAP). IPCC (2003) juga telah melampirkan tabel RSR global untuk pendugaan biomasa bawah permukaan (BBP).

Tabel 3. Rasio biomasa bawah permukaan dengan biomasa atas permukaan atau *root shoot rasio* (IPCC, 2006)

Ecological zone	Above-ground biomass	R [tonne root d.m. (tonne shoot d.m.) <sup>-1</sup> ]	References
Tropical rainforest		0.37	Fittkau and Klinge, 1973
Tropical moist deciduous forest	above-ground biomass <125 tonnes ha <sup>-1</sup>	0.20 (0.09 - 0.25)	Mokany <i>et al.</i> , 2006
	above-ground biomass >125 tonnes ha <sup>-1</sup>	0.24 (0.22 - 0.33)	Mokany <i>et al.</i> , 2006
Tropical dry forest	above-ground biomass <20 tonnes ha <sup>-1</sup>	0.56 (0.28 - 0.68)	Mokany <i>et al.</i> , 2006
	above-ground biomass >20 tonnes ha <sup>-1</sup>	0.28 (0.27 - 0.28)	Mokany <i>et al.</i> , 2006
Tropical shrubland		0.40	Poupon, 1980
Tropical mountain systems		0.27 (0.27 - 0.28)	Singh <i>et al.</i> , 1994

Pendugaan biomasa akar, secara teknis sangat sulit dilakukan. Karena itu penelitian mengenai model penduga kandungan biomasa akar pun sangat terbatas. Beberapa penelitian juga telah dilakukan untuk membangun persamaan alometrik akar di wilayah tropis:

$$BBP = \text{Exp} (-1,0587 + 0.8836 * \text{LN}(BAP)) \quad (\text{Cairns, et al, 1997})$$

### 6.1.3. Pendugaan Biomasa Tumbuhan Bawah, Palm dan Liana

Belum banyak penelitian yang dilakukan untuk menduga biomasa dari tumbuhan bawah, palem dan liana. Untuk menduga biomasa dari palem dan liana, dapat menggunakan persamaan alometrik yang telah dikembangkan sebelumnya (lihat lampiran 1). Namun persamaan yang tersedia perlu divalidasi untuk mengetahui keakurasiannya.

Selain tidak ditemukannya referensi mengenai persamaan penduga biomasa tumbuhan bawah (paling tidak sepengetahuan penulis), biomasa tumbuhan sangat tinggi variasinya dan dipengaruhi banyak faktor. Karenanya, persamaan pendugaan biomasa tumbuhan bawah sebaiknya disusun secara lokal. Hubungan antara parameter seperti: tinggi rata-rata, kerapatan dan jenis dominan dapat dikaitkan

dengan total biomasa per satuan luas. Selain itu, faktor tipe tutupan lahan, kemungkinan juga berpengaruh terhadap total biomasa tumbuhan bawah.

## 6.2. Pendugaan Nekromasa

### 6.2.1. Nekromasa Pohon Mati

Nekromasa atau bahan organik mati juga menyimpan karbon. Berbeda dengan pohon hidup, kandungan karbon dalam pohon mati cenderung akan semakin berkurang seiring dengan terjadinya proses dekomposisi. Karena itu, di dalam pendugaan nekromasa atau karbon pada pohon mati, penting untuk mempertimbangkan tingkat dekomposisi yang terjadi.

Belum banyak persamaan yang dikembangkan untuk menghitung kandungan nekromasa atau karbon pada pohon mati. Pendugaan kandungan karbon yang dilakukan di Amerika Serikat, hanya menggunakan asumsi sederhana mengenai tingkat dekomposisi yang digunakan untuk mengkonversi nilai karbon pada pohon hidup menjadi nilai karbon pohon mati (Jenkins dkk, 2003 dalam Smith dkk, 2002). Asumsi yang digunakan adalah:

1. Tingkat dekomposisi daun sebesar 100%
2. Tingkat dekomposisi cabang sebesar 33 %
3. Tingkat dekomposisi batang sebesar 10%
4. Tingkat dekomposisi akar sebesar 20%.

Persamaan umum tersebut digunakan untuk semua tipe pohon mati. Untuk meningkatkan tingkat keakurasian dalam pendugaan cadangan karbon pohon mati, kami mengelompokkan berdasarkan 4 tingkat keutuhan pohon mati. Pengelompokan tersebut secara tidak langsung juga mempertimbangkan periode dekomposisi yang terjadi. Dimana biasanya pohon mati tipe A merupakan pohon yang relatif baru mati, dibandingkan tipe lainnya.

Untuk menghitung cadangan nekromasa atau karbon pohon mati, dapat menggunakan persamaan alometrik untuk pohon hidup yang dikalikan dengan faktor koreksi atau dekomposisi sebesar 0,9; 0,8 dan 0,7 untuk pohon mati A, B dan C. Untuk menghitung pohon mati D, menggunakan rumus di bawah ini:

$$\text{NPM} = 0,25 \pi \left( \frac{D1+D2}{2*100} \right)^2 * T * RK \rho$$

Dimana:

NPM: Nekromasa Pohon Mati (kg)

$\pi = 22/7$

D1, D2 : Diameter pangkal dan ujung (cm)

T = Tinggi pohon (m)

RK  $\rho$  : Rataan Kuadrat Berat jenis kayu mati (kg/m<sup>3</sup>) lihat sub bab 5.3.6.

### 6.2.2. Nekromasa Kayu Mati

Pendugaan nekromasa kayu mati sama dengan perhitungan nekromas pohon mati di atas. Hanya saja, pengamatan dan pengukuran growong pada kayu rebah lebih memungkinkan, sehingga lebih meningkatkan keakurasian pendugaannya.

$$NKM = \left( \left( 0,25 \pi \left( \frac{D1+D2}{2*100} \right)^2 * P \right) - \left( 0,25 \pi \left( \frac{Dg1+Dg2}{2*100} \right)^2 * Pg \right) \right) * RK \rho$$

Dimana:

NKM : Nekromasa Kayu Mati (kg)

$\pi = 22/7$

D1, D2 : Diameter pangkal dan ujung (cm)

Dg1, Dg2 : Diameter growong pangkal dan ujung (cm)

P = Panjang kayu (m)

Pg = Panjang growong kayu (m)

RK  $\rho$  : Rataan Kuadrat Berat jenis kayu mati (kg/m<sup>3</sup>)

### 6.2.3. Nekromasa Serasah

Jika berat basah serasah diukur langsung di lapangan, pendugaan nekromasa dan karbon serasah relatif lebih sederhana. Dari hasil analisa laboratorium dari sampel yang dikumpulkan, diperoleh Rasio BK/BB (lihat sub bab 5.4.3). Rumus yang digunakan:

$$NS = RBKB * BB * 1000$$

NS: Nekromasa Serasah (kg)

RBKB: Rasio Berat Kering Basah serasah

BB: Berat Basah serasah (gr) dalam sub plot A

### 6.3. Pendugaan Rata-Rata Karbon

Jika sebagian besar analisa laboratorium hanya pada tingkat berat kering atau biomasa, bukan unit karbon, sebaiknya semua pendugaan total menggunakan unit biomasa. Analisa kadar karbon perlu dilakukan pada tahap lanjut, karena memerlukan metode dan alat khusus. Selain itu masih terdapat beberapa perbedaan metode yang digunakan untuk penentuan kadar karbon di Indonesia, sehingga untuk sementara disarankan untuk menggunakan nilai umum yang digunakan di tingkat global, yaitu sebesar 0,47 (IPCC, 2006). Karena itu, kedepan diharapkan penelitian kandungan karbon yang akurat dapat dilaksanakan untuk sampel dari hutan tropis Indonesia.

Semua sumber karbon yang diukur di lapangan, harus dihitung totalnya dalam masing-masing sub plot dan diekstrapolasi ke dalam satuan ton per hektar (ton/ha). Proses ekstrapolasi harus mempertimbangkan luasan sub plot. Sehingga untuk menghitung total biomasa dalam sebuah plot dapat menggunakan rumus berikut:

$$\text{BP plot} = ((\text{BP}_{\text{subplot B}}) * 10/\text{subplot B}) + ((\text{BP}_{\text{subplot C}}) * 10/\text{subplot C}) + ((\text{BP}_{\text{subplot D}}) * 10/\text{subplot D}) + ((\text{BP}_{\text{subplot E}}) * 10/\text{subplot E})$$

- BPplot : Total biomasa pohon dalam plot (ton/ha)
- BP<sub>subplot B</sub> : Total biomasa pohon pada subplot B (kg)
- BP<sub>subplot C</sub> : Total biomasa pohon pada subplot C (kg)
- BP<sub>subplot D</sub> : Total biomasa pohon pada subplot D (kg)
- BP<sub>subplot E</sub> : Total biomasa pohon pada subplot E (kg)
- subplot B : Luas Subplot B (m<sup>2</sup>)
- subplot C : Luas Subplot C (m<sup>2</sup>)
- subplot D : Luas Subplot D (m<sup>2</sup>)
- subplot E : Luas Subplot E (m<sup>2</sup>)

Biomasa atau nekromasa lainnya juga dapat dihitung dengan cara seperti di atas. Beberapa sumber karbon tidak diukur di semua sub plot, seperti serasah, tumbuhan bawah dan kayu mati.

Selanjutnya untuk menghitung biomasa rata-rata per stratum dilakukan dengan menggunakan rumus di bawah ini.

$$B_{\text{stratum}} = \frac{\Sigma \text{BPplot} + \Sigma \text{BAplot} + \Sigma \text{BLplot} + \Sigma \text{NPMplot} + \Sigma \text{NKMplot} + \Sigma \text{NSplot}}{N \text{ Plot stratum}}$$

$B_{stratum}$	: Rata-rata biomasa dan nekromasa dalam stratum-h (ton/ha)
$\Sigma BP_{plot}$	: Total Biomasa Pohon dari seluruh plot pada stratum-h(ton/ha)
$\Sigma BA_{plot}$	: Total Biomasa Akar dari seluruh plot pada stratum-h (ton/ha)
$\Sigma BL_{plot}$	: Total Biomasa Lain (tumbuhan bawah, liana, palm) dari seluruh plot pada stratum-h(ton/ha)
$\Sigma NPM_{plot}$	: Total Nekromasa Pohon mati dari seluruh plot pada stratum-h (ton/ha)
$\Sigma NKM_{plot}$	: Total Nekromasa Kayu mati dari seluruh plot pada stratum-h (ton/ha)
$\Sigma NS_{plot}$	: Total Nekromasa Serasah dari seluruh plot pada stratum-h (ton/ha)
N Plot stratum	: Jumlah plot dalam stratum-h

Untuk mengkonversi dari biomasa stratum dapat dihitung dengan mengalikan faktor konversi.

$$C_{Stratum} = B_{stratum} * CF$$

$C_{Stratum}$ : Rata-rata karbon pada stratum (ton/ha)

CF: Carbon Fraction atau kadar karbon (gunakan nilai 0,47)

#### 6.4. Penghitungan Nilai *Uncertainties*

Kesalahan di dalam pengukuran karbon terjadi pada berbagai tingkatan kegiatan, mulai saat desain sampling, pengukuran lapangan, penggunaan model alometrik, hingga klasifikasi citra satelit dan *scaling-up* (lihat tabel 4). Sebagian besar kesalahan tersebut relatif sulit dikuantifikasi.

IPCC GPG (2003) menyarankan penghitungan nilai *uncertainty* dengan rumus berikut:

$$\% U = \frac{\frac{1}{2}(CI\ 95\%)}{\bar{y}} * 100\%$$

Dimana %U adalah nilai *Uncertainty* dalam %, CI 95% adalah lebar selang kepercayaan pada 95%. dan  $\bar{y}$  adalah rata-rata cadangan biomasa atau karbon.

Tabel 4. Jenis kesalahan (error) yang terjadi dalam pendugaan karbon

No	Jenis Kesalahan	Kelompok Kegiatan	Dampak	Intervensi Pengurangan
1	Kesalahan pengukuran	Emission factor	Kesalahan secara sistematis akibat alat; dan secara acak akibat kesalahan oleh pengukur	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menyediakan peralatan survey yang baik</li> <li>- Menyediakan panduan yang jelas dan memberikan pelatihan sebelumnya</li> </ul>
2	Kesalahan model ekspansi biomassa atau persamaan alometrik	Emission factor	Bisa sistematis atau acak	Mengembangkan persamaan alometrik lokal yang lebih akurat
3	Kesalahan sampling	Emission factor	Acak	Tingkatkan jumlah dan luas plot
4	Kesalahan koreksi citra	Activity data	Sistematis	Standarisasi citra yang digunakan
5	Kesalahan klasifikasi	Activity data	Sistematis dan acak	Menerapkan plot acak untuk ground truthing serta jumlah plot lebih banyak
5	Data entry dan kalkulasi	Emission factor	Sulit dinilai	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kepala regu dilatih melakukan validasi langsung di lapangan. Penerapan mekanisme <i>self validation</i> pada program data entry.</li> <li>- Menyediakan lembar tally sheet yang lengkap dan jelas.</li> </ul>
6	Scale up	Activity data dan emission factor	Sistematis dan acak	Mengembangkan program penghitungan secara otomatis untuk menghindari

			kesalahan acak
--	--	--	----------------

Penghitungan nilai *uncertainty* juga secara lebih rinci telah banyak dikembangkan dan diterapkan pada aplikasi inventarisasi tegakan hutan (Avery dan Burkhart, 2002). Penghitungan *standard deviation* (*s*) dilakukan dengan menggunakan rumus:

$$s = \sqrt{\frac{\sum y^2 - (\sum y)^2/n}{n-1}} \text{ atau setara dengan } = \sqrt{\frac{\sum (y-\bar{y})^2}{n-1}}$$

dimana *y* adalah nilai per plot dan  $\bar{y}$  adalah nilai rata-rata potensi, sedangkan *n* adalah jumlah plot. Selanjutnya *standard error* ( $S_{\bar{y}}$ ) dapat dihitung dengan cara:

$$S_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{s^2}{n}} \text{ atau } = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Selanjutnya selang kepercayaan dapat dihitung dengan cara:

Nilai rata-rata  $\pm t$  \*(standard error) atau  $\bar{y} \pm tS_{\bar{y}}$

Nilai *t* diperoleh dari tabel *t*-student atau biasanya digunakan angka 2. Sedangkan untuk menghitung persen standard error atau % *uncertainty*:

$$SE\% = \frac{tS_{\bar{y}}}{\bar{y}} * 100$$

Untuk menghitung variasi antar plot (*Coefficient of Variation* -CV) dapat menggunakan rumus di bawah:

$$CV\% = \frac{S * 100}{\bar{y}}$$

### 6.5. Pendugaan Cadangan Karbon dalam sebuah Areal Project

Untuk mengitung total cadangan karbon dalam sebuah areal, selain memerlukan data rata-rata karbon per hektar dari stratum-stratum yang ada, juga memerlukan data luasan tiap-tiap stratum. Data hasil pendugaan karbon di areal MRPP (Solichin dkk, 2011b) digunakan dalam contoh perhitungan di bawah.

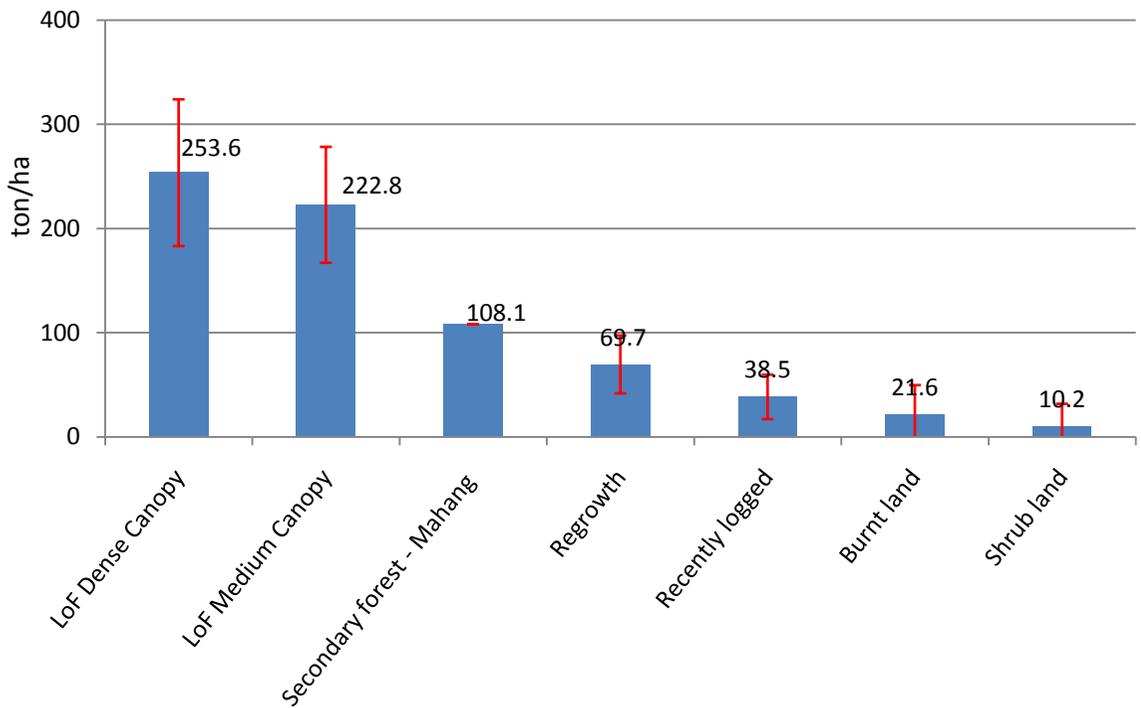
Hasil klasifikasi citra Landsat tahun 2008 pada areal MRPP, digunakan sebagai dasar untuk stratifikasi. Diperoleh 8 kelas tutupan lahan. Klasifikasi tersebut

dilakukan lebih detail dibandingkan kelas tutupan lahan yang ditetapkan dalam SNI Kelas Tutupan Lahan hasil klasifikasi citra optis, yang hanya diperoleh 4 kelas tutupan lahan di areal MRPP (tabel 5). Penghitungan total cadangan karbon di areal MRPP akan dilakukan dengan menggunakan kedua data tutupan lahan sebagai perbandingan.

Tabel 5. Kelas tutupan lahan di areal MRPP

No	Kelas Tutupan Lahan / Stratum	Kelas Tutupan Lahan sesuai SNI	Luas (ha)
1	Hutan bekas tebangan – kanopi rapat	Hutan rawa sekunder	3054
2	Hutan bekas tebangan – kanopi sedang		5950
3	Hutan sekunder – mahang dan gelam		139
4	Belukar	Semak belukar rawaa	4393
5	Semak		1308
6	Rumput dan pakis	Rumput	1305
7	Lahan Terbuka	Tanah Terbuka	3534
8	Lahan Terbakar atau baru ditebang		3802

Dari data hasil pengukuran lapangan dan pendugaan biomasa dari areal project MRPP diperoleh rata-rata kandungan karbon per hektar pada setiap stratum. Untuk keperluan perbandingan, dilakukan juga penghitungan rata-rata biomasa dari kelas tutupan lahan berdasarkan SNI (tabel 5). Berdasarkan pengkelasan tutupan lahan SNI, diperoleh 4 kelas tutupan lahan yang juga merupakan generalisasi atau penggabungan dari beberapa kelas tutupan lahan yang dapat dibedakan dari citra satelit di wilayah project.



Gambar 11. Nilai dugaan rata-rata biomasa tiap stratum di areal MRPP (Solichin dkk, 2011b)

Gambar 11 merupakan grafik yang menggambarkan nilai dugaan rata-rata biomasa tiap stratum (dari kelas tutupan lahan yang lebih detail). Sedangkan nilai dugaan rata-rata biomasa dengan menggunakan kelas tutupan lahan SNI dapat dilihat di tabel 5. Data tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung total cadangan karbon di seluruh area; dengan menggunakan rumus:

$$C_{total} = (\sum_{ij} A_{ij} * B_{ij}) * CF$$

Dimana  $C_{total}$  adalah total cadangan karbon di suatu areal,  $A_{ij}$  adalah luas stratum- $i$  hingga stratum- $h$ ,  $B_{ij}$  adalah rata-rata biomasa dari stratum ke- $i$  hingga stratum ke- $j$ , dan  $CF$  adalah fraksi karbon dengan nilai 0,47.

Tabel 6. Total cadangan karbon dari berbagai tutupan lahan di areal MRPP

No	Tutupan Lahan	Luas (Ha)	Biomassa Pohon (ton/ha)	Biomasa Pohon Stratum SNI (ton/ha)	Total Cadangan Karbon (ton)	Total Cadangan Karbon Stratum SNI (ton/ha)
1	Hutan bekas tebangan – kanopi rapat	3.054	253,60	223,94	364.012	321.439
2	Hutan bekas tebangan – kanopi sedang	5.950	222,79	223,94	623.032	626.248,2
3	Hutan sekunder – mahang dan gelam	139	108,12	223,94	7.063	14.630
4	Belukar	4.393	69,70	54,81	143.910	113.166,8
5	Semak	1.308	15,35	54,81	9.437	3.3695
6	Rumput dan pakis	1.305	0,00	0,00	0	0
7	Lahan Terbuka	3.534	21,57	35,08	35.827	58.267,18
8	Lahan Terbakar atau baru ditebang	3.802	38,46	35,08	68.726	62.685,86
9	Tubuh air	49	0,00	0,00	0	
	<b>TOTAL</b>	<b>24.211</b>			<b>1.252.008</b>	<b>1.230.132</b>

Sehingga berdasarkan rumus tersebut, total cadangan karbon di areal MRPP diperkirakan sebesar 1,252 juta ton karbon. Dapat dilihat terjadi perbedaan jika kita menentukan kelas tutupan lahan atau stratifikasi dengan cara yang berbeda. Penghitungan total cadangan karbon yang didasari atas klasifikasi sesuai SNI memiliki total cadangan karbon sebesar 1,230 juta ton kurang dari 2% lebih sedikit.



## 7. Penutup

Pada tingkat proyek, pengukuran karbon seharusnya dilakukan dengan tingkat keakurasian yang tinggi atau dikenal dengan Tier 3 dalam panduan IPCC. Tier 3 mewajibkan prosedur pengukuran karbon langsung dilapangan, menggunakan model yang dikembangkan secara akurat, serta melibatkan berbagai metode untuk pemantauannya. Panduan pengukuran dan pendugaan cadangan karbon hutan ini dapat digunakan untuk mendapatkan keakurasian sesuai dengan Tier 3.

Namun demikian, di dalam penetapan emisi *baseline*, beberapa prosedur atau langkah-langkah perlu dilakukan, mulai dari pendugaan karbon di tingkat pohon, inventarisasi karbon hutan, pendugaan cadangan karbon di tingkat lansekap hingga emisi *baseline* yang terjadi berdasarkan perubahan lahan secara historis. Sehingga untuk mencapai Tier 3 secara keseluruhan diperlukan upaya-upaya lain yang lebih meningkatkan keakurasian, seperti mengembangkan persamaan alometrik lokal, membuat model pertumbuhan riap berdasarkan petak ukur permanen lokal, ataupun pemetaan perubahan tutupan lahan dengan resolusi yang lebih tinggi.

Peningkatan keakurasian dapat dilakukan dengan penelitian-penelitian lebih lanjut, khususnya terkait dengan pengembangan persamaan serta faktor konversi untuk menghitung parameter yang mudah diukur di lapangan dengan total biomasa keseluruhan. Variasi yang tinggi dari ekosistem hutan tropis, baik dari segi tipe hutan maupun jenis pohon, menyebabkan tingginya variasi dalam potensi karbon hutan. Karena itu masih banyak ruang untuk peningkatan akurasi untuk pendugaan karbon hutan. Selain itu, peningkatan keakurasian pengukuran karbon hutan juga dapat dilakukan dengan memberikan pelatihan kepada regu pengukur untuk menjamin konsistensi di dalam menerapkan prosedur-prosedur survey.

Masih banyak pekerjaan agar metode penghitungan emisi baseline di tingkat nasional menjadi lebih standard sehingga hasilnya lebih akurat dan dapat diperbandingkan. Penyusunan SNI Pengukuran Cadangan Karbon merupakan langkah penting agar semua project REDD di Indonesia memiliki data yang diperoleh mengikuti standard dan konsisten sehingga dapat diperbandingkan satu dengan yang lainnya.

## Daftar Pustaka

- Agus, F. (2008). *Panduan metode pengukuran karbon tersimpan di lahan gambut*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Avery and Brukhart, 2002. *Forest Measurements*. McGraw-Hills series in Forest Resources. 5th Edition.
- Basuki, T.M., van Laake, P.E., Skidmore, A.K. and Hussin, Y.A. (2009). Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests.
- Brown S, 1997. *Estimating biomass and biomass change of tropical forests, a primer*. FAO Forestry paper No. 134. FAO, Rome, 55 pp.
- Brown, S. 1999. *Guidelines for inventorying and monitoring carbon offsets in forest-based projects*. Winrock International.
- Chairns, M.A., Brown, S., Helmer, E.H., and Baumgardner, G.A. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forest. *Oecologia*. 111: 1-11. Doi:10.1007/s004420050201.
- Chave, J., C. Andalo, S. Brown, M. A. Cairns. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in the tropical foest. *Oecologia* (2005) 145: 87–99 DOI 10.1007/s00442-005-0100-x
- Gehring, C., S. Park and M. Denich. 2004. Liana Allometric Biomass Equations for Amazonian Primary and Secondary Forest. *Forest Ecology and Management* (2004) 195:69-83
- GOFC-GOLD. 2009. *Reducing greenhouse gas emissions from deforestation and degradation in developing countries: a sourcebook of methods and procedures for monitoring, measuring and reporting*. GOFC-GOLD Report version COP14-2 (GOFC-GOLD Project Office, Natural Resources Canada, Alberta, Canada).
- Hairiah, K., Ekadinata, A., Sari, RR. dan Rahayu, S. 2011. *Pengukuran Cadangan Karbon: dari tingkat lahan ke bentang lahan*. Petunjuk Praktis. Edisi Kedua. Bogor, World Agroforestry Centre, ICRAF SEA Regional Office, University of Brawijaya (UB), Malang, Indonesia xx p.

- Hinrichs, A., R. Ulbricht, S. Soedirman dan Solichin. 1998. Panduan Survey Orientasi di Areal HPH untuk Pengelolaan Hutan Lestari. SFMP Document No 8(1998). Sustainable Forest Management Project GTZ-Dephut.
- Husch, B., T.W. Beers and J.A. Kershaw. 2003. Forest Mensuration. John Wiley & Sons. 4th edition.
- IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.
- IPCC. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme.
- Kauffman, J.B and Donato, D. 2010. Protocols for the Measurement, Monitoring and Reporting of Structure, Biomass, and Carbon Stocks in Mangrove Forests.
- Kemenuh. 2007. Pedoman Inventarisasi Hutan Menyeluruh Berkala (IHMB) pada Usaha Pemanfaatan Hasil Hutan pada Hutan Produksi. Permenhut 34/2007.
- Kettering, Q. M., R. Coe, M. van Noordwijk, Y. Ambagau. C. A. Palm. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management*. Elsevier.
- MacDicken, K.G. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Winrock International.
- Murdiyarmo, D. Upik Rosalina, Kurniatun Hairiah, Ili Muslihat, I N.N. Suryadiputra dan Adi Jaya. 2004. Petunjuk Lapangan: Pendugaan Cadangan Karbon pada Lahan Gambut. Proyek Climate Change, Forest and Peatlands in Indonesia. Wetlands International – Indonesia Program dan Wildlife Habitat Canada. Bogor Indonesia.
- Pearson, T., S. Walker and S. Brown. 2005. Sourcebook for Land Use, Land-Use Change and Forestry Projects. Winrock International

- Ravindranath N. H. and M. Ostwald. 2008. Carbon Inventory Methods: handbook for Greenhouse Gas Inventory, Carbon Mitigation and Roundwood Production Projects.
- Samalca, I.K. 2007. Estimation of Forest Biomass and its Error, A case in Kalimantan, Indonesia. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation. Netherland
- Soerianegara, I. dan Indrawan, A. 2002. Ekologi Hutan Indonesia. Laboratorium Ekologi Hutan Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Solichin, KH Steinmann, AD Saputra, M Iqbal. 2011. Forest Monitoring and Carbon Accounting: Measuring and monitoring carbon stock in the Merang Peat Swamp Forest. MRPP-GIZ. Palembang
- Solichin, M. Lingenfelder and K.H. Steinmann. 2011. Tier 3 Biomass Assessment for Baseline Emission in Merang Peat Swamp Forest. International Conference on Tropical Wetlands of Indonesia, Bali 11-14 April 2011. CIFOR
- Solichin. 2009. Panduan Inventarisasi Karbon Hutan: Study kasus di hutan rawa gambut Merang, Sumatera Selatan. Merang REDD Pilot Project-GIZ. Palembang
- Solichin, B. Firman, R. Bagyono dan P. Kimman. 2007. *Pemetaan Daerah Rawan Kebakaran*. Palembang: South Sumatra Forest Fire Management Project. Palembang
- Smith JE, LS Heath and J C Jenkins. 2002. Forest Volume-to-Biomass Models and Estimates of Mass for Live and Standing Dead Trees of U.S. Forests. USDA Forest Service.
- Walker SM, Person TRH, Harris N, MacDicken K, and Brown S. 2008. Terrestrial Carbon Measurement Standard Operating Procedures. Winrock International

Lampiran 1. Persamaan Alometrik

- $BP = 0,118 D^{2,53}$  hutan tropis lembab dengan CH antara 1500-4000 mm per tahun (Brown, 1997)
- $BP = \rho * \exp (-1,239 + 1.980 \ln (D) + 0.207 (\ln (D))^2 - 0.0281 (\ln(D))^3)$  untuk hutan basah berdasarkan data hasil penelitian hutan tropis di seluruh dunia (Chave, 2005).
- $\ln(BP) = c + \alpha \ln (DBH)$  berdasarkan penelitian di Berau Kaltim, untuk beberapa kelompok jenis dipterocarpaceae (Basuki et al, 2009)
- $BP=0,2902 (D)^{2,313}$  berdasarkan penelitian di Labanan untuk jenis campuran (Samalca, 2007)
- $BP=0,1021 D^{2,517}$  (hutan alam gambut Merang; Max D = 102,9; n = 54)
- $BP = 0,1236 D^{2,3677}$  (pioneer hutan gambut Merang; Max D = 35,2 n = 22)
- $BP = 0,0417 D^{2,6576}$  (Pinus, Waterloo 1995 dalam Hairiah dkk, 2011)

Dibawah ini merupakan persamaan allometrik yang dikompilasi oleh Komiyama untuk hutan mangrove (2008).

Jenis	N	D max	H max	Persamaan
General Equation	84	42		$B = 0.0509 * \rho * (D)^2 * ht$
Bruguiera gymnorrhiza	325	132.0	34	$0.0464 * (D^2 H)^{0.9427} * \rho$
Sonneratia alba	345	323.0	42	$0.0825 * (D^2 H)^{0.89966} * \rho$
Rhizophora apiculata	193	60.0	35	$0.0444 * (D^2 H)^{0.96842} * \rho$
Rhizophora mucronata	73	39.5	21	$0.0311 * (D^2 H)^{1.00741} * \rho$
Rhizophora spp.	265	60.0	35	$0.0375 * (D^2 H)^{0.98626} * \rho$
Lumnitzera littorea	20	70.6	19	$0.0214 * (D^2 H)^{1.05655} * \rho$
Xylocarpus granatum	115	128.5	31	$0.0830 * (D^2 H)^{0.89806} * \rho$

Ket: BP: Biomasa Pohon (kg per pohon)  
 ρ : Berat jenis pohon (g/cm<sup>3</sup>)  
 D : Diameter setinggi dada (cm)  
 H : Tinggi pohon

Estimasi biomasa liana (BL) dapat menggunakan persamaan alometrik yang dikembangkan oleh Gehring dkk (2004) dengan menggunakan diameter (D) serta panjang (L):

Persamaan	Adjusted R <sup>2</sup>	Range
$BL = \text{Exp}(-7,114) * D^{2,276}$	0,73	D dalam mm : 1 – 134 mm
$BL = \text{Exp}(-6,105) * D^{1,413} * L^{0,997}$	0,91	L dalam m : 0,18 – 64 m

Sedangkan untuk menduga biomasa palem (BPlm), dapat menggunakan salah satu rumus di bawah ini yang menerapkan diameter (D) atau tinggi (H) sebagai penduga:

- $BPlm = \text{exp}(-2,134) * D^{2,530}$  (Brown, 1997)
- $BPlm = 4,5 + (7,7 * H)$  (Frangi dan Lugo, 1985 dalam Hairiah dkk, 2011)

## Lampiran 2. Daftar pohon di hutan rawa gambut merang

No	Nama Merang	Nama Perdagangan	Famili	Nama Latin	WD (g/cm <sup>3</sup> )	Terapung = 1 tenggelam = 2	1=Keras 2=sedang 3=lunak
1	Angat-angat		Magnoliaceae	<i>Michelia</i> sp	0,49	1	2
2	Antui		Annonaceae	<i>Cyathocalyx bancanaus</i> Boerl.	0,56	1	3
3	Arang-arang	Malam k	Ebenaceae	<i>Diospyros macrophylla</i> Bl		2	3
4	Balam	Nyatoh	Sapotaceae	<i>Palaquium confertum</i> M J L	0,69	2	
5	Balam Seminai	Nyatoh	Sapotaceae	<i>Palaquium ridleyi</i> K et G	1,04	2	1
6	Banditan	Kayu Tepis	Annonaceae	<i>Polyalthia hypoleuca</i> Hook. F. & Thomson	0,8	2	
7	Bangun-bangun		Rutaceae	<i>Melicope glabra</i>		1	3
8	Beluluk		Ebenaceae	<i>Diospyros maingayi</i> (Hiern) Bakh.	1,03		1
9	Beringin		Ebenaceae	<i>Diospyros laevigata</i> Bakh.			1
10	Biawak		Myristicaceae	<i>Myritica iners</i> Blume	0,53	1	3
11	Bujing					2	
12	Cemetik Rawang		Euphorbiaceae	<i>Ptychopyxis costata</i> Miq.		2	1
13	Cempedak Air		Moraceae	<i>Artocarpus teysmannii</i> Miq.	0,5	2	2
14	Darah Kero		Myristicaceae	<i>Horsfieldia glabra</i> (Blume) Warb	0,58	1	

No	Nama Merang	Nama Perdagangan	Famili	Nama Latin	WD (g/cm <sup>3</sup> )	Terapung = 1 tenggelam = 2	1=Keras 2=sedang 3=lunak
15	Darah-darah		Myristicaceae	<i>Gymnacranthera paniculata</i> Warb		1	3
16	Durian Payo	Durian	Bombacaceae	<i>Durio carinatus</i> Masters	0,58	1	2
17	Gaharu Buaya	Gaharu	Thymelaeaceae	<i>Gonystylus bockenbergii</i> Viels	0,63	1	
19	Gasing		Fagaceae	<i>Quercus sundaicus</i>	0,79	2	1
20	Gelam		Myrtaceae	<i>Melaleuca cajuputi</i> Powell			
21	Gelam Tikus		Myrtaceae	<i>Syzygium lanceolatum</i>		2	
22	Gula-gula		Clusiaceae	<i>Calophyllum macrocarpum</i> Hook. F.			1
23	Jangkang		Annonaceae	<i>Xylophia altissima</i> Bl.	0,45	1	3
24	Jelutung Rawa		Apocynaceae	<i>Dyera costulata</i> (Miq.) Hook.f.	0,43	1	3
25	Jurung		Linaceae	<i>Ixonanthes grandifolia</i> Boerl	0,72	2	
26	Kapak Anjing		Bombacaceae	<i>Adinandra sanosanthera</i>	0,60	1	2
27	Katur		Icacinaceae	<i>Uranda secundiflora</i> O Ktze	0,63	2	
28	Kayu ara		Moraceae	<i>Ficus sp</i>	0,29		3
29	Kayu Batu		Linnaceae	<i>Ctenolophon parvifolium</i> Oliv	0,89		1

No	Nama Merang	Nama Perdagangan	Famili	Nama Latin	WD (g/cm <sup>3</sup> )	Terapung = 1 tenggelam = 2	1=Keras 2=sedang 3=lunak
30	Kayu damar	Kenari	Burseraceae	<i>Canarium intermedium</i> H J L	0,78		1
31	Kayu Kapas	Sindur	Caesalpiniaceae	<i>Sindora bruggemanii</i> De Wits	0,67	2	3
32	Kayu Labu	Labu	Euphorbiaceae	<i>Endospermum malaccense</i> Muell Arg	0,45	1	3
33	Kayu Tayi		Burseraceae	<i>Canarium patentinervium</i> Miq.			2
34	Kelat	Jambu-jambu	Myrtaceae	<i>Eugenia</i> sp	0,87	2	1
35	Kelat Jambu	Jambu-jambu	Myrtaceae	<i>Eugenia</i> sp	0,91	2	1
36	Kelat Lapis		Myrtaceae	<i>Syzygium ochneocarpum</i> (Merr.) Merr. & L. M. Perry		2	1
37	Kelat Merah		Myrtaceae	<i>Syzygium palembanicum</i>		2	
38	Kelat Putih	Jambu-jambu	Myrtaceae	<i>Eugenia</i> sp	0,83	2	1
40	KerANJI	KerANJI	Caesalpiniaceae	<i>Dialium platysepalum</i> Baker		1	1
41	Kerupuk	Perupuk	Celastraceae	<i>Lophopetalum beccarianum</i> Pierre	0,64	1	3
42	Ketiau	Nyatoh	Sapotaceae	<i>Ganua motleyana</i> Pierre	0,56	1	2
43	Kopi-kopi		Rubiaceae	<i>Rothmannia grandis</i> (Korth.) Val.		2	1
44	Kunyitan		Thymelaeaceae	<i>Aquilaria malaccensis</i> Lamk?	0,34	2	1

No	Nama Merang	Nama Perdagangan	Famili	Nama Latin	WD (g/cm <sup>3</sup> )	Terapung = 1 tenggelam = 2	1=Keras 2=sedang 3=lunak
45	Lempanai		Euphorbiaceae	<i>Pimeleodendron griffithianum</i> (Muell. Arg.) Hook. F.		1	2
46	Macang beruk		Anacardiaceae	<i>Mangifera torquenda</i> Kosterm.		1	2
47	Mahang Ketam		Euphorbiaceae	<i>Macaranga sp</i>		1	3
48	Mahang Putih		Euphorbiaceae	<i>Macaranga pruinosa</i> Muell Arg	0,39	1	3
49	Makai hitam		Annonaceae	<i>Mezzetti parviflora</i> Becc	0,61	1	
50	Makai putih		Annonaceae	<i>Polyalthia sumatrana</i> (Miq.) Kurz		1	2
51	Maryawoh		Rosaceae	<i>Parastemon urophyllum</i> ADc	1,04	2	1
52	Medang Beruang	Medang	Lauraceae	<i>Notaphoebe sp</i>	0,57	1	
53	Medang Bujuk	Medang	Lauraceae	<i>Cryptocaria sp</i>	0,45	1	3
54	Medang Keladi	Medang	Lauraceae	<i>litsea sp</i>	0,38	1	3
55	Medang Kuning	Medang	Lauraceae	<i>Litsea firma</i> (Blume) Hook.f.	0,56	1	3
56	Medang Liut	Medang	Lauraceae	<i>Alseodaphne oblanceolata</i> (Merr.) Kosterm.		2	2
57	Medang Pelam	Medang	Lauraceae	<i>Cryptocaria griffithiana</i> Wight			3
58	Medang Putih	Medang	Lauraceae	<i>Cinnamomum parthenoxylon</i> (jack) Meisn		1	3
59	Medang Sulung	Medang	Magnoliaceae	<i>Magnolia bintuluensis</i> (A. Agostini) Noot.		1	3

No	Nama Merang	Nama Perdagangan	Famili	Nama Latin	WD (g/cm <sup>3</sup> )	Terapung = 1 tenggelam = 2	1=Keras 2=sedang 3=lunak
60	Medang Tanah	Medang	Lauraceae	<i>Dehaasia cuneata (Blume) Blume</i>	0,77	2	2
39	Mengris	Kempas	Fabaceae	<i>Koompassia malaccensis</i> Maingay ex Benth.	950	2	1
61	Meranti Batu	Meranti	Dipterocarpaceae	<i>Shorea dasyphylla</i> Foxw			
62	Meranti Bungo	Meranti Merah	Dipterocarpaceae	<i>Shorea gibbosa</i> Brands	0,51	1	
63	Meranti Kelungkung	Meranti Merah	Dipterocarpaceae	<i>Shorea uliginosa</i> Foxw	0,64	1	
64	Meranti Merawan	Meranti Merah	Dipterocarpaceae	<i>Shorea teysmania</i> Dyer	0,59	1	
65	Meranti Payau	Meranti Merah	Dipterocarpaceae	<i>Shorea dasyphylla</i> Foxw	0,51	1	2
66	Nangoi		Clusiaceae	<i>Calophyllum sclerophyllum</i> Vesque			2
67	Pabung	Terentang	Anacardiaceae	<i>Camptosperma macrophylla</i> Hook f	0,48		3
68	Pais	Malam k.	Meliaceae	<i>Diospyros siamang</i> Bakh.	0,65		2
69	Parak	Merdondong	Burseraceae	<i>Santiria leavigata</i> Blume	0,61		1
70	Pelawan	Pelawan	Myrtaceae	<i>Tristania whitcana</i> Griff	1,08		1
71	Pepahit		Simaroubaceae	<i>Quasia borneensis</i>		1	2

No	Nama Merang	Nama Perdagangan	Famili	Nama Latin	WD (g/cm <sup>3</sup> )	Terapung = 1 tenggelam = 2	1=Keras 2=sedang 3=lunak
72	Piyuta		Meliaceae	<i>Amoora</i> sp	0,73	2	1
73	Pulai	Pulai	Apocynaceae	<i>Alstonia pneumatophora</i> Backer ex den Berger	0,34	1	3
74	Punak	Punak	Theaceae	<i>Tetramerista glabra</i>		2	2
75	Rambe Ayam		Euphorbiaceae	<i>Aporosa arborea (Blume)</i> Muell. Arg.	0,59	1	2
76	Ramin	Ramin	Thymelaeaceae	<i>Gonystylus bancanus</i> (Miq.) Kurz	0,63	1	2
77	Rengas Burung	Rengas	Anacardiaceae	<i>Melanorrhoea wallichii</i> Hook f	0,66		2
78	Rengas Lempuing		Anacardiaceae	<i>Mangifera quadrifida</i> Jack		1	2
79	Resak	Resak	Dipterocarpaceae	<i>Vatica wallichii</i> Dyer	0,63	1	
80	Resak Putih		Dipterocarpaceae	<i>Vatica venulosa</i>		2	3
81	Ridan		Sapindaceae	<i>Nephelium maingayi</i> Hiern		2	1
82	Samak		Euphorbiaceae	<i>Glochidion superbum</i> Baillon. Ex Müll. Arg.	0,77	2	1
83	Seluai	Kasai	Sapindaceae	<i>Pometia alnifolia</i> Raldk	0,87	2	
84	Semeragi		Rhizophoraceae	<i>Carallia brachiata</i> (Lour.) Merr		2	1
85	Siamang	Malam k.	Ebenaceae	<i>Diospyros macrophylla</i> Blume	0,66		2
86	Sijau		Ulmaceae	<i>Gironniera subaequalis</i> Planch	0,59		

No	Nama Merang	Nama Perdagangan	Famili	Nama Latin	WD (g/cm <sup>3</sup> )	Terapung = 1 tenggelam = 2	1=Keras 2=sedang 3=lunak
87	Simpur	Sempur	Dilleniaceae	<i>Dillenia eximia</i> miq	0,8	2	1
88	Setepung		verbenaceae	<i>Callicarpa pentandra</i>		1	3
89	Sluai	Kenari	Burseraceae	<i>Dacryodes costata</i> (Benn.) H.J. Lam	0,66		1
90	Tenam	Mersawa	Dipterocarpaceae	<i>Anisoptera marginata</i> Korth	0,64	2	2
91	Tepis		Annonaceae	<i>Fragraea lanceolata</i> Miq	0,76	1	3
92	Terentang		Anacardiaceae	<i>Camnosperma coriaceum</i> (Jack) Hallier f. ex v. Steenis			2
93	Tukulan		Euphorbiaceae	<i>Blumeodendron tokbrai</i> (Blume) J.J. Smith			1
94	Uyah-uyah		Icacinaceae	<i>Uranda secundiflora</i>		2	1

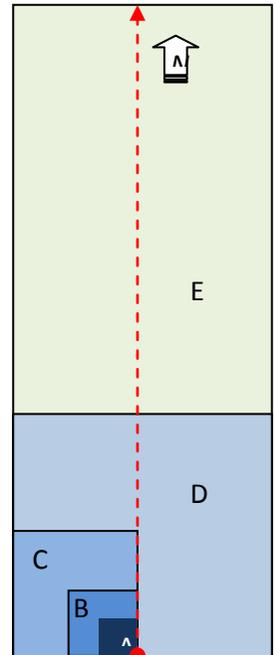
Lampiran 3. Lembar pencatatan hasil pengukuran lapangan (Tally sheet)

**Inventarisasi Karbon Hutan**

**Nama Regu**

**Merang REDD Pilot Project**

TS1	No Plot	No Waypoint	Tanggal
PLOT			



Informasi Plot

- Kedalaman Gambut : ..... cm
- Kedalaman air tanah : .....cm
- Tahun Tebangan :.....
- Tahun Terbakar :.....

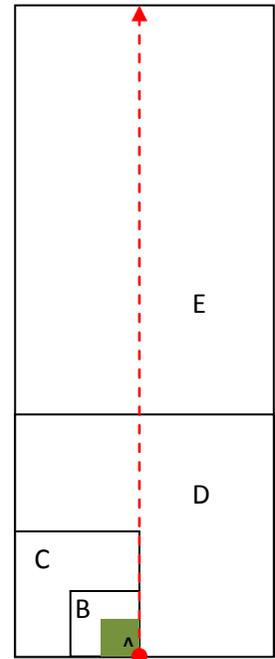
Satwa yang Dijumpai

Nama	Jumlah	Langsung, Jejak, Suara, Bekas	Koordinat / Titik GPS

**Inventarisasi Karbon Hutan**

**Merang REDD Pilot Project**

TS2	No Plot	Tanggal
A: 2 m x 2 m		



**I. Serasah:**

Tebal: ..... cm; Berat total: ..... gr  
 Tingkat kelembaban: *Basah/Sedang/Kering*

**II. Semak dan Herba :**

Tinggi rata2: .....cm;  
 Kerapatan: ..... %; Jenis dominan: .....

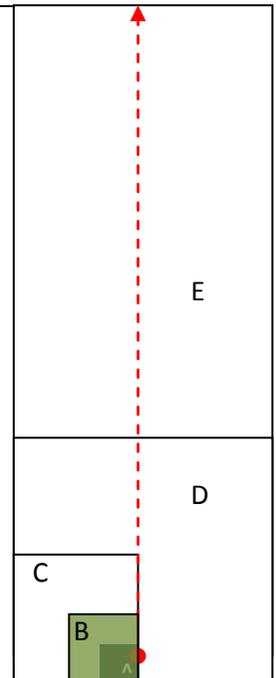
**III. Semai (anakan jenis pohon dengan DBH < 2 cm)**

Nama Jenis	Jumlah

**Inventarisasi Karbon Hutan**

**Merang REDD Pilot Project**

TS3	No Plot	Tanggal
B: 5 m x 5 m		



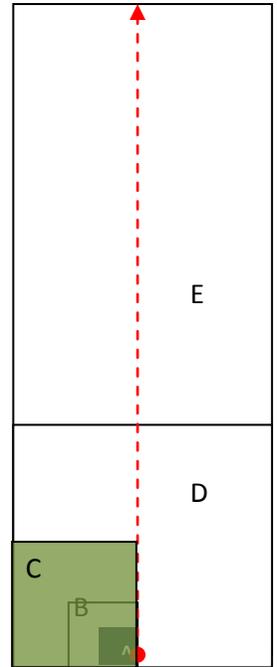
Pancang, palem dan liana dengan  $2 \text{ cm} \leq \text{dbh} < 10 \text{ cm}$

No	Nama	Diameter (cm)	Tinggi (m)	Keterangan
1B				
2B				
3B				
4B				
5B				
6B				
7B				
8B				

**Inventarisasi Karbon Hutan**

**Merang REDD Pilot Project**

TS4	No Plot	Tanggal
C: 10 m x 10 m		



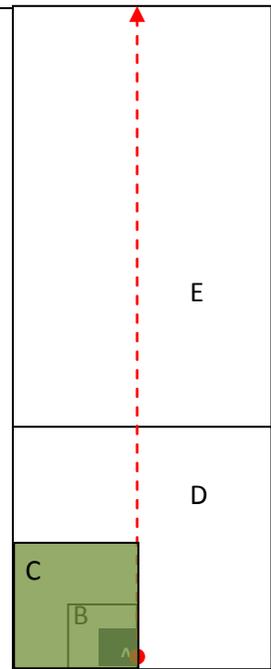
Tiang dan Palem dengan  $10 \leq DBH < 20$  cm

No	Nama	Diameter (cm)	Tinggi Palem(m)	Keterangan
1C				
2C				
3C				
4C				
5C				
6C				
7C				
8C				

**Inventarisasi Karbon Hutan**

**Merang REDD Pilot Project**

TS4B	No Plot	Tanggal
C: 10 m x 10 m		



Pohon Mati  $10 \leq \text{DBH} < 20$  cm    **Keutuhan:** A, B, C,D;

No	Nama	Keutuhan	DBH (cm)	Tinggi (hanya keutuhan D)	Keterangan
1C2					
2C2					
3C2					

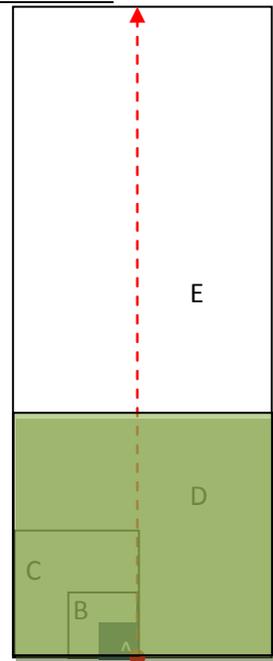
Kayu mati  $10 < \text{Diameter} \leq 30$  cm    **Pelapukan:** Bagus, Sedang, Lapuk

No	D1	D2	Panjang	Pelapukan	Dgrowong
1C3					
2C3					

**Inventarisasi Karbon Hutan**

**Merang REDD Pilot Project**

TS5	No Plot	Tanggal
D: 20 m x 20 m		



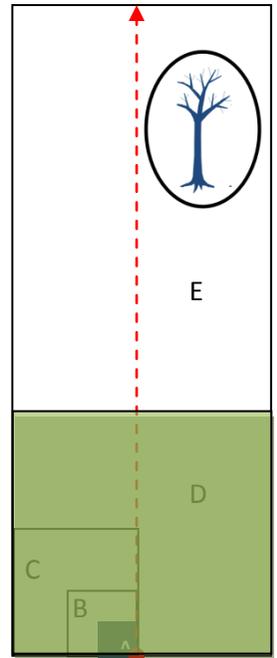
Pohon Kecil dan Palem dengan  $20 \leq DBH < 35$  cm

No	Nama	Diameter (cm)	Tinggi Palem(m)	Keterangan
1D				
2D				
3D				
4D				
5D				
6D				
7D				
8D				

**Inventarisasi Karbon Hutan**

**Merang REDD Pilot Project**

TSSB	No Plot	Tanggal
D: 20 m x 20 m		



Pohon mati dengan  $20 \leq \text{DBH} < 35 \text{ cm}$

No	Nama	Keutuhan (A,B,C,D)	DBH (cm)	Tinggi (hanya keutuhan D)
1D2				
2D2				
3D2				

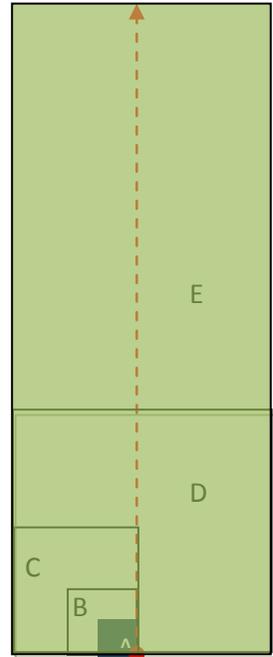
Kayu mati diameter DBH > 30 cm

No	D1 cm	D2 cm	Panjang cm	Pelapukan	D growong cm
1D3					
2D3					

Inventarisasi Karbon Hutan

Merang REDD Pilot Project

TS6	No Plot	Tanggal
E: 20 m x 125 m		



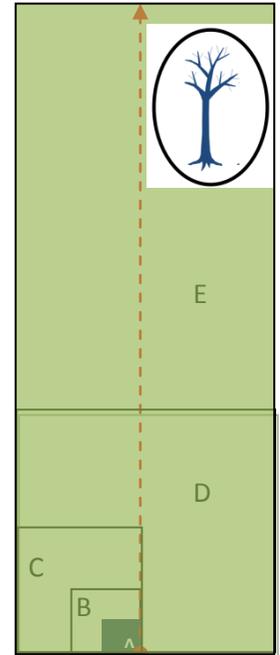
Pohon Besar dan Palem dengan DBH  $\geq$  35 cm

No	Nama	DBH (cm)	Tinggi (m)	Keterangan
1E				
2E				
3E				
4E				
5E				
6E				
7E				

**Inventarisasi Karbon Hutan**

**Merang REDD Pilot Project**

TS6B	No Plot	Tanggal
E: 20 m x 125 m		



Pohon Mati DBH  $\geq$  35 cm

No	Nama	Keutuhan (A,B,C,D)	DBH	Tinggi (hanya keutuhan D)
1E2				
2E2				
3E2				
4E2				
5E2				
6E2				
7E2				

Lampiran 4. Foto-Foto selama kegiatan lapangan pengukuran karbon



5. Pelatihan prosedur survey di camp Merang bagi anggota regu KMPH (Oktober 2008)
6. Penjelasan penggunaan kompas
7. Praktek pembuatan jalur dan plot
8. Persiapan terakhir sebelum inventarisasi karbon hutan.



1. Uyung dan anggotanya mencatat dan membuat cetakan tapak harimau
2. Pesrol mencatat diameter pohon yang diukur dan diidentifikasi Pak Yanto
3. Yanto dan Pak Charles memasang pita riap di pohon punak
4. Uyung dan Wahab melakukan pengeboran kedalaman gambut



1. Heri melakukan penimbangan berat basah serasah.
2. Toni melakukan pengukuran diameter kayu mati
3. Sebagian anggota regu berfoto bersama di bawah pohon meranti



1. Pencatatan parameter tumbuhan bawah di TN Berbak.
2. Pak Eddy dari ZSL dibantu Pak Yanto mengumpulkan serasah.
3. Berpose bersama sebagian anggota regu ZSL di bawah pohon meranti
4. Bersama team survey ZSL di atas perahu kebanggaan ZSL

## Tehnik Pendugaan Cadangan Karbon Hutan



1. Melakukan penimbangan cabang
2. Pak Charles dan Dedy Jamrong mengumpulkan daun mahang, dibantu Pak Yanto
3. Untuk menimbang batang dan cabang yang besar, diperlukan pengungkit
4. Pak Charles, Pak Yanto dan Amir melakukan *destructive sampling* tumbuhan bawah





1. Anggota regu KMPH yang membantu pengumpulan data allometrik sesi 1.
2. Bersama anggota regu setelah pengumpulan data alometrik sesi 3.
3. Berpose di samping pondok sebelum bekerja
4. Dedi Pong memanjat pohon untuk mengambil contoh daun untuk keperluan herbarium



1. Perahu kayu bermesin menjadi transportasi utama untuk menangkut logistik dan menuju plot ukur
2. Penulis dan anggotanya menyeberangi parit menuju plot berikutnya
3. Karena surut, Jaja dan Pesrol terpaksa berjalan kaki di parit
4. Perahu didisain ramping agar dapat masuk ke parit-parit yang kecil





- 1, Peserta pelatihan pengukuran karbon melakukan praktek lapangan di TWA Punti Kayu, Palembang
2. Foto bersama peserta dan instruktur pelatihan pengukuran karbon di Palembang (12-14 September 2011)



Buku ini dapat diperoleh di:

Merang REDD Pilot Project (MRPP-GIZ)

Kantor Dinas Kehutanan Sumsel.

Jl. Jend. Sudirman No.2837 KM 3.5. P.O. BOX 1229 – Palembang 30129

South Sumatera, Indonesia

T: ++ 62 – 711 – 353 185

F: ++ 62 – 711 – 353 176

E: [project@merang-redd.org](mailto:project@merang-redd.org)

I: [www.merang-redd.org](http://www.merang-redd.org)

ISBN 978-602-99492-2-3



9 786029 949223