

**PENGUKURAN BIOMASSA DAN KARBON
HUTAN TANAMAN JATI (*Tectona grandis*, L.f)
DI KPH RANDUBLATUNG,
PERUM PERHUTANI UNIT I JAWA TENGAH**

Tesis

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana S-2**

Program Studi Ilmu Kehutanan



Diajukan oleh:

HARYO PAMBUDI

NIM. 09/290986/PKT/832

Kepada :

**PROGRAM STUDI ILMU KEHUTANAN
FAKULTAS KEHUTANAN UNIVERSITAS GADJAH MADA
YOGYAKARTA
2011**

LEMBAR PENGESAHAN

TESIS

**PENGUKURAN BIOMASSA DAN KARBON HUTAN TANAMAN JATI
(*Tectona grandis* L.f) DI KPH RANDUBLATUNG,
PERUM PERHUTANI UNIT I JAWA TENGAH**

Disusun Oleh :

HARYO PAMBUDI
NIM.09/290986/PKT/832

Telah dipertahankan di hadapan Dewan Penguji

Pada tanggal 08 Agustus 2011

Susunan Dewan Penguji :

Pembimbing Utama,

Anggota Dewan Penguji,




Dr. Ir. Ris Hadi Purwanto, M.Agr.Sc




Dr. Ir. Nunuk Supriyatno, M.Sc

Pembimbing Pendamping



Dr. Ir. Haryono Supriyo, M.Agr.Sc





Dr. Senawi, MP

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar *Master of Science (M.Sc.)*

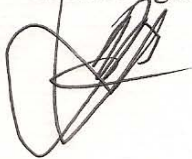
Tanggal.....

Dekan Fakultas Kehutanan,

Ketua Program S2,



Prof. Dr. Ir. Mochammad Na'iem, M.Agr.Sc
NIP. 19540416 197803 1 005



Dr. Ir. JP. Gentur Sutapa, M.Sc
NIP.19621201 198703 1 001

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, Agustus 2011

Yang menyatakan,

Haryo Pambudi

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr. wb.

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa yang telah memberikan kemampuan kepada penulis untuk menyelesaikan penulisan tesis ini. Tesis ini berjudul “*Pengukuran Biomassa dan Karbon Hutan Tanaman Jati (Tectona grandis L.f) di KPH Randublatung, Perum Perhutani Unit I Jawa Tengah*”. Penulisan tesis merupakan salah satu syarat yang harus dilakukan untuk memperoleh gelar *Master of Science* pada Program Studi Ilmu Kehutanan, Universitas Gadjah Mada.

Terima kasih penulis ucapkan kepada :

1. Kepala Pusat Standardisasi dan Lingkungan, Kemenhut, atas kesempatan karyasiswa yang diberikan.
2. Prof.Dr.Ir. Mochammad Na'iem, M.Agr.Sc, selaku Dekan Fakultas Kehutanan, UGM, Yogyakarta.
3. Ketua Program S-2 beserta seluruh staf yang telah memberikan bantuan dan pengarahan selama mengikuti pendidikan S-2.
4. Dr. Ir. Ris Hadi Purwanto, M.Agr.Sc. selaku pembimbing I dan Dr. Ir. Haryono Supriyo, M.Agr.Sc selaku pembimbing II yang telah mengarahkan penulis selama penulisan tesis ini.
5. Ka.KPH Randublatung Perum Perhutani Unit I Jawa Tengah, beserta jajarannya atas bantuan dan kerjasamanya selama proses penelitian.
6. Kepala Pusbanghut Perum Perhutani Cepu atas program kerjasama penelitian (Pengukuran Stok Karbon pada Kelas Perusahaan Hutan Jati dengan Menyusun Persamaan Allometrik) bersama dengan Fakultas Kehutanan UGM.
7. Rekan - rekan sesama mahasiswa pascasarjana Ilmu Kehutanan, yang telah memberikan masukan dan saran dalam penyusunan tesis ini.
8. Rekan-rekan staf Pustanling yang telah memberikan bantuan dan dukungan selama ini.

9. Seluruh orang tuaku yang selalu mengirimkan doanya.
10. Istriku Aulia Nur Umiyati dan ketiga anakku Ataya C.P, Umayma Najiya C.P, Magistra Ali A.P atas pengorbanan dan doa kalian selama ini
11. Mas Bambang, dik Bobby dan mbak fitri atas kerjasamanya selama penelitian.
12. Semua pihak yang telah membantu, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tesis ini mungkin belum sempurna dan masih memerlukan pengembangan lebih lanjut, oleh karena itu masukan sangat diharapkan guna perbaikan selanjutnya.

Wassalamualaikum Wr. Wb

Yogyakarta, Agustus 2011

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
INTISARI	xiii
ABSTRACT	xiv
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan	3
1.4. Manfaat	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Fotosintesis dan Siklus Karbon	5
2.2. Perubahan Iklim dan Pemanasan Global	8
2.3. Peranan Hutan dalam Menyerap Karbon	10
2.4. Sebaran Biomassa dan Karbon	12
2.5. Inventarisasi Biomassa dan Karbon Hutan	15
2.6. Estimasi Biomassa Hutan /Pohon	21
2.6.1. Persamaan Allometrik	21
2.6.2. <i>Biomass Expansion Factor</i> (BEF)	23
2.6.3. Rasio Biomassa <i>Belowground</i> : <i>Aboveground</i> (<i>Root</i> : <i>Shoot Ratio</i>)	23
2.7. Tanaman Jati	25
III. METODE PENELITIAN	30
3.1. Lokasi dan Waktu Pengambilan Data	30
3.2. Bahan dan Alat	30
3.3. Metode Penelitian	32
3.3.1. Pengambilan Sampel di Lapangan	33

3.3.2. Pengujian Laboratorium	37
3.3.2.1. Pengukuran Kandungan Biomassa	37
3.3.2.2 Perhitungan Kandungan Karbon	38
3.3.3. Kandungan Karbon Pohon	41
3.4. Persamaan Allometrik	41
3.5. Kemampuan Hutan Jati Menyimpan Karbon	42
3.6. Penyerapan Karbondioksida (CO ₂) Hutan Jati	43
IV. GAMBARAN UMUM LOKASI PENELITIAN	45
4.1. Lokasi	45
4.2. Tanah dan Topografi	46
4.3. Iklim	47
4.4. Kondisi Tegakan	47
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	49
5.1. Pohon Sampel	49
5.2. Kandungan Biomassa dan Karbon Tanaman Jati	52
5.2.1. Kandungan Biomassa	52
5.2.2. Rasio Biomassa <i>Belowground</i> : <i>Aboveground</i> (<i>Root</i> : <i>Shoot Ratio</i>)	56
5.2.3. Kandungan Karbon	60
5.3. Persamaan Allometrik dsan <i>Biomassa Expansion Factor</i> (BEF)	63
5.3.1. Persamaan Allometrik dbh- Biomassa	63
5.3.2. Persamaan Allometrik dbh - Kandungan Karbon	67
5.3.3. <i>Biomassa Expansion Factor</i> (BEF)	69
5.3.4. <i>Carbon Expansion Factor</i> (BEF)	72
5.4. Estimasi Kandungan Biomassa Tegakan Jati	73
5.4.1. Estimasi Kandungan Biomassa Menggunakan Persamaan Allometrik	76
5.4.2. Estimasi Kandungan Biomassa Menggunakan BEF	79
5.5. Estimasi Kandungan Karbon Tegakan Jati	81
5.5.1. Estimasi Kandungan Karbon Menggunakan Persamaan Allometrik	82
5.5.2. Estimasi Kandungan Karbon Menggunakan Rumus C <i>Standing Crop</i> dan <i>Carbon Expansion Factor</i> CEF	85
5.6. Penyerapan CO ₂ Tegakan Jati	89
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	92
6.1. Kesimpulan	92
6.2. Saran	93
DAFTAR PUSTAKA	94
LAMPIRAN	98

DAFTAR TABEL

No.	<i>Teks</i>	Hal
1.	Perkiraan Sebaran Biomassa Tumbuhan pada Berbagai Ekosistem Darat	13
2.	Estimasi Stok Biomassa Karbon Hutan di Beberapa Negara (Mt C)	14
3.	Nilai Rasio Biomassa <i>Belowground</i> : <i>Aboveground</i> Beberapa Tipe Hutan	24
4.	Kondisi Topografi Wilayah KPH Randublatung	47
5.	Rata-rata Hari Hujan dan Curah Hujan Wilayah Kabupaten Blora pada Tahun 2005 - 2009	47
6.	Ikhtisar Kelas Hutan KPH Randublatung Tahun 2010 (Triwulan I)	48
7.	Data Pohon Sampel	49
8.	Kandungan Biomassa Organ Pohon Berdasarkan Variasi Umur dan dbh	53
9.	Nilai Rasio Akar : Total <i>Aboveground</i> (R)	57
10.	Nilai Rasio Biomassa <i>Belowground</i> : <i>Aboveground</i> (<i>Root</i> : <i>Shoot Ratio</i>)	58
11.	Kisaran Kadar Karbon Masing-masing Organ Tanaman Jati	61
12.	Kandungan Karbon Organ Tanaman Jati	62
13.	Persamaan Allometrik dbh - Biomassa	64
14.	Persamaan Allometrik dbh – Kandungan Karbon	68
15.	<i>Biomassa Expansion Factor</i> (BEF) Tanaman Jati KU I – KU IV	71
16.	Inventarisasi Tegakan Jati Di KPH Randublatung	74
17.	Kandungan Biomassa Tegakan Jati dengan Metode BEF	80

18. Perbandingan Kandungan Biomassa Tegakan Jati KU I - KU IV Berdasarkan Metode Allometrik dan BEF	81
19. Perbandingan Kandungan Karbon KPH Randublatung dan KPH Cepu	83
20. Kandungan Karbon Tegakan Berdiri (C tb)	85
21. Kandungan Karbon Tegakan Berdiri Terkoreksi (C tb1)	86
22. Nilai <i>Carbon Expansion Factor</i> (CEF) Berdasarkan Hasil Pengamatan dan Persamaan Allometrik	87
23. Perbandingan Kandungan Karbon Berdasarkan Empat Metode	88
24. Penyerapan CO ₂ Tegakan Jati Tiap Kelas Umur di KPH Randublatung	89
25. Luas Tegakan Kelas Perusahaan Jati Produktif Perum Perhutani	91
26. Peran Tegakan Kelas Perusahaan Jati Produktif Perum Perhutani pada Penurunan Emisi CO ₂ di Indonesia	91

DAFTAR GAMBAR

No.	<i>Teks</i>	Hal
1.	Siklus Karbon	7
2.	Skenario Konsentrasi CO ₂ di Atmosfer Berdasarkan SRES	9
3.	Dampak Perubahan Iklim Terhadap Negara-negara di Dunia	11
4.	Proses Akumulasi dan Pelepasan Karbon pada Sistem Hutan	12
5.	Peta Sebaran Karbon di Hutan Tropis Afrika dan Asia Tenggara	16
6.	Kantong Karbon	18
7.	Grafik Hubungan Diameter Pohon dengan Biomassa Organ Tanaman	22
8.	Lokasi Penyebaran Hutan Jati di Dunia	26
9.	Persentase Luas Hutan Jati Masing-masing Negara	27
10.	Peta Lokasi Penelitian	31
11.	Pengambilan Sampel Batang	34
12.	Pengukuran Sortimen	35
13.	Pengambilan Sampel Disk dan Serbuk Batang	35
14.	Pengambilan Sampel Cabang/Ranting dan Daun	36
15.	Pengambilan Sampel Akar	37
16.	Diagram Alir Metode Penelitian	44
17.	Skema Pembagian Wilayah Hutan KPH Randublatung	46
18.	Selisih Tinggi Pohon Berdiri (h) dan Panjang Pohon (p)	50
19.	Kesalahan Melihat Puncak Pohon dalam Pengukuran Tinggi Pohon	51
20.	Kesalahan Pengukuran Tinggi Pohon dalam Kondisi Condong	51

21. Penentuan Jarak Pengukuran Pohon yang Tidak Tepat	52
22. Persentase Kandungan Biomassa Organ Tanaman	54
23. Persentase Kandungan Biomassa Rata-rata Organ Tanaman	55
24. Persentase Kandungan Biomassa dan Kandungan N Daun dan Kulit	56
25. Kadar Karbon Organ Tanaman Jati	60
26. Persentase Kandungan Karbon Organ Tanaman	63
27. Hubungan antara dbh – Kandungan Biomassa (kg/pohon).....	66
28. Hubungan antara dbh – Kandungan Karbon Biomassa (kg/pohon)	70
29. Kerangka Alur Penyusunan <i>Carbon Expansion Factor</i> (CEF)	73
30. Hubungan Umur dan Diameter Setinggi Dada (dbh) Tanaman Jati)	75
31. Hubungan Dbh dan Tinggi Pohon Tanaman Jati	76
32. Hubungan Umur Jati dengan Kandungan Biomassa per hektar	77
33. Perbandingan Persentase Kandungan Biomassa Terhadap Persentase Luas Masing - masing Kelas Umur	78
34. Hubungan antara Umur terhadap Kandungan Karbon per hektar Tegakan Jati	82
35. Perbandingan Persentase Kandungan Karbon Terhadap Persentase Luas Masing - masing Kelas Umur	84
36. Rancangan Penelitian Pengukuran Biomassa dan Karbon Hutan Jati	93

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Teks	Hal
1.	Data Inventarisasi Petak Ukur Masing-masing Kelas Umur	98
2.	Kandungan Biomassa, Karbon dan Penyerapan CO ₂ Tegakan Jati (<i>Tectona grandis</i> , L.f) di KPH Randublatung	100
3.	Perbandingan Kandungan Karbon Tegakan Jati Berdasarkan 4 Metode Pengukuran	105
4.	Hasil Analisis SPSS Hubungan dbh-Kandungan Biomassa	108
5.	Hasil Analisis SPSS Hubungan dbh-Kandungan Karbon	111
6.	Dokumentasi Penelitian	114

INTISARI

Indonesia adalah salah satu produsen utama tanaman jati (*Tectona grandis*, L.f) di dunia. Tanaman jati merupakan penyimpan karbon dalam waktu yang lama dan memainkan peran yang penting dalam penyerapan CO₂. Namun, sejauh ini persamaan untuk biomassa dan karbon total (*above+below ground*) tanaman jati masih jarang dilakukan. Pengukuran biomassa dan karbon total dapat digunakan untuk (1) menyusun persamaan allometrik, *Biomassa expansion Factor* (BEF) dan *Carbon Expansion Factor* (CEF), (2) estimasi biomassa total, karbon total dan penyerapan CO₂ tegakan jati.

Pengumpulan data dilakukan di KPH Randublatung, Perum Perhutani Unit I, Jawa Tengah, Indonesia. Jumlah pohon sampel pada penelitian ini adalah 18 pohon yang berasal dari 6 kelas umur (KU). Metode *destructive sampling* pada pohon sampel dengan *diameter at breast height* (dbh) digunakan sebagai prediktor untuk menghitung kandungan biomassa dan karbon total. Persamaan allometrik hubungan dbh dengan kandungan biomassa dan karbon total disusun dan digunakan untuk mengukur kandungan biomassa dan karbon total pada 10 kelas umur (KU I – KU X).

Persamaan allometrik hubungan dbh dengan kandungan biomassa total adalah $Bt = 0,133dbh^{2,394}$ (R^2 0,974) dan hubungan dbh dengan kandungan karbon total adalah $Kt = 0,088dbh^{2,39}$ (R^2 0,977). Nilai *Biomassa Expansion Factor* (BEF) untuk mengonversi volume batang berdiri ke dalam kandungan biomassa total pada umur 6; 16; 20; 36 tahun secara berturut-turut sebesar 0,54; 0,50; 0,45 dan 0,41. *Carbon Expansion Factor* (CEF) untuk mengonversi volume batang berdiri ke dalam kandungan karbon total pada KU I – X secara berturut-turut adalah 0,56; 0,24; 0,19; 0,20; 0,18; 0,21; 0,21; 0,21; 0,20 dan 0,20. Pengukuran kandungan biomassa total tegakan jati di KPH Randublatung adalah sebesar 1.502.619,216 ton, dengan kandungan biomassa per hektar sebesar 64,562 ton/ha. Kandungan karbon total tegakan jati adalah sebesar 983.857,74 ton, dengan kandungan karbon per hektar 42,172 ton/ha dan besarnya penyerapan CO₂ tegakan jati adalah sebesar 3.607.478,38 ton dengan penyerapan CO₂ per hektar sebesar 154,631 ton/ha.

Kata kunci : Jati, biomassa, karbon, persamaan allometrik, KPH Randublatung.

ABSTRACT

Indonesia is one of the main producers of teak (*Tectona grandis*, L.f) plantations in the world. Teak plantations are a long-term sink for carbon and play an important role in CO₂ absorption. However, so far the equations for teak plantations have not been developed in total biomass and carbon (above+below-ground). Total biomass and carbon measurements can be used (1) to develop equations allometrik, Biomass Expansion Factor (BEF) and Carbon Expansion Factor (CEF), (2) to estimate the total biomass, total carbon and CO₂ sequestration of teak plantations.

The data were collected in KPH Randublatung, Perum Perhutani Unit I, Central Java, Indonesia. The number of trees sampled in this research was 18 with 6 age class (KU). Destructive sampling was use to collect the samples where diameter at breast height (dbh) was used as predictor for total biomass and total carbon. Allometric equations relationship between dbh to total biomass and carbon was constructed and used to measure the total biomass and carbon storage in 10 age classes (KU I – KU X).

Allometric equations relationship dbh to total biomass was $Bt = 0.133dbh^{2.394}$ (R^2 0.974) and relationship dbh to total carbon was $Kt = 0.088dbh^{2.39}$ (R^2 0.977). Biomass Expansion Factor (BEF) that can be used to converse stem volume to total biomass content for ages 6; 16; 20; 36 year are 0.54; 0.50; 0.45 and 0.41 respectively. Carbon Expansion (CEF) that can be used to converse stem volume to total carbon content for KU I – X are 0.56; 0.24; 0.19; 0.20; 0.18; 0.21; 0.21; 0.21; 0.20 and 0.20 respectively. Measured total biomass of teak plantations in KPH Randublatung was 1,502,619.216 tons, which averaged 64.562 tons/ha. The total carbon of teak plantation was 983,857.74 tons, which averaged 42.172 tons/ha and the total CO₂ sequestration was 3,607,478.38 tons, which averaged 154.631 tons/ha.

Keywords : Teak, biomass, carbon, allometric equations, KPH Randublatung

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Fotosintesis pada hakikatnya merupakan mekanisme masuknya energi ke dalam dunia kehidupan. Proses ini menjadikan hutan memiliki peran penting, karena penyusun utamanya adalah tumbuhan yang melakukan fotosintesis. Hutan juga memberikan manfaat sebagai penyerap karbon dioksida (CO₂) melalui proses fotosintesis. Gas CO₂ merupakan salah satu komponen kunci Gas Rumah Kaca (GRK) yang dapat berperan sebagai perangkap panas di atmosfer apabila melewati ambang batas.

Peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer mulai mendapat perhatian dari seluruh dunia. Konsentrasi CO₂ di atmosfer meningkat di masa pra industri sebesar 279 *part per million by volume* (ppmv), dan sebesar 379 ppmv pada tahun 2005. Emisi CO₂ yang berasal dari sektor penggunaan lahan meningkat dari 6,35 Gt pada tahun 1970, dengan kenaikan rata-rata 0,126 Gt, menjadi 9,5 Gt pada tahun 2004 (IPPC 2007c dalam Ravindranath *et al*, 2008). Indonesia berada di bawah Amerika Serikat dan China sebagai negara penghasil emisi di dunia dengan jumlah mencapai dua miliar ton CO₂ per tahunnya atau menyumbang sebesar 10% dari emisi CO₂ di dunia (Wetland International, 2006).

Peningkatan konsentrasi CO₂ menyebabkan pemanasan permukaan bumi akan mencairkan cukup banyak es di daerah kutub sehingga permukaan air laut akan naik dan menggenangi banyak kota pantai. Perubahan iklim lain yang

menyertainya terutama pada pola curah hujan, akan sangat banyak mengubah pertanian dan vegetasi alam (Salisbury *et al*, 1995).

Kondisi tersebut mendorong pelestarian keberadaan hutan yang dapat menyerap CO₂ dari atmosfer melalui fotosintesis. Laju fotosintesis berbagai spesies tumbuhan yang tumbuh pada berbagai daerah yang berbeda menunjukkan hasil yang berbeda. Perbedaan ini sebagian disebabkan oleh adanya keragaman cahaya, suhu dan ketersediaan air, tetapi tiap spesies menunjukkan perbedaan yang besar pada kondisi khusus yang optimum bagi mereka (Salisbury *et al*, 1995). Tanaman atau pohon berumur panjang yang tumbuh di hutan maupun di kebun campuran (agroforestri) merupakan tempat penimbunan atau penyimpanan karbon (*carbon sink*) yang jauh lebih besar dari pada tanaman semusim (Hairiah dan Rahayu, 2007).

Tanaman jati (*Tectona grandis*, L.f) merupakan jenis tanaman dengan umur masak tebang yang relatif panjang. Hal ini diduga akan memberikan manfaat sebagai penyerap kadar CO₂ di atmosfer melui proses fotosintesis relatif lama. Indonesia merupakan salah satu produsen utama tanaman jati di dunia dan banyak dijumpai di pulau Jawa karena karakteristik lingkungannya sesuai sebagai tempat tumbuh. Pengelolaan tanaman jati di Jawa yang dikelola oleh Perum Perhutani dibagi ke dalam beberapa kelas umur. Besarnya peran penting hutan jati dalam penyimpanan karbon dan pengurangan kadar CO₂ di atmosfer memerlukan penelitian yang lebih mendalam. Selain itu penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan informasi keberadaan/alokasi karbon yang diserap dari atmosfer pada tanaman jati.

1.2 Rumusan Masalah

Tanaman jati menghasilkan kayu yang sangat berharga dan dapat dipakai untuk memenuhi berbagai keperluan karena memiliki sifat fisis, mekanis, dan keawetan yang baik serta mudah dikerjakan. Kayu jati praktis sangat cocok untuk segala jenis konstruksi. Jati merupakan kayu yang paling baik untuk pembuatan kapal, terutama untuk kapal yang berlayar di daerah tropis. Meskipun kayu jati mempunyai kegunaan yang luas, satu hal yang sering tidak mendapat perhatian adalah proses fotosintesis yang dilakukan oleh tanaman tersebut.

Peranan tanaman jati dalam menyerap CO₂ di atmosfer melalui proses fotosintesis dapat diketahui dengan menghitung besarnya kandungan biomassa dan karbon pada masing-masing organ tanaman. Perhitungan kandungan biomassa dan karbon total seluruh organ tanaman jati masih jarang dilakukan. Hal ini terutama pada pengambilan akar (*belowground*) yang dianggap lebih sulit dibandingkan bagian atas permukaan tanah (*aboveground*). Perhitungan kandungan biomassa dan karbon total sangat penting dilakukan, karena selain dapat digunakan untuk menyusun persamaan allometrik, dapat digunakan juga untuk menyusun *Biomassa Expansion Factor* (BEF) dan *Carbon Expansion Factor* (CEF).

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Menyusun persamaan allometrik pada masing-masing organ tanaman (batang, cabang/ranting, akar dan daun) pada tanaman jati;
2. Menyusun *Biomassa Expansion Factor* (BEF) dan *Carbon Expansion Factor* (CEF) pada tanaman jati;

3. Menghitung kandungan biomassa pada tanaman jati;
4. Menghitung kandungan karbon pada tanaman jati;
5. Menghitung serapan gas CO₂ oleh tanaman jati;

1.4 Manfaat

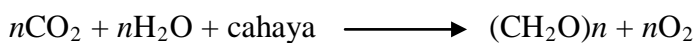
Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan informasi kandungan biomassa dan karbon tanaman jati, serta kemampuannya dalam menyerap karbon dari atmosfer melalui fotosintesis;
2. Memberikan informasi besarnya jasa lingkungan yang dapat diperoleh;
3. Memberikan informasi metode pendugaan kandungan biomassa dan karbon pada tanaman jati, yang dapat digunakan sebagai pendekatan untuk mengetahui seberapa besar tanaman jati dapat mengurangi konsentrasi CO₂ di atmosfer;
4. Pengembangan ilmu pengetahuan yang berkaitan dengan siklus karbon suatu jenis tanaman;
5. Memberikan pertimbangan kebijakan dalam pengelolaan hutan dalam menghadapi isu lingkungan terkini.

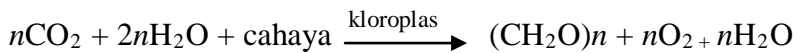
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Fotosintesis dan Siklus Karbon

Proses fotosintesis pada hakikatnya merupakan mekanisme masuknya energi ke dalam dunia kehidupan. Satu-satunya pengecualian terjadi pada bakteri kemosintetik, yang memperoleh energi dengan mengoksidasi substrat anorganik (Salisbury *et al*, 1995). Proses fotosintesis meliputi oksidasi air (pemindahan elektron disertai pelepasan O₂ sebagai hasil samping) dan reduksi CO₂ untuk membentuk senyawa organik, misalnya karbohidrat. Reaksi keseluruhan fotosintesis digambarkan sebagai berikut :



pada reaksi ini (CH₂O)_n adalah singkatan dari pati atau karbohidrat lain yang mempunyai rumus empiris mirip dengan itu (Julius Sachs, 1864 dalam Salisbury *et al*, 1995). Hasil penelitian selanjutnya mengenai proses fotosintesis dilakukan oleh Alan Stemler dan Richard Radmer (1975) lebih memperjelas reaksi yang terjadi yaitu :

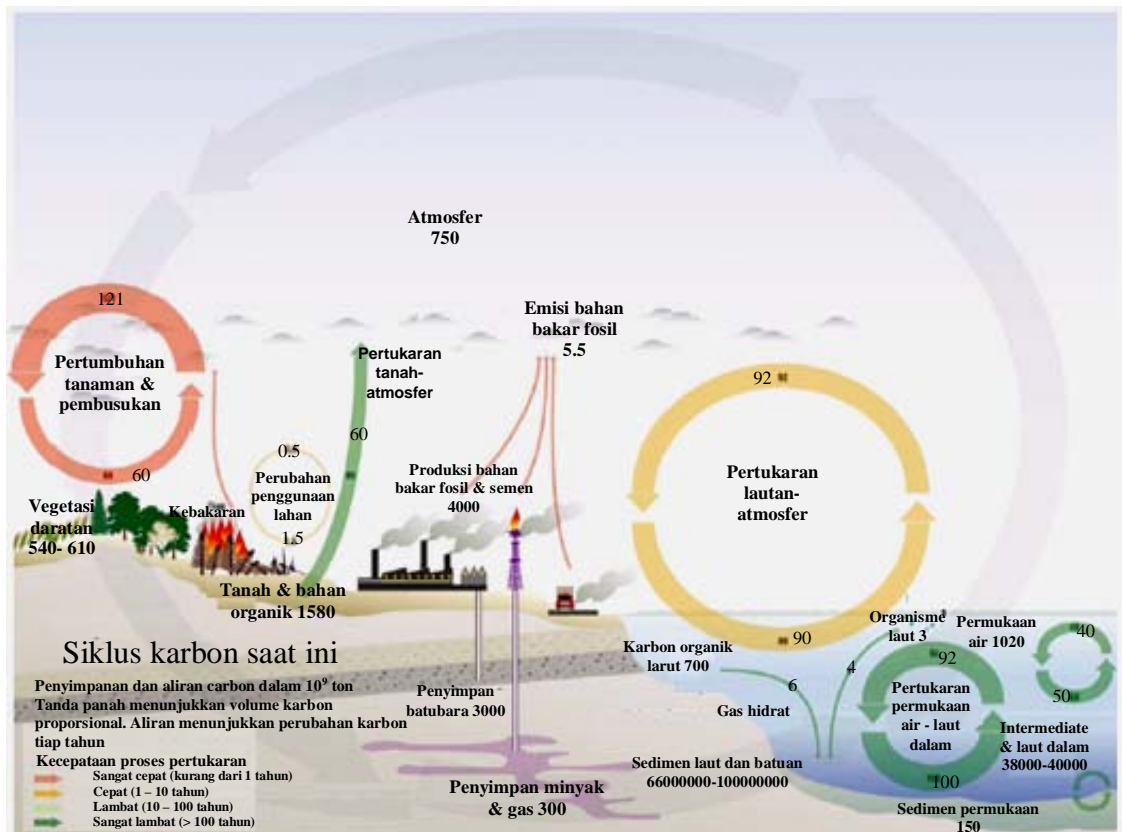


Banyaknya fotosintesis yang berlangsung di alam diperkirakan mampu menambat karbon tiap tahunnya berkisar antara 70-120 trilyun ton, setara dengan 170-290 gigaton bobot kering dengan rumus empiris menyerupai CH₂O. Atmosfer mengandung karbon sekitar 746 trilyun ton dibandingkan dengan sekitar 560 trilyun ton di dalam organisme hidup. Lebih dari 13% karbon di

atmosfer digunakan dalam fotosintesis tiap tahunnya (Salisbury *et al.*, 1995). Laju fotosintesis berbagai spesies tumbuhan menunjukkan perbedaan pada berbagai daerah tempat tumbuh. Perbedaan ini sebagian disebabkan oleh adanya keragaman cahaya, suhu, dan ketersediaan air, tapi tiap-tiap spesies juga menunjukkan perbedaan yang besar pada kondisi khusus yang optimum bagi mereka (Salisbury *et al.* 1995).

Proses fotosintesis merupakan salah satu proses merubah simpanan karbon yang dilakukan oleh tanaman. Selain itu tanaman juga melepaskan CO₂ ke atmosfer melalui proses respirasi. Pergerakan karbon ini merupakan salah satu aktifitas yang dikenal dengan siklus karbon. Dalam siklus ini terdapat empat cadangan (*reservoir*) karbon utama yang dihubungkan oleh jalur pertukaran. Reservoir-reservoir tersebut adalah atmosfer, biosfer terestrial (biasanya termasuk *freshwater system* dan material non hayati organik seperti karbon tanah (*soil carbon*), lautan (termasuk karbon anorganik terlarut dan biota laut hayati dan non-hayati), dan sedimen (termasuk bahan bakar fosil). Siklus karbon di alam selanjutnya disajikan pada Gambar 1.

Pertanian dan pembukaan lahan (terutama pembakaran hutan hujan tropika) akan menambah karbon ke atmosfer, dimana sebelumnya, karbon tersimpan di biomassa tumbuhan dan sebagai bahan organik tanah, tapi jumlah perpindahan ini tidak diketahui dengan pasti. Perpindahan tersebut terjadi melalui pembakaran dan pembusukan (oksidasi biologis) dan tidak ditunjukkan secara terpisah.



Sumber : Centre for Climatic Research, Institute for Environmental Studies, University of Wisconsin at Madison (USA), Okanagan University College (Canada), Geography Department; World Watch, November- Desember 1998; Nature;

Sumber : Henry, 2010

Gambar 1. Siklus Karbon

Proses penambahan CO_2 ke atmosfer pada siklus karbon melalui berbagai cara yaitu (Salisbury *et al*, 1995):

1. Respirasi tumbuhan, mikroorganisme, dan hewan; pembakaran bahan bakar fosil; pembukaan lahan. Proses ini berlangsung dalam jangka pendek (yakni selama masa hidup kita);
2. Semburan gunung api dan semburan mata air mineral. Proses ini berlangsung dalam kurun waktu geologi (dan berlanjut sampai sekarang).

Sedangkan proses pengambilan CO_2 dari atmosfer melalui beberapa mekanisme:

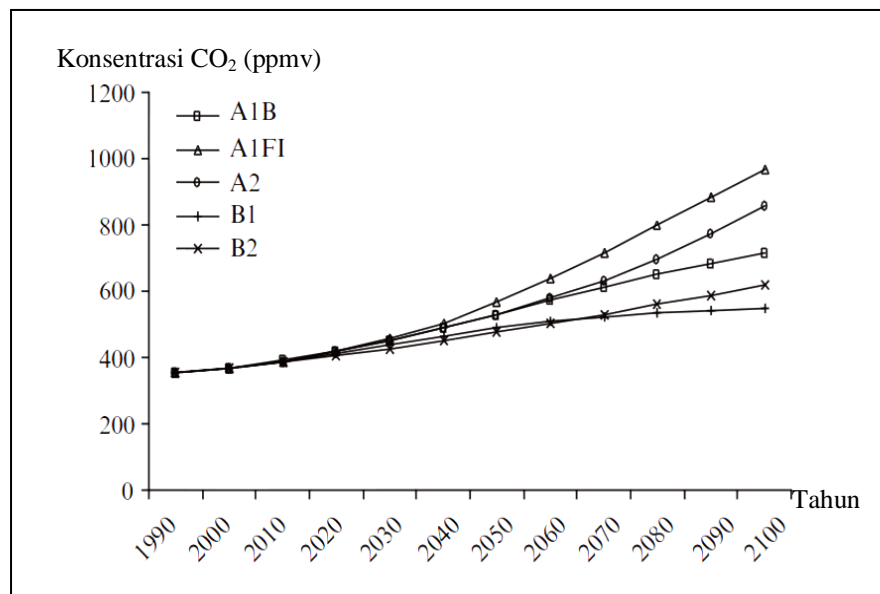
1. Fotosintesis (merupakan salah satu mekanisme penting pengambilan CO_2 dari atmosfer);

2. Pelarutan CO₂ di samudera dan laut, dengan karbonat padat dan terlarut dalam keadaan setimbang dengan CO₂.

2.2. Perubahan Iklim dan Pemanasan Global

Peningkatan CO₂ atmosfer di seluruh dunia mendapat perhatian karena CO₂ dan beberapa gas lainnya yang disebut gas rumah-kaca dapat menyerap lebih banyak energi cahaya matahari yang menembus atmosfer, memanaskan bumi dan memanaskan apa saja yang ada di atas bumi. Jumlah CO₂ di udara tetap sangat stabil pada tingkat sekitar 280 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ selama ribuan tahun belakangan ini dan tetap stabil antara 200 dan 300 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ selama 150.000 tahun sebelum itu. Sejak sekitar tahun 1850, CO₂ atmosfer meningkat secara eksponensial sampai mencapai 352 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ pada tahun 1990. Konsentrasi CO₂ meningkat sekitar 1,4 $\mu\text{mol mol}^{-1} \text{ th}^{-1}$ selama 15 tahun terakhir, tapi pada tahun 1988 peningkatannya lebih dari 2 $\mu\text{mol mol}^{-1} \text{ th}^{-1}$ (Pieter Tans *et al*, 1990 dalam Salisbury *et al*, 1995).

Konsentrasi CO₂ di atmosfer meningkat sejak pra industri sebesar 279 ppmv menjadi 379 ppmv pada tahun 2005. Peningkatan sebesar 36 % ini diamati antara tahun 1750 sampai tahun 2005 (Ravindranath *et al* 2008). Berdasarkan skenario IPCC SRES (Intergovernmental Panel on Climate Change 2001a Special Report on Emission Scenarios) konsentrasi CO₂ pada tahun 2100 berkisar antara 540 sampai 970 ppmv (Ravindranath *et al*, 2008). Skenario konsentrasi CO₂ di atmosfer dapat dilihat pada Gambar 2.



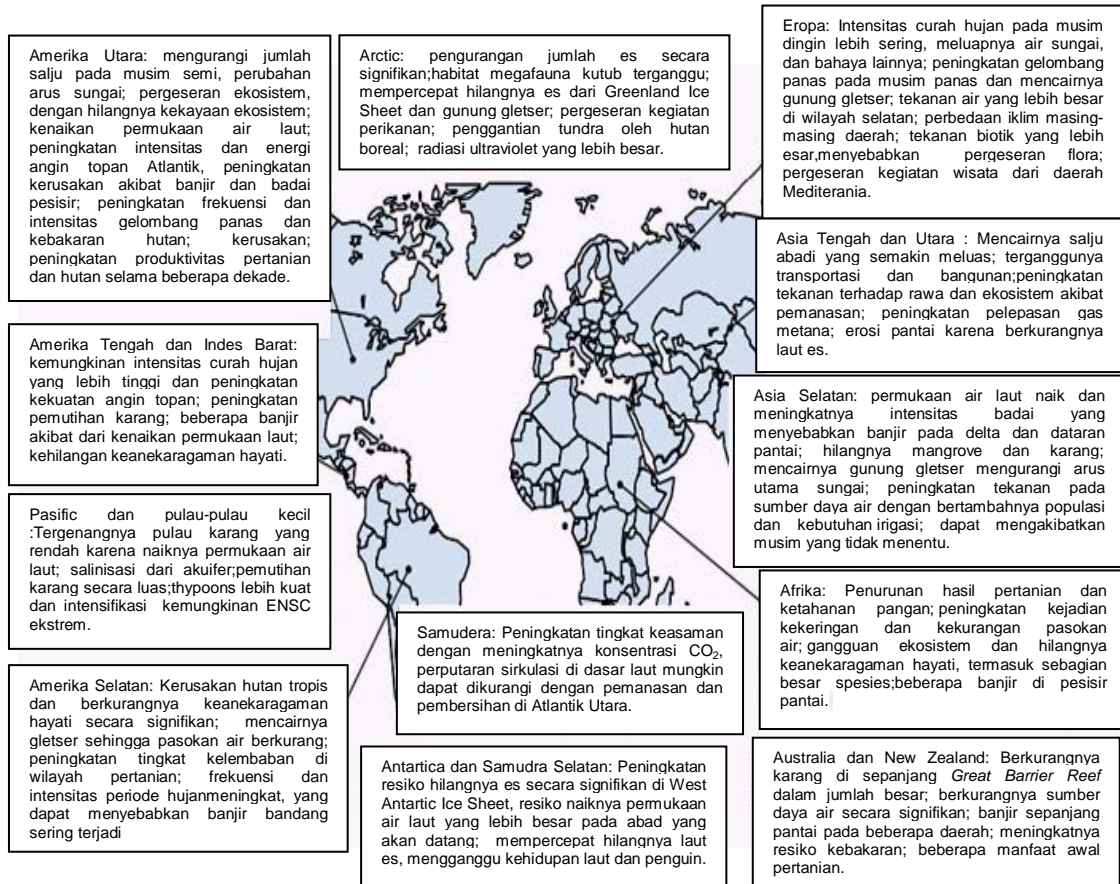
Sumber : Nakicenovic *et al* (2000)

Gambar 2. Skenario Konsentrasi CO₂ di Atmosfer Berdasarkan SRES (Special Report on Emission Scenarios)

Berdasarkan skenario tersebut, perubahan juga terjadi pada peningkatan suhu sebesar 1,8 – 4 °C pada tahun 2100 dengan suhu daratan lebih panas dibanding suhu permukaan laut, dan terjadi perubahan pola curah hujan dan meningkatnya permukaan laut (IPCC 2007a). Suatu perubahan rata-rata jangka panjang yang ditentukan dari nilai tengah parameter cuaca dalam mengukur kondisi iklim atau variabilitasnya. Parameter tersebut antara lain termasuk suhu udara, curah hujan dan kecepatan angin inilah yang kemudian disebut dengan perubahan iklim (*climate change*) (Mudiyarso, 2003).

Pemanasan permukaan bumi tersebut dalam waktu ratusan tahun akan mencairkan cukup banyak es di daerah kutub sehingga permukaan air laut akan naik dan menggenangi banyak kota pantai (Revelle, 1982 dalam Salisbury *et al*, 1995). Perubahan iklim lain yang menyertainya, terutama pada pola curah hujan, akan sangat banyak mengubah pola pertanian dan vegetasi alam. Tidak menentunya iklim juga berpengaruh pada menurunnya produktivitas tanaman

pertanian. Dampak perubahan iklim terhadap negara-negara di dunia dapat dilihat pada Gambar 3.



Sumber : Diadopsi dari Scientific Expert Group (SEG) on Climate Change (2007).

Gambar 3. Dampak Perubahan Iklim Terhadap Negara-negara di Dunia

2.3. Peranan Hutan dalam Menyerap Karbon

Hutan merupakan bagian dari ekosistem alam yang didominasi oleh vegetasi tumbuhan berkayu yang menempati areal yang cukup luas sehingga dapat bertindak sebagai pembersih udara dengan menyerap CO₂ di atmosfer melalui proses fotosintesis. Pohon (dan organisme foto-ototrof lainnya) melalui proses fotosintesis menyerap CO₂ dari atmosfer dan mengubahnya menjadi karbon

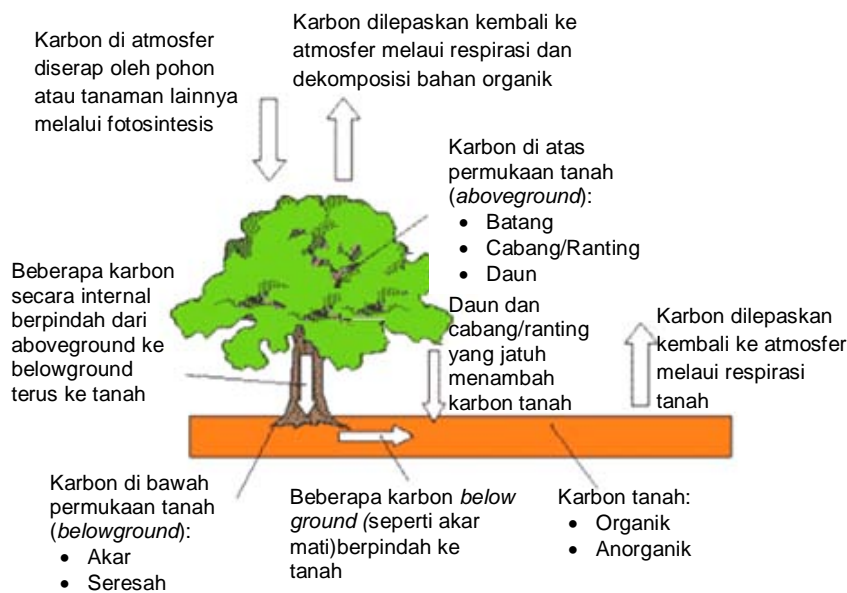
organik (karbohidrat) dan menyimpannya dalam biomassa tubuhnya seperti dalam batang, daun, akar, umbi buah dan lain-lain.

Proses penimbunan karbon (C) dalam tubuh tanaman hidup disebut proses sekuestrasi (*C-sequestration*) (Hairiah dan Rahayu, 2007). Energi yang diubah oleh fotosintesis tidak seluruhnya dikonversi ke biomassa, namun sebagian dibebaskan oleh proses respirasi untuk menyuplai energi yang digunakan sebagai aktivitas metabolisme. Jumlah energi cahaya yang diubah menjadi energi kimia (senyawa organik) oleh autotrof suatu ekosistem selama suatu periode waktu tertentu disebut produktivitas primer. Total produktivitas primer dikenal sebagai produktivitas primer kotor (*gross primary productivity*, GPP). Tidak semua produktivitas ini disimpan sebagai bahan organik pada tumbuhan yang sedang tumbuh, karena tumbuhan menggunakan sebagian molekul tersebut sebagai bahan bakar dalam respirasi selulernya. Dengan demikian, produktivitas primer kotor (GPP) adalah produktivitas primer bersih (*net primary productivity*, NPP) ditambah dengan jumlah respirasi oleh tumbuhan ($\sum R$). Jumlah respirasi terdiri dari respirasi dari batang, akar, dan daun, yang kemudian disusun dalam persamaan sebagai berikut (Pretzsch, 2009):

$$GPP = NPP + \sum R$$

Proses penimbunan dan pelepasan karbon oleh hutan dapat diilustrasikan pada

Gambar 4 :



(Sumber : http://www.epa.gov/sequestration/local_scale.html)

Gambar 4. Proses Akumulasi dan Pelepasan Karbon pada Sistem Hutan

2.4. Sebaran Biomassa dan Karbon

Biomassa adalah total berat atau volume organisme dalam suatu area atau volume tertentu (*a glossary by the IPCC, 1996*). Menurut Brown (1997) biomassa didefinisikan sebagai total jumlah materi hidup di atas permukaan pada suatu pohon dan dinyatakan dengan satuan ton berat kering per satuan luas. Biomassa juga didefinisikan sebagai material organik pada bagian atas tanah (*aboveground*) dan bawah tanah (*belowground*), baik yang masih hidup maupun yang mati seperti pada pohon tanaman bawah, rumput, akar dan lain-lain. Biomassa di atas tanah terdiri dari batang, cabang, kulit, buah, biji dan daun. Biomassa di bawah tanah terdiri dari akar termasuk akar halus (Burton *et al*, 2008). Biomassa hutan menyediakan perkiraan kandungan karbon dalam vegetasi hutan, sekitar 50% dari biomassa adalah karbon. Dengan demikian, biomassa dapat menggambarkan potensi jumlah karbon yang dapat ditambahkan ke atmosfer dalam bentuk CO₂,

ketika hutan ditebang habis atau dibakar (Brown, 1997). Perkiraan sebaran biomassa tumbuhan pada berbagai ekosistem darat dapat digambarkan pada Tabel 1 sebagai berikut :

Tabel 1. Perkiraan Sebaran Biomassa Tumbuhan pada Berbagai Ekosistem Darat

Tipe ekosistem	Luas (10 ⁶ km ²)	Biomassa per satuan luas (kg m ⁻²)		Biomassa dunia (10 ⁹ ton)
		Rentang normal	Rataan	
Hutan hujan tropika	17,0	6-80	45	765
Hutan musim tropika	7,5	6 – 60	35	260
Hutan tetap hijau iklim sedang	5,0	6 – 200	35	175
Hutan meluruh iklim sedang	7,0	6 – 60	30	210
Hutan boreal	12,0	6 – 40	20	240
Padang semak dan berkayu	8,5	2 – 20	6	50
Sabana	15,0	0,2 – 15	4	60
Padang rumput iklim sedang	9,0	0,2 – 5	1,6	14
Tundra dan alpin	8,0	0,1 – 3	0,6	5
Semak gurun dan semi gurun	18,0	0,1 – 4	0,7	13
Gurun, cadas, pasir dan es	24,0	0 – 0,2	0,02	0,5
Lahan budidaya	14,0	0,4 – 12	1	14
Rawa dan payau	2,0	3 – 50	15	30
Danau dan jeram	2,0	0 – 0,1	0,02	0,05
Total daratan	149		12,3	1.840 ^b

^a Satuannya adalah kilometer persegi, gram atau kilogram kering per meter persegi, dan ton (t) kering bahan organik.
^b Jumlah dibulatkan sampai kira-kira sama dengan angka yang penting sebagai data yang merupakan perkiraan kasar
Sumber : Salisbury *et al* (1995)

Berdasarkan tabel di atas, hutan tropis memiliki peranan penting karena memiliki potensi biomassa per satuan luas yang tinggi dibandingkan ekosistem yang lain. Brown *et al* (1996) menyatakan bahwa hutan tropis memiliki potensi yang terbesar untuk mitigasi CO₂ melalui upaya konservasi dan manajemen. Biomassa hutan dapat memberikan gambaran jumlah karbon pada vegetasi hutan karena 50% biomassa merupakan karbon (Brown, 1992).

Gibs *et al* (2007) merangkum sebaran karbon biomassa hutan tropis di beberapa negara, yang secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 2 :

Tabel 2. Estimasi Stok Biomassa Karbon Hutan di Beberapa Negara (Mt C)

Negara	Berdasarkan kompilasi data pemanenan			Berdasarkan inventarisasi hutan		Total kisaran (Berdasarkan semua estimasi)
	*1	*2	*3	*4	*5	
Angola	7.811	6.702	11.767	7.215	3.557	3.557–11.767
Bangladesh	65	137	93	92	158	65–158
Belize	198	318	261	218	—	198–318
Benin	410	260	792	292	262	260–792
Bhutan	13	29	121	22	2	2–121
Bolivia	6.542	9.541	9.189	2.469	—	2.469–9.189
Brazil	54.697	81.087	82.510	82.699	—	54.697–82.699
Brunei	58	112	115	72	40	40–115
Burundi	69	51	43	55	9	9–69
Cambodia	1.008	1.800	1.222	1.334	1.914	957–1.914
Cameroon	3.721	3.454	6.138	3.695	3.622	3.454–6.138
CAR	4.059	3.176	7.405	3.524	4.096	3.176–7.405
Colombia	6.737	10.085	11.467	2.529	—	2.529–11.467
Congo	3.458	3.549	5.472	3.740	4.739	3.458–5.472
Costa Rica	471	704	593	493	—	471–704
Colombia	6.737	10.085	11.467	2.529	—	2.529–11.467
Congo	3.458	3.549	5.472	3.740	4.739	3.458–5.472
Costa Rica	471	704	593	493	—	471–704
D.R. Congo	22.986	22.657	36.672	24.020	20.416	20.416–36.672
Ecuador	941	1.379	2.071	351	—	351–2.071
El Salvador	105	153	108	117	—	105–153
Eq. Guinea	304	313	474	330	268	268–474
Ethiopia	183	153	5.537	168	867	153–86
Fr. Guiana	1.097	1.683	1.588	403	—	403–1.683
Gabon	3.063	3.150	4.742	3.315	4.114	3.063–4.742
Gambia, The	7	7	11	7	6	6–11
Ghana	880	612	2.172	678	609	609–2.172
Guatemala	787	1.147	923	823	—	787–1.147
Guinea	854	598	2.051	664	973	598–2.051
Guin.-Bissau	204	145	381	161	78	78–381
Guyana	2.494	3.742	3.354	923	—	923–3.354
Honduras	852	1.268	1.123	901	—	852–1.268
India	5.420	7.333	8.997	5.085	8.560	5.085–8.997
Indonesia	13.143	25.547	25.397	16.448	20.504	10.252–25.547
Ivory Coast	1.047	750	3.355	830	1.238	750–3.355
Kenya	314	320	618	339	163	163–618
Laos	718	1.523	1.388	1.163	1.870	718–1.870
Liberia	506	515	1.302	543	707	506–1.302
Madagascar	1.043	1.055	2.114	1.116	1.796	1.043–2.114
Malawi	290	246	391	267	152	152–391
Malaysia	2.405	4.625	4.821	2.984	3.994	2.405–4.821
Mexico	4.361	5.924	5.790	4.646	—	4.361–5.924
Mozambique	4.567	3.749	5.148	4.068	1.894	1.894–5.148
Myanmar	2.843	5.182	4.867	4.024	4.754	2.377–5.182
Nepal	246	393	369	337	334	246–393

Tabel 2. Estimasi Stok Biomassa Karbon Hutan di Beberapa Negara (Mt C)
(lanjutan)

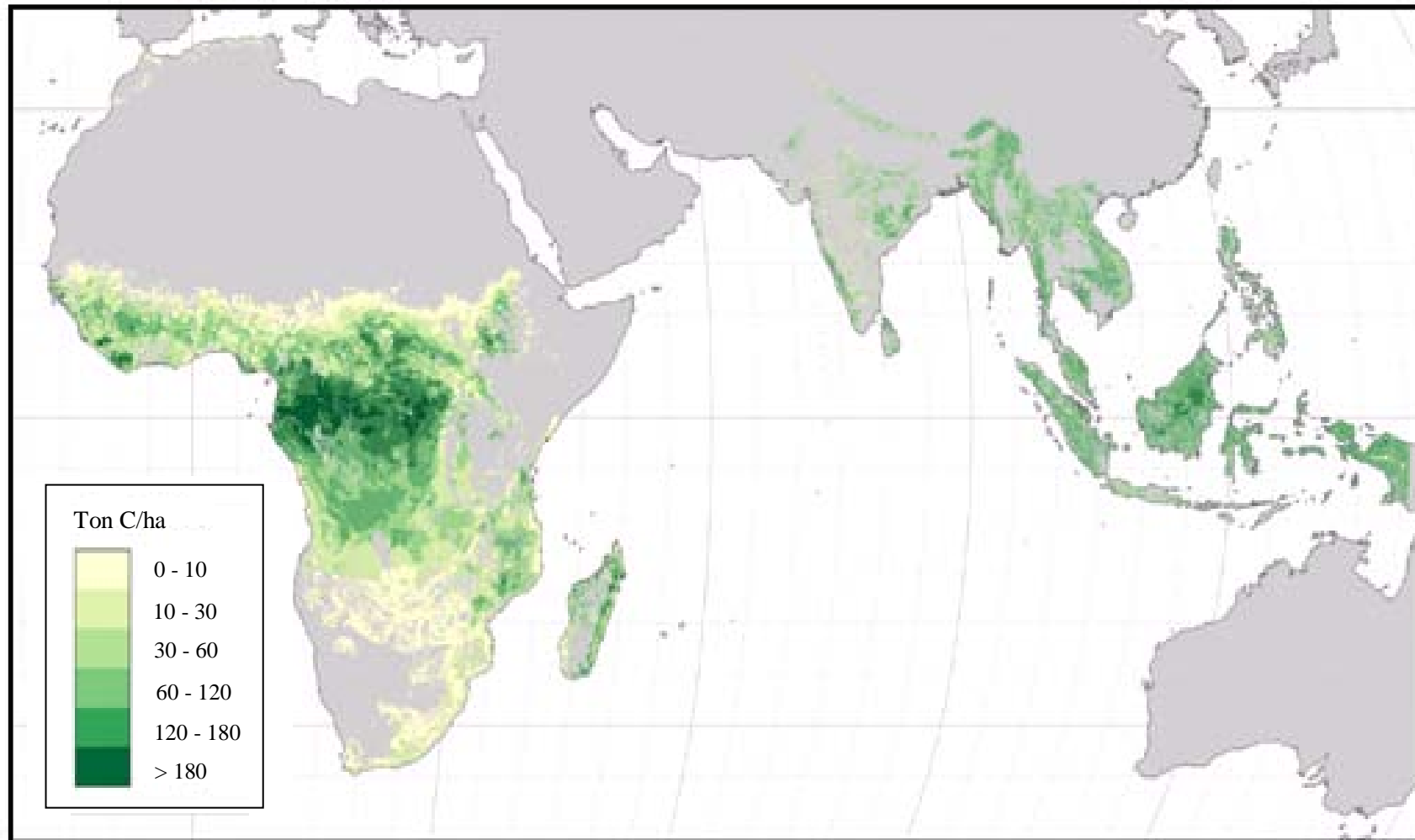
Negara	Berdasarkan kompilasi data pemanenan			Berdasarkan inventarisasi hutan		Total kisaran (Berdasarkan semua estimasi)
	*1	*2	*3	*1	*2	
Nicaragua	930	1.395	1.275	972	—	930–1.395
Nigeria	1.805	1.377	3.952	1.510	1.278	1.278–3.952
Panama	509	763	685	549	—	509–763
PNG	4.154	8.037	7.075	5.160	—	4.154–8.037
Paraguay	2.831	3.659	3.063	1.087	—	1.087–3.659
Peru	7.694	11.521	13.241	2.782	—	2.782–13.241
Philippines	869	1.765	2.503	1.213	1.530	765–2.503
Rwanda	45	45	36	48	6	6–48
Senegal	171	141	228	153	86	86–228
Sierra Leone	136	114	683	123	240	114–683
Sri Lanka	302	509	296	400	138	138–509
Surinam	1.793	2.753	2.330	663	—	663–2.753
Tanzania	2.716	2.221	3.400	2.409	1.281	1.281–3.400
Thailand	1.346	2.489	2.215	1.923	2.104	1.346–2.489
Togo	252	172	510	192	145	145–510
Uganda	536	434	1.237	479	429	429–1.237
Venezuela	6.141	9.202	7.886	2.326	—	2.326–9.202
Vietnam	774	1.632	1.546	1.169	1.642	774–1.642
Zambia	4.295	3.423	6.378	3.725	1.455	1.455–6.378

*1 : Olson *et al* (1983)/ Gibbs (2006)b
 *2 : Houghton (1999)/ DeFries *et al* (2002)
 *3 : IPCC (2006)
 *4 : Brown(1997)/ Achard *et al* (2002, 2004)
 *5 : Gibbs and Brown (2007)

Sedangkan peta sebaran karbon di hutan tropis Afrika dan Asia Tenggara dengan menggunakan model regresi dari pengukuran melalui inventarisasi (Gibbs dan Brown 2007) disajikan pada Gambar 5.

2.5. Inventarisasi Biomassa dan Karbon Hutan

Pengukuran biomassa dan karbon memerlukan pengetahuan tentang penyebaran biomassa dan karbon hasil fotosintesis yang dilakukan oleh tumbuhan. Penyerapan CO₂ di atmosfer melalui fotosintesis oleh tumbuhan akan menempati sejumlah kantong karbon (*carbon pool*), sampai karbon tersebut tersikluskan kembali ke atmosfer. Menurut Sutaryo (2009) kantong karbon tersebut adalah :



Sumber : Gibbs dan Brown (2007)

Gambar 5. Peta Sebaran Karbon di Hutan Tropis Afrika dan Asia Tenggara

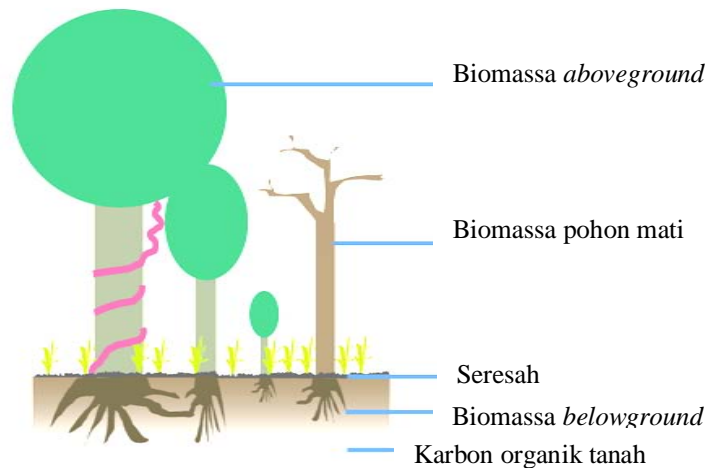
1. Biomassa atas permukaan adalah semua material hidup di atas permukaan. Termasuk bagian dari kantong karbon ini adalah batang, tunggul, cabang, kulit kayu, biji dan daun dari vegetasi baik dari strata pohon maupun dari strata tumbuhan bawah di lantai hutan.
2. Biomassa bawah permukaan adalah semua biomassa dari akar tumbuhan yang hidup. Pengertian akar ini berlaku hingga ukuran diameter tertentu yang ditetapkan. Hal ini dilakukan sebab akar tumbuhan dengan diameter yang lebih kecil dari ketentuan cenderung sulit untuk dibedakan dengan bahan organik tanah dan seresah.
3. Bahan organik mati meliputi kayu mati dan seresah. Seresah dinyatakan sebagai semua bahan organik mati dengan diameter yang lebih kecil dari diameter yang telah ditetapkan dengan berbagai tingkat dekomposisi yang terletak di permukaan tanah. Kayu mati adalah semua bahan organik mati yang tidak tercakup dalam seresah baik yang masih tegak maupun yang roboh di tanah, akar mati, dan tunggul dengan diameter lebih besar dari diameter yang telah ditetapkan.
4. Karbon organik tanah mencakup karbon pada tanah mineral dan tanah organik termasuk gambut.

Keberadaan karbon di alam yang tersimpan dalam tiga komponen utama (biomassa, nekromasa, bahan organik tanah), dapat dibedakan menjadi 2 kelompok yaitu (Hairiah dan Rahayu, 2007):

1. Karbon di atas permukaan tanah, meliputi : biomassa pohon; biomassa tumbuhan bawah; nekromasa (batang pohon mati); seresah daun dan ranting-ranting yang terletak di permukaan tanah.

2. Karbon di dalam tanah, meliputi: biomassa akar; bahan organik tanah.

Menurut IPCC (2003) dalam Henry (2010) lima kantong karbon yang ada di hutan dapat dilihat pada Gambar 6 sebagai berikut :



Sumber : Henry (2010)

Gambar 6. Kantong Karbon

Pengukuran biomassa dan karbon pada semua kantong karbon sangat diperlukan, tidak hanya terbatas pada biomassa batang pohon saja, tetapi juga bagian-bagian pohon yang lain juga harus diukur. West (2009) menyebutkan bahwa bagian pohon seperti daun, cabang dan akar harus juga diukur kandungan biomasanya karena :

1. Semua tanaman termasuk pohon memproduksi biomassa melalui fotosintesis, sehingga ilmuwan harus mengetahui bagaimana pohon itu tumbuh, dan seberapa banyak pohon itu memproduksi biomassa secara keseluruhan.
2. Berkaitan dengan perubahan iklim, pengukuran ini dapat digunakan untuk mengetahui seberapa banyak karbon yang dapat diserap menjadi biomassa hutan di dunia;
3. Pada hutan tanaman yang dikembangkan untuk produksi bioenergi umur 3 – 5 tahun, penjualannya berdasarkan berat, bukan volume kayu;

4. Produk seperti kayu bakar dan kayu bahan *pulp and paper* sering dijual dengan satuan berat.

Secara umum pengukuran karbon pada vegetasi hutan dilakukan berdasarkan tiga metode (BPKH XI dan MFP II, 2009) :

1. *Total harvesting method* (metode pemanenan total); metode ini biasa dilakukan pada pengukuran kandungan biomassa atau karbon pada vegetasi tingkat semak (*shrubs*) dan tingkat herba (*herbs*). Sebagai contoh untuk jenis-jenis tanaman pertanian sebagai campuran *agroforestry*, seperti kacang tanah, jagung, padi, kedelai, tumbuhan bawah, perdu, rumput-rumputan, dan lain-lain.
2. *Stratified clip method/allometric method* (metode destruktif untuk membuat persamaan allometriknya); metode ini biasa dilakukan pada pengukuran kandungan biomassa atau karbon pada vegetasi tingkat tiang (*poles*) dan pohon (*trees*).
3. *Estimation method* (metode estimasi); metode ini dilakukan dengan menggunakan asumsi-asumsi yang lazim digunakan untuk menaksir kandungan karbon vegetasi hutan. Beberapa asumsi yang biasa digunakan untuk menaksir kandungan karbon adalah sebagai berikut:
 - a. kandungan karbon vegetasi pohon = $0,5 \times$ berat biomassa (Brown dan Lugo, 1984)
 - b. kandungan karbon hutan = $80\% \times$ berat arang (Bansal *et al*, 1988)
 - c. biomassa batang = volume batang \times kerapatan kayu (*wood density*)
 - d. total *aboveground biomass* (biomassa pohon di atas tanah) = biomassa batang \times BEF (*Biomass Expansion Factor*)

Ravindranath *et al* (2008) menyebutkan bahwa pemilihan metode inventarisasi karbon bergantung pada faktor jenis dan tujuan kegiatan, ukuran area, tingkat akurasi, sumber daya manusia dan kemampuan teknis yang dimiliki, biaya yang tersedia, dan aksesibilitas. Secara umum metode yang digunakan adalah metode pengukuran di lapangan dan metode *remote sensing*. Metode penghitungan biomassa menurut Sutaryo (2009), terdapat empat cara yaitu :

1. Sampling dengan pemanenan (*Destructive sampling*) secara *in situ*

Metode ini dilaksanakan dengan memanen seluruh bagian tumbuhan termasuk akar, mengeringkan dan menimbang berat biomasanya.

2. Sampling tanpa pemanenan (*Non-destructive sampling*) dengan data pendataan hutan secara *in situ*

Metode ini merupakan cara sampling dengan melakukan pengukuran tanpa melakukan pemanenan. Metode ini antara lain dilakukan dengan mengukur tinggi atau diameter pohon dan menggunakan persamaan allometrik untuk mengekstrapolasi biomassa.

3. Pendugaan melalui penginderaan jauh;

Penggunaan teknologi penginderaan jauh umumnya dianjurkan terutama untuk proyek-proyek dengan skala besar. Hasil pengideraan jauh dengan resolusi sedang mungkin sangat bermanfaat untuk membagi area proyek menjadi kelas-kelas vegetasi yang relatif homogen. Hasil pembagian kelas ini menjadi panduan untuk proses survei dan pengambilan data lapangan .

4. Pembuatan model.

Model digunakan untuk menghitung estimasi biomassa dengan frekuensi dan intensitas pengamatan *in situ* atau penginderaan jauh yang terbatas. Umumnya,

model empiris ini didasarkan pada jaringan dari sampel plot yang diukur berulang, yang mempunyai estimasi biomassa yang sudah menyatu atau melalui persamaan allometrik yang mengonversi volume menjadi biomassa.

2.6. Estimasi Biomassa Hutan/Pohon

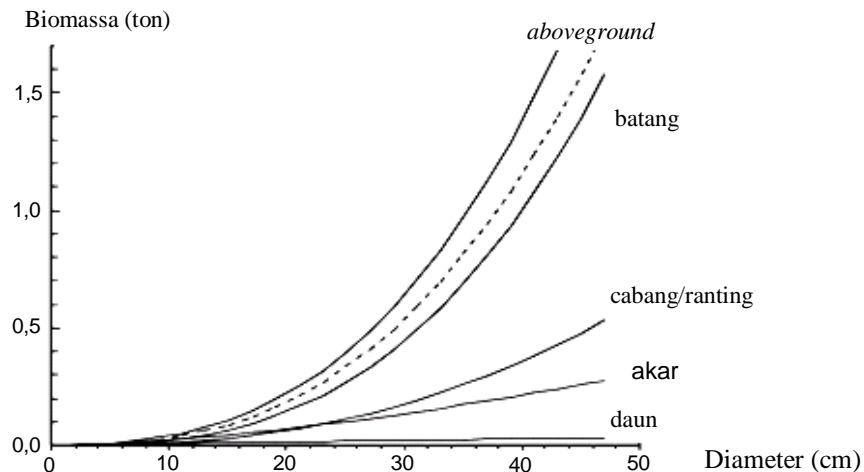
Pada awalnya pengembangan fungsi persamaan untuk estimasi biomassa dilakukan hanya pada biomassa di atas permukaan tanah saja. Hal ini dikarenakan karena pengukuran biomassa akar lebih sulit dibandingkan estimasi biomassa di atas permukaan tanah (West, 2009). Namun pada perkembangan selanjutnya estimasi biomassa dilakukan pada seluruh bagian dari tanaman yang mengandung biomassa hasil proses fotosintesis. Fungsi persamaan untuk melakukan estimasi biomassa hutan dapat menggunakan dua pendekatan, yaitu pendekatan langsung (persamaan allometrik) dan pendekatan tidak langsung (*biomass expansion factor/BEF*) (Sutaryo, 2009).

2.6.1. Persamaan allometrik

Allometrik didefinisikan sebagai suatu studi dari suatu hubungan antara pertumbuhan dan ukuran salah satu bagian organisme dengan pertumbuhan atau ukuran dari keseluruhan organisme. Dalam studi biomassa hutan/pohon persamaan allometrik digunakan untuk mengetahui hubungan antara ukuran pohon (diameter atau tinggi) dengan berat (kering) pohon secara keseluruhan (Sutaryo, 2009).

Perkembangan penelitian yang menggunakan persamaan allometrik untuk menghitung biomassa semua bagian tanaman telah banyak dilakukan. Salah

satunya adalah penelitian yang dilakukan Paul *et al* (2008) pada tanaman *Eucalyptus cladocalyx* umur 5 – 75 tahun yang tumbuh di Australia. Persamaan allometrik pada masing-masing organ tanaman disajikan dalam bentuk grafik :



Sumber : West (2009)

Gambar 7. Grafik Hubungan Diameter Pohon dengan Biomassa Organ Tanaman

Persamaan allometrik juga digunakan pada estimasi biomassa yang dilakukan oleh Purwanto dan Shiba (2005) serta ada banyak contoh kasus lain termasuk untuk pohon di satu tempat, untuk penggunaan lokal, atau penggunaan fungsi untuk berbagai spesies pada lingkup daerah yang lebih luas. West (2009) mencatat beberapa penggunaan persamaan allometrik yang digunakan untuk mengestimasi biomassa pada 22 penelitian yang dilakukan antara tahun 1981 sampai dengan tahun 2008. Purwanto dan Shiba (2005) mengatakan hubungan antara setiap variabel bergantung dengan variabel bebas tersebut akan membentuk sebuah persamaan dalam sumbu XY, dengan variabel bebas akan diletakan pada sumbu X dan bergantung pada sumbu Y. Secara umum, bentuk persamaan allometrik dituliskan sebagai berikut :

$$Y = a X^b$$

Y = variabel bergantung ; a dan b = konstanta; X = variabel bebas.

2.6.2 *Biomass expansion factor (BEF)*

Secara sederhana BEF didefinisikan sebagai rasio antara biomassa keseluruhan pohon dengan biomassa batang. Dalam hal ini biomassa batang yang dimaksud kebanyakan mengacu kepada batang komersial (*commercial stem*) atau *merchantable stem*. Brown (1997) memberikan definisi BEF sebagai: *the ratio of total aboveground oven-dry biomass density of trees with a minimum dbh of 10 cm or more to the oven-dry biomass density of the inventoried volume*. Dengan demikian *biomass expansion factor* dirumuskan sebagai berikut:

$$BEF = \frac{Wt}{V}$$

BEF = *Biomass expansion factor* (Mg/m³); Wt = total biomassa tegakan (Mg/ha); V = volume tegakan (m³/ha). BEF merupakan suatu nilai yang tergantung pada ukuran dan umur pohon/tegakan. Untuk itu, penggunaan BEF untuk mengestimasi biomassa sebaiknya menggunakan BEF yang *age-dependent* atau memerhatikan umur tegakan dalam penyusunannya. Penggunaan BEF yang berupa nilai konstan pada sembarang umur tegakan menghasilkan nilai yang bias.

Sutaryo (2009) menyatakan bahwa *expansion factor* dapat digunakan untuk menggandakan (1) data pada satuan pohon ke data pada satuan pohon (2) data pada satuan tegakan ke data di satuan tegakan pula dan (3) data dari nilai agregat ke nilai agregat lain.

2.6.3 *Rasio Biomassa Belowground : Aboveground (Root : shoot ratio)*

Faktor ekspansi yang dapat digunakan untuk mengestimasi kandungan biomassa adalah rasio biomassa *belowground : aboveground (Root : Shoot Ratio)*. Ravindranath *et al* (2008) menyebutkan bahwa *root: shoot ratio* merupakan

perbandingan antara kandungan biomassa akar (*belowground*) terhadap kandungan biomassa di atas permukaan tanah (*aboveground*). Rasio biomassa *belowground* : *aboveground* memungkinkan untuk mengestimasi kandungan biomassa *belowground* di lapangan dengan mengetahui kandungan biomassa *aboveground*, tanpa harus melakukan pengukuran secara langsung. Cairns *et al* (1997) menyatakan lebih dari 160 studi yang dilakukan di beberapa tipe hutan menunjukkan nilai *root* : *shoot ratio* rata-rata sebesar 0,26 dan berkisar antara 0,18 – 0,30.

Nilai Rasio biomassa *belowground* : *aboveground* di beberapa tipe hutan disajikan pada Tabel 3 sebagai berikut :

Tabel 3. Nilai Rasio biomassa *belowground* : *aboveground* Beberapa Tipe Hutan

Tipe hutan	Rasio biomassa <i>belowground</i> : <i>aboveground</i>	Contoh lokasi
Hutan hujan tropis	0,37	Hutan Campuran Dipterocarpa di Kalimantan
Hutan yang menggugurkan daun	0,20	Hutan jati
	0,24	
Hutan daerah kering tropis	0,56	Hutan savana di NTT
	0,28	
Semak tropis	0,40	Hutan bekas kebakaran
Hutan pegunungan tropis	0,27 (0,27 -0,28)	Hutan wilayah dataran tinggi
Sumber data: IPCC 2006 <i>Guideline for National Greenhouse Gas Inventories</i>		

Biomassa total dapat digunakan untuk mengonversi atau menghitung total karbon yang tersimpan dengan menggunakan asumsi bahwa kandungan karbon kira-kira 50% dari biomassa (Brown dan Lugo, 1982 dalam Schroeder, 1992). Karbon yang tersimpan pada tegakan yang masih berdiri (*carbon standing crop*) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$C \text{ standing crop} = SV \times D \times F \times 0,5$$

Keterangan :

SV = Volume batang

D = Kerapatan kayu

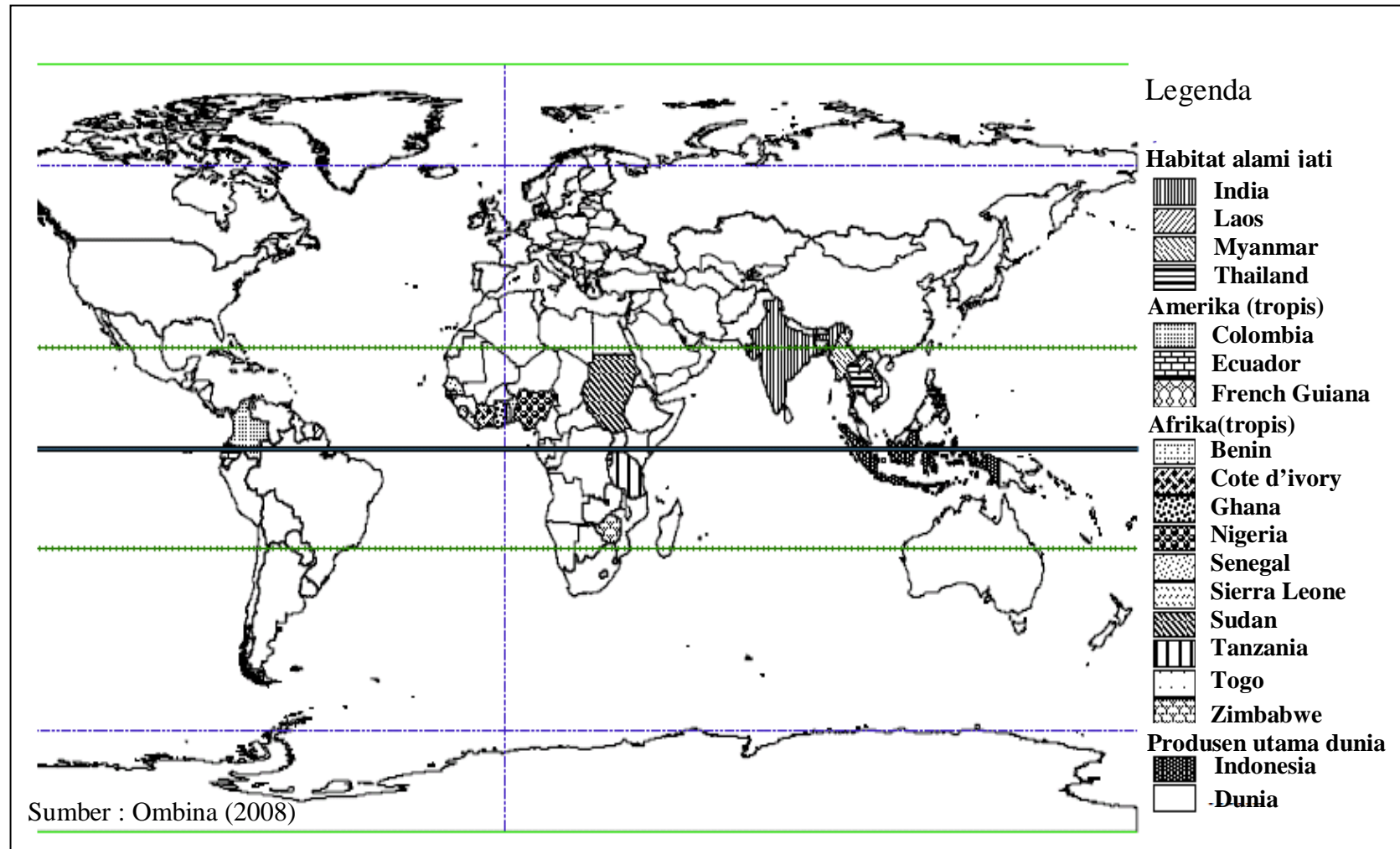
F = faktor ekspansi atau *biomass expansion factor*(BEF)

0,5 = Konstanta kandungan karbon pada suatu biomassa pohon.

2.7. Tanaman Jati

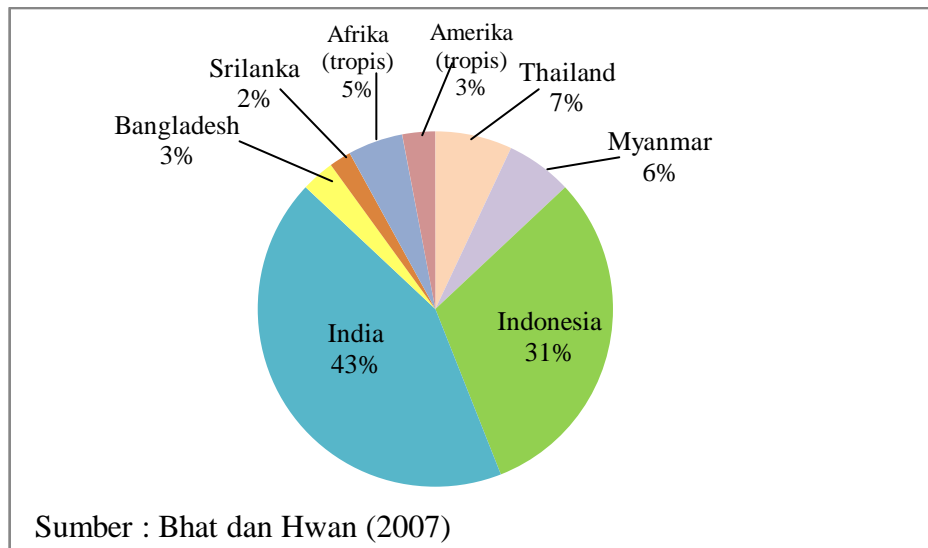
Secara umum, jati dapat tumbuh dengan baik pada tanah yang banyak mengandung kapur. Jati tumbuh di daerah dengan musim kering yang nyata dengan jumlah curah hujan rata-rata 1.200 - 2.000 mm per tahun dan pada ketinggian 0-700 m di atas permukaan laut (Martawijaya *et al*, 1989). Di daerah dengan curah hujan tinggi dan tersebar merata sepanjang tahun, jati juga menderita karena adanya pesaing jenis-jenis yang tidak menngugurkan daun (*non-decidious species*) (Simon, 2000).

Pertumbuhan hutan jati secara alam dapat dijumpai di negara-negara Asia Selatan dan Asia Tenggara, yaitu India, Burma, Thailand, Laos, Cambodia dan Indonesia (Simon, 2000). Ombina (2008) menyatakan keberadaan hutan alam dan hutan tanaman jati di dunia berdasarkan peta tahun 2000 dapat dijelaskan pada Gambar 8.



Gambar 8. Lokasi Penyebaran Hutan Jati di Dunia

Negara-negara penghasil kayu jati memiliki luas areal yang berbeda-beda. Distribusi hutan jati di dunia berdasarkan luas areal yang dimiliki oleh masing-masing negara dapat dijelaskan pada Gambar 9. Di Indonesia, keberadaan hutan jati tersebar di seluruh Jawa, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Nusa Tenggara Barat (Sumbawa); Maluku dan Lampung (Martawijaya *et al*, 1989).



Gambar 9. Persentase Luas Hutan Jati Masing-masing Negara

Kayu jati merupakan jenis kayu yang paling banyak digunakan untuk berbagai keperluan, terutama di Pulau Jawa, karena sifatnya yang baik. Kayu jati praktis sangat cocok untuk segala jenis konstruksi, alat-alat yang memerlukan perubahan bentuk yang kecil. Jati merupakan kayu yang paling baik untuk pembuatan kapal, terutama untuk kapal yang berlayar di daerah tropis. Kayu jati dapat juga dipakai untuk tong dan pipa dalam industri kimia karena mempunyai daya tahan terhadap berbagai bahan kimia (Martawijaya *et al*, 1989).

Menurut Heyne (1987), tanaman jati (*Tectona grandis*, L.f.) tergolong dalam Genus *Tectona*; famili Verbenaceae; Ordo Lamiales; Sub-kelas Dicotyledonae;

Kelas Angiospermae; Devisio Spermatophyta. Menurut Hardjodarsono, (1977)
tanaman jati memiliki ciri-ciri morfologis sebagai berikut :

- Batang dapat mencapai tinggi 45 m dengan panjang batang bebas cabang 15-20 m, diameter dapat mencapai 220 cm, umumnya 50 cm, bentuk batang tidak teratur dan beralur.
- Kulit kayu berwarna kecoklatan dan abu-abu yang sifatnya mudah terkelupas dengan tebal 8 – 12 mm di bawah dan 2 – 4 mm berbulu di pucuk batang..
- Dahan berbentuk bengkok-bengkok dan lekuk-lekuk memiliki cabang banyak dan ranting-ranting kasar,berpenampang empat segi serta berambut banyak.
- Daun tanaman jati berbentuk *opposite* atau bentuk jantung yang membulat dengan bagian ujung yang meruncing, panjang daunnya sekitar 20-50 cm dengan lebar 15-40 cm. Bagian atas daun berwarna hijau, kasar kalau dipegang, sedangkan bagian bawahnya berwarna hijau kekuning-kuningan, berbulu halus dan kalau dirusak menjadi berwarna merah. Daun tanaman jati yang masih muda berwarna merah dengan besar yang beragam.
- Bunga memiliki susunan banyak terminal, bulir-bulir bercabang susun, berbulu halus. Ukuran panjang dapat mencapai 40 – 70 cm dan lebar 33 – 80 cm serta memiliki bunga-bunga kecil berwarna putih. Biasanya tanaman ini berbunga lebat pada awal musim hujan (\pm Nopember).
- Buah memiliki kulit keras, berbentuk bulat agak keping dengan garis tengah 5 – 24 mm.
- Akar tunjang dapat tumbuh dengan cepat pada waktu muda, yang tak lama kemudian akan bercabang-cabang sehingga akar tunjangnya tak nyata lagi.

Akar yang tumbuh ke samping membuat cabang pula yang arahnya tegak lurus ke bawah.

Tanaman jati memiliki kayu teras berwarna coklat muda, coklat kelabu sampai coklat merah tua atau merah coklat. Kayu gubal berwarna putih atau kelabu kekuningkuningan. Tekstur kayu agak kasar dan tidak merata dengan arah serat lurus atau kadang-kadang agak terpadu. Ciri lain yang dimiliki tanaman ini adalah permukaan kayu licin atau agak licin, kadang-kadang seperti berminyak. Lingkaran tumbuh jenis ini nampak jelas, baik pada bidang transversal maupun radial, seringkali menimbulkan gambar indah (Martawijaya *et al*, 1989).

Kayu jati termasuk kayu kelas kuat II dengan berat jenis 0,67 (0,62-0,75). Sedangkan keawetan kayu jati termasuk kelas awet II, berdasarkan hasil laboratoris terhadap *Cryptotermes cynocephalus* Light dan percobaan kuburan terhadap jamur dan rayap tanah. Sifat lain yang dimiliki oleh kayu jati adalah mengering lambat dengan cacat yang minimal (Martawijaya *et al*, 1989).

III. METODE PENELITIAN

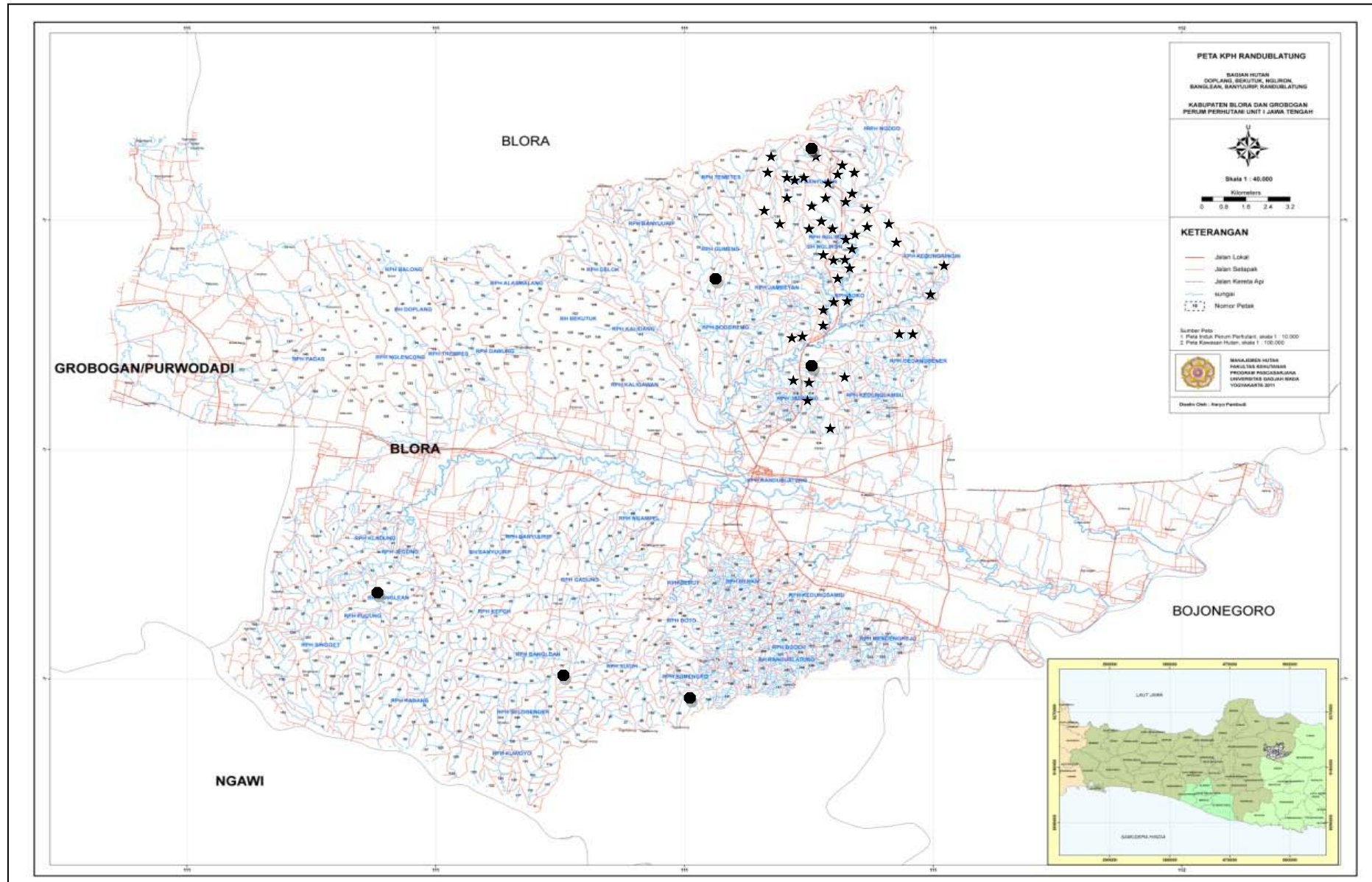
3.1. Lokasi dan Waktu Pengambilan Data

Penelitian dilakukan di KPH Randublatung, wilayah kerja Perum Perhutani Unit I Jawa Tengah yang mengelola kelas perusahaan jati. Berdasarkan peta administratif KPH Randublatung, terletak pada $7^{\circ} 05' - 7^{\circ} 20'$ LS dan $111^{\circ} 11' - 111^{\circ} 26'$ Bujur Timur. Pengambilan data dilakukan pada musim hujan dan berlangsung mulai bulan Agustus 2010 sampai bulan Januari 2011. Proses analisis kandungan biomassa dan kadar karbon dilakukan di Laboratorium Tanah Hutan Jurusan Budidaya Hutan, Fakultas Kehutanan UGM.

3.2. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pohon jati (*Tectona grandis*, L.f) sebanyak 18 buah. Sedangkan alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. *Phi band* digunakan untuk mengukur diameter batang;
2. Timbangan gantung digunakan untuk mengetahui berat basah pohon;
3. Meteran gulung untuk mengukur panjang sampel pohon setelah rebah dan mengukur jarak pohon dengan pengamat ketika melakukan pengukuran tinggi pohon;
4. Hagameter digunakan untuk mengukur tinggi pohon;
5. Alat tulis untuk merekapitulasi data;
6. Timbangan manual digunakan untuk mengetahui berat basah pohon sampel;



Keterangan : ● adalah lokasi pengambilan pohon sampel; ★ adalah lokasi pembuatan petak ukur

Gambar 10. Peta Lokasi Penelitian

7. Gergaji mesin dan gergaji tangan digunakan untuk memotong bagian batang pohon yang akan dijadikan sampel dalam penelitian;
8. Karung, amplop, plastik digunakan sebagai wadah sampel;
9. Oven listrik digunakan untuk mengeringkan sampel;
10. Peralatan dan bahan kimia
 - a. Peralatan kimia : pipet, labu ukur, erlemeyer dan peralatan kimia untuk titrasi
 - b. Bahan kimia yang digunakan :
 - Kalium Dikromat ($K_2Cr_2O_7$ 1 N)
 - Asam sulfat pekat H_2SO_4 , tidak boleh kurang dari 96%
 - Asam fosfat H_3PO_4 , 85 %
 - $C_{12}H_{11}N$ Diphenyl Amine
 - Ferro Sulfat $FeSO_4$ 0,1 N
 - Aquadest (Air Suling)
11. Label digunakan untuk memberikan identitas sampel;
12. Timbangan digital digunakan untuk menimbang sampel dengan keakuratan yang tinggi;
13. Alat dokumentasi;
14. *Software Microsoft Office 2007* dan SPSS digunakan untuk mengolah data.

3.3. Metode Penelitian

Metode penentuan kandungan biomassa dan kadar karbon pohon dilakukan dengan pemanenan dan pembuatan persamaan allometrik untuk menduga kandungan biomassa dan kadar karbon tegakan.

3.3.1 Pengambilan Sampel di Lapangan

Pengambilan sampel dilakukan secara *purposive* menyesuaikan dengan rencana tebangan tahun 2010 di KPH Randublatung. Pengukuran kandungan biomassa dan kadar karbon dilakukan pada 18 pohon sampel yang berasal dari kelas hutan produktif umur 6; 16; 30; 36; 58 dan 85 tahun. Prosedur pengambilan sampel dilakukan sebagai berikut :

a. Pemilihan Pohon Sampel

Pohon sampel diambil sebanyak 3 buah pada tiap kelas umur yang ditentukan. Ketiga pohon yang dipilih memiliki variasi diameter yang terkecil, sedang dan terbesar. Penentuan variasi diameter didasarkan data inventarisasi untuk kegiatan penjarangan dan penebangan yang dilakukan KPH Randublatung. Pohon sampel umur 6; 16; 30 dan 36 tahun berasal dari tebangan E, sehingga kondisi pohon masih berdaun. Sehingga pemilihan 12 pohon sampel dilakukan dengan kriteria pohon sehat, memiliki batang tunggal dan tajuk kompak. Sedangkan 6 pohon sampel umur 58 dan 85 tahun berasal dari tebangan A (sudah mengalami teresan). Sehingga pohon sampel dipilih dengan kriteria batang tunggal dan kulit yang masih menempel. Pengambilan pohon sampel pada penelitian ini tidak memperhitungkan faktor bonita. Setelah pohon dipilih dilakukan pengukuran tinggi pohon menggunakan hagameter dan dbh menggunakan *phiband*.

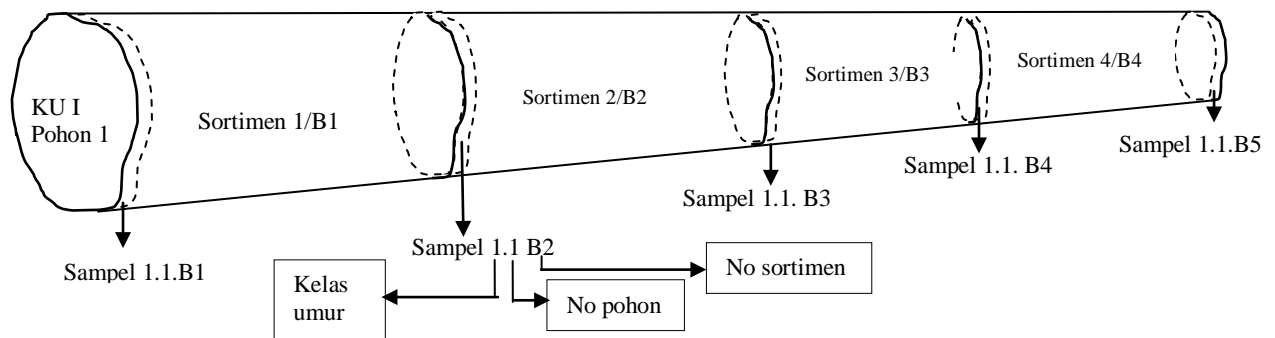
b. Penebangan Pohon Sampel

Kegiatan penebangan dilakukan bersamaan dengan jenis tebangan yang dilakukan oleh Perum Perhutani pada petak yang memiliki Kelas Umur yang telah ditentukan (*purposive*). Pohon-pohon sampel yang ditebang selanjutnya diukur

panjang pohon, panjang batang pokok, panjang dari pangkal ke tinggi batang bebas cabang (tbbc), panjang dari tbbc ke ujung serta diameter tbbc. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan meteran gulung. Selanjutnya perlakuan pada masing-masing bagian pohon dapat dijelaskan sebagai berikut :

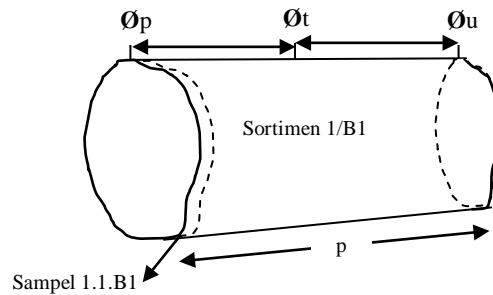
- **Batang**

Kegiatan pembagian batang dilakukan mengikuti klasifikasi sortimen yang ada di Perhutani. Pada masing-masing sortimen diberi tanda/kode sebagaimana contoh pada Gambar 11.



Gambar 11. Pengambilan Sampel Batang

Pengukuran volume sortimen menggunakan rumus Newton akan memberikan hasil lebih akurat pada semua bagian batang dan berbagai bentuk sortimen dibandingkan menggunakan rumus Huber dan Smalian. West (2009) menyatakan bahwa pengukuran volume batang menggunakan rumus Newton menghasilkan kesalahan rata-rata lebih kecil dibandingkan rumus Huber dan Smalian. Masing-masing sortimen diukur diameternya pada 3 tempat yaitu diameter pangkal (\varnothing_p); diameter tengah (\varnothing_t); diameter ujung (\varnothing_u) serta panjang batang (p). Selain itu juga dilakukan penimbangan pada masing-masing sortimen (jika memungkinkan). Kegiatan pengukuran diameter dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Pengukuran Sortimen

Rumus untuk menghitung volume tiap sortimen menggunakan rumus Newton :

$$v = \frac{g_p + 4g_t + g_u}{6} \times p$$

Keterangan :

v = Volume balok/batang kayu

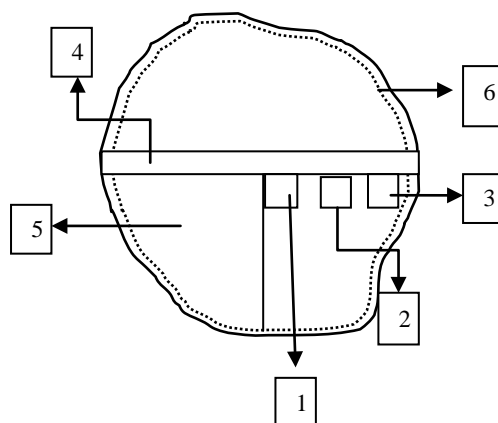
g_p = Luas penampang melintang bagian pangkal

g_t = Luas penampang melintang bagian tengah

g_u = Luas penampang melintang bagian ujung

p = Panjang balok yang diukur

Sampel yang diambil dari masing-masing sortimen selanjutnya dibuat sampel disk dan sampel serbuk untuk menghitung biomassa batang dan kadar karbon sebagaimana Gambar 13.



Keterangan :

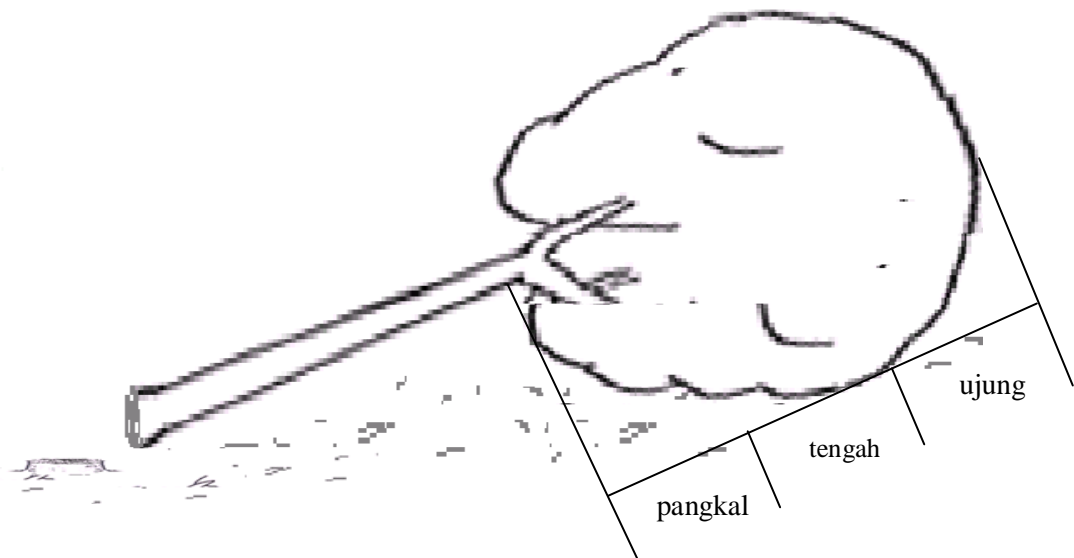
1. Sampel disk 1 (2x2x2)cm³
2. Sampel disk 2 (2x2x2)cm³
3. Sampel disk 3(2x2x2)cm³
4. Sampel disk 4 (batang dan kulit) (tebal 2 cm)
5. Untuk diserbukkan
6. Kulit

Gambar 13. Pengambilan Sampel Disk dan Serbuk Batang

Sampel disk yang diperoleh diukur berat dan volumenya. Sedangkan sampel no 5 diserbukkan di Laboratorium Teknologi Hasil Hutan Fakultas Kehutanan, UGM.

- **Cabang/ Ranting dan Daun**

Pengambilan sampel cabang/ranting dan daun dilakukan dengan membagi tajuk menjadi 3 bagian, yaitu bagian pangkal, tengah dan ujung. Pengukuran dan pembuatan sampel cabang yang ukurannya masuk ke dalam kategori sortimen di Perum Perhutani dilakukan sama dengan pengukuran dan pembuatan sampel batang. Sedangkan sampel cabang dan ranting yang tidak masuk ke dalam sortimen, ditimbang per bagian. Selanjutnya diambil sampel per bagian sebanyak 3 ulangan.



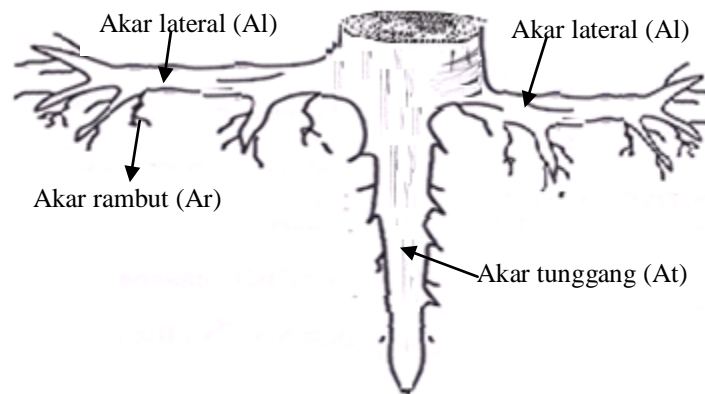
Gambar 14. Pengambilan Sampel Cabang/Ranting dan Daun

Sedangkan untuk pengukuran sampel cabang/ranting yang tidak termasuk ke dalam klasifikasi sortimen dilakukan penimbangan sampel dan pengukuran volume dengan menggunakan kaliper dengan panjang sampel 2 cm. Pengambilan sampel daun juga diambil dari masing-masing bagian sebanyak 3 ulangan.

Masing-masing sampel daun dilakukan penimbangan daun dan dihitung luas daun.

- Akar

Semua bagian akar pohon diambil dan dipisahkan ke dalam 3 bagian yaitu akar tunggang, akar lateral, akar rambut (diameter < 1 cm). Pengambilan sampel masing-masing bagian akar dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Pengambilan Sampel Akar

Masing-masing bagian ditimbang berat totalnya, dan diambil sampel sebanyak 3 ulangan. Sampel akar tunggang dan lateral diambil dengan tebal 2 cm.

3.3.2. Pengujian Laboratorium

Prosedur pengujian laboratorium menggunakan sampel yang telah diperoleh dari lapangan adalah sebagai berikut :

3.3.2.1. Pengukuran Kandungan Biomassa

Kandungan biomassa sampel batang, cabang/ranting, akar maupun daun ditimbang dan diukur berat basah dan berat kering tanur. Berat basah diperoleh dengan menimbang sampel sebelum dimasukkan ke dalam oven. Sedangkan berat

kering tanur diperoleh dengan cara pengovenan pada suhu $103 \pm 2^\circ \text{C}$ sampai tercapai berat kering konstan atau berat kering tanur.

Tiap bagian organ batang, cabang/ranting, daun maupun akar dihitung kandungan biomasanya dengan menggunakan rumus berikut :

$$BO = \frac{BK}{BB} \times BBt$$

Keterangan :

BO = Biomassa organ (batang, cabang/ranting, akar dan daun);

BK = Berat kering konstan/biomassa sampel (g);

BB = Berat basah sampel (g);

BBt = Berat basah per bagian pohon (batang, cabang/ranting, akar dan daun).

3.3.2.2. Perhitungan Kandungan Karbon

a. Pengukuran berat kering mutlak

Berat kering mutlak digunakan sebagai salah satu komponen dalam rumus kadar C pada metode *Walkley and Black* dengan bagian batang, cabang/ranting, akar dan daun yang telah diserbukan. Adapun langkah-langkah yang dilakukan adalah :

- 1) Menimbang berat cupu.
- 2) Memasukan serbuk sampel (lolos ayakan 40 mesh) sebanyak 1 gram (berat awal sampel serbuk /BBss ke dalam cupu.
- 3) Menimbang berat cupu dan berat awal sampel serbuk (BC+BBss)
- 4) Memasukan cupu dan serbuk sampel (BC+BBss) ke dalam oven dengan suhu $103 \pm 2^\circ \text{C}$
- 5) Menimbang dan mencatat setiap penurunan berat setiap 3 hari (sampel berat mencapai konstan)

6) Setelah mencapai konstan, menimbang dan mencatat berat cupu dan berat kering sampel serbuk (BC+BK_{ss})

7) Mencari berat air BA, dengan rumus :

$$BA \text{ (g)} = (BC+BB_{ss}) - (BC+BK_{ss})$$

8) Mencari kadar lengas, dengan rumus :

$$KL \text{ (%) } = \frac{BA}{(BK_{ss} + BC) - BC} \times 100\%$$

9) Mencari berat kering mutlak (BKM), dengan rumus :

$$BKM \text{ (g)} = \text{Bul} \times \left(1 - \frac{KL}{100}\right)$$

Keterangan :

Bul = berat sampel untuk uji larutan = 0,025 g

KL = kadar lengas

b. Perhitungan kandungan karbon

Bahan :

- $K_2Cr_2O_7$ 1N (dilarutkan 49,04 g *reagent grade* $K_2Cr_2O_7$ (kering 105°C) dalam 1000 ml aquades);
- H_2SO_4 pekat (tidak boleh kurang dari 96 %);
- H_3PO_4 (85%);
- *Diphenyl Amine* (0,5 g *reagent grade* diphenyl amine + 20 ml aquades) dan 100 ml H_2SO_4 pekat.
- $FeSO_4$ 1N (dilarutkan 278 g *reagent grade* $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ dalam 500 ml aquades ditambahkan 15 ml H_2SO_4 (96%), dibiarkan dingin, dijadikan 1000 ml dengan aquades. Dapat juga digunakan $FeSO_4$ 0,5 N)

Cara Kerja :

- 1) Ditimbang sampel kering udara sekitar 0,025 g serbuk sampel (lolos ayakan 40 mesh), penimbangan dalam gelas arloji yang bersih dan kering.
- 2) Dimasukkan ke dalam labu takar 50 ml dan menambahkan 10 ml $K_2Cr_2O_7$ 1N dengan pipet.
- 3) Ditambahkan 10 ml H_2SO_4 pekat dengan gelas ukur.
- 4) Dikocok dengan gerakan mendatar dan memutar.
- 5) Ditambahkan 5 ml H_3PO_3 85% dan 1 ml indikator *diphenyl amine*.
- 6) Ditambahkan air suling sehingga volume menjadi 50 ml (penambahan air suling hendaknya memakai botol pemancar air).
- 7) Dikocok dengan cara membalik-balik sampai homogen dan biarkan mengendap.
- 8) Diambil larutan yang jernih dengan pipet 5 ml, kemudian dimasukkan ke dalam abu erlemeyer 50 ml, ditambahkan 15 ml air suling.
- 9) Dititrasi dengan 1N $FeSO_4$ hingga warna menjadi kehijau-hijauan.
- 10) Langkah-langkah ini diulangi tanpa contoh sampel untuk keperluan blanko.

c. Perhitungan Kadar Karbon (C)

Perhitungan kadar karbon hasil pengujian metode *Walkey and Black* menggunakan rumus (Anonim, 1987) :

$$(\text{Bahan organik tanah/jaringan}) = C \frac{100\%}{58\%}$$

$$(C) = \frac{(B-A) \times n\text{FeSO}_4 \times 3}{\frac{100}{100+KL} \times \text{berat tanah / jaringan}} \times 10 \times \frac{100}{77} \times 100\%$$

Keterangan :

C = kadar karbon dalam %

B = volume titrasi larutan kontrol dalam mililiter

A = volume titrasi larutan sampel serbuk dalam mililiter

n FeSO₄ = Normalitas Asam Ferro Sulfat 0,1 N

3 = konstanta ekuivalensi 1 ml K₂Cr₂O₇ 1 N = 3mg C

10 = volume FeSO₄ yang ditambahkan kedalam sampel serbuk dalam ml

$\frac{100}{77}$ berasal dari $\frac{(C) \text{ metode Walkley \& Black}}{(C) \text{ metode Densstedt}}$

3.3.3. Kandungan Karbon Pohon

Kandungan karbon diperoleh dengan menjumlahkan kandungan karbon masing-masing organ pohon yang terdiri dari akar, batang, cabang/ranting, dan daun. Perhitungan kandungan karbon untuk masing-masing organ pohon (op) adalah sebagai berikut :

$$C(\text{op}) = \text{Total Biomassa}(\text{op}) \times \text{Kadar Karbon}(\text{op})$$

Pada proses perhitungannya dihitung masing-masing organ pohon dimasukkan ke dalam rumus di atas, dan selanjutnya dijumlahkan untuk memperoleh kandungan karbon pohon.

3.4. Persamaan Allometrik

Persamaan allometrik dibuat berdasarkan data yang telah diperoleh seperti dbh, biomassa organ pohon, biomassa pohon dan kandungan karbonnya dengan menggunakan persamaan regresi. Persamaan ini dapat digunakan untuk memrediksi atau meramal seberapa jauh pengaruh satu variabel atau beberapa

variabel bebas (*independent*) terhadap variabel bergantung (*dependent*) (Pratisto, 2009).

Persamaan regresi dapat berupa pola hubungan linier yang biasa disebut regresi linier. Selain pola hubungan linier juga terdapat pola-pola hubungan yang lain, misalnya (Pratisto, 2009):

- 1) Polinom kuadratik (pangkat 2) : $Y = b_0 + b_1X + b_2X^2$
- 2) Polinom kubik (pangkat 3) : $Y = b_0 + b_1X + b_2X^2 + b_3X^3$
- 3) Polinom pangkat k : $Y = b_0 + b_1X + b_2X^2 + b_3X^3 + \dots + b_kX^k$
- 4) Inverse : $Y = b_0 + \frac{b_1}{X}$
- 5) Logaritmik : $Y = a + b \ln X$
- 6) Eksponensial : $Y = a e^{bX}$ atau $\ln(Y) = \ln(b_0) + (b_1 * t)$
- 7) Power : $Y = aX^b$ atau $\ln(Y) = \ln(a) + b \ln(X)$
- 8) S-Curve : $Y = e^{(a + \frac{b}{X})}$ atau $\ln(Y) = \ln(a) + \ln(b) X$
- 9) Growth : $Y = e^{(a+bX)}$ atau $\ln(Y) = a + bX$
- 10) Hiperbola : $Y = \frac{a}{bX}$

Dalam penelitian ini penentuan model terpilih didasarkan pada nilai koefisien determinasi (R^2), jumlah kuadrat error (*residual sum of square*) serta pengujian model dengan uji varians. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan SPSS.

3.5. Kemampuan Hutan Jati Menyimpan Karbon

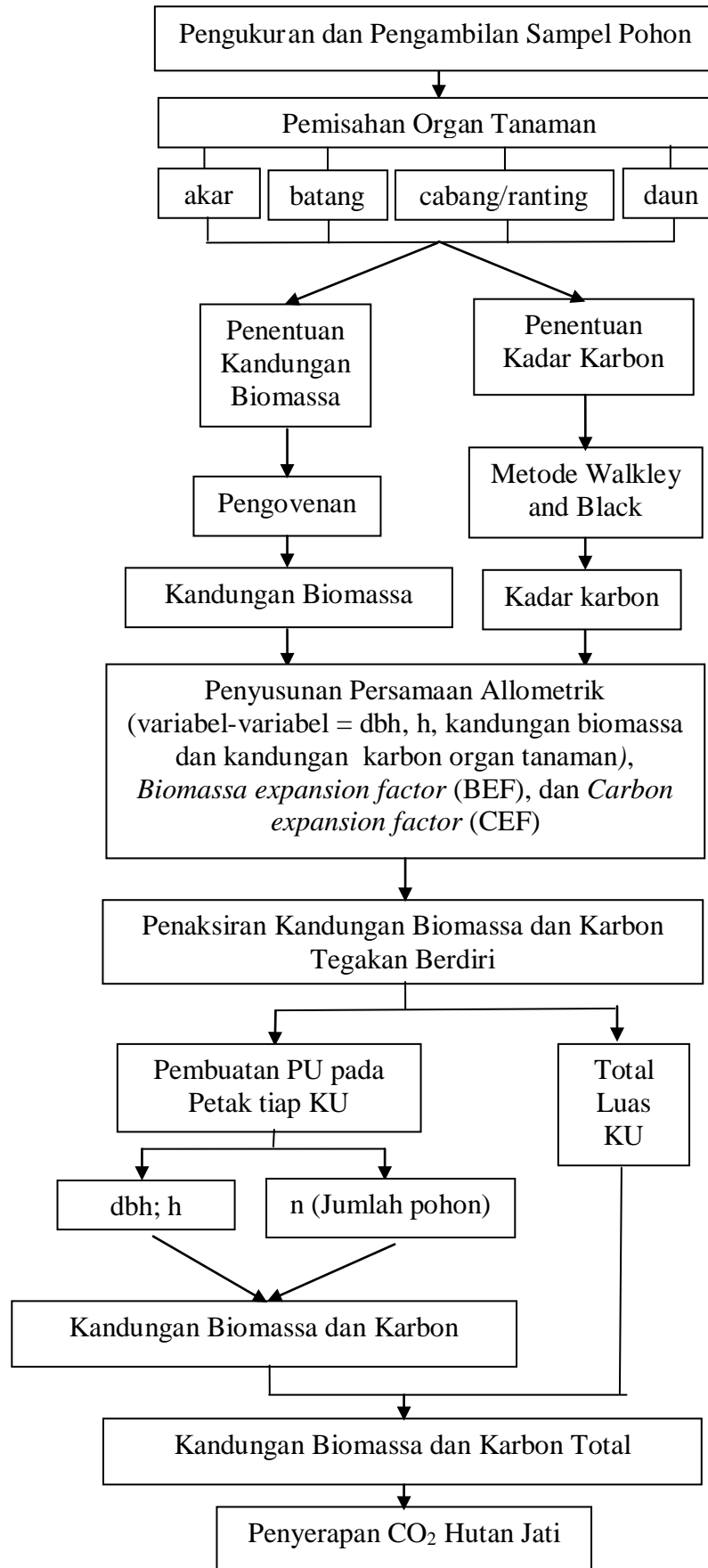
Penghitungan kemampuan hutan jati dalam menyimpan karbon dapat dilakukan dengan melakukan inventarisasi pada masing-masing petak ukur. Dari hasil inventarisasi ini diharapkan akan diperoleh data jumlah dan ukuran pohon

per hektar, yang selanjutnya dapat dihitung potensi karbon per hektar dengan menggunakan berat karbon tiap pohon. Dengan menggunakan konversi luas, maka potensi simpanan karbon pada hutan jati dapat diketahui.

Kegiatan inventarisasi dilakukan pada petak yang memiliki umur termuda sampai dengan petak dengan umur tegakan tertua. Pengukuran dilakukan pada tiap umur yang tersedia di KPH Randublatung. Inventarisasi dilakukan pada 47 petak dengan umur tegakan yang berbeda. Pengukuran dilakukan secara *purposive* dengan membuat 3 petak ukur (PU) pada petak yang dipilih. Pembuatan petak ukur dilakukan dengan memilih pada bagian tegakan dengan kondisi rapat, sedang dan jarang. Jumlah pohon per ha tegakan jati berkurang seiring bertambahnya umur tanaman karena pelaksanaan penjarangan. Sehingga penentuan kriteria rapat, sedang dan jarang pada masing-masing umur dilakukan secara berbeda-beda. Petak ukur yang dibuat memiliki bentuk lingkaran. Luas petak ukur yang dibuat memiliki klasifikasi : untuk Kelas Umur I – II adalah 0,02 ha; KU III – IV adalah 0,04 ha; dan KU >V adalah 0,1 ha.

3.6. Penyerapan Karbondioksida (CO₂) Hutan Jati

Menurut Basuki *et al* (2008) kuantifikasi pengurangan CO₂ udara oleh tanaman diperoleh dari konversi karbon dalam biomassa tanaman dengan rumus $CO_2 = 44/12 \times C$. Besarnya penyerapan CO₂ diperoleh dengan menggunakan perbandingan massa atom CO₂ terhadap C (karbon) yaitu $(44 : 12) = 3,67$. Sehingga penyerapan CO₂ hutan jati = $3,67 \times$ penyimpanan karbon (C).



Gambar 16. Diagram Alir Metode Penelitian

IV. GAMBARAN UMUM LOKASI PENELITIAN

4.1 Lokasi

Penelitian dilakukan di KPH Randublatung, Perum Perhutani Unit I Jawa Tengah yang berada dalam dua wilayah kabupaten yaitu Kabupaten Blora, seluas 31.761,40 ha (97,8%) dan Kabupaten Grobogan, Propinsi Jawa Tengah seluas 702,70 ha (2,2%). Secara geografis KPH Randublatung terletak pada $7^{\circ} 05' - 7^{\circ} 20'$ LS dan $111^{\circ} 11' - 111^{\circ} 26'$ Bujur Timur. Batas administrasi KPH Randublatung adalah sebagai berikut :

1. Sebelah utara dan timur : wilayah Kabupaten Blora
2. Sebelah selatan : wilayah Kabupaten Ngawi (Jawa Timur)
3. Sebelah barat : wilayah Kabupaten Grobogan

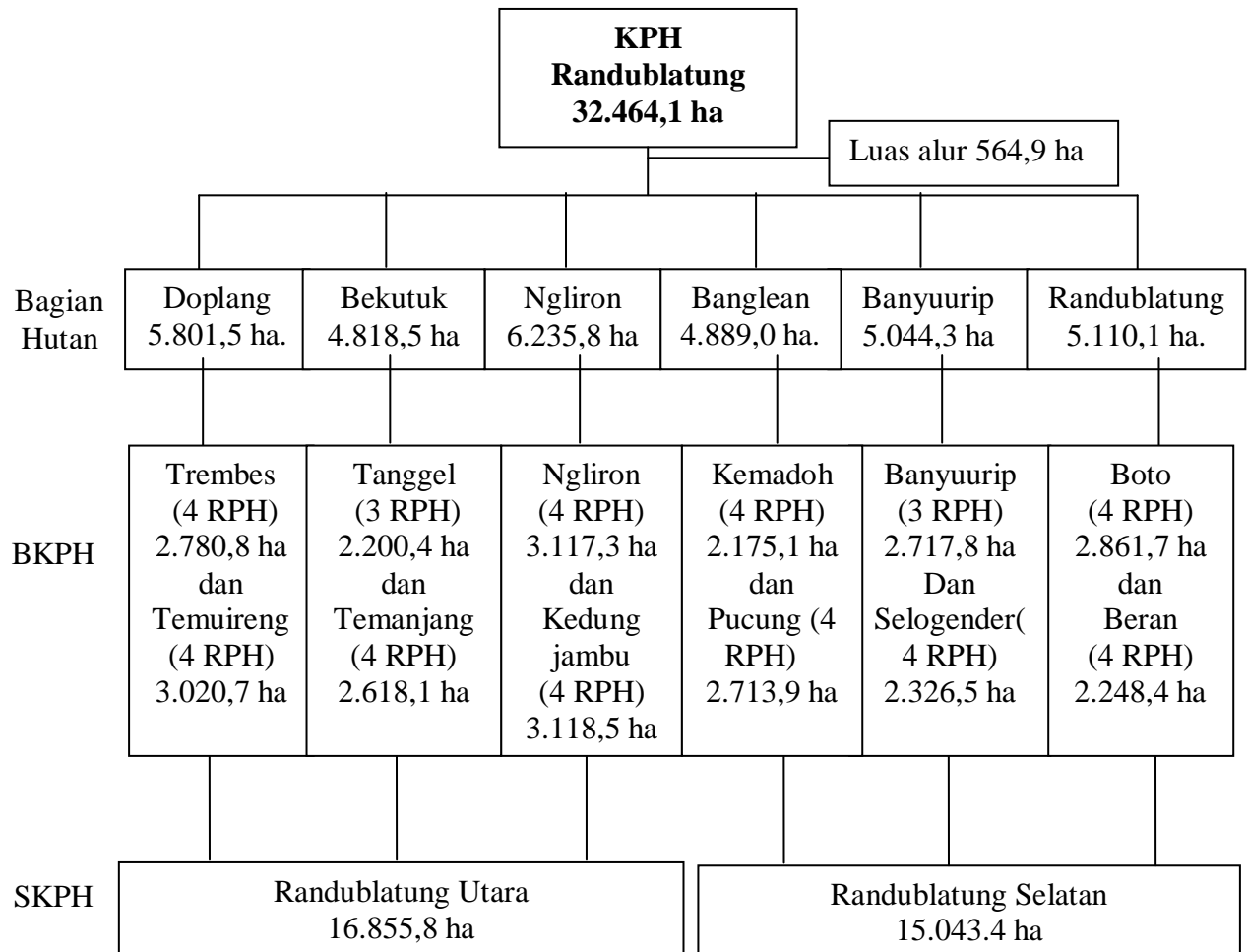
Kawasan hutan tersebut terbagi dalam 6 kecamatan yaitu Kecamatan Randublatung; Jati; Kradenan; Jepon; Banjarejo, Kabupaten Blora dan Kecamatan Gabus, Kabupaten Grobogan.

Wilayah kerja KPH Randublatung seluas 32.464,1 ha terdiri dari hutan produksi seluas 32.438,7 ha dan hutan suaka alam/cagar alam/ hutan wisata seluas 25,4 ha. Batas KPH Randublatung adalah sebagai berikut :

1. Sebelah utara : wilayah KPH Blora (Unit I Jawa Tengah)
2. Sebelah timur : wilayah KPH Cepu (Unit I Jawa Tengah)
3. Sebelah selatan : wilayah KPH Ngawi (Unit II Jawa Timur)
4. Sebelah barat : wilayah KPH Gundih (Unit I Jawa Tengah)

Menurut aspek perencanaan dan aspek pengelolaan/manajemen KPH

Randublatung dapat digambarkan dalam diagram sebagai berikut :



Gambar 17. Skema Pembagian Wilayah Hutan KPH Randublatung

4.2. Tanah dan Topografi

Berdasarkan Risalah PK 2 tahun 2008, jenis tanah yang terdapat di kawasan hutan KPH Randublatung sebagian besar didominasi oleh Grumusol (Vertisol) serta Aluvial (Entisol), Regusol (Entisol), dan Mediteran (Alvisol).

Kawasan KPH Randublatung berada pada ketinggian antara 10 sampai 250 m di atas permukaan laut (dpl). Kondisi topografi kawasan hutan rata-rata landai, datar, sampai dengan bergelombang. Kondisi topografi di KPH Randublatung disajikan pada Tabel 4 sebagai berikut :

Tabel 4. Kondisi Topografi Wilayah KPH Randublatung

No	Kelerengan	Jumlah (%)
1	Datar (Kelerengan 0-8%)	20
2	Landai (Kelerengan 8-15%)	60
3	Bergelombang (Kelerengan 15-25%)	20
4	Agak Curam (Kelerengan 25-40%)	0
5	Curam (Kelerengan >40%)	0
	Jumlah	100

Sumber : Monografi KPH Randublatung tahun 2005-2009

4.3. Iklim

Berdasarkan tipe iklim menurut Schmidt dan Ferguson, tipe iklim KPH Randublatung termasuk tipe iklim C dengan curah hujan rata-rata per tahun sekitar 1.450 mm, dengan bulan basah tertinggi 60% dan bulan basah terendah 33%. Perkembangan rata-rata hari hujan dan curah hujan wilayah kabupaten Blora pada tahun 2005-2009 disajikan dalam Tabel 5 di bawah ini :

Tabel 5. Rata-rata Hari Hujan dan Curah Hujan Wilayah Kabupaten Blora pada Tahun 2005-2009

No	Tahun	Hari Hujan	Curah Hujan (mm)	Keterangan
1	2005	73	1551	
2	2006	80	1427	
3	2007	86	1471	
4	2008	90	1336	
5	2009	-	-	Data Belum Ada

Sumber : Monografi KPH Randublatung tahun 2005-2009

4.4. Kondisi Tegakan

KPH Randublatung dengan total areal 32.464,10 ha merupakan KPH dengan kelas perusahaan jati. Luas areal untuk produksi kayu jati seluas

30.194,20 ha atau sekitar 93% dari total areal. Tegakan jati produktif seluas 24.688,90 ha atau sekitar 82% dari total luas untuk produksi kayu jati. Gambaran secara keseluruhan kondisi tegakan disajikan pada tabel berikut :

Tabel 6. Ikhtisar Kelas Hutan KPH Randublatung Tahun 2010 (Triwulan I).

I. UNTUK PRODUKSI					
A Untuk Produksi Kayu Jati				B. Bukan untuk Produksi Kayu Jati	
1. Untuk Perusahaan Tebang Habis				1. Tak baik Untuk Jati	
a. Produktif	Luas (ha)	b. Tidak produktif	Luas (ha)		Luas (ha)
KUI	11.809,9	LTJL	144,5	TKTBJ	-
KUII	3.474,9	TK	40,0	TKLTBJ	5,5
KUIII	2.634,9	TKL/HAKL	213,3	HAKLTBJ	-
KUIV	1.687,1	TJBK/HAJBK	2.293,7	TJM	4,0
KUV	1.426,7			HAJM	-
KUVI	1.692,9				
KUVII	553,1				
KUVIII	841,4				
KUIX	161,6				
KUX	-				
KUXI	-				
MT	-				
MR	516,1				
Jumlah Produktif	24.778,6	Jumlah tak Produktif	2.691,5	Jumlah Tak Baik untuk Jati	9,5
Jumlah Baik untuk Perusahaan Tebang Habis			27.470,1	2. Tanaman Jenis Kayu Lain/TJKL	605,8
2. Untuk Kelas Perusahaan Bukan untuk Tebang Habis (TBPTH)			-	3. Hutan Lindung Terbatas (HLT)	-
Jumlah Untuk Produksi Kayu Jati			27.470,1	Jumlah Bukan untuk Produksi Kayu Jati	615,3
Jumlah untuk Produksi					28.085,4
II. BUKAN UNTUK PRODUKSI					
TBP			2,1		
LDTI			3.786,3		
Cagar Alam			25,4		
Alur			564,9		
Hutan Lindung			-		
Jumlah Bukan untuk Produksi					4.378,7
JUMLAH KAWASAN HUTAN					32.464,1

Sumber : Laporan Evaluasi Potensi SDH s/d Triwulan I Tahun 2010.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Pohon Sampel

Pohon sampel diambil sebanyak 18 pohon sampel yang diperoleh dari beberapa BKPH, terdiri atas 12 pohon yang berasal dari jenis tebangan E dan 6 pohon berasal dari tebangan A. Hal ini menyebabkan perbedaan kondisi pohon yang diperoleh, dimana untuk jenis tebangan A sudah mengalami teresan 2 tahun yang lalu. Sehingga bagian *aboveground* yang dapat dikatakan dalam keadaan utuh adalah batang. Sedangkan bagian *belowground* juga tidak dapat diambil dikarenakan KPH Randubaltung sedang dalam proses sertifikasi sehingga tonggak harus tetap berada pada tempat tumbuhnya. Data pohon sampel yang diperoleh disajikan dalam Tabel 7 sebagai berikut :

Tabel 7. Data Pohon Sampel

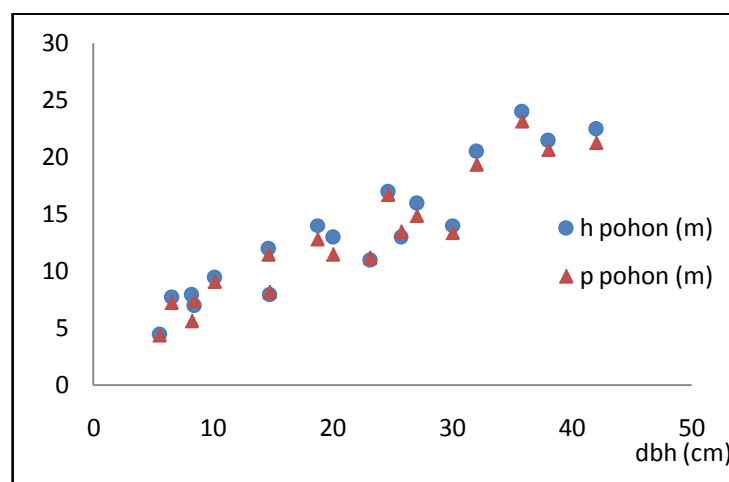
No	KU	Lokasi			Pohon Sampel	Umur (tahun)	d pangkal (cm)	dbh (cm)	d tbbc (cm)	h (m)	p pohon (m)
		BKPH	Petak	Bonita							
1	I	Kedungjambu	80a	3,5	1a	6	12,5	8,4	6,2	7,0	7,41
2	I	Kedungjambu	80a	3,5	1b	6	9,3	6,5	5	7,75	7,25
3	I	Kedungjambu	80a	3,5	1c	6	7,9	5,5	5,2	4,5	4,40
4	II	Boto	149a	3,5	2a	16	19,7	14,6	13,5	12,0	11,50
5	II	Boto	149a	3,5	2b	16	13,7	10,1	7	9,5	9,10
6	II	Boto	149a	3,5	2c	16	12,3	8,2	8,3	8,0	5,65
7	III	Ngliron	20	3	3a	30	29,2	25,7	16,2	13,0	13,50
8	III	Ngliron	20	3	3b	30	23,1	23,1	17,3	11,0	11,20
9	III	Ngliron	20	3	3c	30	21,2	14,7	11,5	8,0	8,20
10	IV	Selogender	91	3,5	4a	36	39,0	35,8	23,4	24,0	23,20

Tabel 7. Data Pohon Sampel (lanjutan)

No	KU	Lokasi			Pohon Sampel	Umur (tahun)	d pangkal (cm)	dbh (cm)	d tbbc (cm)	h (m)	p pohon (m)
		BKPH	Petak	Bonita							
11	IV	Selogender	91	3,5	4b	36	34,0	24,6	19,3	17,0	16,75
12	IV	Selogender	91	3,5	4c	36	23,0	18,7	12,8	14,0	12,84
13	VI	Ngliron	76b	2,5	6a	58	46,0	30,0	19,0	14,0	13,40
14	VI	Ngliron	76b	2,5	6b	58	35,0	27,0	14,0	16,0	14,90
15	VI	Ngliron	76b	2,5	6c	58	26,0	20,0	13,0	13,0	11,50
16	IX	Kemadoh	50	3,5	9a	85	66,0	42,0	30,0	22,5	21,31
17	IX	Kemadoh	50	3,5	9b	85	43,0	38,0	17,8	21,5	20,70
18	IX	Kemadoh	50	3,5	9c	85	35,0	32,0	15,3	20,5	19,40

Keterangan :
 Data bonita didasarkan pada Risalah PK 2 tahun 2008

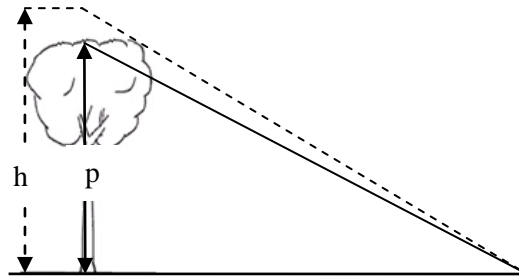
Berdasarkan data di atas dapat diketahui bahwa pengukuran tinggi pohon berdiri (h) menggunakan hagameter menunjukkan hasil yang berbeda dengan panjang pohon sebenarnya (p). Perbedaan ini hanya dapat diketahui apabila pohon yang sudah diukur tingginya menggunakan hagameter selanjutnya ditebang dan diukur panjang pohon sebenarnya. Perbedaan atau selisih antara tinggi pohon berdiri (h) dengan panjang pohon (p) dapat dilihat secara jelas pada Gambar 18 sebagai berikut :



Gambar 18. Selisih Tinggi Pohon Berdiri (h) dan Panjang Pohon (p)

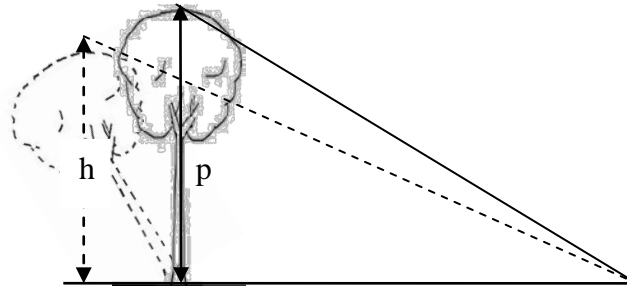
Perbedaan atau selisih pengukuran ini menurut Simon (1993) disebabkan oleh :

1. Kesalahan melihat puncak pohon. Tanaman jati termasuk pohon berdaun lebar dengan tajuk cenderung membulat, sehingga titik yang dianggap puncak pohon adalah bagian tajuk yang tertinggi.



Gambar 19. Kesalahan Melihat Puncak Pohon Dalam Pengukuran Tinggi Pohon

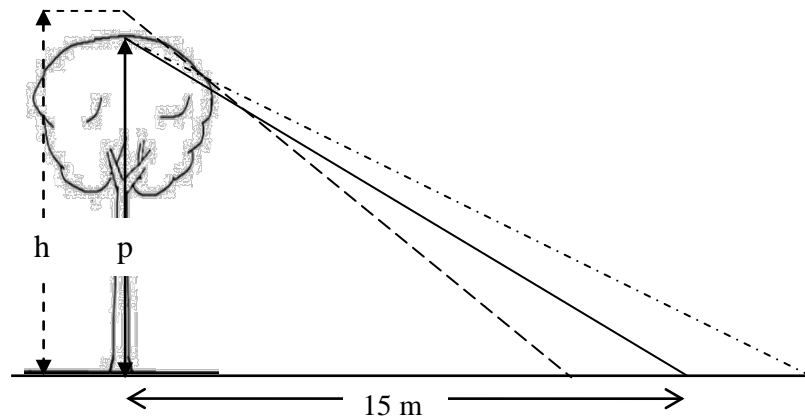
2. Pohon yang diukur dalam kondisi condong. Kondisi ini sering tidak disadari apabila arah condongnya menjauhi atau mendekati pengukur.



Gambar 20. Kesalahan Pengukuran Tinggi Pohon dalam Kondisi Condong.

3. Jarak antara pohon dengan pengukur tidak horisontal. Hal ini terutama diakibatkan oleh kelerengan lokasi pengukuran.
4. Kesalahan dalam menentukan jarak yang tidak tepat. Pengukuran menggunakan hagameter menuntut pengukuran dilakukan sesuai dengan jarak yang terdapat pada skala, misalnya 15 m, 20 m dan seterusnya. Apabila jarak pengukuran terlalu dekat maka hasilnya akan lebih tinggi dari tinggi

sebenarnya. Sedangkan apabila jarak pengukuran terlalu jauh maka akan berkurang dari tinggi sebenarnya.



Gambar 21. Penentuan Jarak Pengukuran Pohon yang Tidak Tepat

Selisih pengukuran akan menghasilkan data yang lebih rendah dari panjang sebenarnya (*under estimate*) dan dapat juga lebih tinggi dari panjang sebenarnya (*over estimate*). Nilai pengukuran *underestimate* adalah berkisar antara -0,5 m sampai dengan - 0,2 m, sedangkan nilai pengukuran *over estimate* berkisar antara 0,1 m sampai dengan 2,35 m. Besarnya penyimpangan rata-rata tinggi pohon (h) terhadap panjang pohon sebenarnya (p) adalah sebesar 5,67 %. Sehingga hal ini harus dipertimbangkan dalam melakukan estimasi kandungan biomassa tegakan yang masih berdiri dengan persamaan allometrik yang menggunakan variabel tinggi pohon.

5.2. Kandungan Biomassa dan Karbon Tanaman Jati

5.2.1 Kandungan Biomassa

Hasil analisis kandungan biomassa 18 pohon sampel yang diperoleh dari KPH Randublatung pada masing-masing organ (batang, kulit, cabang/ranting, daun dan akar) disajikan pada Tabel 8 sebagai berikut :

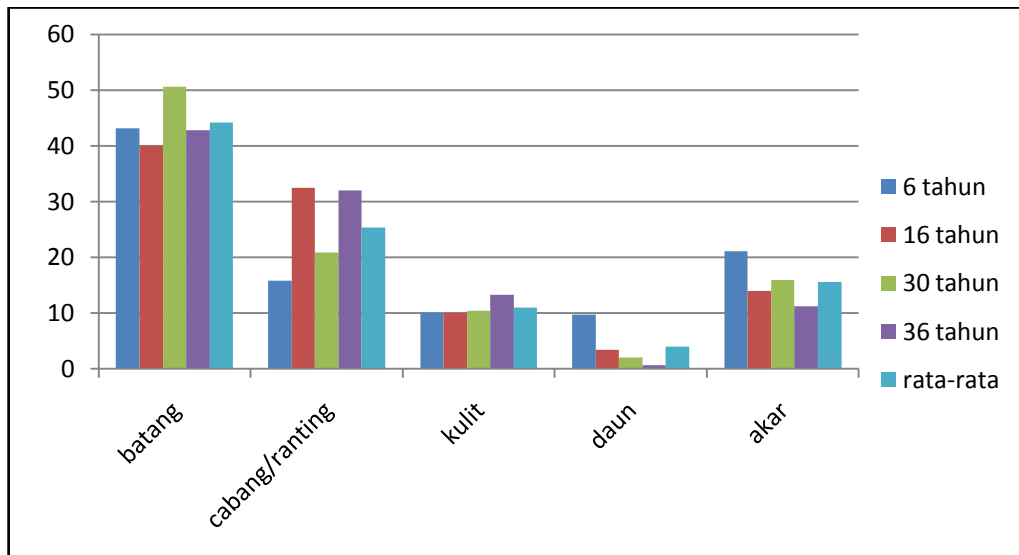
Tabel 8. Kandungan Biomassa Organ Pohon Berdasarkan Variasi Umur dan dbh.

No	KU	Petak	Pohon Sampel	Umur (thn)	dbh (cm)	h (m)	batang (kg)	kulit (kg)	cabang / ranting (kg)	daun (kg)	akar (kg)	Total (kg)
1	I	80a	1a	6	8,4	7	7,681	1,680	2,935	2,150	4,027	18,479
2	I	80a	1b	6	6,5	7,75	4,959	0,909	2,365	1,350	2,375	11,959
3	I	80a	1c	6	5,5	4,5	3,588	1,213	0,671	0,150	1,554	7,175
4	II	149a	2a	16	14,6	12	37,700	7,987	35,611	3,690	11,170	96,16
5	II	149a	2b	16	10,1	9,5	17,379	4,557	8,273	0,720	6,703	37,633
6	II	149a	2c	16	8,2	8	7,504	3,320	6,816	0,990	3,990	22,622
7	III	20	3a	30	25,7	13	119,32	28,272	53,178	3,090	43,880	247,742
8	III	20	3b	30	23,1	11	80,221	11,901	25,177	3,810	17,150	138,26
9	III	20	3c	30	14,7	8	42,913	9,964	21,873	2,760	15,340	92,857
10	IV	91	4a	36	35,8	24	307,814	91,113	352,59	3,210	72,740	827,462
11	IV	91	4b	36	24,6	17	219,404	60,005	38,425	5,420	59,840	383,088
12	IV	91	4c	36	18,7	14	59,410	31,500	47,688	1,30	20,920	160,813
13	VI	76b	6a	58	30	14	341,481		21,837			363,318
14	VI	76b	6b	58	27	16	279,872		12,879			292,751
15	VI	76b	6c	58	20	13	123,144		20,723			143,867
16	IX	50	9a	85	42	22,5	927,526		185,94			1.113,46
17	IX	50	9b	85	38	21,5	650,689		25,328			676,017
18	IX	50	9c	85	32	20,5	574,459					574,459

Kandungan biomassa pada KU VI dan KU IX yang diperoleh hanya pada bagian batang dan cabang/ranting. Meskipun kondisi organ pohon yang masih utuh hanya bagian batang, sedangkan bagian cabang.ranting hanya sedikit yang masih tersisa. Kondisi ini dikarenakan pohon tersebut sudah diteres pada tahun 2008, sehingga terdapat bekas patah pada bagian cabang/ranting yang sudah kering akibat perencikan ataupun terkena angin yang terlalu kencang. Sehingga

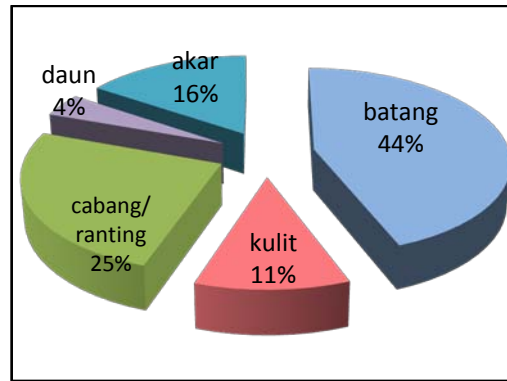
data pada kedua KU tersebut tidak dapat digunakan untuk menyusun persamaan allometrik hubungan antara diameter setinggi dada (dbh) dengan kandungan biomassa total.

Berdasarkan data di atas dapat diketahui bahwa kandungan biomassa masing-masing organ meningkat seiring bertambahnya umur pohon. Kandungan biomassa terbesar terdapat pada bagian batang, yang selanjutnya secara berurutan terdapat pada bagian cabang/ranting, akar dan kulit. Besarnya persentase kandungan biomassa masing-masing organ tanaman dapat dilihat pada Gambar 22 berikut :



Gambar 22. Persentase Kandungan Biomassa Organ Tanaman

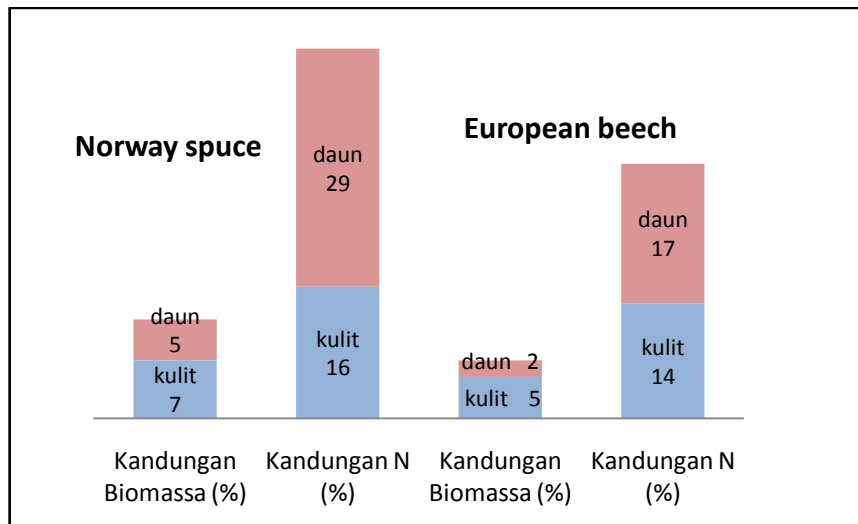
Penyusunan grafik di atas didasarkan pada data dari pohon yang berasal dari KU I – KU IV. Hal ini dikarenakan penyusunan persentase masing-masing organ hanya dapat diperoleh dari pohon yang diambil seluruh organ pohonnya. Dari grafik di atas besarnya persentase kandungan biomassa rata-rata masing-masing organ tanaman dapat disajikan sebagai berikut :



Gambar 23. Persentase Kandungan Biomassa Rata-rata Organ Tanaman

Persentase kandungan biomassa terbesar terdapat pada bagian batang yaitu sebesar 44 %, dan terkecil terdapat pada bagian daun. Proporsi kandungan biomassa masing-masing organ ini sebagaimana yang dilakukan oleh West (2009) yaitu secara berurutan dari terbesar adalah pada bagian batang, cabang/ranting, akar, kulit dan daun. Kandungan biomassa kulit dapat mencapai 11 % dari keseluruhan organ pohon hal ini mengingat ketebalannya mencapai 8 – 12 mm.

Berdasarkan gambar di atas kandungan biomassa terendah terdapat pada bagian daun dan kulit. Hal ini sebagaimana dinyatakan oleh Pretzch (2009) bahwa kandungan biomassa akan menunjukkan nilai rendah pada bagian daun dan kulit. Penelitian yang dilakukan terhadap jenis tanaman *Norway spruce* dan *European beech* umur 100 tahun menunjukkan bahwa konsentrasi N terdapat pada bagian daun dan kulit terutama pada bagian atas. Persentase kandungan biomassa dan kadar N pada bagian daun dan kulit dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 24. Persentase Kandungan Biomassa dan Kandungan N Daun dan Kulit

5.2.2. Rasio Biomassa *Belowground* : *Aboveground* (*Root :Shoot Ratio*)

Pada penelitian ini pengambilan akar lebih sulit dilakukan dibanding pengambilan organ pohon di atas permukaan tanah. Hal ini dirasakan terutama pada saat pengambilan akar rambut yang berukuran kecil (< 5 mm). Untuk mengetahui seberapa besar organ akar yang tertinggal, diperlukan sebuah tetapan yang menyatakan perbandingan antara jumlah akar dan jumlah organ di atas permukaan tanah (*aboveground*). Levy (2004) menyebutkan bahwa untuk menghitung rasio berat basah akar dan total *aboveground* dapat menggunakan formula :

$$R = \frac{M_{\text{root}}}{M_{\text{ag}}}$$

Keterangan

R = rasio berat basah akar : total *above ground*

M root = berat basah akar

M ag = berat basah total *aboveground*

Hasil perhitungan nilai R dengan menggunakan data hasil penimbangan berat basah masing-masing organ pohon jati dapat dilihat pada Tabel 9 :

Tabel 9. Nilai rasio berat basah akar : total *aboveground* (R)

No	Kelas Umur	Umur (tahun)	Berat basah (kg)					R	
			Batang+ kulit	Cabang /ranting	Daun	akar	Above ground	per pohon	rata - rata
1	I	6	21,500	7,500	6,750	10,730	35,750	0,30	
2	I	6	14,400	6,500	4,000	6,500	24,900	0,26	
3	I	6	9,500	1,730	0,590	3,580	11,820	0,30	0,29
4	II	16	88,000	70,500	11,500	29,500	170,000	0,17	
5	II	16	42,000	16,500	2,250	14,500	60,750	0,24	
6	II	16	16,000	13,500	3,000	10,000	32,500	0,31	0,24
7	III	30	276,160	113,000	5,000	77,750	394,160	0,20	
8	III	30	167,780	57,000	4,500	38,000	229,280	0,17	
9	III	30	91,000	42,000	3,500	31,000	136,500	0,23	0,20
10	IV	36	695,380	1.828,900	12,500	132,340	2.536,780	0,05	
11	IV	36	578,810	81,000	20,000	89,560	679,810	0,13	
12	IV	36	189,720	96,000	4,750	44,250	290,470	0,15	0,11
Rata-rata								0,21	0,21

Berdasarkan formula di atas selanjutnya dapat diadopsi untuk menghitung rasio biomassa akar dan biomassa total *aboveground* (batang, kulit, cabang/ranting, daun). Formula yang diajukan adalah :

$$RBBA = \frac{B a}{B ag}$$

Keterangan

RBBA = Rasio biomassa *belowground* : *aboveground* (root : shoot ratio)

B a = biomassa akar (kg)

B ag = total biomassa *aboveground* (kg)

Berdasarkan pengujian biomassa diperoleh data kandungan biomassa masing-masing organ pohon jati. Hasil perhitungan RBBA dari perbandingan biomassa akar terhadap biomassa *aboveground* disajikan pada Tabel 10 sebagai berikut:

Tabel 10. Nilai Rasio Biomassa *Belowground* : *Aboveground* (*Root* : *Shoot Ratio*)

No	KU	Umur (Thn)	Biomassa (kg)						RBBA (root:shoot ratio)	
			Batang	kulit	cabang/ranting	daun	Akar	Above ground	Per pohon	rata-rata
1	I	6	7,681	1,680	2,935	2,150	4,027	14,446	0,28	
2	I	6	4,959	0,909	2,365	1,350	2,375	9,583	0,25	
3	I	6	3,588	1,213	0,671	0,150	1,554	5,622	0,28	0,27
4	II	16	37,700	7,987	35,611	3,690	11,170	84,988	0,13	
5	II	16	17,379	4,557	8,273	0,720	6,703	30,929	0,22	
6	II	16	7,504	3,320	6,816	0,990	3,990	18,630	0,21	0,19
7	III	30	119,32	28,272	53,178	3,090	43,880	203,860	0,22	
8	III	30	80,221	11,901	25,177	3,810	17,150	121,109	0,14	
9	III	30	42,913	9,964	21,873	2,760	15,340	77,510	0,20	0,18
10	IV	36	307,814	91,113	352,59	3,210	72,740	754,727	0,10	
11	IV	36	219,404	60,005	38,425	5,420	59,840	323,254	0,19	
12	IV	36	59,410	31,500	47,688	1,30	20,920	139,898	0,15	0,14
Rata-rata									0,20	0,20

Berdasarkan tabel di atas diperoleh RBBA terkecil 0,10 dan terbesar 0,28. Sedangkan nilai RBBA rata-rata pada tiap umur diperoleh nilai terbesar pada umur 6 tahun dan semakin menurun seiring dengan meningkatnya umur pohon. Nilai rata-rata terbesar adalah 0,27 pada umur 6 tahun dan terkecil sebesar 0,14 pada umur 36 tahun. Sedangkan besarnya Rasio biomassa *belowground* : *aboveground* (*root* : *shoot ratio*) rata-rata adalah sebesar 0,20. Nilai ini tidak berbeda jauh dengan rasio akar dan total *aboveground* yang didasarkan pada berat basah organ yaitu sebesar 0,21.

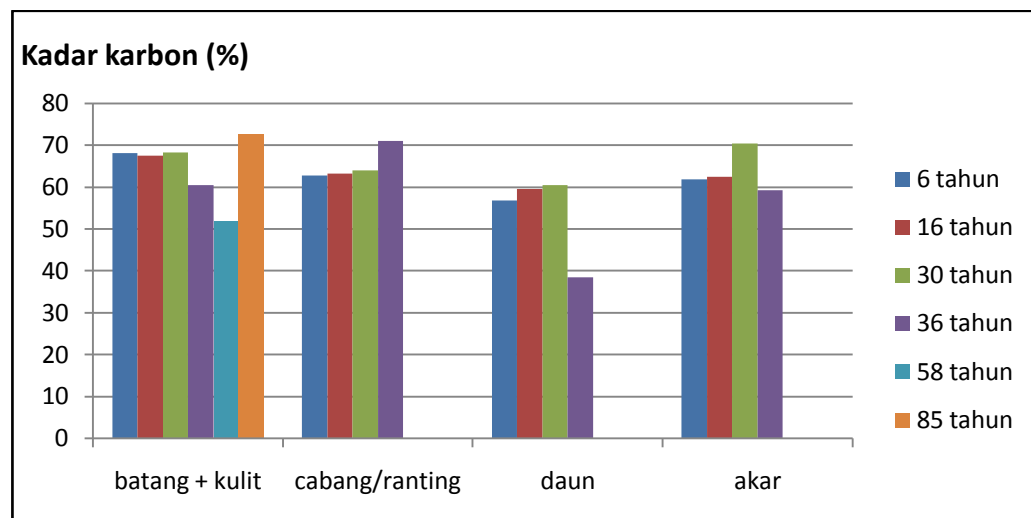
IPCC (2006) menyebutkan besarnya nilai *root : shoot ratio* untuk jenis tanaman yang menggugurkan daun adalah sebesar 0,20 pada saat kondisi tanaman berdaun dan 0,24 pada saat menggugurkan daun. Nilai RBBA rata-rata yang diperoleh pada penelitian ini adalah sebesar 0,20, hal ini sesuai dengan acuan IPCC (2006) karena pengambilan sampel dilakukan pada saat kondisi tanaman jati berdaun. Berdasarkan data yang diperoleh dapat diketahui bahwa semakin bertambahnya umur tanaman maka nilai RBBA semakin turun, yang berarti bahwa semakin banyak pula akar yang tidak terambil. Akar yang tertinggal terutama pada organ akar rambut yang berukuran kecil (< 5 mm). Hal ini terutama terjadi pada akar rambut yang terputus dan menempel pada tanah pada saat pengambilan akar lateral yang berukuran panjang. Hal ini disebabkan karena jenis tanah pada lokasi pengambilan pohon sampel adalah vertisol yang bertekstur lempung berat sehingga sangat lekat/lengket pada saat basah dan menggunpal sangat keras pada saat kering. Selain itu semakin besar ukuran pohon maka pengambilan akar pohon sampel semakin sulit, karena kesulitan dalam membedakan bagian akar pohon sampel dengan pohon tetangga.

Apabila nilai RBBA pada umur 6 tahun tidak diperhitungkan dengan asumsi bahwa semua organ terambil, maka rata-rata RBBA KU II – KU IV yang diperoleh adalah sebesar 0,17. Hal ini menunjukkan bahwa biomassa akar yang tidak terambil adalah sebesar 3 % dari total biomassa *aboveground* jika menggunakan acuan IPCC (2006). Kraenzel *et al* (2003) menyebutkan untuk dapat mengambil seluruh akar seharusnya dilakukan pengambilan seluruh tanah dengan ukuran sesuai panjang dan kedalaman akar, dan selanjutnya disiram air sehingga dapat dipisahkan antara organ akar dan bahan lain. Nilai RBBA yang

diperoleh pada tanaman jati umur 20 tahun di Panama adalah berkisar antara 0,11 – 0,23 dengan nilai rata-rata 0,16. Sehingga nilai rata-rata yang diperoleh pada penelitian masih lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian tersebut.

5.2.3. Kandungan Karbon

Pengujian kadar karbon menggunakan metode *Walkley* dan *Black* diperlukan untuk mengetahui kandungan karbon yang terdapat pada organ pohon jati. Perbedaan dengan pengukuran kandungan biomassa adalah kandungan karbon batang dan kulit diakumulasikan karena sampel pengujian kadar karbonnya diserbukkan secara bersamaan. Sehingga kadar karbon yang diperoleh adalah sebagai berikut :



Gambar 25 . Kadar Karbon Organ Tanaman Jati

Nilai kisaran kadar karbon pada masing-masing organ tanaman dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 11. Kisaran Kadar Karbon Masing-masing Organ Tanaman Jati

Kadar karbon (%)	Organ tanaman			
	Batang+kulit	Cabang/ranting	akar	daun
Tertinggi	75	76	75	64
Terendah	51	60	58	36
Rata-rata	64,84	65,35	63,60	53,92
Rata-rata total	61,93			

Kadar karbon rata-rata dari semua organ tanaman sebesar 61,93 % menunjukkan jumlah yang lebih besar dari tetapan Brown yaitu kadar karbon sebesar 50%. Hal ini dapat digunakan sebagai dorongan untuk meneliti kadar karbon jenis tanaman lain di Indonesia yang beraneka ragam. Diharapkan dengan meneliti kadar karbon masing-masing jenis terutama pohon yang memiliki kadar karbon yang lebih besar dari tetapan Brown dapat meningkatkan potensi karbon yang ada di Indonesia. Nilai kadar karbon yang diperoleh pada penelitian ini juga masih lebih tinggi dibandingkan nilai yang diperoleh oleh Kraenzel *et al* (2003) yaitu sebesar 49 %.

Nilai kadar karbon rata-rata terendah diperoleh pada organ daun adalah yang terendah. Chauhan *et al* (2009) menyatakan bahwa penelitian yang dilakukan terhadap 12 jenis pohon menunjukkan kadar karbon terendah terdapat pada organ daun. Selain itu perbandingan kadar karbon terhadap kadar nitrogen menunjukkan bahwa organ daun memiliki nilai yang paling rendah. Sedangkan organ batang, cabang/ranting dan akar menunjukkan perbandingan kadar karbon terhadap nitrogen menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan pada daun. Pretzsch (2009) menyatakan bahwa kadar C pada semua organ tanaman umumnya sama dan yang terendah adalah pada organ daun. Pretzsch juga meneliti kadar N pada

jenis kayu daun lebar dan kayu daun jarum menunjukkan kadar N dari yang tertinggi secara berurutan terdapat pada bagian daun, kulit, cabang, batang dan akar.

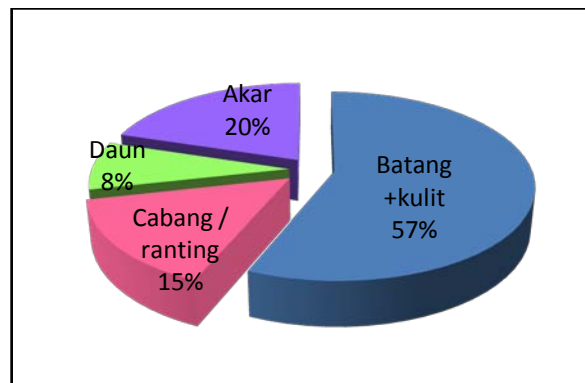
Nilai kadar karbon masing-masing organ digunakan untuk menghitung kandungan karbon tiap-tiap pohon sampel yang sudah diketahui kandungan biomasnya. Besarnya kandungan karbon pada organ tanaman jati disajikan pada Tabel 12 sebagai berikut :

Tabel 12. Kandungan Karbon Organ Tanaman Jati

No	KU	Umur (thn)	dbh (cm)	Kadar C (%) (a)	Batang +kulit	Cabang/ranting	Daun	Akar	Total (kg)
				Kandungan C (kg)(b)					
1	I	6	6,8	(a)	68,26	62,87	56,87	62,00	
				(b)	4,59	1,23	0,68	1,64	8,14
2	II	16	11	(a)	67,57	63,29	59,72	62,53	
				(b)	17,55	10,58	1,07	4,51	33,72
3	III	30	21,2	(a)	68,40	64,13	60,59	70,47	
				(b)	65,87	21,44	1,97	17,32	106,59
4	IV	36	26,4	(a)	60,55	71,10	38,52	59,40	
				(b)	149,71	109,28	1,27	30,08	290,34
5	VI	58	25,7	(a)	51,85				
				(b)	129,07	9,60			138,67
6	IX	85	37,3	(a)	72,62				
				(b)	523,38	52,49			575,87

Berdasarkan data di atas dapat diketahui bahwa kadar karbon relatif sama pada semua umur, sedangkan kandungan karbon pada pohon jati meningkat jumlahnya seiring dengan bertambahnya umur. Pretzsch (2009) menyatakan bahwa biomassa yang terdapat di hutan terdiri atas 90-95 % unsur karbon, hidrogen dan oksigen dengan kadar yang relatif sama yaitu 44 - 59% C; 42 – 46 %

O; 5- 7 % H, dan jumlah pada organ tanamannya meningkat seiring pertumbuhan yang dialaminya. Data kandungan karbon pada di atas dapat disajikan dalam bentuk persentase kandungan karbon masing-masing organ tanaman pada Gambar 26 sebagai berikut :



Gambar 26. Persentase Kandungan Karbon Organ Tanaman

5.3. Persamaan Allometrik dan *Biomassa Expansion Factor* (BEF)

5.3.1. Persamaan Allometrik dbh – Biomassa

Penyusunan allometrik didasarkan pada data yang diperoleh dari pengukuran diameter setinggi dada (dbh) yang dilakukan pada sampel pohon sebelum ditebang dengan hasil pengujian biomassa masing-masing organ tanaman. Penggunaan variabel dbh didasarkan pada kemudahan pengukuran, serta relatif mengurangi kesalahan pengukuran dibandingkan variabel tinggi pohon (h). Analisis dilakukan dengan menetapkan dbh sebagai variabel bebas (*independent variable*) dan biomassa sebagai variabel bergantung (*dependent variable*). Analisis data statistik dilakukan menggunakan SPSS, dengan pilihan *curve estimation* yang dapat menggambarkan berbagai bentuk hubungan antara dbh dengan biomassa.

Model hubungan atau persamaan allometrik yang akan digunakan untuk melakukan estimasi dipilih persamaan yang memiliki nilai koefisien korelasi (R) dan koefisien determinasi (R^2) terbesar dan nilai jumlah kuadrat error (*residual sum of square*) dan *standar error estimation* terkecil. Sehingga diharapkan model persamaan yang dipilih akan semakin tepat dalam memprediksi atau mengestimasi variabel bergantung. Dari hasil pengujian diperoleh persamaan allometrik pada Tabel 13 sebagai berikut :

Tabel 13. Persamaan Allometrik dbh - Biomassa

No	Variabel	Bentuk model	Persamaan allometrik	n	R	R^2	JKE	F Sig
1	dbh - biomassa batang	Power	$B b = 0,027dbh^{2,735}$	18	0,929	0,971	1,508	Signifikan
2	dbh - biomassa kulit	Power	$B k = 0,015dbh^{2,408}$	12	0,957	0,916	2,139	Signifikan
3	dbh - biomassa cabang/ranting	Power	$B cr = 0,014dbh^{2,657}$	12	0,947	0,897	3,262	Signifikan
4	dbh - biomassa daun	Sigmoid	$B d = e^{(1,908-15,913/dbh)}$	12	0,804	0,647	3,794	Signifikan
5	dbh - biomassa akar	Power	$B a = 0,052dbh^{2,044}$	12	0,979	0,959	0,727	Signifikan
6	dbh - biomassa total	Power	$B t = 0,133dbh^{2,394}$	12	0,987	0,974	0,606	Signifikan

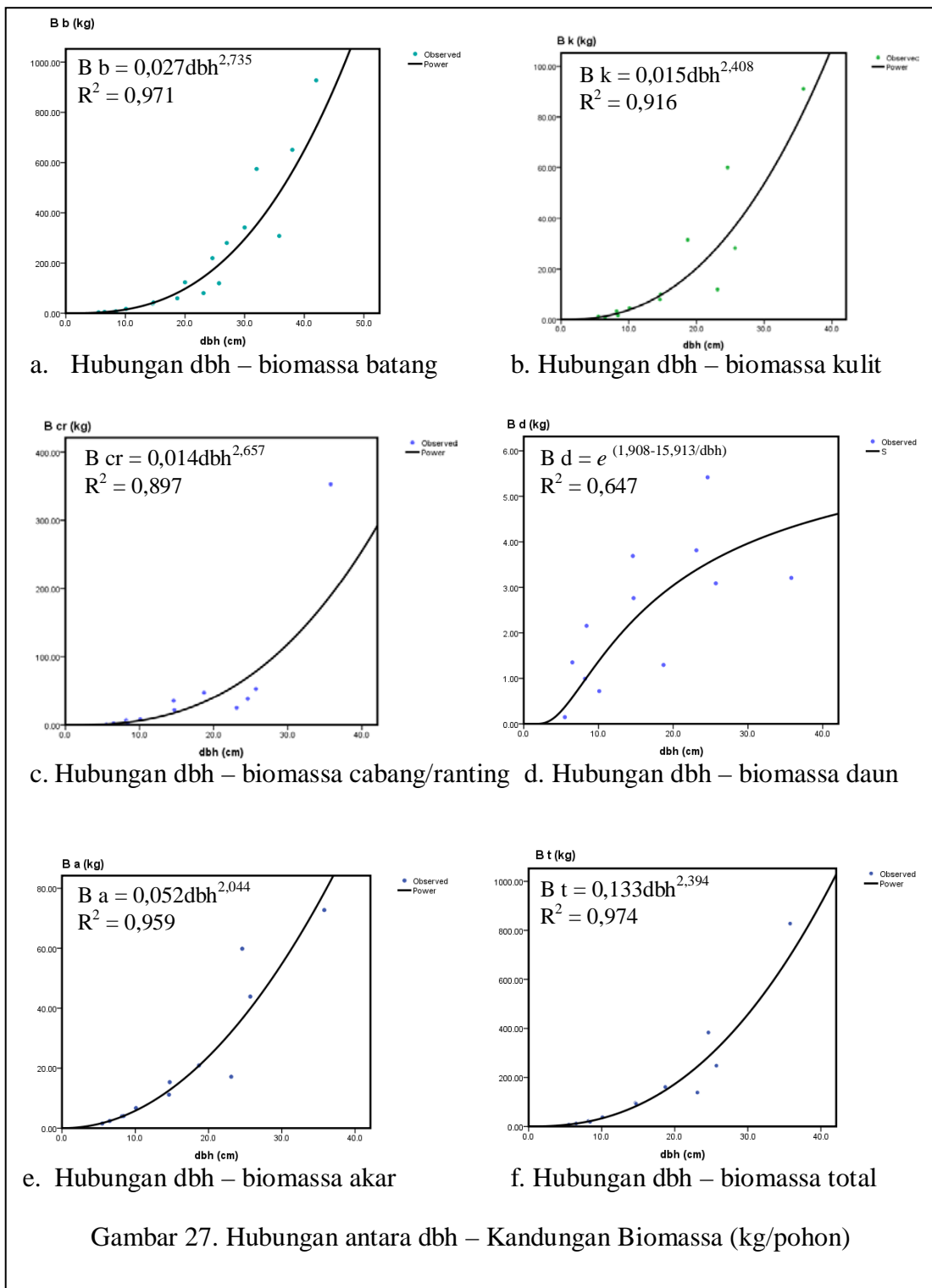
Berdasarkan Tabel 13 menunjukkan bahwa persamaan antara dbh dan kandungan biomassa menunjukkan tingkat hubungan yang paling kuat pada batang selanjutnya akar, kulit, cabang/ranting dan yang paling lemah adalah pada daun. Hal ini didasarkan pada nilai koefisien korelasi (R) yang diperoleh. Pratisto (2009) menyebutkan bahwa nilai korelasi mendekati +1 atau -1 berarti terdapat hubungan yang kuat, sebaliknya korelasi yang mendekati nilai 0 berarti

terdapat hubungan yang lemah. Apabila korelasi sama dengan 0, berarti antara kedua variabel tidak terdapat hubungan sama sekali.

Perbedaan koefisien korelasi masing-masing organ disebabkan oleh :

- a. Pohon mengalami pertumbuhan yang digunakan untuk menjelaskan peningkatan berat, biomassa dan berat kering tanur, sekaligus mengalami penambahan ukuran batang (diameter dan tinggi). Sehingga batang merupakan organ yang selalu mengalami peningkatan ukuran dibanding organ lain seiring kenaikan jumlah biomassa pohon.
- b. Batang jarang mengalami kehilangan atau pengurangan bagian batang dibandingkan kulit, cabang, ranting, akar dan daun, sehingga bisa dianggap tidak berarti.
- c. Perubahan biomassa pada akar, cabang, ranting, kulit dan daun dapat disebabkan karena terjadi pergantian organ dan hilang yang disebabkan oleh faktor luar (musim, manusia dan serangan hama). Daun merupakan organ yang paling rentan terhadap perubahan biomassa karena jati merupakan jenis tanaman yang menggugurkan daun dan sumber makanan bagi ulat jati.
- d. Jati memiliki bagian kayu teras yang merupakan jaringan mati dan tidak dapat ditembus oleh air pada proses fotosintesis (*dead inner xylem*). Sehingga untuk mengetahui proporsi biomassa daun sebagai tempat masuknya energi cahaya dengan biomassa batang yang berperan dalam proses fotosintesis hanya dilakukan pada bagian kayu teras saja. Pretzsch (2009) menyebutkan bahwa pengukuran biomassa batang yang masih hidup (berperan dalam fotosintesis) adalah biomassa batang dikalikan faktor kayu teras. Faktor kayu teras diperoleh dari perbandingan kayu teras terhadap batang total.

Persamaan allometrik antara dbh dengan biomassa menunjukkan hubungan yang berbentuk pangkat (*power*) dan hanya satu yang berbentuk *sigmoid*. Persamaan allometrik dbh - biomassa yang terbentuk dapat dinyatakan dalam bentuk grafik sebagai berikut :



Gambar 27. Hubungan antara dbh – Kandungan Biomassa (kg/pohon)

Berdasarkan grafik di atas dapat diketahui bahwa semakin besar nilai dbh kandungan biomasanya juga semakin besar. Persamaan dan grafik hubungan antara dbh dan biomassa yang terbentuk dinyatakan dalam biomassa per pohon sehingga satuan yang digunakan untuk biomassa adalah kg/pohon. Sebaran data pengamatan yang paling mendekati garis persamaan adalah pada hubungan dbh dengan biomassa total. Persamaan yang dihasilkan menunjukkan nilai R^2 sebesar 0,974, yang berarti bahwa bertambahnya biomassa total dapat dijelaskan oleh variabel dbh sebesar 97,4 %, sedangkan 2,6 % dipengaruhi oleh faktor lain yang tidak dapat dijelaskan. Nilai R sebesar 0,987 juga menunjukkan bahwa tingkat hubungan kedua variabel sangat tinggi atau kuat sekali dan dapat diandalkan. Berdasarkan hasil tersebut persamaan dbh – biomassa total ($B_t = 0,133dbh^{2,394}$) dapat diandalkan untuk mengestimasi kandungan biomassa total tegakan hutan jati.

5.3.2. Persamaan Allometrik Dbh – Kandungan Karbon

Persamaan allometrik yang digunakan untuk estimasi kandungan karbon didasarkan pada hasil penghitungan kandungan karbon masing-masing organ dan kandungan karbon total pohon sampel. Variabel independen yang digunakan adalah dbh sebagaimana pada persamaan allometrik pada estimasi kandungan biomassa. Persamaan allometrik dbh-karbon disusun mengingat kadar karbon yang digunakan untuk menghitung kandungan karbon menunjukkan hasil berbeda pada masing-masing organ. Selain itu persamaan allometrik dbh dengan karbon kulit tidak dilakukan terpisah sebagaimana pada biomassa kulit. Hal ini didasarkan pada proses penyerbukan batang dan kulit yang dilakukan bersamaan,

sehingga persamaan allometrik yang terbentuk antara dbh dan karbon batang merupakan karbon gabungan antara organ batang dan kulit.

Persamaan allometrik yang diperoleh pada analisis data pada Tabel 12 kandungan karbon masing-masing organ dengan menggunakan *curve estimation* pada program SPSS disajikan pada Tabel 14 sebagai berikut :

Tabel 14 . Persamaan Allometrik dbh – Kandungan Karbon

No	Variabel	Jenis model	Persamaan allometrik	n	R	R ²	JKE	F Sig
1	dbh - karbon batang+kulit	Power	$K_{bt} = 0,033dbh^{2,568}$	18	0,985	0,97	1,382	Signifikan
2	dbh - karbon cabang/ranting	Power	$K_{cr} = 0,008dbh^{2,71}$	12	0,944	0,891	3,628	Signifikan
3	dbh - karbon daun	Sigmoid	$K_d = e^{(1,123-14,142/dbh)}$	12	0,741	0,549	4,506	Signifikan
4	dbh - karbon akar	Power	$K_a = 0,033dbh^{2,042}$	12	0,982	0,964	0,618	Signifikan
5	dbh - karbon total	Power	$K_t = 0,088dbh^{2,39}$	12	0,988	0,977	0,544	Signifikan

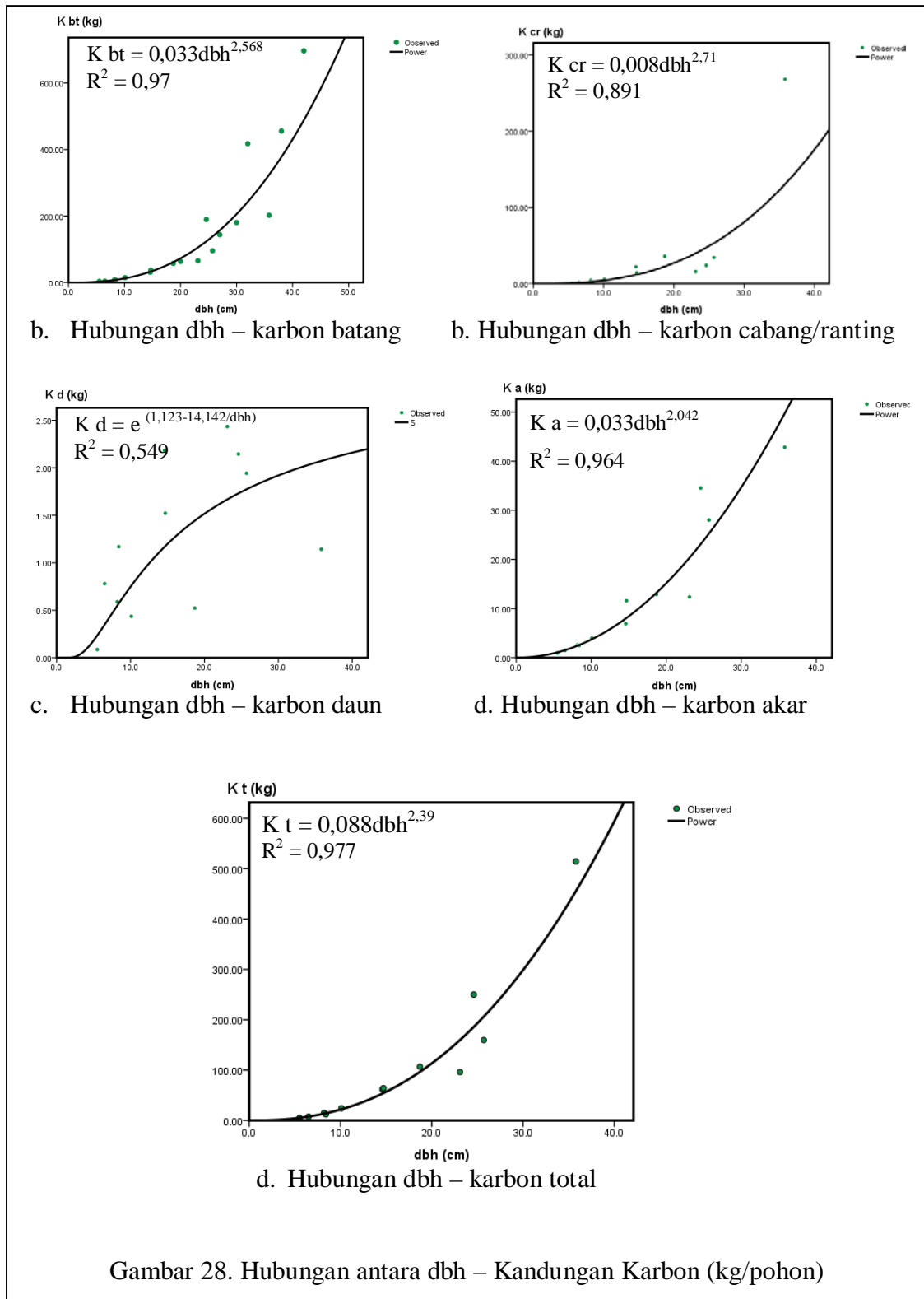
Persamaan allometrik pada tabel di atas akan digunakan untuk mengestimasi kandungan karbon per pohon berdasarkan hasil pengukuran dbh pohon tersebut. Persamaan allometrik kandungan karbon yang memiliki tingkat hubungan terkecil dengan variabel dbh adalah organ daun. Hal ini sebagaimana yang terjadi pada persamaan allometrik dbh dengan biomassa daun. Persamaan allometrik yang mempunyai tingkat hubungan tertinggi ditunjukkan pada persamaan dbh- kandungan karbon total yaitu dengan nilai R sebesar 0,988 atau menunjukkan tingkat hubungan sangat tinggi atau kuat sekali dan dapat diandalkan. Besarnya tingkat hubungan antara dbh – kandungan karbon total (K_t) dengan kandungan karbon batang+kulit (K_{bt}) menunjukkan nilai R yang relatif

sama. Hal ini dimungkinkan karena kandungan karbon total merupakan akumulasi kandungan karbon seluruh organ dan batang+kulit menyumbang persentase kandungan karbon sebanyak 57% dari kandungan karbon total.

Persamaan allometrik dbh dengan kandungan karbon ini sangat bermanfaat untuk menghitung kandungan karbon tegakan hutan jati. Dengan persamaan ini pengelola hutan tidak harus menghitung kandungan biomassa dan menguji kadar karbon tanaman jati, sehingga dengan pengukuran variabel dbh saja pada kegiatan inventarisasi hutan sudah dapat digunakan untuk menghitung kandungan karbon. Hasil kandungan karbon yang tersimpan pada tegakan hutan jati dapat digunakan untuk menghitung serapan CO₂ yang dilakukan oleh tanaman jati. Persamaan allometrik dbh dengan kandungan karbon tanaman jati dapat digambarkan dalam bentuk grafik pada Gambar 28.

5.3.3. *Biomassa Expansion Factor (BEF)*

Metode estimasi biomassa dapat dilakukan secara tidak langsung dengan menggunakan *biomassa expansion factor* yang dapat digunakan untuk menggandakan suatu jumlah nominal tertentu dari suatu organ tanaman ke jumlah nominal lain dari keseluruhan pohon. Pada penelitian ini BEF disusun dengan menggunakan data sampel pohon yang digunakan untuk menggandakan data pada satuan pohon. Nilai BEF digunakan untuk mengetahui kandungan biomassa total berdasarkan data volume batang berdiri.



Nilai BEF diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$BEF = \frac{B t}{Vbb}$$

Keterangan

BEF : *Biomassa Expansion Factor* ((ton/m³)

B t : Biomassa total (biomassa batang, kulit, daun, cabang, ranting, dan akar)
(ton)

Vbb : Volume batang berdiri ($\frac{1}{4}\pi(\text{dbh})^2 \cdot h$. (m³)

Faktor pembatas pada penggunaan rumus BEF ini adalah nilai biomassa total yang digunakan tidak memasukkan bunga dan buah jati. Pada waktu pelaksanaan penelitian ini tidak ditemukan kedua organ tersebut, karena keberadaannya dipengaruhi oleh musim berbuah dan berbunga tanaman jati. Nilai BEF yang diperoleh pada penelitian ini disajikan pada Tabel 15 sebagai berikut:

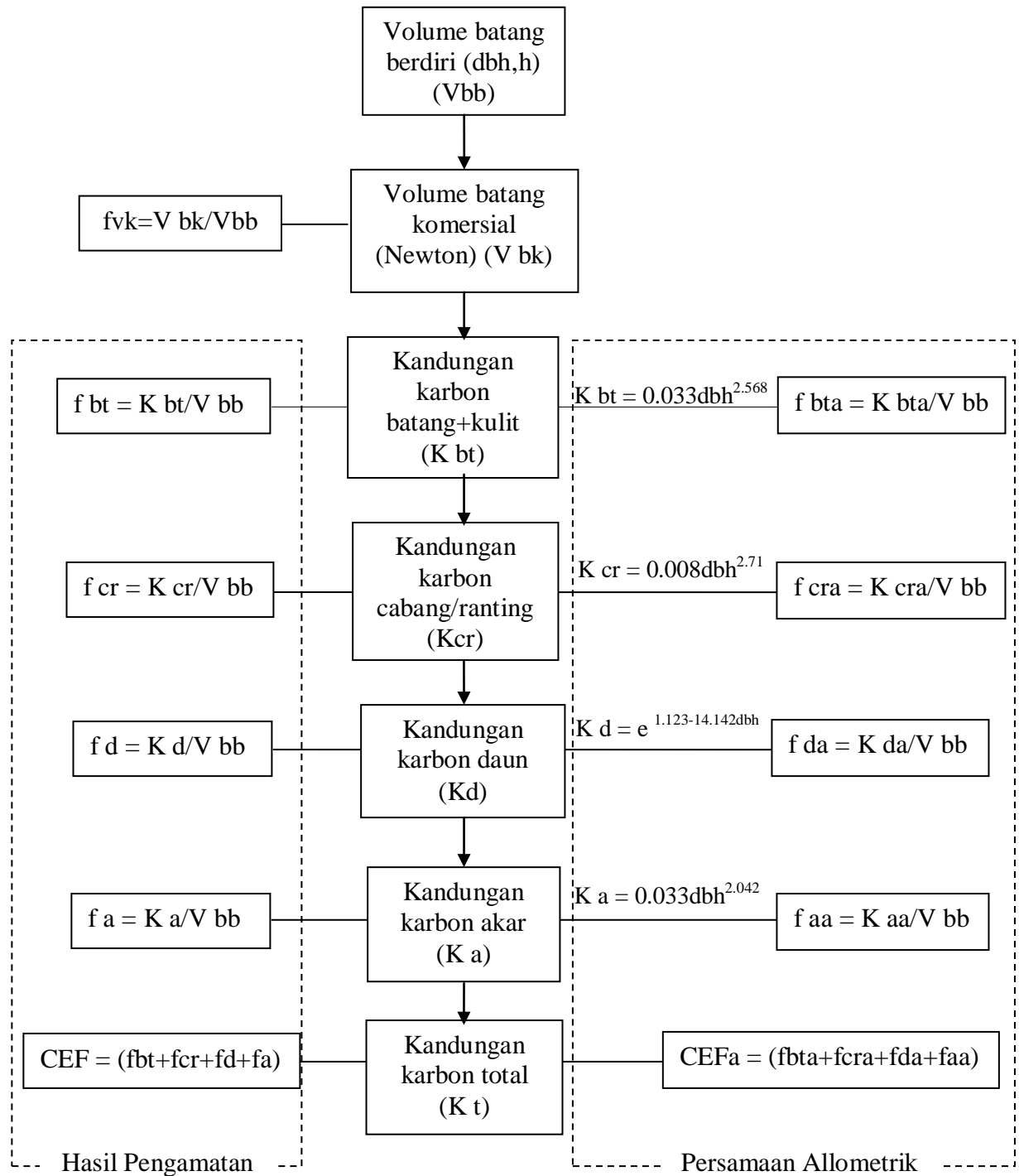
Tabel 15 . *Biomassa Expansion Factor* (BEF) Tanaman Jati KU I – KU IV

No	KU	Pohon Sampel	Umur (tahun)	dbh (m)	h (m)	Biomassa total (ton)	Volume (m ³)	BEF (ton/m ³)
1	I	1a	6	0,08	7	0,018	0,039	0,48
2		1b		0,07	7,75	0,012	0,026	0,47
3		1c		0,06	4,5	0,007	0,011	0,67
rata-rata				0,07	6,42			0,54
4	II	2a	16	0,15	12	0,096	0,201	0,48
5		2b		0,10	9,5	0,038	0,076	0,49
6		2c		0,08	8	0,023	0,042	0,54
rata-rata				0,11	9,83			0,50
7	III	3a	30	0,26	13	0,248	0,674	0,37
8		3b		0,23	11	0,138	0,461	0,30
9		3c		0,15	8	0,093	0,136	0,68
rata-rata				0,21	10,67			0,45
10	IV	4a	36	0,36	24	0,827	2,416	0,34
11		4b		0,25	17	0,383	0,808	0,47
12		4c		0,19	14	0,161	0,385	0,42
rata-rata				0,26	18,33			0,41
Rata-rata								0,48

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui nilai BEF semakin turun seiring bertambahnya umur dan dbh rata-rata tanaman jati. Sutaryo (2009) menyatakan bahwa nilai BEF merupakan suatu nilai yang tergantung pada ukuran dan umur pohon/tegakan, sehingga penggunaan BEF untuk mengestimasi biomassa sebaiknya menggunakan BEF yang *age-dependent* atau memperhatikan umur tegakan dalam penyusunannya. Meskipun analisis korelasi Pearson menunjukkan bahwa variabel umur tidak menunjukkan hasil yang signifikan terhadap BEF. Sedangkan dbh menunjukkan korelasi yang signifikan terhadap BEF. Hal ini dimungkinkan karena variasi umur sampel yang dianalisis hanya empat, sehingga akan berpengaruh terhadap derajat bebas yang dipengaruhi oleh jumlah sampel.

5.3.4. Carbon Expansion Factor (CEF)

Estimasi kandungan karbon suatu tegakan diharapkan dapat dilakukan dengan menggunakan data yang sudah sering dilakukan oleh Perum Perhutani. Diharapkan dengan data inventarisasi yang digunakan untuk estimasi volume tegakan berdiri, dapat disusun *expansion factor* yang langsung dapat digunakan untuk menghitung kandungan karbon tegakan jati. Berdasarkan rumus perhitungan nilai BEF maka dapat diadopsi untuk membuat kerangka penyusunan nilai *carbon expansion factor* (CEF) sebagai berikut :



Gambar 29 . Kerangka Alur Penyusunan *Carbon Expansion Factor* (CEF)

5.4. Estimasi Kandungan Biomassa Tegakan Jati

Estimasi biomassa tegakan jati dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan allometrik maupun BEF yang diperoleh dari pohon sampel.

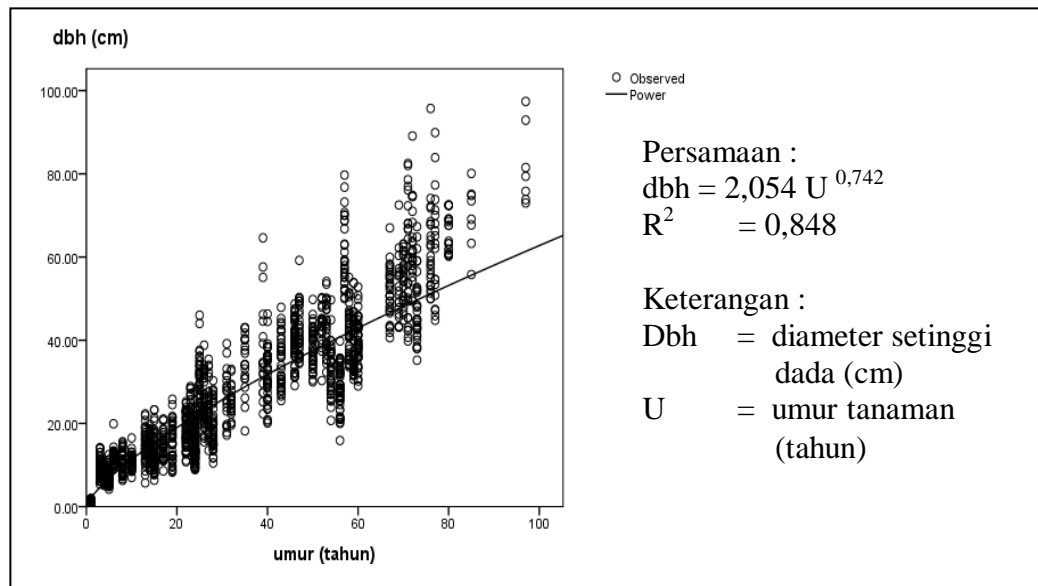
Kandungan biomassa tiap umur tanaman jati hanya dapat diketahui dengan melakukan inventarisasi hutan. Umur tanaman jati didasarkan pada pengurangan tahun pengukuran dan tahun tanam, dimana kegiatan ini dilaksanakan pada bulan Januari sampai dengan Februari 2011. Kegiatan inventarisasi hutan pada penelitian ini dilakukan pada semua kelas umur tegakan yang ada di KPH Randublatung yang disajikan pada Tabel 16 sebagai berikut :

Tabel 16. Inventarisasi Tegakan Jati di KPH Randublatung

No	Kelas Umur	Umur Tegakan Jati (tahun)
1	I	1;3;4;5;6;8;10
2	II	13;14;15;17;19
3	III	22;23;24;25;26;27;28
4	IV	31;32;35;39;40
5	V	43;46;47;50
6	VI	52;53;54;57;58;59;60
7	VII	67;69;70
8	VIII	71;72;73;76;77;80
9	IX	85
10	X	97

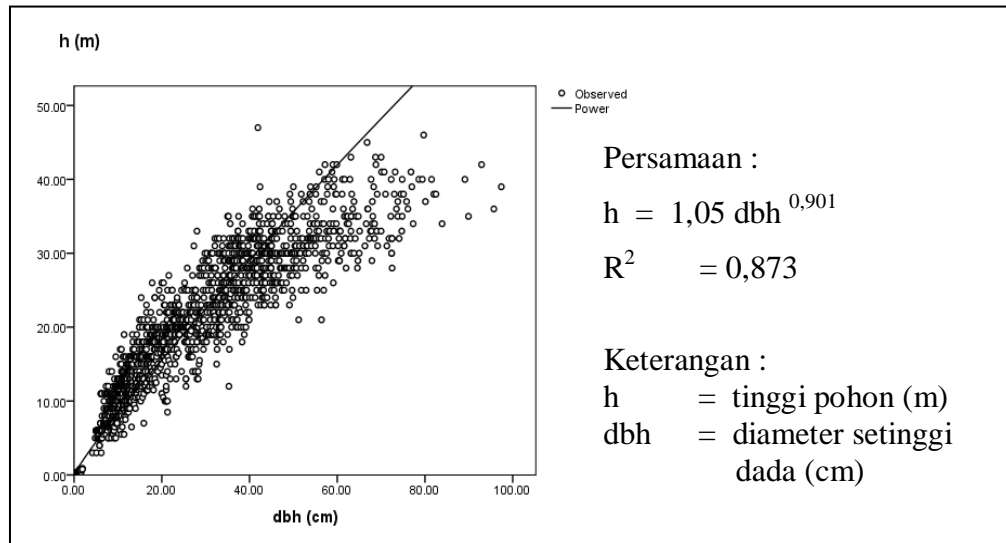
Data hasil inventarisasi tegakan jati di KPH Randublatung selengkapnya disajikan pada Lampiran 1 . Berdasarkan data tersebut dapat disusun persamaan allometrik hubungan antara umur tanaman dengan dbh serta hubungan antara dbh dengan tinggi pohon (h). Persamaan umur dan dbh dapat digunakan untuk mengestimasi besarnya diameter setinggi dada berdasarkan umur tanaman untuk tegakan jati yang tidak dilakukan inventarisasi. Persamaan ini juga dapat dimanfaatkan oleh Perum Perhutani untuk melakukan estimasi dbh berdasarkan

umur tanaman di masa mendatang. Hubungan antara umur dengan dbh berdasarkan hasil inventarisasi 1743 pohon jati disajikan pada grafik sebagai berikut :



Gambar 30. Hubungan Umur dan Diameter Setinggi Dada (dbh) Tanaman Jati.

Data hasil inventarisasi juga dapat digunakan untuk menyusun persamaan hubungan antara dbh - tinggi pohon. Simon (1993) menyatakan diameter setinggi dada mempunyai hubungan yang cukup kuat dengan tingginya. Hubungan dbh-tinggi pohon dapat digunakan untuk memperoleh estimasi tinggi pohon berdasarkan nilai dbh dari sampel yang terbatas jumlahnya. Persamaan ini dapat dimanfaatkan untuk mengetahui tinggi pohon hanya dengan mengukur dbh saja tanpa disertai pengukuran tinggi pohon, karena pengukuran tinggi pohon lebih susah dilakukan dibanding pengukuran dbh. Berdasarkan hasil analisis dan pengolahan data diperoleh grafik dan persamaan hubungan dbh- tinggi pohon jati sebagai berikut :



Gambar 31. Hubungan Diameter Setinggi Dada (dbh) dan Tinggi Pohon Jati

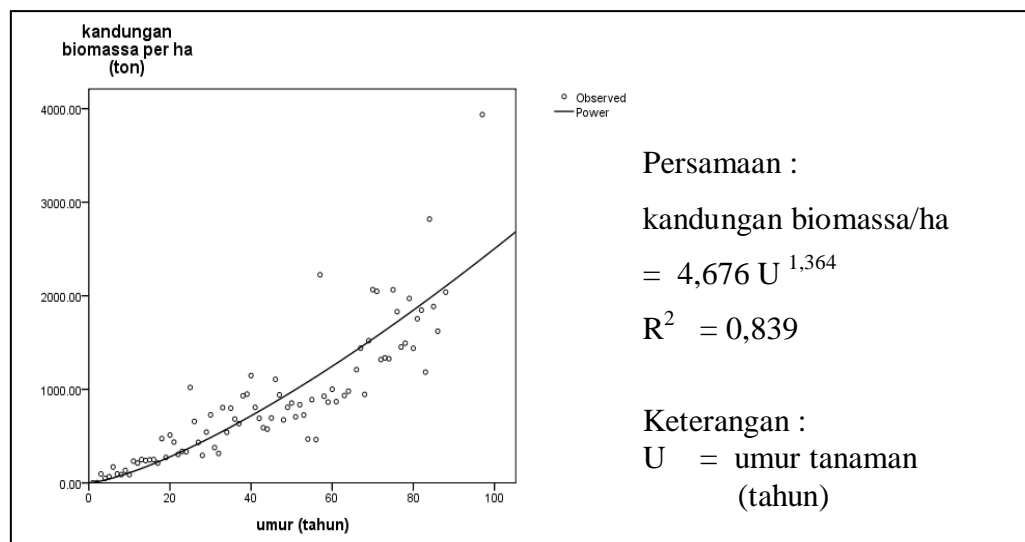
Simon (1993) menyatakan bahwa pohon yang tumbuh di atas tanah yang tidak subur akan mempunyai kurva tinggi lebih datar dibanding dengan pohon yang tumbuh di atas tanah yang subur. Grafik di atas menunjukkan bahwa jenis tanah yang ada di KPH Randublatung sesuai untuk jenis tanaman jati. Variasi hubungan antara dbh dengan tinggi pohon yang terjadi karena perbedaan kesuburan tanah pada masing-masing petak atau anak petak. Selain itu jarak pohon pada kelas umur kecil juga akan menghasilkan hubungan dbh-tinggi yang berada di atas garis *isometry*. Hal ini menunjukkan bahwa pada awalnya terjadi pertumbuhan meninggi terlebih dahulu karena kompetisi memperoleh sinar matahari antar pohon jati.

5.4.1. Estimasi Kandungan Biomassa Menggunakan Persamaan Allometrik

Estimasi kandungan biomassa tegakan jati di KPH Randublatung dapat dilakukan dengan memasukkan parameter dbh pohon hasil inventarisasi ke dalam persamaan $B_t = 0,133 \text{ dbh}^{2,394}$ dan dikalikan dengan jumlah pohon per ha pada tiap umur tegakan jati. Biomassa tegakan pada umumnya dinyatakan dalam satuan

berat per luas (ton/ha). Data kandungan biomassa selengkapnya disajikan pada Lampiran 2 kolom (7) – (9) . Berdasarkan data pada Lampiran dapat diketahui bahwa kandungan biomassa total di KPH Randublatung adalah sebesar 1.502.619,216 ton, dan apabila dibagi dengan luas total diperoleh kandungan biomassa rata-rata sebesar 64,562 ton/ha.

Kandungan biomassa pada masing-masing umur meningkat seiring bertambahnya umur tanaman. Hubungan umur tanaman dan kandungan biomassa dapat dinyatakan dalam Gambar 32 sebagai berikut :

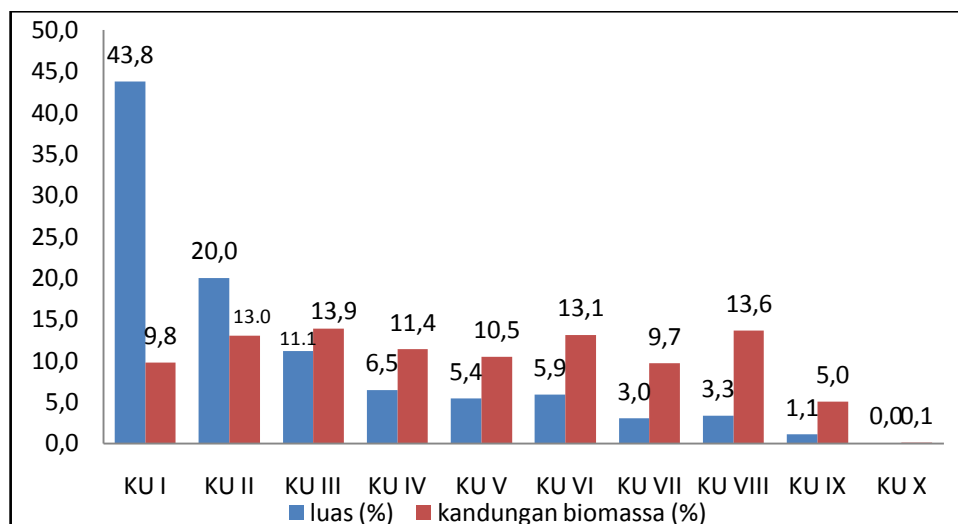


Gambar 32. Hubungan Umur Jati dengan Kandungan Biomassa Per Hektar

Kandungan biomassa juga dipengaruhi oleh kerapatan pohon atau jumlah pohon pada luasan tertentu yang dinyatakan dalam bentuk N/ha. Jumlah pohon semakin berkurang seiring dengan pertambahan umur tegakan, karena adanya perlakuan penjarangan yang dilakukan. Perum Perhutani melakukan penjarangan bertujuan untuk memelihara pohon-pohon terbaik dalam tegakan hutan dan memberikan tempat dan ruang tumbuh yang cukup bagi tegakan yang tinggal, sehingga pada akhir daur dapat diperoleh tegakan yang memproduksi tinggi dan kualitas baik.

Data jumlah pohon (N/ha) juga dipengaruhi oleh jarak tanam yang diterapkan oleh pengelola. Jarak tanam yang diterapkan saat ini adalah 3 x 3 m, mengingat, adanya sistem sistem tumpang sari. Pesanggem yang mengolah lahan menolak bekerjasama dengan Perum Perhutani apabila jarak tanam yang diterapkan lebih rapat seperti misalnya 3x1 m. Fauzi dan Mahfudz (2008) menyatakan jarak tanam 3 x 3 m dan 6 x 3 m memberikan respon yang positif terhadap parameter diameter batangnya. Wibowo *et al* (2002) juga menyebutkan kombinasi antara parameter tinggi dan diameter yang paling optimal ditunjukkan oleh penanaman dengan jarak tanam 3 x 3 m dengan umur tanaman 2,5 tahun pada saat pengukuran.

Uraian di atas menunjukkan bahwa kandungan biomassa pada masing-masing umur bisa saja menunjukkan hasil yang lebih tinggi meskipun pada luasan yang sama. Kandungan biomassa di KPH Randublatung berdasarkan luas masing-masing KU yang dirangkum dari data masing-masing umur disajikan pada Gambar 33 sebagai berikut :



Gambar 33. Perbandingan Persentase Kandungan Biomassa Terhadap Persentase Luas Masing - masing Kelas Umur

Berdasarkan Gambar 33 menunjukkan bahwa kandungan biomassa tergantung pada kelas umur, sehingga pada KU I dan II kandungan biomassa hanya sebesar 22,8 % dari kandungan biomassa total meskipun luasnya sebesar 63,8 % dari luas total. Persentase kandungan biomassa menunjukkan nilai yang lebih rendah dibanding persentase luas pada Kelas Umur I dan II, dan menjadi lebih tinggi dimulai dari KU III. Hal ini dipengaruhi oleh ukuran dbh yang lebih kecil pada KU I dan II meskipun jumlah pohon per hektar lebih banyak dibanding KU III - KU X.

5.4.2. Estimasi Kandungan Biomassa Menggunakan BEF

Estimasi kandungan biomassa menggunakan *biomassa expansion factor* yang diperoleh dari analisis dan pengolahan data pohon sampel dikalikan dengan volume pohon berdiri hasil inventarisasi. Sutaryo (2009) penggunaan BEF untuk mengestimasi biomassa sebaiknya menggunakan BEF yang *age-dependent* atau memerhatikan umur tegakan dalam penyusunannya. Pada penyusunan nilai BEF sampel pohon yang digunakan berumur 6, 16, 30 dan 36 tahun. Apabila nilai rata-rata BEF pada masing-masing umur digunakan untuk mengestimasi kelas umurnya maka akan diperoleh kandungan biomassa tegakan jati di KPH Randublatung sebagaimana disajikan pada Tabel 17 sebagai berikut :

Tabel 17. Kandungan Biomassa Tegakan Jati dengan Metode BEF

No	Umur (th)	Kelas Umur	Rerata dbh (cm)	h (m)	n	Luas (ha)	Kandungan Biomassa (ton)	
							per ha	total
1	1	I	1,14	0,45	817	338,80	0,02	6,88
2	2		3,41	3,17	830	15,60	1,29	20,18
3	3		9,53	11,11	950	673,40	40,47	27.254,50
4	4		7,57	7,18	950	2.006,00	16,51	33.113,65
5	5		7,93	6,63	1.117	882,90	19,67	17.363,19
6	6		11,60	13,51	950	1.107,60	72,85	80.684,92
7	7		8,94	7,56	1.147	2.152,00	29,25	62.935,95
8	8		10,38	9,29	683	1.739,10	28,87	50.205,88
9	9		10,85	8,99	903	521,20	40,33	21.021,92
10	10		10,98	7,77	583	770,80	23,06	17.776,75
Jumlah								310.383,83
11	11	II	12,66	10,34	1.007	1.617,50	65,84	106.499,82
12	12		13,53	10,98	749	778,00	59,46	46.263,43
13	13		14,53	12,05	717	366,50	72,00	26.387,92
14	14		13,69	11,75	817	263,40	71,09	18.724,95
15	15		12,84	13,38	1.017	306,10	88,61	27.123,88
16	16		16,88	13,40	462	250,30	69,69	17.442,20
17	17		14,61	11,98	600	396,30	60,56	23.999,50
18	18		18,48	14,54	673	176,60	132,02	23.314,11
19	19		15,89	19,25	600	205,80	115,17	23.701,02
20	20		20,04	15,64	571	297,00	141,69	42.080,85
Jumlah								355.537,68
21	21	III	20,81	16,18	437	220,80	108,29	23.911,11
22	22		18,59	19,56	425	279,80	101,67	28.446,67
23	23		22,53	20,57	267	302,80	98,66	29.875,12
24	24		15,34	29,40	817	347,90	199,84	69.524,19
25	25		29,72	21,45	358	343,60	239,97	82.454,08
26	26		25,37	18,60	367	173,00	155,49	26.899,50
27	27		24,31	21,99	275	294,90	126,38	37.269,90
28	28		19,16	17,95	375	329,40	87,47	28.811,23
29	29		26,67	20,23	262	120,90	133,40	16.127,51
30	30		27,38	20,71	325	180,50	178,47	32.214,09
Jumlah								375.533,38
31	31	IV	27,97	21,18	158	135,70	84,63	11.484,13
32	32		25,41	20,19	175	146,00	73,78	10.772,51
33	33		29,46	22,13	290	149,40	180,02	26.895,61
34	34		30,14	22,59	182	219,00	120,76	26.446,70
35	35		34,89	26,40	175	89,20	181,78	16.215,13
36	36		31,50	23,50	202	178,90	152,26	27.239,30
37	37		32,17	23,95	176	203,90	141,02	28.754,75
38	38		32,83	24,40	244	104,40	207,49	21.662,46
39	39		38,99	27,28	150	136,90	201,11	27.531,82
40	40		32,24	25,16	317	146,40	268,11	39.251,17
Jumlah								236.253,59
Total								1.277.708,48

Kandungan biomassa yang diperoleh menunjukkan perbedaan dengan kandungan biomasa yang diperoleh menggunakan persamaan allometrik yaitu sebesar

930.040,093 ton. Besarnya perbedaan kandungan biomassa total pada masing-masing kelas umur disajikan pada Tabel 18 sebagai berikut :

Tabel 18. Perbandingan Kandungan Biomassa Tegakan Jati KU I - KU IV Berdasarkan Metode Allometrik dan BEF

Kelas Umur	Kandungan Biomassa (ton)				
	I	II	II	IV	Total
Persamaan allometrik	261.617,548	280.453,639	228.994,867	158.974,039	930.040,093
BEF	310.383,83	355.537,68	375.533,38	236.253,59	1.277.708,48

Secara umum jumlah kandungan biomassa tegakan jati menggunakan metode allometrik menunjukkan hasil yang lebih kecil dibandingkan menggunakan BEF. Hal ini membuktikan bahwa faktor umur harus disertakan pada penyusunan BEF. Penggunaan BEF pada umur 6 tahun pada tegakan berumur 1 – 10 tahun dengan nilai BEF konstan akan menyebabkan nilai kandungan biomassa tegakan bias. Hal ini juga berlaku pada penggunaan BEF pada umur 16 tahun yang dipergunakan untuk umur 11 – 20 tahun, BEF pada umur 30 tahun untuk tegakan berumur 21-30 dan BEF pada umur 36 tahun untuk tegakan berumur 31 – 40 tahun. Sehingga penggunaan metode allometrik lebih disarankan dibandingkan menggunakan BEF apabila pengukuran kandungan biomassa dilakukan pada berbagai umur tegakan.

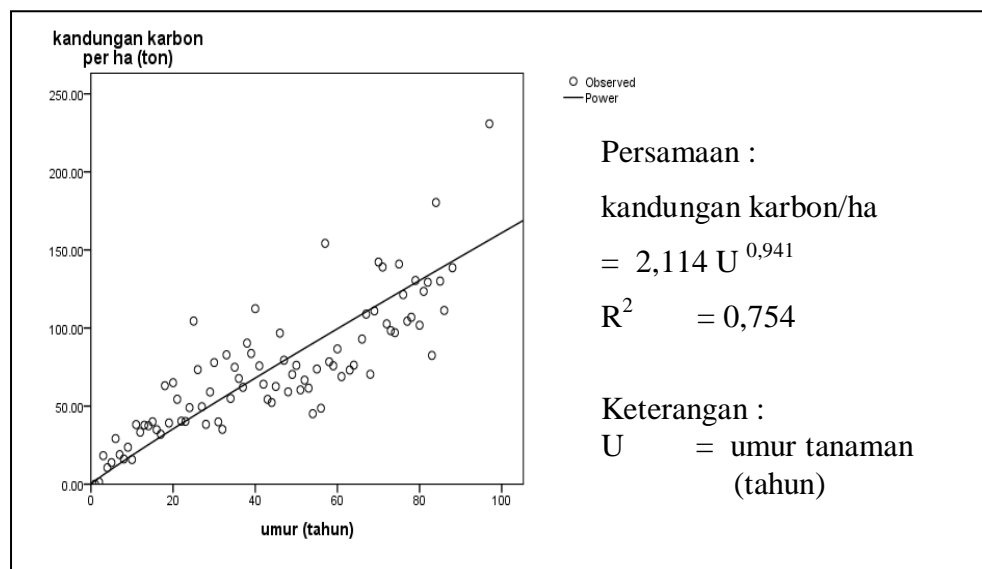
5.5. Estimasi Kandungan Karbon Tegakan Jati

Estimasi kandungan biomassa tiap umur tegakan dapat diketahui dengan menggunakan hasil inventarisasi hutan. Estimasi biomassa tegakan jati pada penelitian dilakukan dengan menggunakan persamaan allometrik, rumus *C standing crop* dan CEF yang diperoleh dari pohon sampel.

5.5.1. Estimasi kandungan Karbon Menggunakan Persamaan Allometrik

Estimasi kandungan karbon tegakan jati dilakukan dengan memasukkan parameter dbh pohon hasil inventarisasi ke dalam persamaan $K t = 0,088dbh^{2,39}$ dan dikalikan dengan jumlah pohon per ha pada tiap umur tegakan. Kandungan karbon tegakan pada umumnya dinyatakan dalam satuan berat per luas (ton/ha). Data kandungan karbon masing-masing umur tegakan selengkapnya disajikan pada Lampiran 2 kolom (10) – (12). Berdasarkan data pada Lampiran 2 kolom (10) – (12) dapat diketahui bahwa kandungan karbon total di KPH Randublatung adalah sebesar 983.857,74 ton, dengan kandungan karbon rata-rata sebesar 42,172 ton/ha

Besarnya kandungan karbon per ha berkisar antara 0,099 ton/ha pada umur 1 tahun dan 230,799 ton/ha pada umur 97 tahun. Hubungan antara umur tanaman dan kandungan karbon per ha dapat disajikan pada Gambar 34 sebagai berikut :



Gambar 34. Hubungan antara Umur Terhadap Kandungan Karbon per Hektar Tegakan Jati

Kandungan karbon per hektar meningkat seiring meningkatnya umur tanaman. Apabila kandungan karbon per hektar pada penelitian ini dibandingkan dengan

penelitian yang dilakukan oleh Basuki *et al* (2004) dengan menggunakan persamaan allometrik $C = 0,231 (\text{dbh}^2)^{1,0388}$ dapat disajikan pada Tabel 19 berikut :

Tabel 19. Perbandingan Kandungan Karbon KPH Randublatung dan KPH Cepu

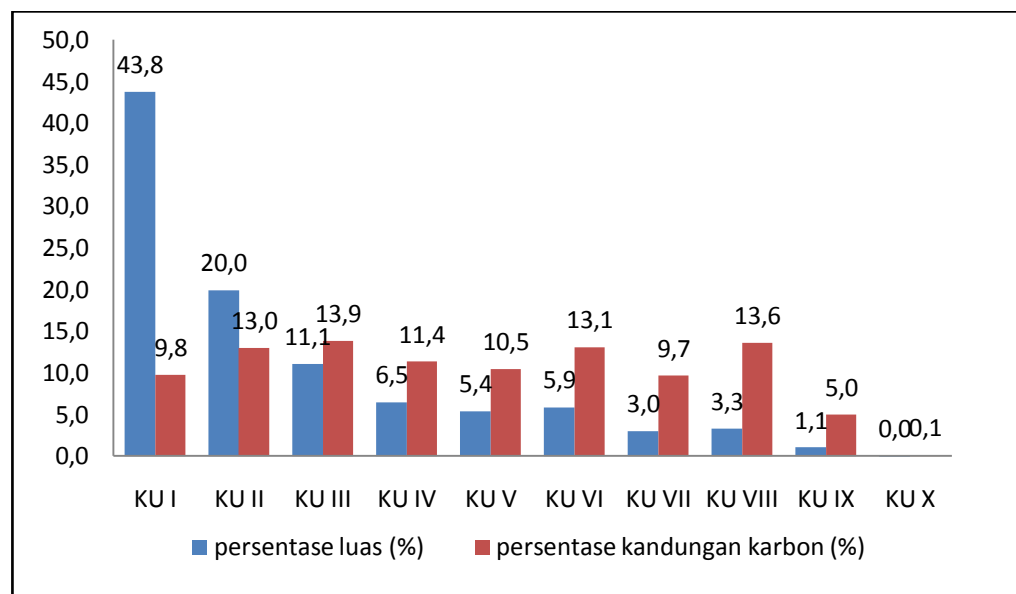
No	Umur (thn)	KPH Randublatung		KPH Cepu	
		Jumlah pohon/ha	Kandungan Karbon (ton/ha)	Jumlah pohon/ha	Kandungan Karbon (ton/ha)
1	1	817	0,099	3818	5,4085
3	10	583	15,747	913	41,1371
5	20	571	64,982	482	61,5338
6	30	325	77,926	324	76,0663
7	40	317	112,392	243	87,8975
8	50	143	76,106	195	98,6312
9	60	143	86,619	164	109,0925
10	70	87	142,256	142	119,0771
12	80	70	101,809	127	130,1602

Kandungan karbon yang dihasilkan pada penelitian ini menunjukkan hasil yang berbeda dengan yang dilakukan di KPH Cepu. Perbedaan kandungan karbon ini disebabkan oleh jumlah pohon per hektar yang berbeda. Semakin banyak jumlah pohon per ha maka kandungan karbon per hektar juga akan semakin tinggi. Namun demikian kandungan karbon per hektar pada umur 70 tahun menunjukkan nilai lebih tinggi di KPH Randublatung, meskipun jumlah pohon per hektarnya lebih sedikit. Hal ini diduga karena perbedaan kualitas tempat tumbuh atau bonita tegakan umur 70 tahun di KPH Randu blatung dan KPH Cepu.

Kraenzel *et al* (2003) menemukan bahwa hutan tanaman jati berumur 20 tahun di 4 lokasi negara Panama menunjukkan hasil kandungan karbon rata-rata sebesar 120 ton/ha. Nilai tersebut masih lebih besar dibandingkan yang dilakukan di KPH Randublatung dan KPH Cepu. Hal ini menunjukkan bahwa faktor

pemilihan pohon sampel yang digunakan untuk menyusun persamaan allometrik sangat penting. Dimana pohon jati di KPH Randublatung merupakan produk komersial yang bernilai tinggi, sehingga pengambilan sampel untuk penelitian mengalami keterbatasan terutama pada pohon yang berdiameter besar dan berbatang lurus yang tinggi.

Kandungan karbon tegakan jati memiliki hubungan dengan jumlah kandungan biomassa yang jumlahnya bergantung pada pada jumlah kadar karbonnya. Semakin besar kandungan biomasanya maka semakin besar pula kandungan karbonnya. Sehingga besarnya persentase kandungan karbon terhadap persentase luas tiap kelas umur menunjukkan nilai yang sama dengan persentase kandungan biomassa-persentase luas sebagaimana disajikan pada Gambar 35 berikut:



Gambar 35. Perbandingan Persentase Kandungan Karbon Terhadap Persentase Luas Masing-masing Kelas Umur

5.5.2. Estimasi Kandungan Karbon Menggunakan Rumus *C Standing Crop* dan *Carbon Expansion Factor (CEF)*

Kandungan karbon tegakan dapat diestimasi menggunakan faktor ekspansi yang diperoleh dari hasil analisis dan pengolahan data. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah menggunakan rumus *C standing crop* (*C tb*) dengan menggunakan rumus :

$$C\ tb = Vbb \times D \times F \times \text{Kadar C}$$

Dimana *C tb* adalah kandungan karbon tegakan berdiri; *Vbb* adalah volume batang berdiri; *D* adalah kerapatan kayu; *F* adalah faktor ekspansi. Sebagaimana dinyatakan Brown (1997) dan Sutaryo (2009) bahwa penggunaan faktor ekspansi harus *age dependent* atau bergantung pada umur tanaman yang akan diestimasi. Sehingga perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan faktor ekspansi adalah kandungan karbon tegakan yang tersedia nilai faktor ekspansinya. Hasil perhitungan kandungan *C* tegakan berdiri per ha (*C tb* dalam satuan ton/ha) disajikan pada Tabel 20 sebagai berikut:

Tabel 20. Kandungan Karbon Tegakan Berdiri (*C tb*)

No	Umur (thn)	dbh (m)	h (m)	Vbb (m ³)	D (ton/m ³)	F	Kadar C	<i>C tb</i> per pohon (ton)	N	<i>C tb</i> (ton/ha)	C (allometrik) (ton/ha)
1	6	0,07	6,42	0,03	0,53	1,84	0,63	0,01	950	13,88	8,16399
2	16	0,11	9,83	0,11	0,60	1,97	0,63	0,07	462	34,63	12,4424
3	30	0,21	10,67	0,42	0,54	1,65	0,66	0,25	325	81,30	42,1381
4	36	0,26	18,33	1,20	0,53	1,74	0,57	0,75	202	151,98	44,2747

Berdasarkan hasil di atas dapat diketahui bahwa kandungan karbon tegakan berdiri (*C tb*) menunjukkan hasil yang lebih besar dibandingkan dengan

kandungan karbon menggunakan persamaan allometrik. Hal ini dikarenakan volume batang yang seharusnya digunakan adalah volume batang komersial (*comercial stem*). Data hasil inventarisasi adalah berupa volume batang berdiri, sehingga pada perhitungan C_{tb} harus dikonversi terlebih dahulu menggunakan faktor konversi volume (fv) yaitu faktor konversi dari volume batang berdiri (V_{bb}) ke volume batang komersial (V_{bk}). Sehingga perhitungan C_{bt1} menggunakan rumus :

$$C_{tb} = (V_{bb} \times fv) \times D \times F \times \text{Kadar C}$$

dan menghasilkan nilai C_{bt} sebagai berikut :

Tabel 21. Kandungan Karbon Tegakan Berdiri Terkoreksi (C_{tb1})

No	Umur (thn)	C _{tb} (ton/ha)	f _v (konversi dari V _{bb} ke V _{bk})	C _{tb1} (ton/ha)	C (allometrik) (ton/ha)
1	6	13,88	0,54	7,49	8,16
2	16	34,63	0,44	15,21	12,44
3	30	81,30	0,52	42,20	42,14
4	36	151,98	0,49	74,40	44,27

Penggunaan faktor ekspansi untuk estimasi kandungan karbon pada tegakan berdiri diperlukan untuk kemudahan dalam mengkonversi data hasil inventarisasi yang sudah biasa dilakukan di Perum Perhutani. Faktor ekspansi ini sangat diharapkan oleh tenaga pelaksana di lapangan (seperti mandor), karena dianggap mudah dalam melakukan perhitungannya. Berdasarkan hasil uraian di atas terdapat keterbatasan dalam penerapan faktor ekspansi yaitu munculnya bias pengukuran. Oleh karena itu sebagai upaya untuk memberikan kemudahan pengukuran kandungan karbon maka disusun faktor ekspansi yang berupa *carbon expansion factor* (CEF). Penyusunan CEF dilakukan dengan 2 metode yaitu CEF berdasarkan nilai hasil pengamatan kandungan karbon pohon sampel dan CEF

yang disusun menggunakan persamaan allometrik (dbh - kandungan karbon).

Hasil analisis dan pengolahan data CEF yang didasarkan pada kerangka penyusunan CEF yang diuraikan pada Gambar 29 disajikan pada Tabel 22 sebagai berikut :

Tabel 22. Nilai *Carbon Expansion Factor* (CEF) Berdasarkan Hasil Pengamatan dan Persamaan Allometrik

No	K U	Umur (Thn)	Hasil pengamatan					Persamaan allometrik				
			f bt	f cr	fd	fa	CEF	f bta	f cra	fda	faa	CEFa
1	I	6	0,209	0,048	0,023	0,071	0,350	0,201	0,064	0,017	0,075	0,357
2	II	16	0,174	0,094	0,010	0,050	0,328	0,166	0,056	0,010	0,048	0,281
3	III	30	0,185	0,063	0,006	0,051	0,306	0,224	0,083	0,005	0,046	0,359
4	IV	36	0,156	0,078	0,001	0,031	0,267	0,148	0,057	0,002	0,028	0,235
Rata-rata total			0,181	0,070	0,010	0,050	0,313	0,185	0,065	0,008	0,049	0,308

Keterangan :

fbt : faktor untuk mengonversi dari Vbb ke kandungan karbon batang+kulit

fcr : faktor untuk mengonversi dari Vbb ke kandungan karbon cabang dan ranting

fd : faktor untuk mengonversi dari Vbb ke kandungan karbon daun

fa : faktor untuk mengonversi dari Vbb ke kandungan karbon akar

CEF : (fbt +fcr +fd + fa)

Penambahan kode a menunjukkan hasil yang diperoleh dengan menggunakan persamaan allometrik.

Nilai faktor ekspansi yang dihasilkan pada kedua metode ini menunjukkan hasil yang relatif sama. Hasil ini dikarenakan penyusunan faktor ekspansi dari pengamatan dilakukan pada umur pohon sampel. Untuk mengetahui hasil perhitungan kandungan karbon yang diperoleh dari 4 (empat) metode yang telah diuraikan yaitu persamaan allometrik, Cbt, CEF dan CEFa secara lengkap disajikan pada Lampiran 3, sedangkan kandungan karbon pada tiap kelas umur tertera pada Tabel 23 sebagai berikut :

Tabel 23. Perbandingan Kandungan Karbon Berdasarkan 4 Metode

No	Kelas Umur	Kandungan karbon total (ton)			
		allometrik	C tb	CEF	CEFa
1	I	171,537,29	493.201,950	192.371,128	308.260,112
2	II	183,593,39	161.732,020	220.713,953	159.265,387
3	III	149,620,14	1.493.356,421	258.239,703	157.135,318
4	IV	103.739,99	493.201,950	164.318,710	120.712,660
JUMLAH		608.490,81	1.493.356,422	835.643,494	745.373,477

Kandungan karbon yang dihasilkan dari KU I – IV menunjukkan hasil yang berbeda dengan nilai yang diperoleh dari perhitungan menggunakan persamaan allometrik. Selisih yang terbesar ditunjukkan oleh perhitungan menggunakan metode C tb jika dibandingkan dengan persamaan allometrik. Sedangkan metode CEF menunjukkan selisih hasil sebesar 37% lebih tinggi dibandingkan persamaan allometrik. Hal ini disebabkan penggunaan faktor ekspansi yang digunakan pada umur tegakan lain yaitu faktor ekspansi pada umur 6 tahun digunakan untuk semua umur pada kelas umur I; faktor ekspansi umur 16 tahun digunakan untuk semua umur pada kelas umur II; faktor ekspansi umur 30 tahun digunakan untuk semua umur pada kelas umur III; faktor ekspansi umur 36 tahun digunakan untuk semua umur pada kelas umur IV. Hasil ini semakin memperkuat bukti bahwa penggunaan faktor ekspansi konstan untuk berbagai umur menghasilkan perbedaan hasil estimasi kandungan karbon.

Selisih kandungan karbon terkecil ditunjukkan pada metode CEFa yaitu lebih tinggi dibandingkan persamaan allometrik sebesar 22 %. Hal ini dikarenakan nilai CEFa ini merupakan nilai rata-rata pada tiap kelas umur. Selain itu nilai CEF yang dihasilkan pada penelitian ini memungkinkan dilakukan pada masing-masing umur tegakan jati. Kelebihan lain yang dapat diperoleh adalah memungkinkan merubah rumus CEF dengan menambah organ tanaman jati yang tidak diperoleh pada penelitian ini yaitu organ bunga (fga) dan buah (fba). Nilai fga dan fba dapat diperoleh dengan melakukan pengukuran

dan penyusunan persamaan allometrik dbh-kandungan karbon bunga dan buah, sehingga diperoleh faktor konversi dari Vbb ke kandungan karbon bunga dan buah. Selanjutnya nilai CEF diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$CEFa = fbta + fcra + fda + faa + fga + fba$$

Sehingga nilai faktor ekspansi yang disarankan untuk melakukan estimasi di KPH Randublatung adalah CEFa yaitu *carbon expansion factor* berdasarkan persamaan allometrik yang dihasilkan.

5.6. Penyerapan CO₂ Tegakan Jati

Pengukuran jumlah serapan CO₂ yang dilakukan oleh hutan jati di KPH Randublatung dilakukan dengan menggunakan perbandingan massa atom CO₂ : C yaitu 44/12 (3,67) sebagai tetapan yang dikalikan dengan kandungan karbonnya. Hasil analisis dan pengolahan data jumlah penyerapan CO₂ masing-masing umur disajikan pada Lampiran 2 kolom (13) – (15), dan jumlah serapan tiap kelas umur disajikan pada Tabel 24 sebagai berikut :

Tabel 24 . Penyerapan CO₂ Tegakan Jati Tiap Kelas Umur di KPH Randublatung

No	Kelas Umur	Luas (ha)	Penyerapan CO ₂ (ton)	Penyerapan CO ₂ rata-rata (ton/ha)
1	I	10.207,4	628.970,07	61,619
2	II	4.657,5	673.175,77	144,536
3	III	2.593,6	548.607,18	211,523
4	IV	1.509,8	380.379,95	251,941
5	V	1.261,4	316.673,18	251,049
6	VI	1.369,4	369.029,14	269,482
7	VII	702,6	246.170,02	350,370
8	VIII	777,4	325.668,19	418,920
9	IX	247,9	116.604,58	470,369
10	X	2,6	2.200,28	846,262
JUMLAH		23.329,6	3.607.478,38	154,631

Hutan jati di KPH Randublatung memberikan kontribusi dalam menyerap CO₂ di atmosfer sebesar 3.607.478,38 ton, atau sekitar 154.631 ton/ha. Penyerapan CO₂ oleh tegakan jati dapat digunakan untuk mengetahui peran Perum Perhutani dalam mengurangi emisi gas CO₂ di Indonesia. Apabila data yang diperoleh di KPH Randublatung digunakan untuk menyusun simulasi jumlah serapan CO₂ total tegakan Kelas Perusahaan Jati Perum Perhutani dengan beberapa asumsi dan batasan sebagai berikut :

- Asumsi 1 adalah semua kondisi KPH di Perum Perhutani sama seperti KPH Randublatung.
- Asumsi 2 adalah apabila Perum Perhutani berhasil menerapkan kaidah hutan normal (*synchronized forest*) sebagai strategi pengelolaan hutan secara lestari dengan produksi dan etat luas maupun etat volume yang relatif stabil dari waktu ke waktu. Apabila daur jati 80 tahun, maka luas masing-masing KU diasumsikan sama.
- Perhitungan hanya dilakukan pada luas tegakan jati produktif saja, karena perhitungan penyerapan CO₂ rata-rata hanya dilakukan pada tegakan jati produktif KU I – X, sehingga luas tegakan jati total masih dikalikan dengan faktor konversi luas.
- Emisi CO₂ di Indonesia didasarkan pada penelitian Nurhidayati *et al* (2010) pada tahun 2005 adalah sebesar 2.250.000.000 ton dan Sari *et al* (2007) memperkirakan bahwa emisi tahunan di Indonesia adalah sebesar 3.014.000.000 ton CO₂. Besarnya emisi saat ini dianggap masih sama pada kisaran emisi tersebut.
- Luas Kelas Perusahaan Jati Perum Perhutani diuraikan pada Tabel 25 berikut:

Tabel 25 . Luas Tegakan Kelas Perusahaan Jati Produktif Perum Perhutani

Perum Perhutani	Luas Kelas Perusahaan Jati (ha)	Faktor Konversi Luas (fl)	Luas Tegakan Jati Produktif (ha)
Unit I	195.920,53 ^{a)}	0,72	140.793,91
Unit II	707.540,80 ^{b)}	0,72	508.458,38
Unit III	206.565,89 ^{c)}	0,72	148.443,96
Total	1.110.027,22	0,72	797.696,26

Keterangan :
^{a)} sumber : Buku Saku Statistik Tahun 2005 – 2009 Perum Perhutani Unit I Jawa Tengah
^{b)} sumber : http://www.dephut.go.id/INFORMASI/STATISTIK/propinsi/dinas/jatim05/tabel_4A1.pdf
^{c)} sumber : http://www.unit3.perumperhutani.com/index.php?option=com_content&view=frontpage&limitstart=5
fl = Luas Tegakan Jati Produktif/Luas Kelas Perusahaan Jati KPH Randublatung

Berdasarkan asumsi dan batasan tersebut diperoleh gambaran peran tegakan Kelas Perusahaan Jati Produktif Perum Perhutani dalam mengurangi emisi CO₂ sebagaimana tertera pada Tabel 26 sebagai berikut :

Tabel 26. Peran Tegakan Kelas Perusahaan Jati Produktif Perum Perhutani pada Penurunan Emisi CO₂ di Indonesia

	Penyerapan CO ₂ rata-rata (ton/ha)	Luas Tegakan Jati Produktif Total (ha)	Penyerapan CO ₂ Total (ton)	Emisi CO ₂ (ton)	Penurunan Emisi CO ₂ (%)
Asumsi 1	154,631	797.696,26	123.348.569,80	3,01E+09 ^{a)}	3,94
				2,25E+09 ^{b)}	5,20
Asumsi 2	244,930	797.696,26	195.379.744,04	3,01E+09 ^{a)}	6,10
				2,25E+09 ^{b)}	7,99

Keterangan :

$$\text{Penurunan emisi CO}_2 = \frac{\text{Penyerapan CO}_2 \text{ Total}}{\text{Penyerapan CO}_2 \text{ total} + \text{Total Emisi CO}_2} \times 100 \%$$

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui bahwa Tegakan Jati Produktif Perum Perhutani berperan menurunkan emisi CO₂ sebesar 3,94 – 5,20%, apabila semua kondisi KPH dianggap sama dengan KPH Randublatung dan sebesar 6,10 – 7,99% apabila Perum Perhutani dapat menerapkan kaidah hutan normal di semua KPH yang berada pada wilayah kerjanya.

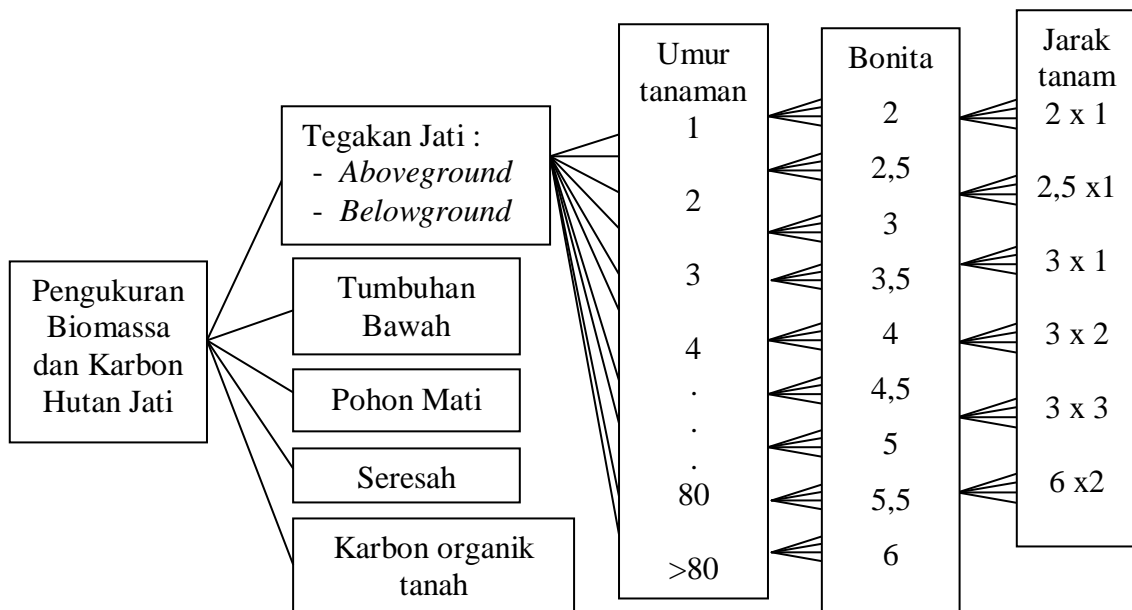
VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

1. Persamaan allometrik yang dapat digunakan untuk mengestimasi kandungan biomassa per pohon jati (*Tectona grandis*, L.f) di KPH Randublatung adalah $B_t = 0,133dbh^{2,394}$ (kg/pohon) (R^2 0,974), dan kandungan karbon per pohon jati adalah $K_t = 0,088dbh^{2,39}$ (kg/pohon) (R^2 0,977)
2. Nilai *Biomassa Expansion Factor* (BEF) yang dapat digunakan untuk mengonversi volume batang berdiri ke dalam kandungan biomassa total pada umur 6; 16; 20; 36 tahun secara berturut-turut sebesar 0,54; 0,50; 0,45 dan 0,41. Sedangkan nilai *Carbon Expansion factor* (CEF) untuk mengonversi volume batang berdiri ke dalam kandungan karbon total pada KU I – X secara berturut-turut adalah 0,56; 0,24; 0,19; 0,20; 0,18; 0,21; 0,21; 0,21; 0,20 dan 0,20.
3. Kandungan biomassa total tegakan jati di KPH Randublatung adalah sebesar 1.502.619,216 ton dan kandungan biomassa per hektar sebesar 64,562 ton/ha.
4. Kandungan karbon total tegakan jati di KPH Randublatung adalah sebesar 983.857,74 ton dan kandungan karbon per hektar sebesar 42,172 ton/ha
5. Penyerapan CO₂ tegakan jati di KPH Randublatung adalah sebesar 3.607.478,38 ton dengan penyerapan CO₂ per hektar sebesar 154,631 ton/ha.

6.2. Saran

Pengukuran kandungan biomassa dan karbon tegakan jati yang dilakukan pada penelitian ini terdapat beberapa keterbatasan, diantaranya kelengkapan organ tanaman, keterwakilan umur, bonita, jarak tanam dan *carbon pool* yang lain. Sehingga diharapkan penelitian selanjutnya menerapkan rancangan sebagai berikut :



Gambar 36. Rancangan Penelitian Pengukuran Biomassa dan Karbon Hutan Jati

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1987. *Prosedur analisa Kimia Tanah. Terbitan IV*. Fakultas Pertanian UGM. Yogyakarta
- Anonim. 2001b. *Petunjuk Pelaksanaan Penjarangan Hutan Tanaman*. Biro Perencanaan. Perum Perhutani Unit I. Jawa Tengah.
- Anonim. 2009. *Monografi KPH Randublatung Tahun 2005-2009*. KPH Randublatung. Perum Perhutani Unit I. Jawa Tengah
- Anonim. 2009. *Buku Saku Statistik Tahun 2005-2009*. Perum Perhutani Unit I Jawa Tengah
- Anonim. 2010. *Laporan Evaluasi Potensi SDH s/d Triwulan I Tahun 2010*. KPH Randublatung. Perum Perhutani Unit I. Jawa Tengah
- Archad, F. Eva, H.D., Stibig, H.J., Mayanx, P., Gallego, J., Richards, T. dan Malingrean, J. P., 2002. *Determination of Deforestation Rates of The World's Human Tropical Forest*. Forest Sciences. 297 : 999-1002
- Archad, F. Eva, H.D., Stibig, H.J. dan Belward. 2004. *Improved Estimates of Net Carbon Emissions from Land Cover Change in the Tropics for the 1990's*. Global Biogeochemical Cycles 18GB 2008.doi : 10.1029/2003GB0021.42.
- Bansal, R.C., D. Jean-Baptiste and S. Fritz, 1988. *Active Carbon*. Marcel Dekker Inc. New York
- Basuki, T.M., Heru, D.R., dan Sukresno. 2008. *Kajian Kualifikasi Kandungan Karbon pada Hutan Tanaman Jati (Tectona grandis LINN)*. Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam Vol. V. No 1 : 101-106
- Bhat, K.M., dan Hwan, O.Ma. 2007. *Teak Growers Unite*. Wood Science Division Kerala Forest Research Institute and ITTO Tropical Forest.(<http://www/kmbhat@kfri.org>).
- BPKH Wil XI dan FGMFP II. 2009. *Allometrik Berbagai Jenis Pohon Untuk Menaksir Kandungan Biomassa dan Karbon di Hutan Rakyat*. BPKH Wilayah XI Jawa – Madura dan Forest Governance and Multistakeholder Forestry Programme (MFP II). Yogyakarta
- Brown, S. dan Lugo, A.E., 1984. *Biomass of Tropical Forests : a New Estimate Based on Forest Science*. 223: 1290-3
- Brown, S. dan Lugo, A.E. 1992. *Tropical Forest as Sinks of Atmospheric Carbon*. Forest Ecology and Management, 54 : 239 – 255
- Brown, S. 1997. *Estimating Biomass and Biomass change of Tropical Forest : a Primer*. FAO. Forestry Paper No.134. Food and Agriculture of the United Nations, Rome

- Burton, A.J., dan K.S. Pregitzer. 2008. *Measuring Forest Floor, Mineral Soil, and Root Carbon Stocks. Field Measurements for Forest Carbon Monitoring*. Springer Science New York, chap 10 : 129-142
- Cairns, M.A., Brown, S., Helmer, E.H., Baumgardner, G.A. 1997. *Root Biomass Allocation In The World's Upland Forest*. *Oecologia* 111. 1 – 11
- Chauhan, S.K., Naveen, G. Ritu. Sudhir, Y. Dan Rajni, C. 2009. *Biomass and Carbon Allocation in Different parts of Agroforestry Tree Species*. Departmen of Forestry and Natural Resources. PAU Ludhiana submitted to ICAR. New Delhi. 981-993
- DeFries, R.S., Houghton, R.A., Hansen, M.C., Field, C.B., Skole, D. dan Townshend, J. 2002. *Emissions from Tropical Deforestation and Regrowth Based on Satellite Observations for the 1980's and 1990's*. *Proc. National Academy Science. USA.* 99.142 : 56- 61
- Fauzi, M.A., dan Mahfudz. 2008. *Beberapa Aplikasi Silvikultur Yang Diperlukan Dalam Penanaman Jati (*Tectona grandis*, L.f) di Indonesia*. Balai Besar Penelitian Bioteknologi dan Pemuliaan Tanaman Hutan. Yogyakarta
- Gibs, H.K., 2006. *Olson's Major World Ecosystem Complexes Ranked by Carbon in Live Vegetation : An Updated Database Using the GLC 2000 Land Cover Product NDP-027b* (<http://cdias.ornl.gov/epubs/ndp/ndp017.html>)
- Gibs, H.K., Brown, S., Niles, J.O., Foley, J.A., 2007. *Monitoring and Estimating Tropical Forest Carbon Stocks : Making REDD a reality*. *Enviromental Research Letters* 2,13, doi :10.1088/1748-9326/4/045023
- Gibs, H.K., Brown, S., 2007. *Geographical Distribution of Biomass Carbon Tropical Southeast Asian Forest: An Updated Database for 2000*. The Carbon Dioxide Information Center, Oak ridge National Laboratory. Oak Ridge Tennessee
- Hairiah, K dan Rahayu, S. 2007. *Petunjuk Praktis Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan*. World Agroforestry Centre. ICRAF. Bogor
- Hardjodarsono, M.S., 1977. *Jati*. Yayasan Pembina Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta
- Henry, M. 2010. *Carbon Stocks and Dynamics in Sub Saharan Africa*. A dissertation A dissertation submitted to Paris Institute of Technology for Life, Food and Environmental Sciences (AgroParisTech) The University of Tuscia
- Heyne, K. 1987. *Tumbuhan Berguna Indonesia Jilid IV*. Badan Litbang Kehutanan (penerj.). Yayasan Sarana Wana Jaya. Jakarta
- Houghton, R.A., Hackler, J.L. 1999. *Emissions of Carbon from Forestry and Land-use Change in Tropical Asia*. *Global Change Biology*. 5: 481–492.
- IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*). 1996. *Revised Guidelines*. Cambridge University Press. Cambridge

- IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*). 2001a. *Climate Change 2001 : The Scientific Basis, Summary for Policy Makers and Technical Summary of the Working Group I Report*. Geneva. Switzerland
- IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*). 2003. *Good Practices Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry*. Institute for Global Environmental Strategies. Hayama. Japan
- IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*). 2006. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Vol. 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFLOLU). Institute for Global Environmental Strategies. Hayama. Japan
- Kraenzel, M., Castillo, A., Moore, T., dan Chaterine, P. 2003. *Carbon Storage of Harvest-Age Teak (*Tectona grandis*) plantations, Panama*. Forest Ecology and Management, Elsevier Science Publishers B. V. 213 -225
- Levy, P.E., Hale, S.E. dan Nicoll, B.C.2004. *BiomassExpansion Factors and Root:Shoot Ratios for ConiferousTree Species in Great Britain*. COST Action E21 Meeting. Centre for Ecology and Hydrology. Natural Environmental Research Council
- Martawijaya, A., Iding, K., Kosasi, K., dan Soewanda, A.P. 2005. *Atlas Kayu Indonesia Jilid I*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. Departemen Kehutanan. Bogor
- Mudiyarso, D. 2003. *Konvensi Perubahan Iklim*. Penerbit PT Kompas Media Nusantara. Jakarta
- Nakicenovic, N., dan Swart, R . 2000. *Emission scenarios: Special report of Working Group III of the 2000 Intergovernmental panel on climate change Network*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Nurhidayati., Arief, W., Pramudya., Giorgio, B.I., Josi, C., Lili, H., Bernadinus, S., dan Mumu, M., 2010. *Hukum Perubahan Iklim*. HuMa. Jakarta
- Olson, J.S., Watts, J.A. dan Allison, L.J. 1983. *Carbon in Live Vegetation of Major World Ecosystem*. ORNL-5862. TN : Oak Ridge National Laboratory. Oak Ridge.
- Ombina, C.A. 2008. *Soil Characterization for Teak (*Tectona Grandis*) Plantations in Nzara District of South Sudan*. Thesis Master of Forest Science. Department of Forestry Stellenbosch University.
- Paul, K.I., Jacobsen, K., Koul, V., Leppert, P., Smith, J. 2008. Predicting growth and sequestration of carbon by plantations growing in regions of low-rainfall in southern Australia . *Forest Ecology Manage.* 254 : 205 – 216
- Pratisto, A. 2009. *Statistik Menjadi Mudah dengan SPSS 17*. PT Elex Media Komputindo. Jakarta
- Pretzsch, H. 2009. *Forest Forest Dynamics, Growth and Yield from Measurement to Model*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg

- Purwanto, R.H. dan M. Shiba. 2005. *Allometric Equation for Estimating Above Ground Biomass and Leaf Area of Planted Teak (*Tectona grandis*) Forest Under Agroforestry Management in East Java Indonesia*. research no.76. Kyoto. 1 - 8
- Purwanto, R.H., 2010. *Bahan Ajar Inventore Biomassa Hutan*. Program Pascasarjana Ilmu Kehutanan. Fakultas Kehutanan. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta
- Ravindranath, N.H dan Madelene, O. 2008. *Carbon Inventory Methods Handbook for Greenhouse Gas Inventory, Carbon Mitigation and Roundwood Production Projects*. Springer Science
- Salisbury, F.B. dan Cleon, W.R. 1995. *Fisiologi Tumbuhan (Terjemahan)*. Penerbit ITB. Bandung
- Sari., Agus, P., Martha, M., Ria, N., Butarbutar., Rizka, E.S., Wisnu, R. 2007. *Executive Summary:Indonesia and Climate Change Working Paper on Current Status and Policies*. PT. Pelangi Energi Abadi Citra Enviro (PEACE). Jakarta
- Schroeder, P. 1992. *Carbon Storage Potential of Short Rotation Tropical Tree Plantations*, Forest Ecology and Management, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, 50: 31-41
- Simon, H. 1993. *Metode Inventore Hutan*. Penerbit Aditya Media. Yogyakarta
- Simon, H. 2000. *Hutan Jati dan Kemakmuran, Problematika dan Pemecahannya*. Biograf Publishing. Yogyakarta
- Stemler, A. dan Richard, R. 1975. *Hsource of Photosynthetic Oxygen in Bicarbonate-Stimulated Hill Reaction*. Journal of Science 190 : 457- 458
- Sutaryo, D. 2009. *Perhitungan Biomassa Sebuah Pengantar untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon*. Wetlands International Indonesia Programme. Bogor
- West, P.W. 2009. *Tree and Forest Measurement 2nd edition*.Springer Dordrecht Heidelberg. London. New York
- Wibowo, Aris, Purwanta, S., Gunawan, I. 2002. *Pengaruh Berbagai Jarak Tanam, Bahan Tanaman dan Dosis Pupuk Terhadap Pertumbuhan Jati (*Tectona grandis*, L.f) Umur 2,5 Tahun di KPH Ngawi*. Buletin Penelitian Pusbanghut. Volume IV No.01 Januari 2002. Pusat Pengembangan SDH. Cepu

http://www.dephut.go.id/INFORMASI/STATISTIK/propinsi/dinas/jatim05/tabel_4A_1.pdf. Diakses tanggal 17 Agustus 2011

http://www.unit3.perumperhutani.com/index.php?option=com_content&view=frontpage&limitstart=5. Diakses tanggal 17 Agustus 2011

Lampiran 1. Data Inventarisasi Petak Ukur Masing-masing Kelas Umur

No	BKPH	RPH	Petak	Umur (tahun)	Kelas Umur	Luas PU	Luas Petak (ha)	Rerata Dbh (cm)	Rerata h (m)	n
1	Ngliron	Banyuasin	145 c	1	I	0,02	12,1	1,14	0,45	16
2	Kedungjambu	Soko	129c	3			9,6	9,53	11,11	19
3	Kedungjambu	Soko	41a	4			5,6	7,57	7,18	19
4	Kedungjambu	Soko	130a	5			6,6	7,93	6,63	20
5	Kedungjambu	Soko	45g	6			7,8	11,60	13,51	19
6	Ngliron	Banyuasin	23b	8			19,4	10,38	9,29	14
7	Kedungjambu	Kedungjambu	102a	10			19,2	10,98	7,77	12
8	Kedungjambu	Jatikusumo	107a	13	II	0,02	20,8	14,53	12,05	14
9	Kedungjambu	Kedungjambu	83a	14			37,7	13,69	11,75	17
10	Ngliron	Ngliron	136b	15			23,2	12,84	13,38	20
11	Kedungjambu	Jatikusumo	115	17			19,2	14,61	11,98	12
12	Ngliron	Kedungringin	60c	19			31,8	15,89	19,25	12
13	Ngliron	Banyuasin	58	22	III	0,04	38,7	18,59	19,56	17
14	Ngliron	Banyuasin	39b	23			16,1	22,53	20,57	11
15	Kedungjambu	Jatikusumo	116b	24	III	0,04	65,2	15,34	29,40	32,7
16	Kedungjambu	Soka	127 b	25			13,1	29,72	21,45	14
17	Kedungjambu	Soka	127 a	26			16	25,37	18,60	15
18	Ngliron	Banyuasin	144b	27			34,3	24,31	21,99	11
19	Ngliron	Banyuasin	147a	28	IV	0,04	60,9	19,16	17,95	15
20	Ngliron	Banyuasin	20 b	31			34,5	27,97	21,18	6
21	Ngliron	Banyuasin	143c	32			17	25,41	20,19	7
22	Ngliron	Banyuasin	141	35			25,8	34,89	26,40	7
23	Ngliron	Ngliron	29	39			16,4	38,99	27,28	6
24	Ngliron	Banyuasin	23a	40			8,1	32,24	25,16	13

Lampiran 1. Data Inventarisasi Petak Ukur Masing-masing Kelas Umur (lanjutan)

No	BKPH	RPH	Petak	Umur (tahun)	Kelas Umur	Luas PU	Luas Petak (ha)	Rerata Dbh (cm)	Rerata h (m)	n
25	Ngliron	Banyuasin	142B	43	V	0,1	14,2	36,10	28,49	12
26	Ngliron	Banyuasin	22C	46			3,4	39,60	29,09	17
27	Ngliron	Ngliron	27B	47			34	42,31	29,93	12
28	Ngliron	Ngliron	37A	50			24,5	38,22	32,18	14
29	Ngliron	Ngliron	138A	52	VI		43,8	46,85	31,35	8
30	Ngliron	Ngliron	51	53			59,3	41,85	26,12	9
31	Kedungjambu	Gedang becici	74	54	VI		22,8	33,06	20,81	12
32	Kedungjambu	Gedang becici	75A	56			20	28,34	17,04	19
33	Ngliron	Kedungringin	39C	57			1,6	60,42	39,90	10
34	Ngliron	Ngliron	34	58			46,7	42,08	27,87	12
35	Ngliron	Kedungringin	40A	59			39,2	39,34	29,11	13
36	Ngliron	Banyuasin	33A	60			17,1	40,34	25,18	14
37	Ngliron	Banyuasin	32	67	VII		54,5	51,57	32,53	10
38	Ngliron	Kedungringin	40B	69			12	53,20	27,48	6
39	Ngliron	Kedungringin	48A	70			7,9	55,09	31,36	9
40	Ngliron	Kedungringin	53	71	VIII		44	61,13	35,52	9
41	Ngliron	Banyuasin	31A	72			53,3	62,71	35,37	8
42	Ngliron	Ngliron	52B	73			29	48,91	29,40	11
43	Kedungjambu	Soko	44 B	76			34,4	62,11	31,89	8
44	Ngliron	Kedungringin	39A	77			8	65,48	31,81	6
45	Ngliron	Ngliron	27A	80			8	65,77	31,72	7
46	Ngliron	Banyuasin	145 D	85	IX		1,3	69,93	36,75	8
47	Ngliron	Banyuasin	30	97	X		2,6	81,97	39,00	7

Lampiran 2. Kandungan Biomassa, Karbon dan Penyerapan CO₂ Tegakan Jati (*Tectona grandis*, L.f) di KPH Randublatung

No	Umur (thn)	Kelas Umur	Rerata Dbh (cm)	n	Luas (ha)	Kandungan Biomassa (ton)			Kandungan Karbon (ton)			Penyerapan CO ₂ (ton)		
						per pohon	per ha	total	per pohon	per ha	Total	per pohon	per ha	total
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
1	1**	I	1,14	817	338,8	0,0002	0,149	50,509	0,0001	0,099	33,402	0,0004	0,361	122,473
2	2*		3,41	830	15,6	0,0025	2,084	32,505	0,0017	1,372	21,402	0,006	5,030	78,473
3	3**		9,53	950	673,4	0,0294	27,916	18.798,535	0,0193	18,305	12326,453	0,071	67,118	45.196,994
4	4**		7,57	950	2.006	0,0169	16,095	32.285,755	0,0111	10,563	21189,694	0,041	38,732	77.695,543
5	5**		7,93	1.117	882,9	0,0189	21,136	18.661,155	0,0124	13,869	12245,373	0,046	50,855	44.899,702
6	6**		11,60	950	1.107,6	0,0470	44,620	49.421,058	0,0308	29,235	32380,671	0,113	107,195	118.729,125
7	7*		8,94	1.147	2.152	0,0252	28,902	62.197,937	0,0165	18,957	40794,502	0,061	69,507	149.579,839
8	8**		10,38	683	1.739,1	0,0360	24,618	42.812,804	0,0236	16,137	28063,354	0,087	59,168	102.898,966
9	9*		10,85	903	521,2	0,0400	36,140	18.836,313	0,0262	23,685	12344,850	0,096	86,847	45.264,450
10	10**		10,98	583	770,8	0,0412	24,028	18.520,977	0,0270	15,747	12137,592	0,099	57,738	44.504,503
Jumlah					10.207,4			261.617,5479			171.537,291			628.970,0675
11	11*	II	12,66	1.007	1.617,5	0,0579	58,314	94.323,465	0,0379	38,194	61.779,103	0,139	140,045	226.523,377
12	12*		13,53	749	778	0,0680	50,909	39.607,334	0,0445	33,335	25.934,700	0,163	122,229	95.093,899
13	13**		14,53	717	366,5	0,0805	57,750	21.165,201	0,0527	37,803	13.854,946	0,193	138,612	50.801,469
14	14**		13,69	817	263,4	0,0699	57,118	15.044,966	0,0458	37,399	9.850,910	0,168	137,130	36.120,005
15	15**		12,84	1.017	306,1	0,0600	60,999	18.671,684	0,0393	39,950	12.228,688	0,144	146,483	44.838,521
16	16*		16,88	462	250,3	0,1154	53,329	13.348,347	0,0755	34,889	8.732,705	0,277	127,926	32.019,918
17	17**		14,61	600	396,3	0,0816	48,966	19.405,055	0,0534	32,053	12.702,459	0,196	117,526	46.575,682
18	18*		18,48	673	176,6	0,1434	96,496	17.041,252	0,0938	63,107	11.144,625	0,344	231,391	40.863,625

Lampiran 2. Kandungan Biomassa, Karbon dan Penyerapan CO₂ Tegakan Jati (*Tectona grandis*, L.f) di KPH Randublatung (lanjutan)

No	Umur (thn)	Kelas Umur	Rerata Dbh (cm)	n	Luas (ha)	Kandungan Biomassa (ton)			Kandungan Karbon (ton)			Penyerapan CO ₂ (ton)		
						per pohon	per ha	total	per pohon	per ha	Total	per pohon	per ha	total
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
19	19**	II	15,89	600	205,8	0,0998	59,891	12.325,598	0,0653	39,191	8065,564	0,240	143,701	29.573,736
20	20*		20,04	571	297	0,1741	99,396	29.520,737	0,1138	64,982	19.299,693	0,417	238,268	70.765,542
Jumlah					4.657,5			280.453,6392			183.593,3928			673.175,7736
21	21*	III	20,81	437	220,8	0,1904	83,220	18.374,873	0,1245	54,398	12.011,089	0,456	199,460	44.040,659
22	22**		18,59	425	279,8	0,1454	61,811	17.294,615	0,0951	40,422	11.310,050	0,349	148,214	41.470,185
23	23**		22,53	267	302,8	0,2304	61,526	18.630,034	0,1506	40,205	12.174,001	0,552	147,417	44.638,002
24	24**		15,34	817	347,9	0,0917	74,932	26.068,911	0,0600	49,041	17.061,259	0,220	179,816	62.557,950
25	25**		29,72	358	343,6	0,4471	160,073	55.001,129	0,2919	104,486	35.901,308	1,070	383,114	131.638,128
26	26**		25,37	367	173	0,3062	112,363	19.438,866	0,2000	73,390	12.696,511	0,733	269,098	46.553,874
27	27**		24,31	275	294,9	0,2762	75,967	22.402,681	0,1805	49,626	14.634,844	0,662	181,964	53.661,094
28	28**		19,16	375	329,4	0,1564	58,635	19.314,273	0,1022	38,340	12.629,305	0,375	140,581	46.307,453
29	29*		26,67	262	120,9	0,3450	90,388	10.927,944	0,2253	59,025	7.136,172	0,826	216,426	26.165,964
30	30*		27,38	325	180,5	0,3672	119,344	21.541,540	0,2398	77,926	14.065,601	0,879	285,728	51.573,871
Jumlah					2593,6			228.994,8667			149.620,1397			548.607,179
31	31**	IV	27,97	158	135,7	0,3866	61,089	8.289,812	0,2524	39,885	5412,387	0,926	146,245	19.845,418
32	32**		25,41	175	146	0,3073	53,782	7.852,128	0,2007	35,127	5128,591	0,736	128,800	18.804,835
33	33*		29,46	290	149,4	0,4376	126,916	18.961,301	0,2857	82,846	12377,199	1,047	303,769	45.383,061
34	34*		30,14	182	219	0,4624	84,151	18.429,068	0,3018	54,925	12028,673	1,107	201,393	44.105,135
35	35**		34,89	175	89,2	0,6560	114,807	10.240,747	0,4279	74,891	6680,241	1,569	274,599	24.494,217

Lampiran 2. Kandungan Biomassa, Karbon dan Penyerapan CO₂ Tegakan Jati (*Tectona grandis*, L.f) di KPH Randublatung (lanjutan)

No	Umur (thn)	Kelas Umur	Rerata Dbh (cm)	n	Luas (ha)	Kandungan Biomassa (ton)			Kandungan Karbon (ton)			Penyerapan CO ₂ (ton)		
						per pohon	per ha	total	per pohon	per ha	Total	per pohon	per ha	total
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
36	36*		31,50	202	178,9	0,5137	103,762	18.563,055	0,3352	67,714	12113,997	1,229	248,284	44.417,987
37	37*	IV	32,17	176	203,9	0,5402	95,084	19.387,595	0,3525	62,045	12.651,014	1,293	227,499	46.387,051
38	38*		32,83	244	104,4	0,5674	138,454	14.454,612	0,3702	90,338	9.431,314	1,358	331,240	34.581,484
39	39**		38,99	150	136,9	0,8561	128,412	17.579,576	0,5582	83,728	11.462,405	2,047	307,004	42.028,818
40	40**		32,24	317	146,4	0,5433	172,241	25.216,144	0,3545	112,392	16.454,167	1,300	412,103	60.331,947
Jumlah					1.509,8			158.974,0393			103.739,9877			380.379,9547
41	41*	V	34,81	178	88,1	0,6526	116,169	10.234,463	0,4257	75,780	6.676,199	1,561	277,859	24.479,398
42	42*		35,46	144	113	0,6822	98,242	11.101,375	0,4450	64,081	7.241,172	1,632	234,964	26.550,963
43	43**		36,10	117	97,3	0,7119	83,292	8.104,296	0,4643	54,325	5.285,870	1,703	199,193	19.381,523
44	44*		36,75	108	170,1	0,7432	80,270	13.653,943	0,4847	52,351	8.904,878	1,777	191,953	32.651,220
45	45**		37,39	124	76,8	0,7746	96,055	7.377,014	0,5052	62,641	4.810,836	1,852	229,684	17.639,731
46	46**		39,60	167	118,9	0,8888	148,429	17.648,252	0,5795	96,774	11.506,463	2,125	354,839	42.190,363
47	47**		42,31	117	88,2	1,0410	121,796	10.742,404	0,6785	79,389	7.002,077	2,488	291,092	25.674,284
48	48*		39,30	104	149,4	0,8724	90,726	13.554,458	0,5688	59,154	8.837,630	2,086	216,899	32.404,644
49	49*		39,92	119	218,3	0,9061	107,828	23.538,818	0,5908	70,300	15.346,551	2,166	257,768	56.270,686
50	50**		38,22	143	141,3	0,8162	116,712	16.491,396	0,5322	76,106	10.753,737	1,951	279,054	39.430,369
Jumlah					1.261,4			132.446,4179			86.365,41294			316.673,1808
51	51*	VI	41,17	95	122,9	0,9754	92,660	11.387,933	0,6358	60,404	7.423,652	2,331	221,481	27.220,057

Lampiran 2. Kandungan Biomassa, Karbon dan Penyerapan CO₂ Tegakan Jati (*Tectona grandis*, L.f) di KPH Randublatung (lanjutan)

No	Umur (thn)	Kelas Umur	Rerata Dbh (cm)	n	Luas (ha)	Kandungan Biomassa (ton)			Kandungan Karbon (ton)			Penyerapan CO ₂ (ton)		
						per pohon	per ha	total	per pohon	per ha	Total	per pohon	per ha	total
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
52	52**		46,85	77	151,7	1,3290	102,334	15.524,110	0,8659	66,676	10.114,744	3,175	244,479	37.087,396
53	53**		41,85	93	163,8	1,0146	94,359	15.456,073	0,6614	61,508	10.074,957	2,425	225,528	36.941,510
54	54**		33,06	120	138,5	0,5768	69,218	9.586,728	0,3764	45,162	6254,956	1,380	165,594	22.934,838
55	55*	VI	43,63	101	93,5	1,1208	113,204	10.584,564	0,7305	73,779	6.898,343	2,678	270,523	25.293,924
56	56*		28,34	187	202,6	0,3988	74,578	15.109,569	0,2604	48,689	9.864,469	0,955	178,528	36.169,720
57	57**		60,42	97	138,8	2,4431	236,978	32.892,601	1,5902	154,246	21409,406	5,831	565,570	78.501,157
58	58**		42,08	117	143,7	1,0279	120,268	17.282,495	0,6700	78,394	11.265,255	2,457	287,446	41.305,937
59	59**		39,34	133	110,4	0,8746	116,328	12.842,607	0,5703	75,847	8.373,460	2,091	278,104	30.702,688
60	60**		40,34	143	103,5	0,9291	132,863	13.751,360	0,6057	86,619	8.965,068	2,221	317,603	32.871,918
Jumlah					1.369,4			154.418,0394			100.644,3119			369.029,1437
61	61*	VII	47,25	78	246	1,3562	105,784	26.022,773	0,8836	68,921	16.954,581	3,240	252,711	62.166,799
62	63*		48,43	78	16,5	1,4392	112,257	1.852,234	0,9376	73,131	1.206,664	3,438	268,148	4.424,435
63	64*		49,02	79	24,1	1,4815	117,040	2.820,673	0,9651	76,244	1.837,478	3,539	279,561	6.737,420
64	66*		50,20	91	31,5	1,5679	142,677	4.494,315	1,0213	92,935	2.927,465	3,745	340,763	10.734,039
65	67**		51,57	100	207,4	1,6721	167,210	34.679,428	1,0890	108,904	22.586,736	3,993	399,315	82.818,032
66	68*		53,20	60	25,8	1,8013	108,078	2.788,414	1,1730	70,383	1.815,870	4,301	258,069	6.658,192
67	69**		55,09	87	54,8	1,9588	170,416	9.338,787	1,2754	110,963	6.080,751	4,677	406,863	22.296,086
68	70**		61,13	87	96,5	2,5123	218,567	21.091,751	1,6351	142,256	13.727,731	5,995	521,606	50.335,015
Jumlah					702,6			103.088,3754			67.137,27736			246.170,017

Lampiran 2. Kandungan Biomassa, Karbon dan Penyerapan CO₂ Tegakan Jati (*Tectona grandis*, L.f) di KPH Randublatung (lanjutan)

No	Umur (thn)	Kelas Umur	Rerata Dbh (cm)	n	Luas (ha)	Kandungan Biomassa (ton)			Kandungan Karbon (ton)			Penyerapan CO ₂ (ton)		
						per pohon	per ha	total	per pohon	per ha	Total	per pohon	per ha	total
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
69	71**	VIII	62,71	80	44	2,6715	213,720	9.403,693	1,7386	139,087	6119,839	6,375	509,987	22.439,409
70	72**		48,91	107	110	1,4732	157,633	17.339,645	0,9597	102,688	11.295,713	3,519	376,524	41.417,615
71	73**		54,24	80	35,8	1,8876	151,007	5.406,061	1,2291	98,331	3.520,258	4,507	360,548	12.907,614
72	74*		54,82	77	93,2	1,9355	149,031	13.889,695	1,2603	97,040	9.044,157	4,621	355,814	33.161,911
73	75*	VIII	62,11	83	127,7	2,6099	216,621	27.662,507	1,6986	140,981	18.003,213	6,228	516,929	66.011,781
74	76**		65,48	63	67,1	2,9620	186,609	12.521,471	1,9273	121,423	8.147,455	7,067	445,216	29.874,002
75	77**		56,52	77	40,9	2,0824	160,343	6.558,034	1,3558	104,393	4.269,687	4,971	382,775	15.655,518
76	78*		57,08	77	79,1	2,1324	164,198	12.988,037	1,3883	106,899	8.455,681	5,090	391,962	31.004,165
77	79*		65,77	67	58,5	2,9932	200,543	11.731,760	1,9476	130,487	7.633,474	7,141	478,451	27.989,404
78	80**		58,20	70	121,1	2,2342	156,393	18.939,165	1,4544	101,809	12.329,121	5,333	373,301	45.206,776
Jumlah					777,4			136.440,068			88.818,59862			325.668,195
79	81*	IX	58,76	83	64,3	2,2859	189,727	12.199,440	1,4880	123,505	7.941,354	5,456	452,851	29.118,299
80	82*		59,32	85	23,8	2,3381	198,738	4.729,955	1,5219	129,365	3.078,898	5,580	474,340	11.289,293
81	83*		59,87	53	24,8	2,3909	126,715	3.142,535	1,5562	82,480	2.045,513	5,706	302,428	7.500,213
82	84*		69,93	80	33,4	3,4666	277,327	9.262,714	2,2550	180,403	6.025,467	8,268	661,478	22.093,380
83	85**		60,98	80	49,8	2,4980	199,839	9.951,973	1,6258	130,068	6.477,381	5,961	476,916	23.750,399
84	86*		61,53	67	34,7	2,5524	171,008	5.933,972	1,6612	111,299	3.862,070	6,091	408,096	14.160,923
85	88*		62,63	80	17,1	2,6627	213,016	3.642,572	1,7329	138,630	2.370,566	6,354	508,309	8.692,075
Jumlah					247,9			48.863,16015			31.801,24984			116.604,5827
86	97**	X	81,97	70	2,6	5,0718	355,024	923,0624053	3,2971	230,7991	600,07764	12,089	846,2633	2200,28468
Jumlah					23329,6			1506219,216			983857,740			3607478,379
Keterangan :														
* data dbh dan tinggi diperoleh menggunakan persamaan allometrik $dbh = 2,054 U^{0,742}$ dan $h = 1,05 dbh^{0,901}$														
** data dbh dan tinggi dari hasil inventarisasi														

Lampiran 3. Perbandingan Kandungan Karbon Tegakan Jati Berdasarkan 4 Metode Pengukuran

No	Umur (th)	KU	Rerata Dbh	h (m)	V tb (m3)	n	Luas (ha)	Kandungan karbon/ha (ton)				Kandungan karbon total (ton)			
								allometrik	C tb	CEF	CEFa	allometrik	C tb	CEF	CEFa
1	1	I	1,14	0,45	0,00	817	338,8	0,10	0,02	0,01	0,02	33,40	7,84	4,48	7,18
2	2		3,41	1,98	0,00	830	15,6	1,37	0,92	0,53	0,84	21,40	14,33	8,19	13,12
3	3		9,53	11,11	0,08	950	673,4	18,30	46,15	26,38	42,26	12.326,45	31.075,68	17.761,18	28.460,94
4	4		7,57	7,18	0,03	950	2006	10,56	18,82	10,76	17,24	21.189,69	37.756,30	21.579,46	34.579,44
5	5		7,93	6,63	0,03	1.117	882,9	13,87	22,42	12,82	20,54	12.245,37	19.797,57	11.315,22	18.131,78
6	6		11,60	13,51	0,14	950	1107,6	29,23	83,06	47,47	76,07	32.380,67	91.997,22	52.580,63	84.256,47
7	7		8,94	6,11	0,04	1147	2152	18,96	26,95	15,40	24,69	40.794,50	58.002,87	33.151,30	53.122,44
8	8		10,38	9,29	0,08	683	1739,1	16,14	32,92	18,81	30,15	28.063,35	57.244,91	32.718,10	52.428,26
9	9		10,85	7,66	0,07	903	521,2	23,69	39,17	22,39	35,87	12.344,85	20.414,53	11.667,84	18.696,82
10	10		10,98	7,77	0,07	583	770,8	15,75	26,30	15,03	24,08	12.137,59	20.269,12	11.584,73	18.563,65
Jumlah												171.537,29	336.580,37	192.371,13	308.260,11
11	11	II	12,66	9,18	0,12	1.007	1617,5	38,19	86,72	38,14	27,52	61.779,10	140.273,30	61.693,26	44.517,35
12	12		13,53	9,93	0,14	749	778	33,34	79,75	35,08	25,31	25.934,70	62.048,17	27.289,26	19.691,70
13	13		14,53	12,05	0,20	717	366,5	37,80	106,79	46,97	33,89	13.854,95	39.138,83	17.213,56	12.421,16
14	14		13,69	11,75	0,17	817	263,4	37,40	105,44	46,37	33,46	9.850,91	27.773,05	12.214,80	8.814,10
15	15		12,84	13,38	0,17	1.017	306,1	39,95	131,43	57,80	41,71	12.228,69	40.230,42	17.693,65	12.767,59
16	16		16,88	12,86	0,29	462	250,3	34,89	99,23	43,64	31,49	8.732,70	24.836,82	10.923,42	7.882,25
17	17		14,61	11,98	0,20	600	396,3	32,05	89,82	39,50	28,51	12.702,46	35.596,31	15.655,53	11.296,90
18	18		18,48	14,30	0,38	673	176,6	63,11	192,65	84,73	61,14	11.144,63	34.022,00	14.963,14	10.797,28
19	19		15,89	19,25	0,38	600	205,8	39,19	170,81	75,13	54,21	8.065,56	35.153,59	15.460,82	11.156,40
20	20		20,04	15,73	0,50	571	297	64,98	211,35	92,95	67,07	19.299,69	62.769,58	27.606,54	19.920,65
Jumlah												183.593,393	501.842,08	220.713,95	159.265,39
21	21	III	20,81	16,44	0,56	437	220,8	54,40	142,67	74,70	45,45	12.011,09	31.500,50	16.493,61	10.036,14
22	22		18,59	19,56	0,53	425	279,8	40,42	131,83	69,03	42,00	11.310,05	36.887,31	19.314,13	11.752,39
23	23		22,53	20,57	0,82	267	302,8	40,20	127,94	66,99	40,76	12.174,00	38.739,61	20.283,99	12.342,53
24	24		15,34	29,40	0,54	817	347,9	49,04	259,14	135,68	82,56	17.061,26	90.153,28	47.204,10	28.723,05
25	25		29,72	21,45	1,49	358	343,6	104,49	311,17	162,93	99,14	35.901,31	106.919,70	55.982,97	34.064,87
26	26		25,37	18,60	0,94	367	173	73,39	201,62	105,57	64,24	12.696,51	34.881,06	18.263,67	11.113,19
27	27		24,31	21,99	1,02	275	294,9	49,63	163,88	85,81	52,21	14.634,84	48.328,55	25.304,75	15.397,59
28	28		19,16	17,95	0,52	375	329,4	38,34	113,42	59,39	36,14	12.629,31	37.360,04	19.561,65	11.903,00
29	29		26,67	21,98	1,23	262	120,9	59,03	187,95	98,41	59,88	7.136,17	22.722,72	11.897,58	7.239,51

Lampiran 3. Perbandingan Kandungan Karbon Tegakan Jati Berdasarkan 4 Metode Pengukuran (lanjutan)

No	Umur (th)	KU	Rerata Dbh	h (m)	V tb (m ³)	n	Luas (ha)	Kandungan karbon/ha (ton)				Kandungan karbon total (ton)			
								allometrik	C tb	CEF	CEFa	allometrik	C tb	CEF	CEFa
30	30	III	27,38	22,67	1,33	325	180,5	77,93	253,24	132,59	80,68	14.065,60	45.709,18	23.933,25	14..563,05
Jumlah												149.620,14	493.201,95	25.8239,7	157.135,32
31	31	IV	27,97	21,18	1,30	158	135,7	39,88	51,58	54,81	40,27	5.412,39	6.999,61	7.438,02	5.464,16
32	32		25,41	20,19	1,02	175	146	35,13	54,28	47,79	35,11	5.128,59	7.925,58	6.977,12	5.125,57
33	33		29,46	24,70	1,68	290	149,4	82,85	138,96	130,14	95,61	12.377,20	20.760,45	19.443,21	14.283,47
34	34		30,14	25,37	1,81	182	219	54,93	57,73	87,84	64,53	12.028,67	12.642,14	19.237,85	14.132,61
35	35		34,89	26,40	2,52	175	89,2	74,89	152,11	117,74	86,49	6.680,24	13.568,27	10.502,19	7.715,18
36	36		31,50	26,71	2,08	202	178,9	67,71	110,98	112,08	82,34	12.114,00	19.853,60	20.051,53	14.730,35
37	37		32,17	27,38	2,23	176	203,9	62,05	104,88	104,40	76,70	12.651,01	21.385,83	21.288,14	15.638,81
38	38		32,83	28,05	2,37	244	104,4	90,34	73,80	154,47	113,48	9.431,31	7.704,47	16.126,73	11.847,10
39	39		38,99	27,28	3,26	150	136,9	83,73	107,60	130,25	95,69	11.462,40	14.730,84	17.831,77	13.099,67
40	40		32,24	25,16	2,05	317	146,4	112,39	247,00	173,65	127,57	16.454,17	36.161,23	25.422,14	18.675,74
Jumlah												103.739,99	161.732,02	164.318,71	120.712,66
41	41	V	34,81	30,03	2,86	178	88,1	75,78			89,42	6.676,20			7.877,60
42	42		35,46	30,69	3,03	144	113	64,08			76,72	7.241,17			8.668,90
43	43		36,10	28,49	2,92	117	97,3	54,33			59,95	5.285,87			5.833,42
44	44		36,75	32,01	3,40	108	170,1	52,35			64,45	8.904,88			10.962,95
45	45		37,39	32,66	3,59	124	76,8	62,64			78,17	4.810,84			6.003,25
46	46		39,60	29,09	3,58	167	118,9	96,77			105,17	11.506,46			12.505,30
47	47		42,31	29,93	4,21	117	88,2	79,39			86,51	7.002,08			7.630,45
48	48		39,30	34,62	4,20	104	149,4	59,15			76,74	8.837,63			11.464,35
49	49		39,92	35,27	4,41	119	218,3	70,30			92,33	15.346,55			20.156,13
50	50		38,22	32,18	3,69	143	141,3	76,11			92,78	10.753,74			13.109,91
Jumlah												86.365,41			104.212,25
51	51	VI	41,17	36,56	4,87	95	122,9	60,40			94,86	7.423,65			11.657,87
52	52		46,85	31,35	5,40	77	151,7	66,68			85,38	10.114,74			12.951,64
53	53		41,85	26,12	3,59	93	163,8	61,51			68,55	10.074,96			11.228,94
54	54		33,06	20,81	1,79	120	138,5	45,16			43,98	6.254,96			6.091,67
55	55		43,63	39,13	5,85	101	93,5	73,78			121,24	6.898,34			11.335,94
56	56		28,34	17,04	1,07	187	202,6	48,69			41,23	9.864,47			8.352,45
57	57		60,42	39,90	11,44	97	138,8	154,25			227,60	21.409,41			31.591,43

Lampiran 3. Perbandingan Kandungan Karbon Tegakan Jati Berdasarkan 4 Metode Pengukuran (lanjutan)

No	Umur (th)	KU	Rerata Dbh	h (m)	V tb (m ³)	n	Luas (ha)	Kandungan karbon/ha (ton)				Kandungan karbon total (ton)			
								allometrik	C tb	CEF	CEFa	allometrik	C tb	CEF	CEFa
58	58	VI	42,08	27,87	3,88	117	143,7	78,39			93,05	11.265,26			13.371,86
59	59		39,34	29,11	3,54	133	110,4	75,85			96,52	8.373,46			10.656,18
60	60		40,34	25,18	3,22	143	103,5	86,62			94,41	8.965,07			9.771,37
Jumlah												100.644,312			127.009,35
61	61	VII	47,25	42,96	7,53	78	246	68,92			121,03	16.954,58			29772,20
63	63		48,43	44,23	8,15	78	16,5	73,13			130,93	1.206,66			2.160,39
64	64		49,02	44,86	8,47	79	24,1	76,24			137,80	1.837,48			3.321,08
66	66		50,20	46,12	9,13	91	31,5	92,94			171,11	2.927,47			5.389,91
67	67		51,57	32,53	6,79	100	207,4	108,90			139,94	22.586,74			29.023,46
68	68		53,20	47,38	10,53	60	25,8	70,38			130,14	1.815,87			3.357,66
69	69		55,09	27,48	6,55	87	54,8	110,96			117,37	6.080,75			6.431,91
70	70		61,13	31,36	9,20	87	96,5	142,26			164,90	13.727,73			15.912,83
Jumlah												67.137,28			95.369,43
71	71	VIII	62,71	35,52	10,97	80	44	139,09			181,49	6.119,84			7.985,57
72	72		48,91	35,37	6,65	107	110	102,69			147,04	11.295,71			16.173,93
73	73		54,24	29,40	6,80	80	35,8	98,33			112,41	3.520,26			4.024,29
74	74		54,82	51,13	12,07	77	93,2	97,04			192,12	9.044,16			17.905,47
75	75		62,11	51,75	15,68	83	127,7	140,98			269,08	18.003,21			34.361,24
76	76		65,48	31,89	10,74	63	67,1	121,42			139,91	8.147,46			9.387,79
77	77		56,52	31,81	7,98	77	40,9	104,39			127,05	4.269,69			5.196,40
78	78		57,08	53,61	13,72	77	79,1	106,90			218,44	8.455,68			17.278,61
79	79		65,77	54,23	18,42	67	58,5	130,49			255,22	7.633,47			14.930,63
80	80		58,20	31,72	8,44	70	121,1	101,81			122,17	12.329,12			14.794,34
Jumlah												88.818,60			142.038,26
81	81	IX	58,76	55,47	15,04	83	64,3	123,50			247,21	7.941,35			15.895,76
82	82		59,32	56,08	15,50	85	23,8	129,37			260,86	3.078,90			6.208,48
83	83		59,87	56,70	15,96	53	24,8	82,48			167,53	2.045,51			4.154,86
84	84		69,93	57,31	22,01	80	33,4	180,40			348,66	6.025,47			11.645,18
85	85		60,98	36,75	10,73	80	49,8	130,07			170,02	6.477,38			8.467,10
86	86		61,53	58,54	17,41	67	34,7	111,30			230,95	3.862,07			8.013,89
88	88		62,63	59,77	18,41	80	17,1	138,63			291,66	2.370,57			4.987,43
Jumlah												31.801,25			59.372,68
91	97	X	81,97	39	20,58	70	2,6	230,80				600,08			765,51
JUMLAH												983.857,74	1.493.356,42	835.643,50	1.274.140,96

Lampiran 4. Hasil Analisis SPSS Hubungan dbh-Kandungan Biomassa

Hubungan dbh – biomassa batang (Bb)

Dependent Variable: B b

Equation	R	R Square	Std. Error of the Estimate	Residual Sum of Squares	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1
Linear	0,878	0,771	130,652	273.118,322	34,955	1	10	0,000	-22,049	2,639
Logarithmic	0,763	0,582	176,294	497.271,734	16,748	1	10	0,002	-75,98	36,858
Inverse	0,623	0,389	213,269	727.738,248	8,383	1	10	0,016	53,269	-380,549
Power	0,986	0,971	0,307	1,508	108,935	1	10	0,000	0,015	2,407
S	0,942	0,888	0,609	5,941	61,728	1	10	0,000	4,523	-28,225
Growth	0,965	0,931	0,478	3,658	63,324	1	10	0,000	-0,319	0,15
Exponential	0,965	0,931	0,478	3,658	63,324	1	10	0,000	0,727	0,15
Logistic	0,965	0,931	0,478	3,658	63,324	1	10	0,000	1,376	0,861

The independent variable is dbh

Hubungan dbh – biomassa kulit (Bk)

Dependent Variable: B k

Equation	R	R Square	Std. Error of the Estimate	Residual Sum of Squares	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1
Linear	0,882	0,778	13,932	1.940,934	53,728	1	16	,000	-224,936	20,405
Logarithmic	0,791	0,626	18,061	3.262,131	22,297	1	16	,000	-708,563	317,715
Inverse	0,675	0,456	21,787	4.746,623	10,169	1	16	,006	446,432	-3,473E3
Power	0,957	0,916	0,462	2,139	545,094	1	16	,000	0,027	2,735
S	0,928	0,861	0,595	3,546	126,379	1	16	,000	6,673	-34,982
Growth	0,929	0,864	0,589	3,469	215,258	1	16	,000	1,109	0,149
Exponential	0,929	0,864	0,589	3,469	215,258	1	16	,000	3,032	0,149
Logistic	0,929	0,864	0,589	3,469	215,258	1	16	,000	0,330	0,861

The independent variable is dbh

Lampiran 4. Hasil Analisis SPSS Hubungan dbh-Kandungan Biomassa (lanjutan)

Hubungan dbh – biomassa cabang/ranting (Bcr)

Dependent Variable: B cr

Equation	R	R Square	Std. Error of the Estimate	Residual Sum of Squares	F	df 1	df2	Sig.	Constant	b1
Linear	0,767	0,588	65,445	42.830,134	14,246	1	10	0,004	-79,572	7,915
Logarithmic	0,631	0,398	79,054	62.495,533	6,617	1	10	0,028	-217,269	101,401
Inverse	0,504	0,254	88,021	77.476,187	3,404	1	10	0,095	132,618	-979,698
Power	0,947	0,897	0,571	3,262	87,011	1	10	0,000	0,014	2,657
S	0,944	0,89	0,589	3,468	81,255	1	10	0,000	5,446	-32,024
Growth	0,912	0,832	0,73	5,327	49,401	1	10	0,000	0,051	0,164
Exponential	0,912	0,832	0,73	5,327	49,401	1	10	0,000	1,052	0,164
Logistic	0,912	0,832	0,73	5,327	49,401	1	10	0,000	0,951	0,848

The independent variable is dbh

Hubungan dbh – biomassa daun (Bd)

Dependent Variable: B d

Equation	R	R Square	Std. Error of the Estimate	Residual Sum of Squares	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1
Linear	0,686	0,471	1,179	13,906	8,905	1	10	0,014	0,546	0,113
Logarithmic	0,746	0,557	1,079	11,650	12,566	1	10	0,005	-2,635	1,908
Inverse	0,75	0,563	1,072	11,497	12,866	1	10	0,005	4,352	-23,203
Power	0,745	0,556	0,691	4,778	12,499	1	10	0,005	0,071	1,219
S	0,804	0,647	0,616	3,794	18,34	1	10	0,002	1,908	-15,913
Growth	0,653	0,426	0,786	6,173	7,417	1	10	0,021	-0,559	0,069
Exponential	0,653	0,426	0,786	6,173	7,417	1	10	0,021	0,572	0,069
Logistic	0,653	0,426	0,786	6,173	7,417	1	10	0,021	1,749	0,934

The independent variable is dbh

Lampiran 4. Hasil Analisis SPSS Hubungan dbh-Kandungan Biomassa (lanjutan)

Hubungan dbh – biomassa akar (Ba)

Dependent Variable: B a

Equation	R	R Square	Std. Error of the Estimate	Residual Sum of Squares	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1
Linear	0,924	0,854	9,644	930,163	58,309	1	10	0	-16,881	2,36
Logarithmic	0,855	0,731	13,073	1.709,163	27,175	1	10	0	-67,811	33,984
Inverse	0,748	0,559	16,742	2.802,966	12,668	1	10	0,005	52,091	-359,499
Power	0,979	0,959	0,27	,727	231,184	1	10	0	0,052	2,044
S	0,958	0,918	0,379	1,433	112,286	1	10	0	4,481	-24,199
Growth	0,944	0,89	0,438	1,922	81,167	1	10	0	0,365	0,127
Exponential	0,944	0,89	0,438	1,922	81,167	1	10	0	1,441	0,127
Logistic	0,944	0,89	0,438	1,922	81,167	1	10	0	0,694	0,881

The independent variable is dbh

Hubungan dbh – biomassa total (Bt)

Dependent Variable: B t

Equation	R	R Square	Std. Error of the Estimate	Residual Sum of Squares	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1
Linear	0,896	0,804	109,444	119.779,873	40,918	1	10	0	-195,832	22,431
Logarithmic	0,787	0,619	152,457	232.430,655	16,24	1	10	0,002	-636,03	306,359
Inverse	0,661	0,436	185,401	343.735,194	7,743	1	10	0,019	433,989	-3,11E+03
Power	0,987	0,974	0,246	,606	380,25	1	10	0	0,133	2,394
S	0,964	0,929	0,409	1,676	131,145	1	10	0	6,679	-28,283
Growth	0,957	0,915	0,448	2,007	107,854	1	10	0	1,85	0,149
Exponential	0,957	0,915	0,448	2,007	107,854	1	10	0	6,358	0,149
Logistic	0,957	0,915	0,448	2,007	107,854	1	10	0	0,157	0,862

The independent variable is dbh

Lampiran 6. Hasil Analisis SPSS Hubungan dbh-Kandungan Karbon

Hubungan dbh – kandungan karbon batang (Kb)

Dependent Variable:Kb

Equation	R	R Square	Std. Error of the Estimate	Residual Sum of Squares	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1
Linear	0,853	0,727	103,262	170.609,127	42,593	1	16	0	-158,688	14,359
Logarithmic	0,736	0,542	133,791	286.400,459	18,904	1	16	0	-494,492	222,016
Inverse	0,599	0,359	158,243	400.652,445	8,951	1	16	0,009	311,98	-2,42E+03
Power	0,985	0,97	0,294	1,382	524,286	1	16	0	0,033	2,568
S	0,943	0,889	0,569	5,174	128,311	1	16	0	6,254	-32,894
Growth	0,965	0,932	0,446	3,181	218,732	1	16	0	1,024	0,141
Exponential	0,965	0,932	0,446	3,181	218,732	1	16	0	2,783	0,141
Logistic	0,965	0,932	0,446	3,181	218,732	1	16	0	0,359	0,869

The independent variable is dbh

Hubungan dbh – kandungan karbon cabang/ranting (Kcr)

Dependent Variable:K cr

Equation	R	R Square	Std. Error of the Estimate	Residual Sum of Squares	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1
Linear	0,75	0,563	51,484	26.505,779	12,89	1	10	0,005	-61,051	5,922
Logarithmic	0,612	0,375	61,599	37.943,971	5,99	1	10	0,034	-162,24	75,175
Inverse	0,484	0,234	68,154	46.449,455	3,062	1	10	0,111	96,575	-719,473
Power	0,944	0,891	0,602	3,628	81,412	1	10	0	0,008	2,71
S	0,937	0,878	0,636	4,047	71,965	1	10	0	5,064	-32,557
Growth	0,912	0,832	0,745	5,557	49,683	1	10	0	-0,443	0,168
Exponential	0,912	0,832	0,745	5,557	49,683	1	10	0	0,642	0,168
Logistic	0,912	0,832	0,745	5,557	49,683	1	10	0	1,557	0,845

The independent variable is dbh

Lampiran 5. Hasil Analisis SPSS Hubungan dbh-Kandungan Karbon (lanjutan)

Hubungan dbh - kandungan karbon daun (Kd)

Dependent Variable:K d

Equation	R	R Square	Std. Error of the Estimate	Residual Sum of Squares	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1
Linear	0,543	0,295	0,695	4,828	4,177	1	10	0,068	0,503	0,046
Logarithmic	0,642	0,412	0,635	4,028	6,994	1	10	0,025	-0,957	0,837
Inverse	0,681	0,464	0,606	3,668	8,663	1	10	0,015	2,157	-10,754
Power	0,664	0,441	0,748	5,591	7,887	1	10	0,019	0,059	1,047
S	0,741	0,549	0,671	4,506	12,196	1	10	0,006	1,123	-14,142
Growth	0,554	0,307	0,832	6,928	4,434	1	10	0,061	-0,991	0,056
Exponential	0,554	0,307	0,832	6,928	4,434	1	10	0,061	0,371	0,056
Logistic	0,554	0,307	0,832	6,928	4,434	1	10	0,061	2,695	0,945

The independent variable is dbh

Hubungan dbh – kandungan karbon akar (Ka)

Dependent Variable:K a

Equation	R	R Square	Std. Error of the Estimate	Residual Sum of Squares	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1
Linear	0,941	0,885	5,019	251,936	77,067	1	10	0	-9,658	1,412
Logarithmic	0,879	0,773	7,061	498,582	33,995	1	10	0	-40,647	20,529
Inverse	0,775	0,601	9,354	875,053	15,067	1	10	0,003	31,945	-219,061
Power	0,982	0,964	0,249	0,618	271,371	1	10	0	0,033	2,042
S	0,966	0,933	0,341	1,163	139,401	1	10	0	4,033	-24,295
Growth	0,94	0,884	0,448	2,010	76,477	1	10	0	-0,075	0,126
Exponential	0,94	0,884	0,448	2,010	76,477	1	10	0	0,927	0,126
Logistic	0,94	0,884	0,448	2,010	76,477	1	10	0	1,078	0,882

The independent variable is dbh

Lampiran 5. Hasil Analisis SPSS Hubungan dbh-Kandungan Karbon (lanjutan)

Hubungan dbh – kandungan karbon total (Kt)

Dependent Variable: K t

Equation	R	R Square	Std. Error of the Estimate	Residual Sum of Squares	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1
Linear	0,906	0,82	65,401	42.773,071	45,572	1	10	0	-121,238	14,146
Logarithmic	0,8	0,64	92,519	85.597,607	17,77	1	10	0,002	-402,191	194,475
Inverse	0,676	0,456	113,68	129.231,967	8,393	1	10	0,016	277,999	-1,99E+03
Power	0,988	0,977	0,233	0,544	422,685	1	10	0	0,088	2,39
S	0,967	0,935	0,39	1,520	144,75	1	10	0	6,258	-28,296
Growth	0,955	0,912	0,455	2,071	103,559	1	10	0	1,439	0,148
Exponential	0,955	0,912	0,455	2,071	103,559	1	10	0	4,217	0,148
Logistic	0,955	0,912	0,455	2,071	103,559	1	10	0	0,237	0,862

The independent variable is dbh

Lampiran 6. Dokumentasi Penelitian



Lampiran 6. Dokumentasi Penelitian (lanjutan)



Pengovenan Disk Batang,
Cabang/Ranting dan Akar



Pengujian Kadar Karbon Metode
Walkley and Black



Pengukuran Diameter
Setinggi Dada (dbh)



Pengukuran Tinggi
Pohon (h)



Pengukuran Tinggi
Pohon Jati Teresan



Tegakan Jati Berdaun



Tegakan Jati
Menggugurkan Daun



Tegakan Jati Teresan