

**CADANGAN KARBON SISTEM HUTAN RAKYAT PADA KONDISI
LANDFORM VULKANIK DAN KARST DI KAWASAN TIMUR
KABUPATEN MALANG**

Oleh

**AKMA PUSPITA SAID
MINAT MANAJEMEN SUMBER DAYA LAHAN
PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI**



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
JURUSAN TANAH
MALANG
2013**

**CADANGAN KARBON SISTEM HUTAN RAKYAT PADA KONDISI
LANDFORM VULKANIK DAN KARST DI KAWASAN TIMUR
KABUPATEN MALANG**

Oleh

AKMA PUSPITA SAID

0810480006

**MINAT MANAJEMEN SUMBER DAYA LAHAN
PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI**



SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar
Sarjana Pertanian Strata Satu (S-1)**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
JURUSAN TANAH
MALANG
2013**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu 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 di sebutkan dalam daftar pustaka.

Malang, Juni 2013

Akma Puspita Said

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LEMBAR PERSETUJUAN

Judul Skripsi : **CADANGAN KARBON SISTEM HUTAN RAKYAT
PADA KONDISI LANDFORM VULKANIK DAN
KARST DI KAWASAN TIMUR KABUPATEN
MALANG**

Nama Mahasiswa : **AKMA PUSPITA SAID**
N I M : 0810480006-48
Jurusan : **TANAH**
Minat : **MENEJEMEN SUMBERDAYA LAHAN**
Program Studi : **AGROEKOTEKNOLOGI**
Menyetujui : **Dosen Pembimbing**

Disetujui Oleh:

Pembimbing Utama,



Ir. Widiyanto M. Sc
NIP. 19530212 197903 1 002

Pembimbing Pendamping,



Prof. Ir. Kurniatun Hairiah, Ph.D
NIP. 19560410 198303 2 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Tanah



Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU
NIP. 19540501 198103 1 006

Tanggal Persetujuan :

13 JUN 2013

LEMBAR PENGESAHAN

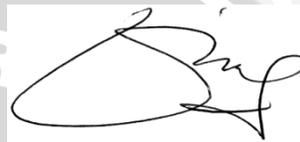
MAJELIS PENGUJI

Penguji I



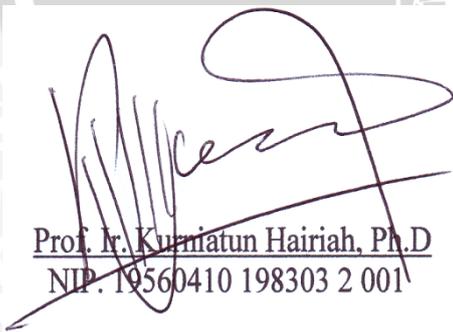
Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU
NIP. 19530212 197903 1002

Penguji II



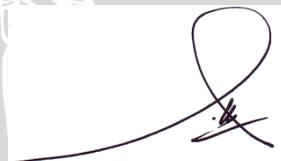
Ir. Widiyanto, M. Sc
NIP. 19540501 198103 1 006

Penguji III



Prof. Ir. Kurniatun Hairiah, Ph.D
NIP. 19560410 198303 2 001

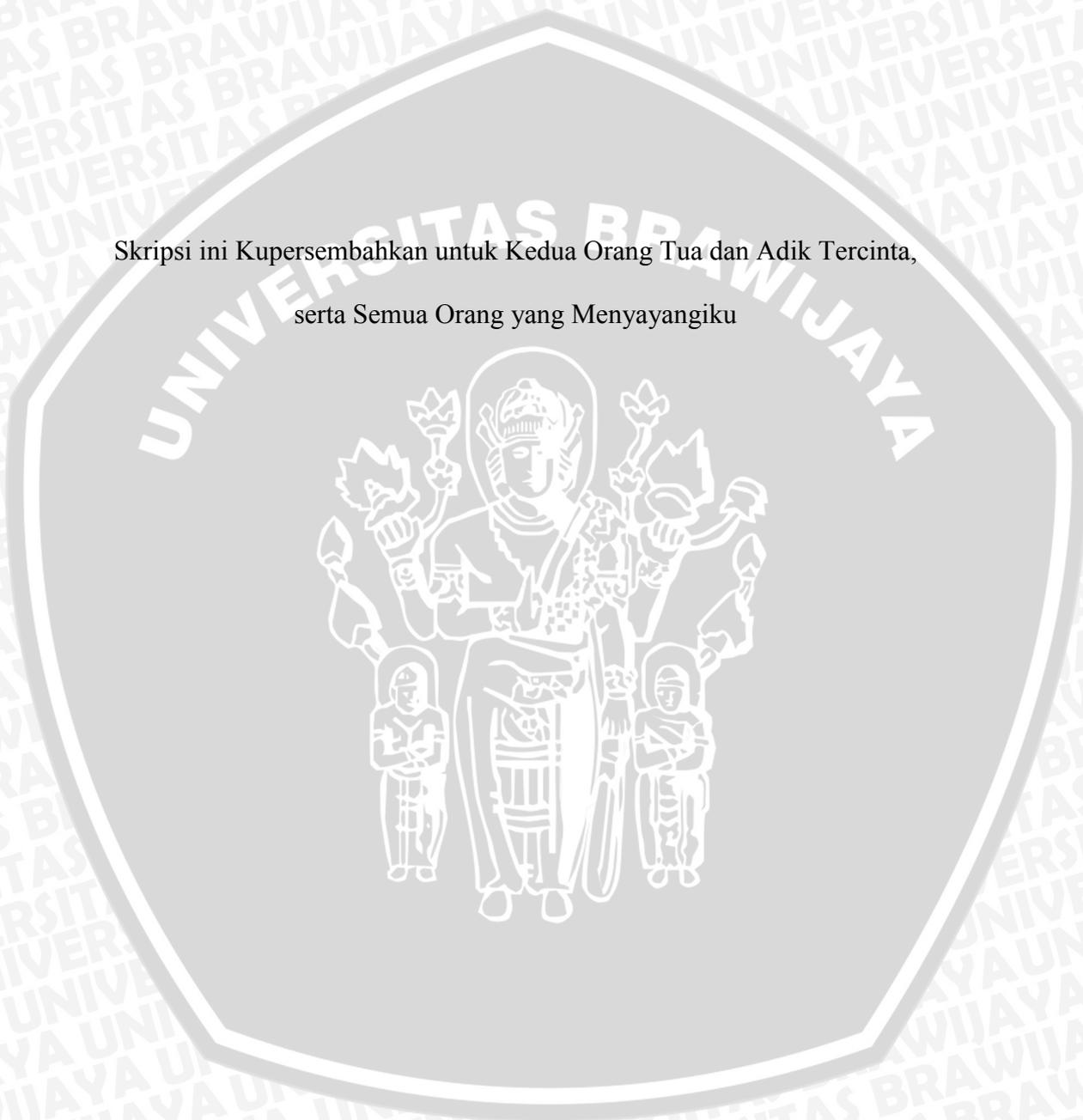
Penguji IV



Dr. Ir. Sudarto, MS
NIP. 19560317 198303 1 003

Tanggal Lulus : 02 JUL 2013

Skripsi ini Kupersembahkan untuk Kedua Orang Tua dan Adik Tercinta,
serta Semua Orang yang Menyayangiku



RINGKASAN

Akma Puspita Said. 0810480006. Cadangan Karbon Sistem Hutan Rakyat pada Kondisi Landform Vulkanik dan Karst di Kawasan Timur Kabupaten Malang. Dibimbing oleh Ir. Widiyanto, M.Sc dan Prof. Ir. Kurniatun Hairiah, Ph.D

Salah satu upaya mengurangi konsentrasi CO₂ di atmosfer adalah dengan meningkatkan luasan lahan pertanian berbasis pepohonan atau agroforestri (termasuk didalamnya hutan rakyat, HR) yang menyerap CO₂ untuk melangsungkan fotosintesis dan menyimpannya sebagai karbohidrat dalam biomasa dalam waktu yang lama. Tujuan penelitian ini adalah: (1) Mengevaluasi produksi biomasa dari berbagai macam hutan rakyat di daerah vulkanik dan karst (2) Menetapkan nilai cadangan karbon rata-rata per siklus tanam (*time-averaged C stock* = TAC) pada hutan rakyat. Hasil penelitian ini bermanfaat untuk memberikan informasi potensi hutan rakyat sebagai penyimpan karbon di Kabupaten Malang.

Penelitian ini dilakukan di berbagai macam sistem HR yang termasuk dalam kawasan Kabupaten Malang pada bulan Juni – Desember 2012. Penelitian dilakukan dalam 2 tahap: pengambilan contoh di lapangan dan analisa laboratorium. Kegiatan diawali dengan pengumpulan data sekunder yang digunakan untuk klasifikasi tutupan lahan di lokasi penelitian, kemudian observasi wilayah untuk menentukan plot pengukuran cadangan karbon yang mewakili sistem penggunaan lahan (SPL) yang umum ditemui di lokasi penelitian. Pada landform vulkanik ditemukan sistem HR sengon (*Paraserianthes falcataria*) dan jabon (*Anthocephalus cadamba*), pada landform karst sistem hutan rakyat sengon dan cengkeh (*Syzygium aromaticum*). Plot perwakilan berukuran 20x20 m² dipilih di setiap jenis penggunaan lahan untuk pengukuran semua komponen penyusun karbon di lahan, yaitu biomasa dari pohon (tajuk dan akar, dimana akar diestimasi dengan menggunakan *default value*, rasio tajuk : akar adalah 4:1) dan tumbuhan bawah, nekromasa (kayu mati, cabang ranting dan seresah), dan bahan organik tanah kedalaman 0-10 cm, 10-20 cm, dan 20-30 cm.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa cadangan karbon rata-rata tertinggi terdapat pada HR cengkeh dengan kisaran umur 20-38 tahun (332,2 Mg ha⁻¹), sedangkan cadangan karbon terendah terdapat pada HR sengon landform karst dengan kisaran umur 3-4 tahun (97,2 Mg ha⁻¹). Perbedaan ini disebabkan oleh adanya perbedaan umur tanaman, struktur, komponen penyusun, dan kerapatan populasi pohon pada lahan.

Rata-rata cadangan C terdapat di biomassa sekitar 77% (125,5 Mg ha⁻¹) dan di tanah sekitar 23% (37,4 Mg ha⁻¹). Kontribusi nekromasa, tumbuhan bawah, dan seresah, terhadap total cadangan C relatif kecil bila dibandingkan dengan kontribusi biomasa pohon. Cadangan karbon di atas permukaan tanah berkontribusi C rata-rata sekitar 83% (185,7 Mg ha⁻¹), sedangkan bahan organik tanah hanya berkontribusi C sekitar 17% (37,38 Mg ha⁻¹) saja. Nilai TAC pada HR sengon vulkanik dan karst sebesar 112 Mg ha⁻¹ dan 106 Mg ha⁻¹ dengan siklus tanam 8 tahun, HR jabon vulkanik sebesar 82 Mg ha⁻¹ dengan siklus tanam 8 tahun, sedang TAC dari HR cengkeh sebesar 247 Mg ha⁻¹ dengan siklus tanam selama 100 tahun.

SUMMARY

Akma Puspita Said. 0810480006. **Carbon stock of Farm Forest in Various Landforms Volcanic and Karst in The Eastern District of Malang.** Supervised by Ir. Widiyanto, M.Sc and Prof. Ir. Kurniatun Hairiah, Ph.D

One option to reduce the concentration of CO₂ in the atmosphere is to extent the area of tree based system or agroforestry system (includes Farm Forest, FF), to capture CO₂ during the process photosynthesis to form carbohydrates and store it in biomass for a long time. The objectives of this study were: (1) To assess the biomass production of various types of FF in the volcanic and karst areas (2) To estimate the time- averaged carbon stock (TAC) of farm forest in the volcanic and karst areas. The results of this study to provide the basic information on potential farm forests as a carbon sink in Malang.

The research was carried out in various FF in Malang district in June-December 2012. The study was conducted in two steps: field measurements and soil sampling and and analysis laboratory. The activity was initiated with the collection of secondary data used for classification of land cover in the study site, followed by selection of sampling plot for carbon stocks measurement of each land use system (SPL) that are common in the study site. The common timber tree species planted in FF of Volcanic landform are sengon (*Paraserianthes falcataria*) and Jabon (*Anthocephalus cadamba*), while in the karst area are sengon (*Paraserianthes falcataria*) and cloves (*Syzygium aromaticum*). The measurement was done in a plot of 20x20 m² to measure all components of the carbon stock i.e. biomass of trees (shoot and root, where root is estimated by using the default value, the shoot: root ratio is 4:1) and understorey, necromass (dead wood, branches, twigs and litter), and soil organic matter at the depth of 0-10 cm, 10-20 cm, and 20-30 cm.

The results showed that the highest C stock is found in FF of 20-38 year old of cloves (332.2 Mg ha⁻¹), while the lowest C stocks is obtained in FF of 3-4 years old sengon in karst landform (97.2 Mg ha⁻¹). This difference is caused by the differences in the structure, the composition, plant's age and trees population density of each land use. Average biomass C stock contributes approximately 77% (125.5 Mg ha⁻¹) of the total C stock, and soil contributes approximately 23% (37.4 Mg ha⁻¹). Contribution of necromass, understorey, and litter, is relatively small compared to the contribution of tree biomass. Carbon stocks of above the soil is about 83% (185.7 Mg ha⁻¹) of the total C stock, while the soil organic matter contributes only about 17% C (37.4 Mg ha⁻¹) only. TAC of FF sengon in volcanic and karst landform are 112 Mg ha⁻¹ and 106 Mg ha⁻¹ with 8-year crop cycle; in volcanic landform FF Jabon has 82 Mg ha⁻¹ with the 8-year cycle of planting, while TAC of FF cloves is about 247 Mg ha⁻¹ with a 100-year crop cycle.

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini. Skripsi dengan judul **“Cadangan Karbon Sistem Hutan Rakyat pada Kondisi Landform Vulkanik dan Karst di Kawasan Timur Kabupaten Malang”** merupakan salah satu prasyarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pertanian di Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sedalam – dalamnya kepada:

1. Badan penelitian dan pengembangan daerah (Balitbangda) JATIM atas kerjasama dalam penelitian ini dengan Jurusan Tanah FP-UB.
2. Ir. Widiyanto, M.Sc dan Prof. Ir. Kurniatun Hairiah, Ph.D selaku pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, semangat dan masukan kepada penulis selama pelaksanaan penelitian hingga penyusunan skripsi. Mohon maaf apabila penulis sering membuat kecewa, penulis sampaikan ungkapan terima kasih yang sebesar besarnya.
3. Bapak Ngadirin dan Bapak Sarkam selaku staf Laboratorium Fisika dan Biologi Jurusan Tanah Universitas Brawijaya Malang, atas bantuan dan informasi yang diberikan kepada penulis selama analisa laboratorium.
4. Rika Ratnasari, SP selaku Tim Pendukung yang telah memberikan bantuan, baik teknis dan non-teknis penelitian serta kelengkapan administrasi sehingga penelitian dapat selesai seperti apa yang diharapkan.
5. Teman seperjuangan Afif Wildan Tamami, Yohan Prasetyo, Galang Pratama, Chandra Quida, Maharani Subandria, Bramdita Febriansah, Avian Putranto, Andik Rozikin, Hetik, Citra Dwi atas bantuan dalam penelitian serta mengajarkan arti sebuah persahabatan.
6. Saudara kandung dari Bapak dan Ibu Pembimbing, Yeni dan Daus yang telah berjuang bersama penulis dalam keadaan apapun, mari kita berjuang demi kelulusan kita.
7. Ayah (Yajid A.Md), Ibu (Suyati S.Pd) dan adikku (Fajar Rohmaji) atas doa yang tak berhenti terucap, memberikan dukungan material maupun moral selama penulis menempuh gelar S1, maaf lulusnya agak lama.
8. Teman-teman Agroekoteknologi dan Soiler 2008, terimakasih telah memberikan dukungan dan bantuan selama penulisan laporan penelitian ini. Serta terima kasih telah menjadi pengisi kehidupan selama penulis berada di bangku perkuliahan.

Penulis berharap semoga hasil dari penelitian ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak, dan mampu memberikan sumbangan pemikiran dalam kemajuan ilmu pengetahuan.

Malang, Juni 2013

Penulis

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Pacitan pada tanggal 13 Desember 1989 sebagai putri pertama dari dua bersaudara dari Bapak Yajid A.Md dan Ibu Suyati S.Pd. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN Bangunsari 1 pada tahun 1996 sampai tahun 2002, kemudian penulis melanjutkan ke SMPN 1 Pacitan pada tahun 2002 sampai tahun 2005. Pada tahun 2005 sampai Tahun 2008 penulis studi di SMAN 1 Pacitan. Pada tahun 2008 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Strata 1 Program Studi Agroekoteknologi Minat Manajemen Sumber Daya Lahan Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang, Jawa Timur, melalui jalur PMDK. Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi asisten praktikum Mata Kuliah Pupuk dan Pemupukan pada tahun 2010, Pertanian Berlanjut dan Agroforestri pada tahun 2012. Penulis pernah aktif dalam kepanitiaan GATRAKSI (Galang Mitra dan Kenal Profesi) pada tahun 2011 dan 2012. Tahun 2012, penulis mendapatkan kesempatan penelitian atas kerja sama dengan BALITBANG Provinsi Jawa Timur.



DARTAR ISI

	Halaman
RINGKASAN	i
SUMMARY	ii
KATA PENGANTAR	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	3
1.3 Hipotesis	3
1.4 Manfaat	3
II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Definisi Hutan Rakyat	4
2.2 Peranan Hutan Rakyat	5
2.3 Manfaat Hutan Rakyat	5
2.4 Komponen Cadangan Karbon Tersimpan	6
2.5 Pengukuran Biomassa dan Karbon Tersimpan	7
2.6 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Biomasa	8
2.7 Bahan Organik Tanah	9
2.8 Bentuk Lahan Vulkanik	9
2.9 Bentuk Lahan Karst	11
III METODE PENELITIAN	
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	12
3.2 Kondisi Umum Wilayah	12
3.3 Tahap Penelitian	13
3.4 Metode Penelitian	13
3.4.1 Pemilihan Penggunaan Lahan	13
3.4.1.1 Persiapan	13
3.4.1.2 Pengecekan di Lapangan (<i>Groundcheck</i>)	15
3.4.1.3 Pemilihan Lahan Untuk Petak Penelitian	15
3.4.1.4 Penetapan Petak Pengukuran	16
3.4.2 Pengukuran Biomasa Pohon	17
3.4.3 Biomasa Tumbuhan Bawah (<i>Understorey</i>)	18
3.4.4 Nekromasa	18
3.4.5 Pengambilan Contoh Tanah	19
3.5 Rata-rata Karbon Tersimpan Per Siklus Tanam (<i>Time Averaged Carbon Stock</i>)	20
3.6 Analisis Laboratorium dan Analisis Data	20
IV KARAKTERISTIK LAHAN	
4.1 Pemilihan Petak untuk Pengukuran Cadangan Karbon	21
4.2 Sejarah Pada Petak Pengukuran HR	21
4.2.1 HR Sengon	21

4.2.2 HR Jabon	23
4.2.3 HR Cengkeh	23
V HASIL DAN PEMBAHASAN	
5.1 Karakteristik Lahan Hutan Rakyat	24
5.1.1 Kerapatan Pohon dan Basal Area	24
5.1.2 Berat Jenis Kayu	25
5.2 Karakteristik Tanah	26
5.3 Pengaruh Umur dan Landform Terhadap Biomassa Pohon Sengon	28
5.3.1 Peningkatan Tahunan Diameter Batang Pohon Sengon	28
5.3.2 Peningkatan Tahunan Biomassa Pohon Sengon	30
5.4 Cadangan Karbon	32
5.4.1 Cadangan Karbon di Atas Permukaan Tanah	32
5.4.2 Cadangan Karbon Didalam Tanah	33
5.4.3 Total Cadangan Karbon	35
5.5 Cadangan Karbon Rata-rata per Siklus Tanam (<i>Time Averaged C Stock</i>)	36
5.6 Pembahasan Umum	38
VI KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1 Kesimpulan	40
6.2 Saran	40
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN	44



DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
1	Parameter – parameter Biomasa di Atas Tanah dan Metode Pengukurannya	8
2	Alat dan Bahan Penelitian	15
3	Rumus-rumus <i>Allometrik</i> untuk Menduga Biomasa Beberapa Jenis Tanaman (Hairiah <i>et al.</i> , 2011).....	17
4	Jumlah Spesies, Jumlah Pohon (Kerapatan), Basal Area (BA) dan Pengklasifikasian Kelas Kerapatan.....	25
5	Sifat Kimia Tanah pada Berbagai Satuan Penggunaan Lahan (SPL).....	27
6	Cadangan Karbon di Atas Permukaan Tanah.....	32
7	Total Cadangan Karbon pada Berbagai SPL.....	36



DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
1	Skema Alur Pengaruh Kondisi dan Manajemen Lahan Terhadap Besarnya Cadangan Karbon. (Keterangan HR = Hutan Rakyat, BOT = Bahan Organik Tanah).....	3
2	Data Iklim Landform Vulkanik (a) dan Landform Karst (b) Tahun 2011 (Sumber Data: Stasiun Klimatologi Karangploso, 2012)	13
3	Diagram Tahapan Penelitian	14
4	Skema Pemilihan Plot Penelitian.....	16
5	Sub Petak dan Penempatan Kuadran (Titik Contoh Pengukuran) untuk Tumbuhan Bawah (<i>Understorey</i>) dan Seresah.....	17
6	Bentuk Kuadran untuk Pengambilan Contoh Tumbuhan Bawah (<i>Understorey</i>) dan Seresah (Hairiah <i>et al.</i> , 2007)	18
7	Pengukuran Diameter dan Panjang Pohon Tumbang dalam Petak Pengamatan (Hairiah <i>et al.</i> , 2007).....	19
8	Kondisi Lahan HR Sengon Landform Vulkanik.....	22
9	Kondisi Lahan HR Sengon Landform Karst.....	22
10	Kondisi Lahan HR Jabon.....	23
11	Kondisi Lahan HR Cengkeh di Landform Karst.....	23
12	Presentase Partikel Tanah Per Kedalaman pada Berbagai SPL	26
13	Rata-Rata DBH Pohon Sengon pada Berbagai Umur (Data DBH Literature Diperoleh dari Hasil Penelitian <i>Riyanto et al.</i> , (2010)).....	29
14	Peningkatan Diameter Batang Pohon Sengon pada Berbagai Periode Pertumbuhan Sengon.....	29
15	Biomassa Pohon Sengon pada Berbagai Umur Pohon pada Landform Vulkanik dan Karst.....	31
16	Persentase Komponen Penyusun Cadangan Karbon diatas Permukaan Tanah	33
17	Cadangan Karbon pada Berbagai Kedalaman Tanah.....	34
18	Total Cadangan Karbon diatas dan di Dalam Tanah pada Berbagai SPL.....	35
19	Estimasi Cadangan Karbon Rata-Rata Per Siklus Tanam (<i>Time Averaged-C Stock</i>) a) HR Sengon Landform Vulkanik b) HR Sengon Landform Karst c) HR Jabon Landform Vulkanik dan d) HR Cengkeh.	37

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Teks	Halaman
1	Pengukuran Cadangan Karbon di Lapangan	44
2	Deskripsi Wilayah Lokasi Penelitian	45
3	Analisis Ragam Diameter Vulkanik	45
4	Analisis Ragam Diameter Karst	46
5	Analisis Ragam Landform Vulkanik dan Karst	46
6	Peta Sebaran Titik Petak Pengukuran Cadangan Karbon.....	47



I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan suhu bumi menyebabkan perubahan iklim global yang ditunjukkan dengan meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer seperti karbon dioksida (CO_2), metan (CH_4) dan nitrous oksida (N_2O). Hal ini disebabkan oleh aktivitas manusia terutama alih guna lahan hutan menjadi lahan pertanian dan penggunaan bahan bakar fosil (minyak gas dan batubara) untuk transportasi, dan aktivitas industri (Handayanto *et al.*, 2006).

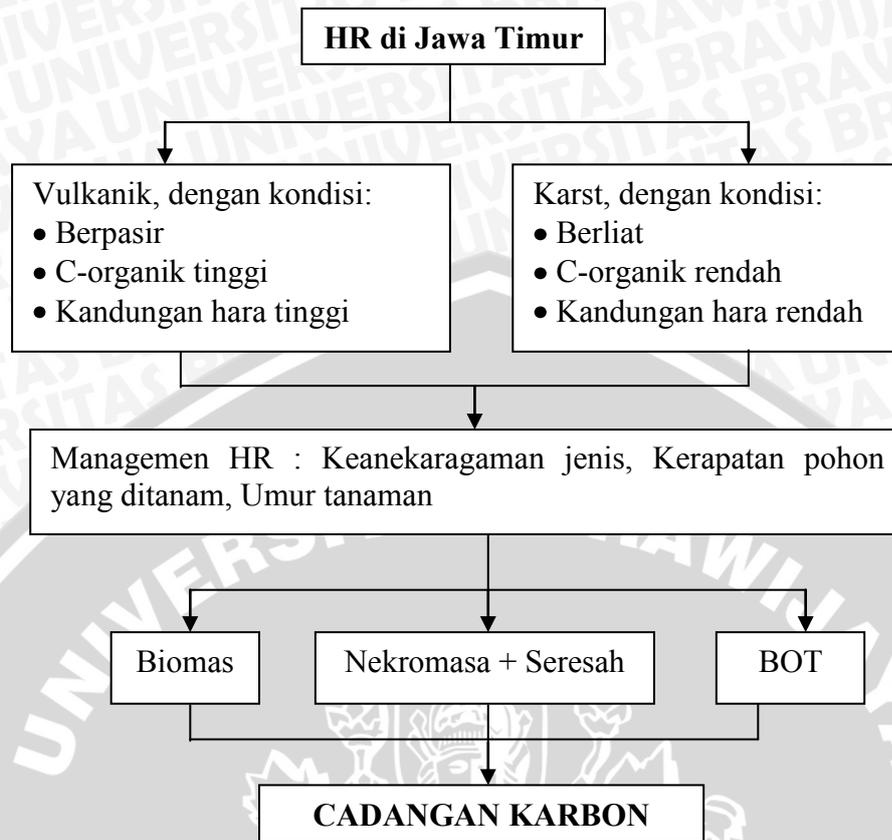
Sehubungan dengan perubahan iklim, hutan merupakan salah satu penyerap CO_2 yang cukup potensial. Pohon - pohon di dalam hutan mengabsorpsi CO_2 selama proses fotosintesis dan menyimpannya sebagai materi organik dalam biomas pohon. Brown (1997) mengemukakan bahwa hampir 50% dari biomas hutan tersusun atas karbon. Hutan yang semakin rusak, baik karena kejadian alam maupun pembalakan liar akan menambah jumlah GRK, dalam hal ini CO_2 yang diemisikan ke atmosfer dan akan menurunkan fungsi hutan sebagai penghambat perubahan iklim. Dengan demikian, peningkatan laju kerusakan hutan setidaknya akan mengurangi kemampuan hutan dalam menyimpan salah satu jenis gas rumah kaca, yaitu karbon.

Berkenaan dengan upaya konservasi lingkungan dan peningkatan ketersediaan kayu bangunan maka pemerintah daerah bersama-sama masyarakat melakukan gerakan penanaman pohon melalui program GNRHL (Gerakan Nasional Rehabilitasi Hutan dan Lahan)/Gerhan. Jenis-jenis pohon yang ditanam umumnya jenis pohon yang pertumbuhannya cepat seperti sengon, jabon, suren dan jati emas yang cepat dipanen. Penanaman pohon kayu-kayuan tersebut dilakukan pada lahan-lahan milik masyarakat, dengan komposisi lebih dari 50% dari total populasi pohon per lahan, sedang sisanya adalah pohon jenis MPTS (*Multi Purposes Trees Species*). Selanjutnya sistem tersebut disebut dengan Hutan Rakyat (HR) (Kepmenhut no 49/KPTS-II/1997). Karena penanaman pepohonan dilakukan oleh manusia (petani) maka lahan HR merupakan bagian dari sistem agroforestri.

Kabupaten Malang memiliki landform vulkanik dan karst, menurut Munir (1996), tanah pada landform vulkanik lebih subur dibandingkan dengan karst, karena pada landform vulkanik bahan induknya berasal dari abu vulkan yang tanahnya subur dan memiliki solum tanah yang dalam. Dengan demikian vegetasi lebih mudah tumbuh dengan kerapatan dan keragaman vegetasi yang tinggi, maka cadangan karbon juga meningkat. Sedangkan pada landform karst didominasi oleh bahan batu gamping yang pada umumnya keadaan morfologi tidak teratur, sehingga vegetasi sulit untuk tumbuh pada landform karst, maka biomasa rendah serta cadangan karbon juga rendah.

Menurut data dari Dinas Kehutanan Kabupaten Malang (2011), luas hutan rakyat di Kabupaten Malang diperkirakan mencapai 42.977 ha dengan potensi tegakan diperkirakan mencapai 1.393.151 m³ yang konsentrasi penyebarannya berada di wilayah bagian selatan dan timur Kabupaten Malang serta pada beberapa wilayah kecamatan di bagian barat Kabupaten Malang. Jumlah cadangan karbon pada hutan rakyat cukup beragam tergantung pada iklim, topografi, jenis tanah, keanekaragaman dan kerapatan vegetasi, umur serta cara pengelolaannya. Cadangan karbon pada suatu lahan menjadi lebih besar jika kondisi kesuburan tanahnya baik, karena biomasa pohon meningkat sehingga meningkatkan jumlah karbon tersimpan di atas tanah (Hairiah dan Rahayu, 2007). Hubungan manajemen lahan hutan rakyat dengan besarnya cadangan karbon yang dihasilkan dijelaskan secara skematis dalam Gambar 1.

Sama halnya dengan pepohonan di hutan alami, pepohonan di HR juga berperan penting dalam mempertahankan cadangan karbon daratan di suatu wilayah. Tetapi sayangnya ketersediaan data kuantitatif besarnya perbedaan cadangan karbon di daerah vulkanik dan karst masih sangat terbatas. Informasi tersebut sangat penting dalam penghitungan cadangan karbon rata-rata HR di wilayah Kabupaten Malang. Oleh karena itu fokus penelitian ini adalah melakukan pengukuran cadangan karbon pada berbagai HR yang ada di wilayah Kabupaten Malang pada landform vulkanik dan karst.



Gambar 1. Skema Alur Pengaruh Kondisi dan Managemen Lahan Terhadap Besarnya Cadangan Karbon. (Keterangan HR = Hutan Rakyat, BOT = Bahan Organik Tanah)

1.2 Tujuan

- Mengevaluasi produksi biomasa dari berbagai macam hutan rakyat di daerah vulkanik dan karst.
- Menetapkan nilai cadangan karbon rata-rata per siklus tanam pada hutan rakyat di daerah vulkanik dan karst.

1.3 Hipotesis

Cadangan karbon di hutan rakyat pada landform vulkanik lebih besar daripada landform karst.

1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi mengenai potensi ekologi hutan rakyat sebagai penyimpan cadangan karbon di Kabupaten Malang.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Hutan Rakyat

Hutan secara konseptual yuridis dirumuskan di dalam Pasal 1 Ayat (1) Undang-undang Nomor 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan. Menurut Undang-undang tersebut, Hutan adalah suatu kesatuan ekosistem berupa hamparan lahan berisi sumberdaya alam hayati yang didominasi pepohonan dalam persekutuan alam lingkungan, yang satu dengan yang lainnya tidak dapat dipisahkan.

Hutan rakyat merupakan hutan yang dimiliki oleh masyarakat yang dinyatakan oleh kepemilikan lahan, karenanya hutan rakyat disebut hutan milik (Hardjanto, 2000). Sedangkan menurut Dirjen RRL (1976) hutan rakyat adalah hutan yang tumbuh diatas tanah yang dibebani hak milik maupun hak lainnya dengan ketentuan luas minimal 0,25 ha, penutupan tajuk didominasi tanaman perkayuan lebih dari 50 %, dan atau tanaman tahun pertama minimal 500 batang.

Suharjito (2000) mendefinisikan bahwa hutan rakyat adalah hutan yang dimiliki oleh masyarakat yang dinyatakan oleh kepemilikan lahan, karena hutan rakyat juga disebut hutan milik. Dengan demikian suatu kebun (talun kebun) yang hanya ditumbuhi oleh beberapa pohon termasuk dalam kategori hutan rakyat. Hutan rakyat juga dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu hutan rakyat tradisional dan hutan rakyat inpres. Hutan rakyat tradisional adalah hutan rakyat yang dibangun atau ditanami diatas tanah milik dan atas inisiatif pemiliknya sendiri tanpa adanya subsidi atau bantuan dari pemerintah. Sedangkan hutan rakyat inpres adalah hutan rakyat yang dibangun melalui kegiatan atau program bantuan penghijauan.

Menurut Departemen Kehutanan (1995), pengusaha hutan rakyat memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

1. Usaha hutan rakyat dilakukan oleh petani, tengkulak, dan industri dimana petani masih memiliki posisi tawar yang lebih rendah;
2. Petani belum dapat melakukan usaha hutan rakyat menurut prinsip usaha dan prinsip kelestarian yang baik;
3. Bentuk hutan rakyat sebagian besar berupa budidaya campuran, yang diusahakan dengan cara-cara sederhana; dan

4. Pendapatan dari hutan rakyat bagi petani masih diposisikan sebagai pendapatan sampingan dan bersifat insidental dengan kisaran tidak lebih dari 10 % dari pendapatan total.

2.2 Peranan Hutan Rakyat

Menurut Simon (1995) keberhasilan pembangunan hutan rakyat, akan memberikan sumbangan yang positif terhadap pembangunan nasional dalam bentuk (1) meningkatkan produksi kayu dan hasil hutan ikutan, (2) memperluas aksesibilitas dan kesempatan kerja di pedesaan, (3) memperbaiki sistem tata air dan meningkatkan perlindungan permukaan tanah dari bahaya erosi, (4) meningkatkan proses pembentukan karbon dioksida (CO₂) dan polutan lain di udara karena adanya peningkatan proses fotosintesis di permukaan bumi, (5) dari proses fotosintesis dapat menjaga kadar oksigen udara segar tetap pada tingkat yang menguntungkan bagi makhluk hidup, dan (6) menyediakan habitat untuk menjaga keragaman hayati (*biodiversity*).

Departemen Kehutanan (1995) sendiri menegaskan bahwa tujuan pokok dari pengembangan hutan rakyat adalah: memenuhi kebutuhan kayu, meningkatkan kesejahteraan rakyat, memperluas kesempatan penduduk dalam memperoleh pekerjaan dan salah satu upaya pengentasan kemiskinan.

2.3 Manfaat Hutan Rakyat

Hutan rakyat sudah sejak lama ada dan terus berkembang di masyarakat. Manfaat yang diperoleh dari hutan rakyat sangat dirasakan masyarakat, selain sebagai investasi ternyata juga dapat memberi tambahan penghasilan yang dapat diandalkan. Masyarakat biasa memanfaatkan kayu yang ditanam di lahan milik sendiri untuk berbagai keperluan terutama untuk mencukupi kebutuhan kayu sebagai bahan baku bangunan atau mebel. Sewaktu-waktu mereka menjual kayunya ketika ada kebutuhan ekonomi yang mendesak, akan tetapi tidak sedikit diantara mereka yang mewariskan pohon yang masih berdiri untuk anak cucu mereka (Sukadaryati, 2006).

Menurut Djajapertjunda (2003), karena hutan rakyat adalah hutan, sama halnya seperti hutan-hutan lainnya yang tanamannya terdiri atas pohon sebagai jenis utamanya, maka peranannya pun tidak banyak berbeda, yaitu:

1. Ekonomi, untuk memproduksi kayu dan meningkatkan industri kecil sebagai upaya untuk meningkatkan peranan dan jaringan ekonomi rakyat;
2. Sosial, untuk membuka lapangan pekerjaan;
3. Ekologi, sebagai penyangga kehidupan masyarakat dalam mengatur tata air, mencegah bencana banjir, erosi, dan sebagai prasarana untuk memelihara kualitas lingkungan hidup (penyerap karbon dioksida dan produsen oksigen);
4. Estetika, berupa keindahan alam; dan
5. Sumber, merupakan sumberdaya alam untuk pengetahuan, antara lain ilmu biologi, ilmu lingkungan dan lain-lain.

Pembangunan hutan tanaman rakyat akan melibatkan seluruh penduduk disekitarnya, sehingga akan memperoleh kesempatan untuk memanfaatkan waktunya secara maksimal (Simon, 1995).

2.4 Komponen Cadangan Karbon Tersimpan

Karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), nitrogen dioksida (N_2O), hidrofluorokarbon (HFC), perfluorokarbon (PFC) dan sulfur hexafluoride (SF_6) mempunyai efek rumah kaca yaitu mengurangi jumlah radiasi gelombang panjang yang datang dari bumi dan menyebabkan suhu bumi meningkat. Mekanisme perubahan kandungan CO_2 di atmosfer memicu perubahan suhu global (Van Noodjwik, 1999 dalam Handoko, 2007).

Komponen cadangan karbon daratan terdiri dari cadangan karbon di atas permukaan tanah, cadangan karbon di bawah permukaan tanah dan cadangan karbon lainnya. Cadangan karbon di atas permukaan tanah terdiri dari tanaman hidup (batang, cabang, daun, tanaman menjalar, tanaman epifit dan tumbuhan bawah) dan tanaman mati (pohon mati tumbang, pohon mati berdiri, daun, cabang, ranting, bunga, buah yang gugur, arang sisa pembakaran). Cadangan karbon di bawah permukaan tanah meliputi akar tanaman hidup maupun mati, organisme tanah dan bahan organik tanah. Pemanenan hasil kayu (kayu bangunan, pulp, arang atau kayu bakar), resin, buah-buahan, daun untuk makanan ternak

menyebabkan berkurangnya cadangan karbon dalam skala plot, tetapi belum tentu demikian jika kita perhitungkan dalam skala global. Demikian juga halnya dengan hilangnya bahan organik tanah melalui erosi (Hairiah dan Rahayu, 2007).

Berdasarkan keberadaannya di alam, komponen karbon dapat dibedakan menjadi 2 kelompok yaitu: 1) Karbon di atas permukaan tanah: a) Biomasa pohon, untuk mengurangi tindakan perusakan selama pengukuran, biomasa pohon dapat diestimasi dengan menggunakan persamaan *allometrik* yang didasarkan pada pengukuran diameter batang; b) Biomasa tumbuhan bawah, tumbuhan bawah meliputi semak belukar yang berdiameter batang < 5 cm, tumbuhan menjalar, rumput-rumputan atau gulma; c) Nekromasa, batang pohon mati baik yang masih tegak atau telah tumbang dan tergeletak di permukaan tanah, yang merupakan komponen penting dari karbon dan harus diukur pula agar diperoleh estimasi penyimpanan karbon yang akurat; d) Serasah, meliputi bagian tanaman yang telah gugur berupa daun dan ranting-ranting yang terletak di permukaan tanah (Hairiah dan Rahayu 2007) dan 2) Karbon di dalam tanah, meliputi: a) Biomasa akar, dapat diestimasi berdasarkan diameter akar proksimal, sama dengan cara untuk mengestimasi biomasa pohon yang didasarkan pada diameter batang; b) Bahan organik tanah, sisa tanaman, hewan dan manusia yang ada di permukaan dan di dalam tanah, sebagian atau seluruhnya dirombak oleh organisme tanah sehingga melapuk dan menyatu dengan tanah, dinamakan bahan organik tanah (Hairiah dan Rahayu 2007).

2.5 Pengukuran Biomassa dan Karbon Tersimpan

Menurut Brown (1997) besarnya karbon tersimpan mencapai 50% dari nilai biomasanya. Ditegaskan juga oleh Sutaryo (2009) yang menyatakan bahwa dari keseluruhan karbon hutan, sekitar 50% diantaranya tersimpan dalam vegetasi hutan. Hal ini menunjukkan pentingnya mengetahui nilai biomassa dalam menentukan besaran pendugaan cadangan karbon pada suatu kawasan hutan. Untuk mengukur besarnya biomassa tersimpan di atas permukaan tanah dapat menggunakan persamaan *allometrik* ataupun dengan cara destruktif. Persamaan *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). Keunggulan menggunakan persamaan *allometrik* diantaranya dapat mempersingkat waktu pengambilan data di lapangan, tidak membutuhkan banyak sumber daya manusia (SDM), mengurangi biaya dan mengurangi kerusakan pohon (Tresnawan & Rosalina 2002). Parameter dan metode pengukuran biomassa dan nekromassa yang biasa digunakan, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter-parameter Biomasa di Atas Tanah dan Metode Pengukurannya

Parameter	Metode
Tumbuhan bawah	Destruktif
Seresah kasar dan halus	Destruktif
Arang dan abu	Destruktif
Tumbuhan berkayu	Destruktif
Pohon-pohon hidup	Non-destruktif, persamaan alometrik
Pohon mati masih berdiri	Non-destruktif, persamaan alometrik
Pohon mati sudah roboh	Non-destruktif, rumus silinder
Tunggak pohon	Non-destruktif, rumus silinder

Sumber: Hairiah *et al.* (2001)

2.6 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Biomasa

Biomasa tegakan dipengaruhi oleh faktor iklim seperti curah hujan dan suhu, selain itu juga dipengaruhi oleh umur tegakan, sejarah perkembangan, vegetasi, komposisi dan struktur tegakan (Kusmana 1993). Suhu berpengaruh terhadap proses biologi dalam pengambilan karbon dan penggunaan karbon dalam aktivitas dekomposer. Semakin tinggi suhu akan menyebabkan kelembaban udara relatif semakin berkurang. Kelembaban udara relatif bisa mempengaruhi laju fotosintesis. Hal ini disebabkan udara relatif yang tinggi akan memiliki tekanan udara uap air parsial yang lebih tinggi dibanding dengan tekanan udara parsial CO₂ sehingga memudahkan uap air berdifusi melalui stomata. Akibat selanjutnya laju fotosintesis akan menurun (Siringo dan Ginting 1997 dalam Ojo 2003).

2.7 Bahan Organik Tanah

Bahan organik tanah merupakan penimbunan dari sisa tumbuhan dan binatang yang sebagian telah mengalami pelapukan. Bahan demikian berada dalam proses pelapukan aktif dan menjadi mangsa serangan jasad mikro. Sebagai akibatnya, bahan itu berubah terus dan tidak mantap dan selalu harus diperbaharui melalui penambahan sisa-sisa tanaman atau binatang (Soepardi, 1983). Komponen organik tanah berasal dari biomasa yang mencirikan suatu tanah yang aktif. Komponen organik yang tidak hidup terbentuk melalui pelapukan kimia dan biologi, terutama dari bahan tanaman (Tan, 1982).

Bahan organik tanah persentasenya relatif kecil dibandingkan dengan komponen penyusun yang lain, namun demikian fungsinya melebihi komponen yang lain. Bahan organik tanah memiliki peran dan fungsi yang sangat vital didalam tanah, ia berperan sangat penting dalam mempengaruhi ketiga sifat tanah. Terhadap sifat fisik tanah bahan organik tanah berperan penting dalam proses pembentukan dan mempertahankan kestabilan struktur tanah serta meningkatkandaya memegang air tanah (Iswaran, 1980). Bahan organik tanah juga memberikan warna pada tanah, mengurangi plastisitas dan kohesi tanah. Terhadap sifat kimia, bahan organik tanah berperan dalam meningkatkan KTK tanah, meningkatkan daya sangga tanah, sebagai unsur hara tanaman terutama N, P, S dan unsur mikro, mampu mengikat atau menetralkan senyawa atau unsur yang beracun, membentuk dan melarutkan hara dari mineral-mineral tanah sehingga tersedia bagi tanaman. Bahan organik tanah merupakan sumber energi bagi kehidupan di dalam tanah, dan bahan organik tanah merupakan bagian dari sifat biologi tanah itu sendiri yang merupakan jiwa bagi tanah (Djajakirana, 2002).

2.8 Bentuk Lahan Vulkanik

Tanah vulkanik di Indonesia menurut Tan (1984) umumnya berasal dari periode Kwartar atau Kwartar-Tersier dengan beragam bahan induk yang berasal dari letusan gunung api. Allen dan Hajek (1989) mengemukakan bahwa lebih dari 60 % bahan yang dimuntahkan gunung api berbentuk debu, cinder, gelas vulkan dan piroklastik. Sifat dan ciri morfologi kimia, dan fisika tanah vulkanik ini berkaitan erat dengan perilaku dan asal dari Al dan / atau Fe aktif yang terdiri dari

mineral liat nonkristalin seperti alofan dan ferrihidrit serta mineral liat parakristalin (Wada, 1989). Kehadiran senyawa aktif Al dan Fe yang cukup banyak dalam tanah menyebabkan P terjerap kuat pada struktur mineral ini atau terikat pada gugus fungsional OH atau H yang bermuatan positif (Shoji *et al.*, 1993).

Alofan merupakan mineral liat tanah yang paling reaktif karena mempunyai daerah permukaan khas yang sangat luas dan banyaknya terdapat gugus fungsional yang aktif. Kehadiran alofan memberikan sifat-sifat yang khas pada tanah. Hal ini disebabkan alofan mempunyai muatan bervariasi yang besar, bersifat amfoter, KTK antara 20 sampai 50 cmol(+)/kg sedangkan KTA antara 5 sampai 30 cmol (+)/kg, struktur yang acak dan terbuka serta dapat mengikat fosfat dalam jumlah yang banyak (Wada, 1989). Akibat kuatnya fiksasi fosfat oleh mineral ini, maka ketersediaan fosfat yang mudah larut akan segera berkurang dan menurut Egawa (1977) hanya 10 % dari pupuk P yang diberikan dapat digunakan oleh tanaman. Tingginya persentase kehilangan pupuk P merupakan masalah serius yang banyak dijumpai pada tanah vulkanis.

Sifat-sifat tanah vulkanis lainnya yaitu berat volume (BV) yang rendah, gembur, terasa berminyak (*smearly*) dengan kapasitas memegang air yang besar serta fiksasi fosfat yang tinggi. Keunikan tanah vulkanik ini disebabkan oleh susunan mineralnya yang banyak mengandung koloid aktif Al dan Fe, baik dalam bentuk non-kristalin maupun para-kristalin (Shoji *et al.* 1993), seperti alofan dan ferrihidrit serta mineral liat parakristalin (Wada, 1989).

Disamping itu, bahan organik juga mampu menjaga kondisi kelembaban agar pelapukan fisik, kimia dan biologi berlangsung secara simultan untuk mempercepat pelepasan hara tanaman dari mineral pembawa cadangan hara. Pelepasan unsur hara makro baik yang melekat pada permukaan debu melalui kondensasi maupun sebagai bagian struktur mineral mudah lapuk (*easily weatherable minerals*) adalah Si, Ca, Mg, K, P dan S. Disamping itu juga terdapat unsur mikro seperti Fe, Zn, Mn dan Cu. Semua unsur tersebut dibutuhkan tanaman sehingga kehadiran abu vulkan akan meningkatkan kandungan dan cadangan nutrisi tanah untuk meningkatkan produktivitas tanah.

2.9 Bentukan Lahan Kars

Karst merupakan medan dengan bentuk lahan dan hidrologi khas yang terjadi akibat gabungan dari batuan mudah larut dan porositas sekunder yang berkembang baik. Bentang lahan karst dimunculkan oleh adanya perkembangan hidrologi bawah permukaan yang luar biasa (Ford dan Williams, 1983 dalam Winoto, 2004). Diperkirakan kawasan karst meliputi 7-10% total lahan dunia, Indonesia memiliki kawasan karst yang jumlahnya diperkirakan mencapai lebih dari 15,4 juta hektar. Karst yang banyak dijumpai adalah karst yang berkembang di batuan karbonat sebab batuan karbonat mempunyai sebaran yang paling luas.

Batuan karbonat adalah batuan yang penyusun utamanya adalah mineral karbonat terbentuk di berbagai lingkungan pengendapan. Pada umumnya batuan ini terbentuk pada lingkungan laut, terutama laut dangkal. Karena faktor yang mempengaruhi pembentukan batuan karbonat bermacam-macam menyebabkan bentang lahan yang dibentuknya juga beraneka ragam. Batuan karbonat, khususnya batugamping memiliki sifat mudah larut dalam air. Pelarutan tersebut akan menghasilkan bentuk-bentuk yang khas yang tidak dapat dijumpai pada batuan jenis lain. Gejala pelarutan ini merupakan awal dari proses karstifikasi. Morfologi yang dihasilkan oleh batuan karbonat yang mengalami karstifikasi dikenal dengan sebutan bentang lahan karst (Rajamuddin, 2006).



III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

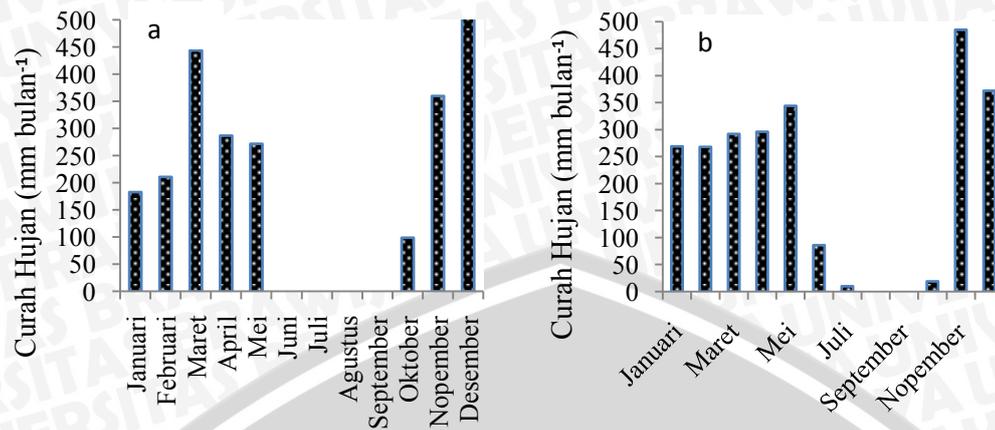
Penelitian ini dilakukan di berbagai macam sistem HR (Hutan Rakyat) di kawasan Barat Kabupaten Malang yang meliputi Kecamatan Jabung, Poncokusumo, Dampit dan Kecamatan Sumbermanjing Wetan. Penelitian dilakukan dalam 2 tahap, pertama dilakukan pengambilan contoh di lapangan pada bulan Juni – Juli 2012. Tahap kedua dilakukan analisis laboratorium di laboratorium Jurusan Tanah Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya dan analisis data yang dilaksanakan pada bulan Agustus – Desember 2012.

3.2 Kondisi Umum Wilayah

Wilayah penelitian pada landform vulkanik yang meliputi: Kecamatan Jabung, Poncokusumo, Dampit dan wilayah dengan landform karst yang berada di Kecamatan Sumbermanjing Wetan.

Secara umum topografi di sebagian besar wilayah Kecamatan Dampit merupakan daratan dan pegunungan dengan ketinggian 300 – 400 mdpl, dengan kemiringan kurang dari 40%. Wilayah Kecamatan Jabung memiliki ketinggian +/- 500 mdpl, sedangkan curah hujan 350 mm/tahun. Sumbermanjing Wetan dengan topografi wilayah berupa pegunungan dengan ketinggian tempat 400 – 500 mdpl.

Wilayah landform vulkanik pada tahun 2011 memiliki curah hujan tahunan dengan intensitas yang tinggi yaitu 2.633 mm tahun⁻¹ dengan jumlah hari hujan sebesar 152 hari tahun⁻¹. Landform karst dengan tahun yang sama memiliki curah hujan tahunan dengan intensitas 2441 mm tahun⁻¹ dengan jumlah hari hujan sebesar 84 hari tahun⁻¹. Curah hujan pada bulan Oktober dan Juni sangat rendah karena berada dalam masa peralihan antara musim kemarau ke penghujan Gambar 2.



Gambar 2. Data Iklim Landform Vulkanik (a) dan Landform Karst (b) tahun 2011 (Sumber Data: Stasiun Klimatologi Karangploso, 2012)

3.3 Tahap Penelitian

Tahap penelitian ini diawali dengan persiapan yakni pengumpulan data sekunder yang digunakan untuk klasifikasi tutupan lahan lokasi penelitian, kemudian dilanjutkan observasi wilayah untuk menentukan plot pengamatan. Selanjutnya pembuatan petak dan perhitungan biomasa dan yang terakhir pengolahan data. Tahapan pelaksanaan penelitian secara detail disajikan dalam Gambar 3.

3.4 Metode Penelitian

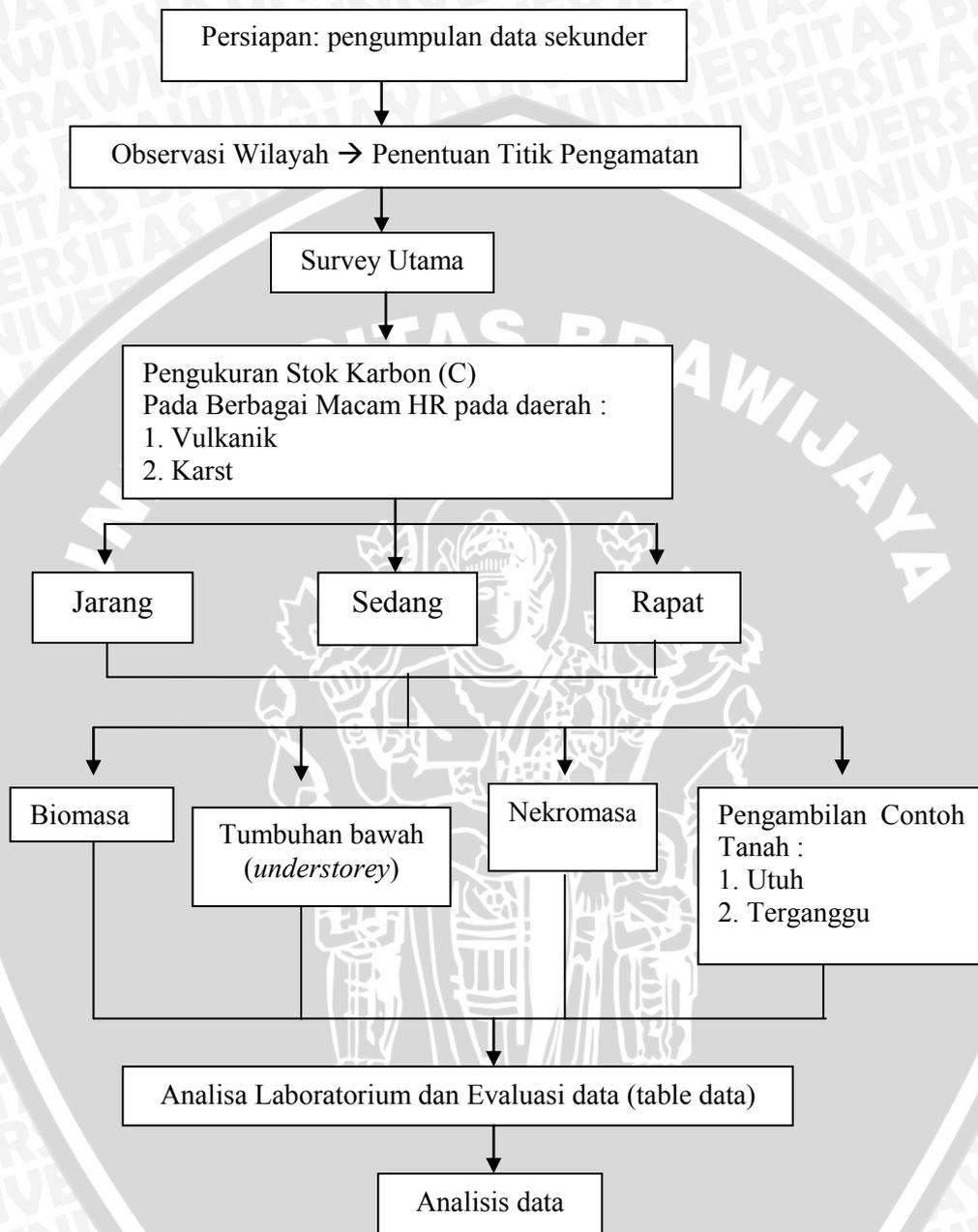
Metode pengukuran cadangan karbon mengacu pada metode RaCSA (*Rapid Carbon Stock Appraisal*) untuk membandingkan seberapa besar karbon yang tersimpan pada masing-masing sistem penggunaan (Hairiah *et al.*, 2011).

3.4.1 Pemilihan Penggunaan Lahan

3.4.1.1 Persiapan

Persiapan dalam tahapan ini meliputi pengumpulan data sekunder meliputi peta tutupan lahan dan peta jenis tanah di Kabupaten Malang. Berdasarkan peta tutupan lahan yang diperoleh, dilakukan stratifikasi daerah dengan luasan hutan rakyat berkisar dari rendah sampai tertinggi. Selanjutnya peta tutupan lahan ditimpalkan (*overlay*) pada peta jenis tanah untuk menentukan titik pengukuran HR yang mewakili kondisi tanah landform vulkanik dan karst. Melakukan

perijinan penggunaan lahan dan penyediaan alat dan bahan. Alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini dicantumkan dalam Tabel 2.



Gambar 3. Diagram Tahapan Penelitian

Tabel 2. Alat dan Bahan Penelitian

Variabel Pengukuran	Alat dan Bahan
Biomasa pohon	Meteran (50 m), tali rafia (40 m x 5 m), tongkat kayu/bambu (1,3 m), meteran (5 m), jangka sorong, spidol, alat pengukur tinggi pohon, blangko pengamatan
Biomasa Tumbuhan Bawah	Gunting tanaman, spidol, kantong plastik, kantong kertas semen, kuadran ukuran 0,5 m x 0,5 m, nampan, timbangan, ayakan ukuran diameter lubang 2 mm.
Biomasa Nekromassa dan seresah	Gunting tanaman, spidol, kantong plastik, kantong kertas semen, kuadran ukuran 0,5 m x 0,5 m, nampan, timbangan, ayakan ukuran diameter lubang 2mm.
BJ kayu	Parang, kantong plastik, meteran, timbangan, oven
pH tanah	Contoh tanah, botol film, timbangan, mesin pengaduk, pH meter, H ₂ O
Berat Isi Tanah C organik	Blok besi, timbangan, plastik, meteran, kaleng timbangan, oven Contoh tanah, timbangan, labu erlemeyer, gelas ukur, pipet, alat titrasi
Tekstur tanah	Survey set, segitiga tekstur, labu erlemeyer, gelas ukur, pipet, hot plate, oven, kaleng timbang
N	Labu Erlenmeyer, alat titrasi, H ₂ SO ₄ , kjedhal
P	Spektrofotometer

3.4.1.2 Pengecekan di Lapangan (*Groundcheck*)

Pada tahap ini, kegiatan yang dilakukan adalah mencatat jenis pohon yang dominan, tingkat kerapatan, kondisi wilayah dan sejarah penggunaan lahan. Sejarah dan manajemen penggunaan lahan diketahui melalui informasi dari pemilik lahan.

3.4.1.3 Pemilihan Lahan Untuk Petak Penelitian

Sistem penggunaan lahan (SPL) yang dipilih adalah penggunaan lahan yang umum ditemui di lokasi penelitian. Kriteria pemilihan sistem penggunaan lahan HR yang dipilih adalah berdasarkan pada: (1) bentukan lahannya (vulkanik dan karst), (2) penyusun tegakannya (jenis pohon yang ditanam), (3) kerapatan populasinya dan (4) memiliki umur pohon yang berbeda-beda.

Pengukuran dilakukan pada dua bentukan lahan. Pertama pada kawasan vulkanik yang termasuk dalam Kecamatan Jabung, Kecamatan Poncokusumo, Kecamatan Dampit dengan jenis tanaman yang dominan berupa sengon (*Albizia chinensis*) dan jabon (*Anthocephalus cadamba*). Kedua pada kawasan karst yang

berada di Kecamatan Sumbermanjing Wetan dengan jenis tanaman yang dominan berupa sengon (*Albizia chinensis*) dan cengkeh (*Syzygium aromaticum*). Hierarki pemilihan penggunaan lahan disajikan dalam Gambar 4:

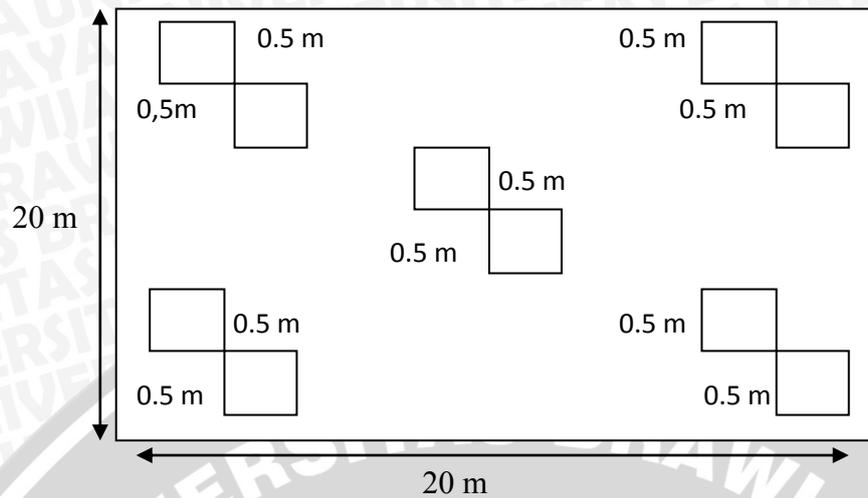


Gambar 4. Skema Pemilihan Plot Penelitian

3.4.1.4 Penetapan Petak Pengukuran

Pengukuran dilakukan pada petak berukuran $20\text{ m} \times 20\text{ m} = 400\text{ m}^2$, bila terdapat pohon dengan diameter batang lebih dari 30 cm atau lingkaran batang lebih 95 cm, ukuran petak pengamatan diperbesar menjadi $20\text{ m} \times 100\text{ m} = 2000\text{ m}^2$ (Hairiah *et al.*, 2011). Penentuan petak pengamatan ini diambil searah dengan mata angin atau menyesuaikan kondisi lahan, penetapan titik pertama petak ialah dengan melakukan pelemparan tongkat dengan tujuan agar titik utama petak tidak ditentukan secara subyektif. Pemilihan plot ditentukan pada lokasi yang kondisi vegetasinya seragam dan menghindari tempat-tempat yang terlalu rapat atau terlalu jarang vegetasinya (Prayogo, 2000).

Pada luasan petak ini semua vegetasi diukur contoh biomasa, tumbuhan bawah (*understorey*), nekromasa baik secara *destruktif* maupun *non destruktif*. Contoh tanah baik secara terganggu (untuk analisis total C) maupun tak terganggu (untuk penentuan BI tanah). Setiap petak diambil 5 titik contoh pengukuran untuk pengambilan contoh tumbuhan bawah, serasah dan tanah secara acak, setiap titik contoh pengukuran berukuran $0.5\text{ m} \times 0.5\text{ m}$ pada Gambar 5.



Gambar 5. Sub petak dan Penempatan Kuadran (Titik Contoh Pengukuran) untuk Tumbuhan Bawah (*Understorey*) dan Seresah

3.4.2 Pengukuran Biomasa Pohon

Semua pohon yang berada dalam plot 20 m x 20 m di ukur diameter pohon setinggi dada (setinggi 1,3 m dari permukaan tanah) atau disingkat DBH. Pengukuran dbh hanya pada pohon berdiameter 5 cm hingga 30 cm. pohon dengan dbh < 5 cm diklasifikasikan sebagai tumbuhan bawah (Hairiah *et al.*, 2007). Data yang dihasilkan dimasukkan dalam suatu persamaan *allometrik* yang digunakan untuk menduga berat kering suatu tanaman disajikan dalam Tabel 3.

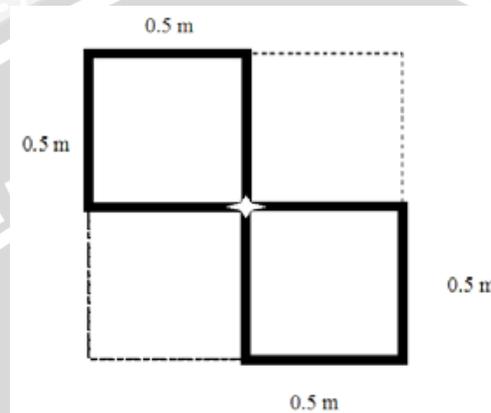
Tabel 3. Rumus-Rumus *Allometrik* untuk Menduga Biomasa Beberapa Jenis Tanaman (Hairiah *et al.*, 2011)

Curah hujan (mm/tahun)	Rumus <i>allometrik</i>	Keterangan
Humid/Lembab (1500-4000 mm/th)	$(AGB)_{est} = \pi * \exp(-1.499 + 2.148 + \ln(D) + 0.207(\ln(D))^2 - 0.0281(\ln(D))^3)$	Untuk penaksiran biomasa pohon
	$(AGB)_{est} = 0.280 D^{2.06}$	Kopi di pangkas
	$(AGB)_{est} = 0.1208 D^{1.98}$	Kakao
	$(AGB)_{est} = 0.030 D^{2.13}$	Pisang

Keterangan: $(AGB)_{est}$ = biomasa pohon bagian atas tanah, kg/pohon; D = DBH, diameter batang setinggi dada, cm

3.4.3 Biomasa Tumbuhan Bawah (*Understorey*)

Pengambilan contoh biomasa tumbuhan bawah dilakukan dengan metode destruktif. Tumbuhan bawah yang diambil sebagai contoh adalah semua tumbuhan hidup berupa pohon dengan diameter < 5 cm, herba dan rumput-rumputan (Hairiah *et al.*, 2006). Biomasa tumbuhan bawah diambil pada 5 titik contoh pengukuran yang ditata secara acak pada luasan 0,5 m x 0,5 m pada Gambar 6.



Gambar 6. Bentuk Kuadran untuk Pengambilan Contoh Tumbuhan Bawah (*understorey*) dan Seresah (Hairiah *et al.*, 2007)

3.4.4 Nekromasa

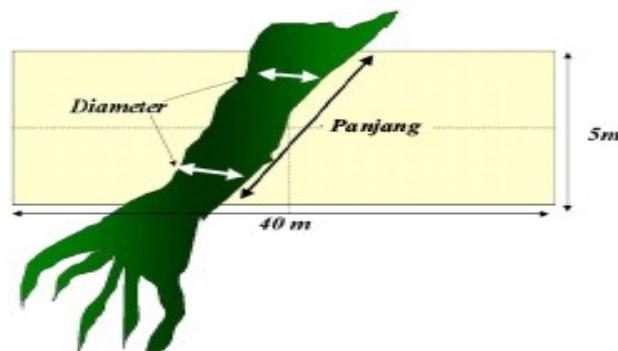
Pengambilan contoh nekromasa (bagian tanaman mati) dilakukan di dalam sub petak berukuran 20 m x 20 m dan petak besar 20 m x 100 m. Nekromassa dibedakan menjadi 2 kelompok, yaitu:

- **Nekromasa Berkayu**

Pohon mati yang masih berdiri maupun yang roboh, tunggul-tunggul tanaman, cabang dan ranting yang masih utuh yang berdiameter 5 cm dan panjang 0,5 m. Pengambilan nekromasa ini menggunakan metode *non destruktif*. Untuk pengukuran pohon yang telah mati terdapat dalam petak, pengukuran dilakukan dengan mengukur diameter batang dan panjangnya yang masuk dalam transek 20 m x 20 m dan ambil contoh kayu ukuran 10 cm x 10 cm x 10 cm, timbang berat basah lalu masukan dalam oven suhu 80°C selama 48 jam untuk menghitung BJ kayunya.

$$\text{Biomasa} = \pi r^2 (\text{cm}^2) \times \text{panjang (cm)} \times \text{BJ kayu (g cm}^{-3}\text{)}$$

Keterangan: BJ kayu diperoleh dari data base ICRAF 2007.



Gambar 7. Pengukuran Diameter dan Panjang Pohon Tumbang dalam Petak Pengamatan (Hairiah *et al.*, 2007)

- **Nekromassa Tidak Berkayu**

Nekromasa tidak berkayu terdiri dari seresah daun yang masih utuh (seresah kasar), dan bahan organik lainnya yang telah terdekomposisi sebagian dan berukuran > 2 mm (seresah halus).

Pengambilan contoh seresah kasar diambil pada kuadran yang sama pada pengambilan contoh biomasa tumbuhan bawah. Untuk pengambilan seresah halus dengan cara mengambil seluruh seresah halus, biasanya setebal 5 cm (Hairiah *et al.*, 2007) pada tiap-tiap kuadran. Seresah halus yang di dapat di masukkan ke dalam ayakan dengan lubang diameter 2 mm dan diayak. Seresah yang tertangkap ayakan ditimbang berat basahnya kemudian di oven pada suhu 80°C selama 48 jam untuk mendapat berat keringnya.

3.4.5 Pengambilan Contoh Tanah

Dalam pengambilan contoh tanah ada 2 macam yang harus diambil yaitu:

1. Contoh tanah utuh (tidak terganggu) untuk pengukuran BI tanah. Pengambilan contoh dilakukan pada kedalaman 0-10 cm, 10-20 cm dan 20-30 cm dengan menggunakan blok besi ukuran 20 cm x 20 cm x 10 cm; dan
2. Contoh tanah terganggu dengan cara mengambil tanah pada 5 titik contoh pada kedalaman 0-10 cm, 10-20 cm dan 20-30 cm atau lapisan atas dan dicampur rata kemudian diambil 1 kg. Pengambilan contoh tanah terganggu digunakan untuk penetapan analisa kimia, yakni pH dan C organik, serta analisa fisika yakni tekstur. Analisa dilakukan di laboratorium Jurusan Tanah, analisa pH tanah menggunakan metode electrode pH meter, analisa C organik menggunakan metode *Walkey and Black* (Roshetko *et al.*, 2002) dan analisa tekstur menggunakan metode pipet (Hairiah *et al.*, 2001).

3.5 Rata-rata Karbon Tersimpan Per Siklus Tanam (*Time Averaged Carbon Stock*)

Rata-rata karbon tersimpan per siklus tanam diperlukan untuk membandingkan potensi berbagai sistem penggunaan lahan (SPL) dalam menyimpan karbon. Jumlah karbon tersimpan rata-rata per siklus tanam dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$C_{\text{avg}} = 0.5 \times (C_{\text{max}} + C_{\text{min}})$$

Dimana:

C_{avg} = C tersimpan rata-rata siklus tanaman

C_{max} = Jumlah C tersimpan maksimum

C_{min} = Jumlah C tersimpan minimum

Estimasi *time average C-stock* untuk sistem monokultur dilakukan berdasarkan peningkatan jumlah cadangan karbon per tahun, sedangkan untuk sistem agroforestri dihitung melalui cadangan karbon rata-rata dari berbagai umur lahan setelah penebangan hutan (Hairiah *et al.*, 2009).

3.6 Analisis Laboratorium dan Analisis Data

Analisis kimia dan fisika tanah dilakukan di laboratorium fisika dan kimia tanah. Analisis tekstur tanah, berat isi dilakukan di laboratorium fisika tanah dan pada laboratorium kimia tanah dilakukan analisis C-organik, N, P dan analisis pH tanah. Masing-masing variabel pengukuran tersebut digunakan untuk mengetahui bahan organik tanah yang terkandung di dalam tanah yang dapat mempengaruhi kandungan biomassa dan cadangan karbon pada suatu sistem hutan rakyat.

Hasil perhitungan parameter dianalisis dengan menggunakan analisis sidik ragam (Anova) dengan derajat kepercayaan 5% dengan menggunakan program Genstat versi 15.1 dan Microsoft Exel 2007.

IV. KARAKTERISTIK LAHAN

4.1 Pemilihan Petak untuk Pengukuran Cadangan Karbon

Pemilihan petak pengukuran cadangan karbon pada sistem penggunaan lahan aktual yang ada pada saat ini didapatkan dari hasil survei lapang yang didasarkan pada informasi peta penggunaan lahan. Sistem penggunaan lahan HR yang dominan yaitu HR berbasis sengon, jabon dan cengkeh. HR yang ditemukan pada landform vulkanik berbasis sengon dan jabon, sedangkan pada pegunungan kapur bagian selatan merupakan landform karst yang hanya ditemukan HR sengon dan cengkeh. Kriteria pemilihan petak pengukuran cadangan karbon didasarkan pada bentukan lahannya (vulkanik dan karst), penyusun tegakannya (jenis pohon yang ditanam), kerapatan populasinya dan memiliki umur pohon yang berbeda-beda

Pada landform vulkanik HR sengon dan jabon ditemukan umur dengan kisaran 3 – 6 tahun, serta kelas kerapatan jarang sampai rapat. Sedangkan pada landform karst HR sengon ditemukan dengan umur kisaran 3 – 4 tahun dan kelas kerapatan jarang sampai sedang, serta pada cengkeh ditemukan umur dengan kisaran 20 – 38 tahun dan kelas kerapatan rapat saja. Lokasi titik petak pengamatan bisa dilihat pada Lampiran 6.

4.2 Sejarah Pada Petak Pengukuran HR

Sejarah petak pengukuran HR pada lokasi penelitian di landform vulkanik HR sengon dan jabon berada di Kecamatan Jabung, Poncokusumo dan Dampit. Sedangkan di landform karst HR sengon dan cengkeh berada di Kecamatan Sumbermanjing Wetan.

4.2.1 HR Sengon

HR sengon yang berada di landform vulkanik memiliki elevasi 300 – 600 mdpl dan pada landform Karst 400 – 500 mdpl. Menurut informasi dari pemilik lahan, dulunya HR sengon digunakan sebagai ladang tebu, padi gogo, dan semak belukar. Landform karst digunakan sebagai ladang tebu, semak belukar dan

perkebunan karet. Pembukaan lahan pada kedua landform dilakukan dengan cara tebang bakar.

Pada HR landform vulkanik pemupukan dilakukan pada awal sebelum tanam dengan memberikan pupuk kandang ke lahan, kemudian setelah umur satu tahun dan seterusnya diberikan pupuk urea dan ZA dengan dosis 150 – 250 kg/ha. Sedangkan pemberian pupuk pada kawasan landform karst adalah pupuk kandang yang diberikan pada awal sebelum tanam dan setelah satu tahun diberi pupuk TSP, ZA dan Ponska dengan dosis 150 – 230 kg/ha.



Gambar 8. Kondisi Lahan HR Sengon Landform Vulkanik



Gambar 9. Kondisi Lahan HR Sengon Landform Karst

4.2.2 HR Jabon

Petak pengukuran HR jabon hanya berada di landform vulkanik yang memiliki elevasi 300 – 700 mdpl. Menurut informasi dari pemilik lahan, dulunya HR jabon digunakan untuk ladang tebu, dan semak belukar. Pembukaan lahan dilakukan dengan cara tebang bakar dari jenis penggunaan lahan sebelumnya. Pemberian pupuk kandang dilakukan pada awal sebelum tanam, kemudian diberi pupuk Urea dan TSP dengan dosis 1,5 – 2 kg/tanaman.



Gambar 10. Kondisi Lahan HR Jabon

4.2.3 HR Cengkeh

Petak pengukuran HR cengkeh hanya terdapat di landform karst yang memiliki elevasi 400 mdpl. Pada tahun 1976, lahan mulai dibuka dengan menebang vegetasi hutan alami maupun semak belukar. Lahan ini merupakan lahan milik perseorangan yang dikelola dan dirawat oleh masyarakat sekitar. Pemupukan dilakukan setiap tahunnya sebanyak 2 kg/tanaman (KCl, ZA, urea).



Gambar 11. Kondisi Lahan HR Cengkeh di Landform Karst

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Karakteristik Lahan Hutan Rakyat

Besarnya cadangan karbon suatu lahan dipengaruhi oleh kerapatan pohon (tutupan kanopi), jenis pohon yang berkaitan dengan berat jenis kayu, dan umur pohon yang berkaitan dengan ukuran diameter pohonnya (Chave *et al.*, 2005; Hortson, 1976 dalam Yefri, 1987). Hal tersebut diatas biasanya ditunjukkan dengan nilai basal area (luas bidang dasar) yaitu luasan lahan yang tertutup oleh batang pohon ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$).

5.1.1 Kerapatan Pohon dan Basal Area

Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan bahwa di semua plot hanya terdapat satu jenis pohon yang ditanam kecuali pada daerah karst pada lahan sengon umur 3-4 tahun dan di lahan cengkeh (Tabel 4). Nilai nisbah total Basal Area (BA) pada kedua plot tersebut masing-masing 94% dan 95%. Menurut Hairiah *et al.*, (2006) bila nilai BA tanaman pokok $> 0,80$ berarti penggunaan lahan tersebut di kategorikan sebagai monokultur. Maka semua lahan HR yang dipilih untuk penelitian ini termasuk kedalam kelas monokultur.

Penanaman pohon yang cenderung monokultur pada HR landform vulkanik bertujuan untuk menghasilkan tanaman sengon yang berkualitas bagus untuk tujuan komersial. Berbeda dengan HR pada landform karst yang tidak secara penuh berpola monokultur, tetapi masih ada tanaman selingan walaupun jumlahnya sangat sedikit. Hal ini disebabkan waktu panen pohon membutuhkan waktu yang relatif lama sehingga petani menanam tanaman selingan seperti tanaman pisang dan kakao. Oleh sebab itu, hutan rakyat berbasis kayu ditanam dengan sistem penanaman monokultur yang disebabkan oleh kebijakan manajemen dari tiap petani.

Tabel 4. Jumlah Spesies, Jumlah Pohon (Kerapatan), Basal Area (BA) dan Pengklasifikasian Kelas Kerapatan

Landform	Tan. Pokok	Kisaran Umur (tahun)	Jumlah Pohon/ha	Jumlah Spesies	Basal Area (BA)		Klas Kerapatan	
					Total (BAT)	Tan. Pokok (BAP)		
					m ² ha ⁻¹		%	
Vulkanik	Sengon	3-4	1631	1	17,34	17,34	100	Rapat
		3	2063	1	19,78	19,78	100	Rapat
	Jabon	3-6	638	1	13,32	13,32	100	Jarang
		4	1450	1	17,56	17,56	100	Sedang
Karst	Sengon	3-4	2008	1	24,25	24,25	100	Rapat
		3-4	1192	4	9,51	9,03	95	Sedang
	Cengkeh	20-38	606	5	21,25	20,22	94	Jarang

Sengon pada landform vulkanik termasuk klas kerapatan rapat sedangkan pada landform karst termasuk klas kerapatan sedang, hal ini dikarenakan adanya perbedaan landform yang mempengaruhi kesuburan tanaman membuat petani memiliki manajemen yang berbeda dalam hal pemilihan jenis tanaman. Tanaman cengkeh dengan klas kerapatan jarang memiliki basal area yang cukup besar karena umur tanaman yang relatif lebih tua dari tanaman lainnya, serta ukuran kanopi yang luas sehingga dengan jumlah pohon 606 pohon/ha memiliki nilai basal area 21,25 m² ha⁻¹.

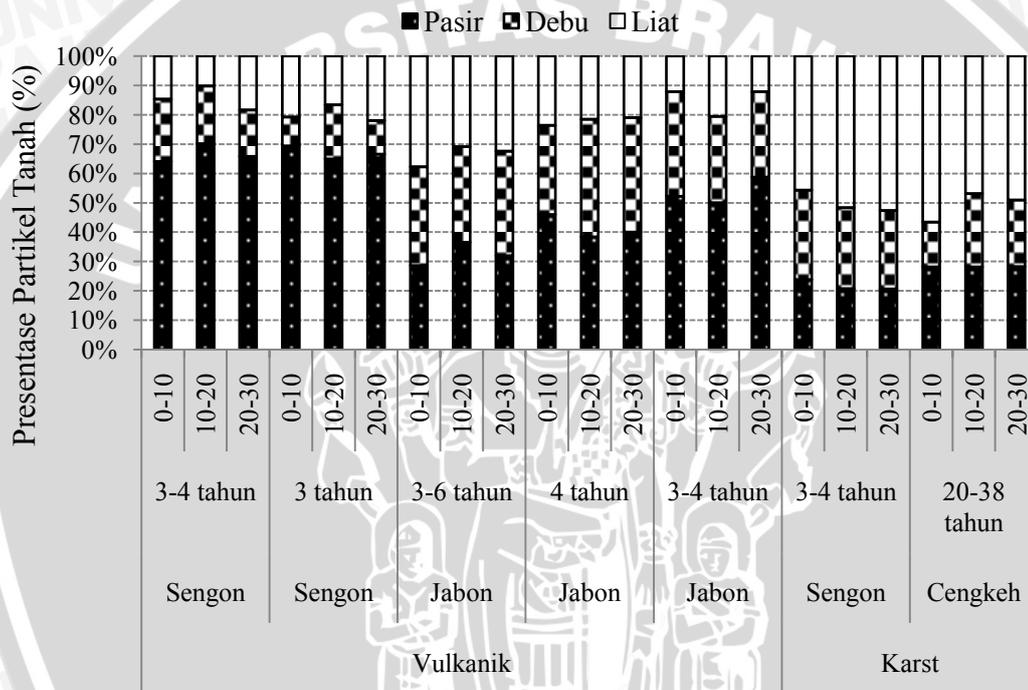
5.1.2 Berat Jenis Kayu

Berat jenis (BJ) kayu menunjukkan cepat tidaknya pertumbuhan pohon. Semakin besar kerapatan kayu, biasanya pohon tersebut memiliki pertumbuhan yang lebih lambat (Hairiah *et al.*, 2009). Data berat jenis kayu pada berbagai jenis pohon yang terdapat di hutan rakyat diperoleh dari data base berat jenis kayu ICRAF (2007). Pohon yang tumbuh pada kawasan HR Kabupaten Malang seperti sengon (*Albizia chinensis*), dan cengkeh (*Syzygium aromaticum*) termasuk dalam kategori kayu sedang dengan BJ kayu sekitar 0,64 – 0,75 g cm⁻³, sedangkan jabon (*Anthocephalus cadamba*) masuk dalam kategori kayu ringan (0,56 g cm⁻³).

Pada HR sengon landform karst nilai kayu ringan dan kayu sedang (6,76 % dan 93,24 %) dengan BJ kayu maximal 0,66 g cm⁻³ minimal 0,54 g cm⁻³, hal ini dikarenakan dalam plot penelitian ditemukan tanaman selingan yaitu tanaman mahoni yang termasuk BJ kayu sedang dan tanamn pisang yang termasuk tanaman dengan BJ ringan sehingga mempengaruhi prosentase berat jenis kayu.

5.2 Karakteristik Tanah

Tekstur tanah adalah perbandingan relatif dalam persen (%) antara fraksi-fraksi pasir, debu dan liat. Rata-rata kandungan partikel tanah per kedalaman pada masing-masing penggunaan lahan yang disajikan pada Gambar 12. Terdapat variasi sebaran rata-rata persentase partikel tanah antar kedalaman lapisan tanah yang dijumpai dalam kedelapan sistem penggunaan lahan, dimana pada landform vulkanik kandungan partikel pasir lebih besar sedangkan pada landform karst terdapat dominasi partikel liat.



Gambar 12. Presentase Partikel Tanah Per Kedalaman pada Berbagai SPL

Cadangan karbon melalui pertumbuhan tanaman turut dipengaruhi oleh peran Bahan Organik Tanah (BOT) dalam mempertahankan ketersediaan hara, kondisi fisik, dan biologi tanah (Mutuo *et al.*, 2005). Kandungan C organik tanah di Kabupaten Malang memiliki nilai bervariasi antar SPL (Tabel 5). Perbedaan ini disebabkan karena masing-masing penggunaan lahan memiliki tutupan lahan dan jenis tanah yang berbeda. Perbedaan tutupan lahan akan memberikan masukan Bahan Organik (BO) yang berbeda baik ditinjau dari kuantitas maupun kualitas seresah sehingga mempengaruhi dekomposisi BO. Dekomposisi BO diduga juga

dipengaruhi oleh jumlah liat dalam suatu tanah, dimana tanah dengan tekstur liat akan menghambat kerja dekomposer sehingga proses dekomposisi BO menjadi lebih lambat.

Tabel 5. Sifat Kimia Tanah pada Berbagai Satuan Penggunaan Lahan (SPL)

Landform	Hutan Rakyat	Kedalaman	C _{org}	C _{org} /C _{reff}	N total	P	pH
	(HR)	(cm)	-----%-----			(mg kg ⁻¹)	KCI
Vulkanik	Sengon	0-10	0,98	0,30	0,10	8,13	4,71
		10-20	0,78	0,23	0,09	18,79	4,43
		20-30	0,61	0,18	0,08	16,99	4,44
	Jabon	0-10	1,42	0,35	0,14	12,18	4,25
		10-20	1,15	0,28	0,12	9,19	4,18
		20-30	0,97	0,25	0,11	10,06	4,31
Karst	Sengon	0-10	1,55	0,35	0,15	3,90	4,81
		10-20	1,29	0,29	0,13	1,40	4,87
		20-30	0,97	0,22	0,12	1,84	5,04
	Cengkeh	0-10	1,18	0,26	0,16	1,16	4,60
		10-20	1,02	0,22	0,14	4,38	4,43
		20-30	0,93	0,20	0,13	3,70	4,39

Kadar karbon organik tanah ditentukan dari kadar C-organik dari hasil analisis tanah, perhitungan sampai kedalaman 30 cm. Pada lapisan bagian atas 0-10 cm memiliki karbon yang lebih besar, semakin dalam lapisan tanah maka kadar karbon semakin berkurang.

Berdasarkan kriteria penilaian sifat kimia tanah Pusat Penelitian Tanah (1983), rata-rata plot penelitian tergolong memiliki N-total rendah. Hal ini berbanding lurus dengan kadar bahan organiknya dimana semakin tinggi kadar bahan organik tanah maka makin tinggi kadar N-total tanah. Dengan kata lain, setiap perubahan kadar bahan organik akan merubah kadar bahan N-total. Begitu halnya dengan unsur P tanah, yang dikategorikan rendah ($P < 10-20 \text{ mg kg}^{-1}$) sehingga memperlambat pembentukan sel dan perkembangan akar tanaman.

Tingkat penyimpanan karbon antar lahan berbeda-beda, tergantung pada keragaman jenis dan kerapatan tumbuhan yang ada, jenis tanahnya serta pengelolaannya (Hairiah *et al.*, 2010). Adanya perbedaan dalam pengelolaan lahan, jenis tanaman serta alih guna lahan yang secara bertahap akan diikuti oleh menurunnya kandungan Bahan Organik Tanah (BOT) menyebabkan bervariasinya

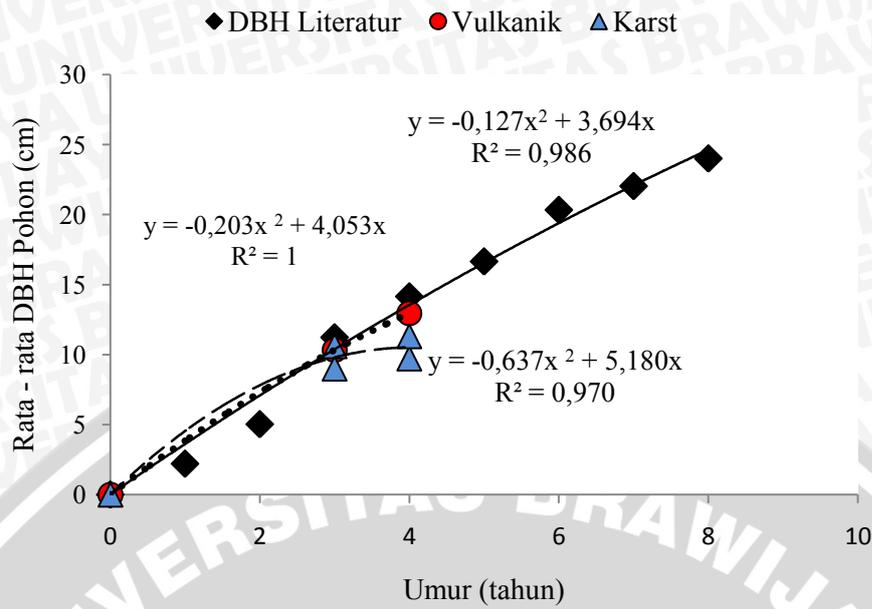
kejenuhan BOT (C_{org}/C_{ref}). Dari hasil data diatas kejenuhan BOT (C_{org}/C_{ref}) <1 (pada kedalaman 0-30 cm), hal ini menunjukkan bahwa kesuburan tanah pada petak percobaan telah mengalami degradasi.

5.3 Pengaruh Umur dan Landform Terhadap Biomassa Pohon Sengon

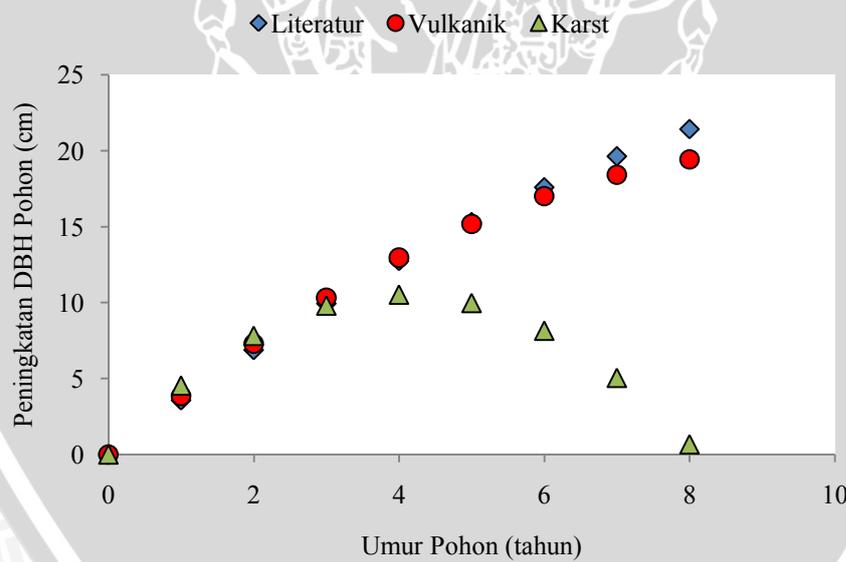
5.3.1 Peningkatan Tahunan Diameter Batang Pohon Sengon

Sengon dapat tumbuh dengan cepat, terutama pada tegakan yang masih muda. Hal ini sesuai dengan pernyataan Daniel *et al.*, (1987), bahwa pertumbuhan merupakan fungsi dari umur tegakan yang sifatnya tergantung pada jenis dan kualitas tempat tumbuh. Menurut Husch *et al.*, (1982) kurva pertumbuhan pohon sengon menggambarkan perubahan ukuran pohon per satuan waktu yang ditunjukkan oleh volume kayu dan diameter pohon atau tinggi pohon. Semakin bertambah umur pohon sengon maka diameter pohonnya akan semakin besar. Pada pohon sengon umur 3 tahun, DBH berkisar rata-rata 9-10,33 cm. Pada umur 4 tahun DBH berkisar rata-rata 9,72 -12,96 cm.

Data peningkatan DBH pohon sengon disajikan dalam Gambar 14. Berdasarkan persamaan yang diperoleh dari Gambar 13 maka dapat dihitung besarnya peningkatan DBH pohon sengon di landform vulkanik dan karst pada berbagai fase pertumbuhan. Peningkatan DBH pada landform vulkanik 3,04 cm tahun⁻¹ pada umur 0-4 tahun, selanjutnya menurun menjadi 1,21 cm tahun⁻¹. Sedangkan pada landform karst 2 cm tahun⁻¹ terjadi di awal pertumbuhan (umur 0-4 tahun), selanjutnya menurun menjadi -3,74 cm tahun⁻¹ pada saat pohon berumur 5-8 tahun.



Gambar 13. Rata-Rata DBH Pohon Sengon pada Berbagai Umur (Data DBH Literature diperoleh dari Hasil Penelitian Riyanto *et al.*, (2010))



Gambar 14. Peningkatan Diameter Batang Pohon Sengon pada Berbagai Periode Pertumbuhan di Landform Vulkanik dan Karst

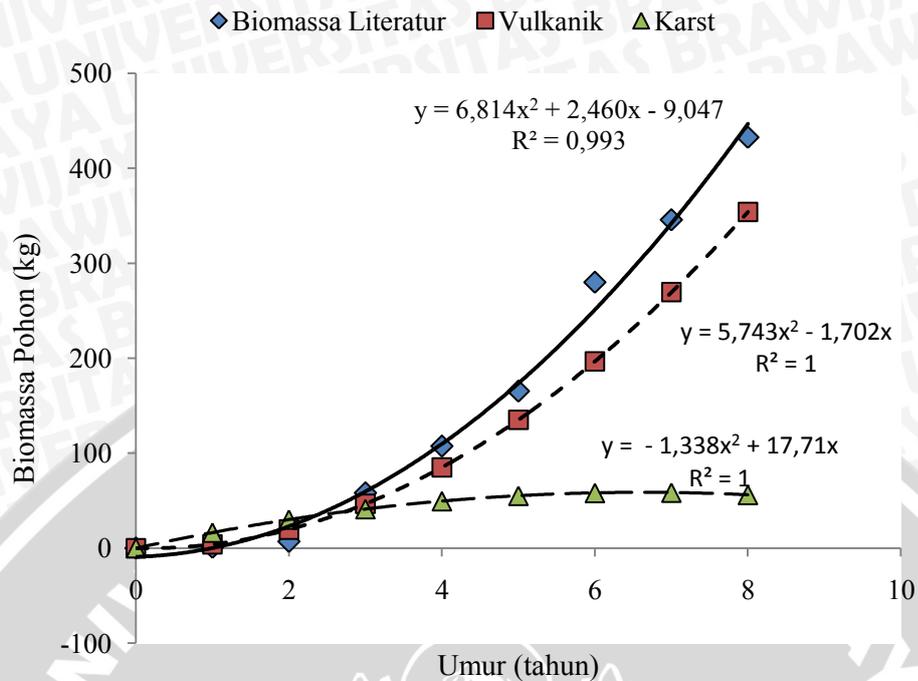
Menurut Riyanto dan Kusnandar (1994), kurva laju pertumbuhan diameter didefinisikan sebagai suatu model hasil turunan pertama dari model matematik

kurva pertumbuhan dan biasanya berbentuk parabola. Kurva laju pertumbuhan diameter tanaman dapat dipakai untuk melihat pola pertumbuhan diameter dan titik optimum pertumbuhan diameter. Berdasarkan hasil kurva pertumbuhan diameter kemudian dibuat turunannya untuk mengetahui laju pertumbuhan dan digambar dalam suatu kurva. Pada umur 0-5 tahun derajat kemiringan kurva sangat tajam, sedangkan setelah umur 5 tahun derajat kemiringan kurva semakin melandai. Hal ini mengindikasikan bahwa pada umur 0-5 tahun terjadi pertumbuhan diameter yang sangat pesat pada tanaman sengon. Setelah lepas umur 5 tahun, tanaman sengon masih mengalami pertumbuhan diameter namun tidak sebesar pada umur 0-5 tahun. *Tren* pertumbuhan tanaman sengon di Kediri hampir sama dengan *tren* pertumbuhan sengon di Benakat. Sebagaimana hasil pengamatan oleh Riyanto dan Kusnandar (1992) di Benakat, pertumbuhan diameter sengon maksimal adalah pada saat mencapai umur 5 tahun. Sedangkan pada penelitian ini, kurva pertumbuhan pada landform vulkanik masih mengalami kenaikan pada umur 8 tahun, berbeda dengan pada landform karst yang menurun pada umur 5 tahun.

5.3.2 Peningkatan Tahunan Biomassa Pohon Sengon

Peningkatan biomassa tahunan merupakan faktor penting dalam perhitungan jumlah karbon yang diserap oleh vegetasi yang dapat menyebabkan rendah atau tingginya estimasi Gas Rumah Kaca (GRK/emisi).

Dari hasil ANOVA diketahui biomassa pohon pada landform vulkanik berbeda nyata ($p < 0,05$) dengan biomassa yang ditanam pada landform karst. Peningkatan biomassa sengon dapat diestimasi dengan jalan menghitung melalui persamaan yang diperoleh dari hubungan antara umur pohon dengan biomassa pohon pada Gambar 15. Dari persamaan tersebut dapat diketahui bahwa peningkatan rata-rata biomassa sengon landform vulkanik per tahun (umur 0-8 tahun) sekitar $49,99 \text{ kg pohon}^{-1}$, sedangkan pada landform karst sebesar $5,67 \text{ kg pohon}^{-1}$. Biomassa pada pohon sengon landform vulkanik menunjukkan pola pertumbuhan yang cenderung lebih meningkat daripada landform karst dimana pada umur 8 tahun sudah mulai mengalami penurunan biomassa.



Gambar 15. Biomassa Pohon Sengon pada Berbagai Umur Pohon Pada Landform Vulkanik dan Karst

Peningkatan biomassa pada landform vulkanik memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan landform karst, dengan persamaan laju pertumbuhan pada landform vulkanik $y = 5,743x^2 - 1,702x$ $R^2 = 1$ dan pada landform karst $y = -1,338x^2 + 17,71x$ $R^2 = 0,831$.

Hal tersebut dikarenakan sifat-sifat tanah vulkanis yang Berat Volume (BV) yang rendah, gembur, terasa berminyak (*smearly*) dengan kapasitas memegang air yang besar serta fiksasi fosfat yang tinggi (Shoji *et al.*, 1993). Dilihat dari kandungan hara pada landform vulkanik yang cukup tinggi dibandingkan landform karst, adanya debu vulkanik yang telah melapuk mengakibatkan terjadinya penambahan kadar kation-kation (Ca, Mg, K dan Na) di dalam tanah 50% dari keadaan sebelumnya (Fiantis, 2006). Sedangkan pada landform karst didominasi oleh bahan batu gamping yang pada umumnya keadaan morfologi tidak teratur, sehingga vegetasi sulit untuk tumbuh pada landform karst, maka pertumbuhan diameter tanaman menjadi kurang baik.

5.4 Cadangan Karbon

5.4.1 Cadangan Karbon di Atas Permukaan Tanah

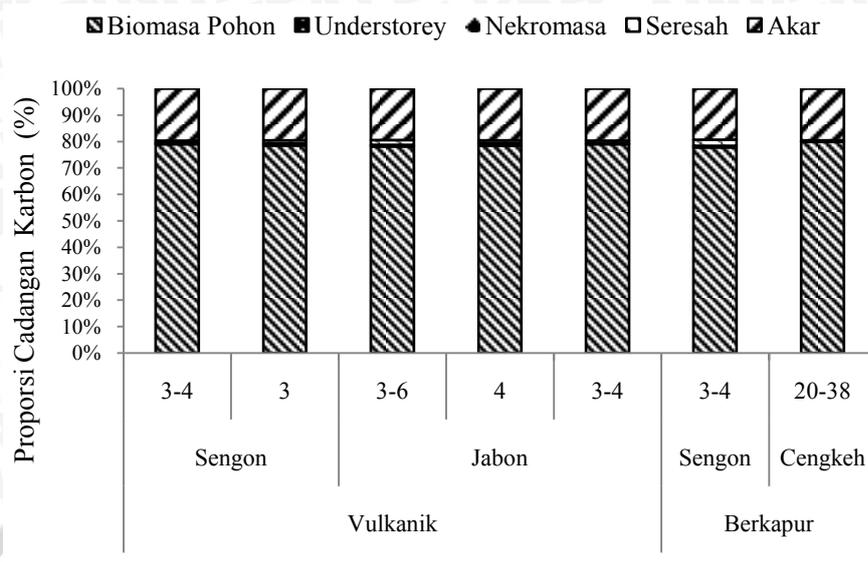
Cadangan karbon tersimpan per komponen diestimasi dengan mengkalikan berat kering dengan konsentrasi C dalam bahan organik (46%) (Hairiah *et al.*, 2007). Cadangan karbon diatas permukaan tanah terdiri dari biomassa pohon, nekromasa, tumbuhan bawah, seresah, dan akar yang disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Cadangan Karbon di Atas Permukaan Tanah

Landform	Hutan rakyat (HR)	Kisaran Umur (tahun)	Biomassa pohon	Under storey	Nekromasa	Seresah	Akar*	Tot. Biomassa
Vulkanik	Sengon	3-4	119,00	0,71	0,00	1,32	29,75	150,78
		3	118,97	1,04	0,00	1,79	29,74	151,54
	Jabon	3-5	93,41	0,69	0,00	2,08	23,35	119,52
		4	102,56	1,35	0,00	1,45	25,64	131,00
Karst	Sengon	3-4	167,56	0,61	0,00	2,55	41,89	212,62
		3-4	118,54	1,08	0,00	3,37	29,61	152,60
	Cengkeh	20-34	243,45	0,13	0,00	1,40	59,69	304,68

Keterangan: * Diperoleh dengan menggunakan nilai terpasang (*default value*) nisbah tajuk : akar yaitu 4 : 1 (Hairiah *et al.*, 2007).

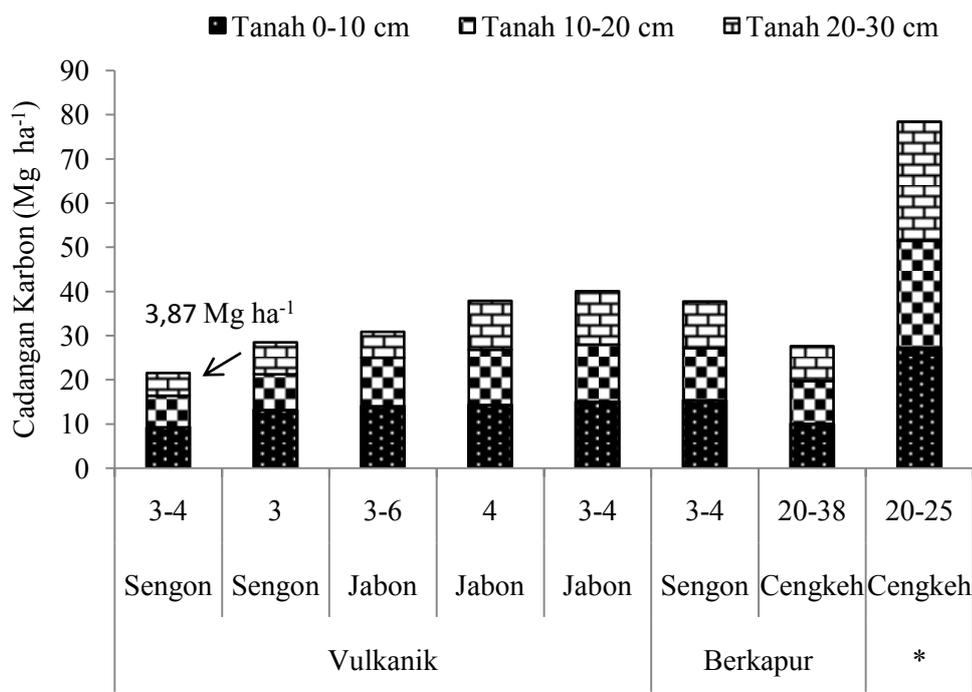
Biomassa pohon memberikan kontribusi paling besar (sekitar 78,89%) terhadap total cadangan karbon diatas permukaan tanah Gambar 16. Nekromasa (kayu mati) tidak memberikan kontribusi C, dikarenakan nekromasa digunakan oleh masyarakat sebagai kayu bakar sehingga tidak ditemukan di lokasi pengamatan. Tumbuhan bawah dan seresah mengkontribusi C rata-rata sekitar 0,45% dan 1,05%. Sedangkan akar mengkontribusi sekitar 19,62%, kontribusi akar cukup besar bila dibandingkan dengan nekromasa, tumbuhan bawah (*understorey*) dan seresah, karena biomassa akar diperoleh dengan menggunakan nilai terpasang (*default value*) nisbah tajuk : akar yaitu 4 : 1 (Hairiah *et al.*, 2007).



Gambar 16. Persentase Komponen Penyusun Cadangan Karbon diatas Permukaan Tanah.

5.4.2 Cadangan Karbon Didalam Tanah

Cadangan karbon di dalam tanah terdiri dari 3 kedalaman yaitu kedalaman 0-10 cm, 10-20 cm dan 20-30 cm. Total cadangan karbon di dalam tanah tertinggi terdapat pada HR jabon landform vulkanik kisaran umur 3-4 tahun ($40,01 \text{ Mg ha}^{-1}$), sedangkan yang paling rendah terdapat pada HR sengon vulkanik kisaran umur 3-4 tahun ($21,51 \text{ Mg ha}^{-1}$). Adanya perbedaan jenis tanah dan manajemen pengelolaan lahan pada HR sengon umur 3-4 tahun dengan umur 3 tahun mengakibatkan kandungan C pada lapisan 0-10 cm mengalami penurunan sekitar $3,87 \text{ Mg ha}^{-1}$ pada Gambar 17.



Keterangan: * Data yang diperoleh dari penelitian Setyorini, (2013)

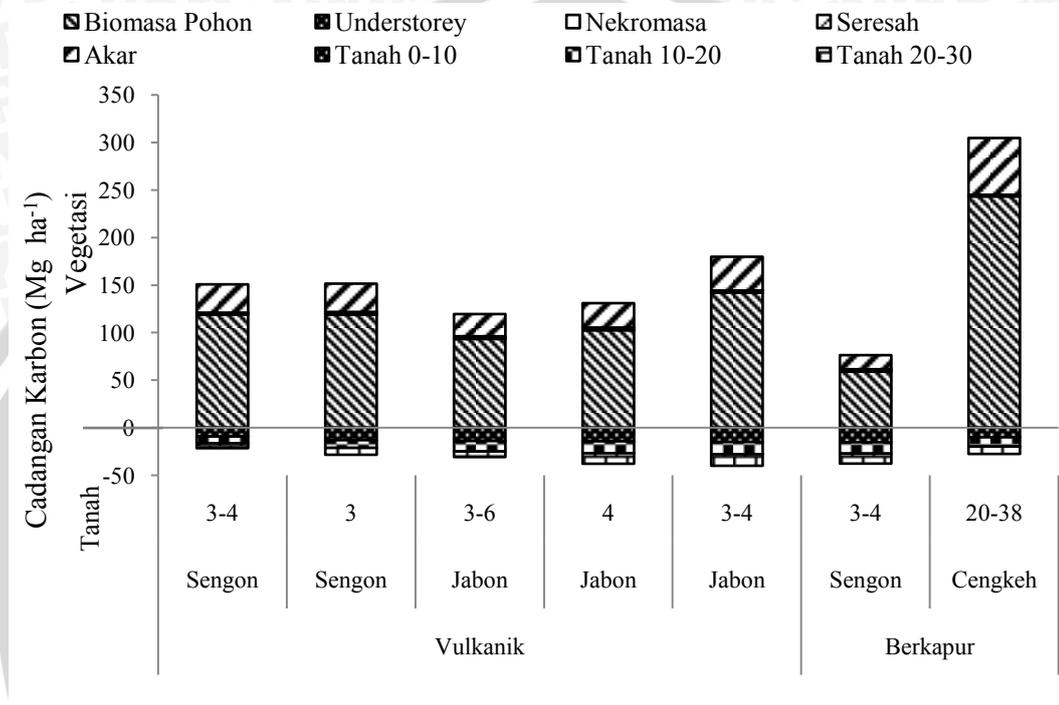
Gambar 17. Cadangan Karbon pada Berbagai Kedalaman Tanah

Cadangan karbon didalam tanah pada cengkeh landform karst dibandingkan dengan data yang diperoleh dari penelitian Setyorini (2013) terdapat perbedaan yang cukup besar, dimana rata-rata cadangan karbon dua kali lipat dari hasil penelitian. Hal ini disebabkan adanya faktor manajemen yang dilakukan oleh petani, seresah daun dari tanaman cengkeh tidak dikembalikan lagi ke tanah sebagai bahan organik akan tetapi dipergunakan untuk bahan pembuatan minyak cengkeh. Perbedaan landform yang dapat dicirikan dengan prosentase kandungan liat yang tinggi pada landform karst menyebabkan bahan organik diikat kuat oleh liat yang mengakibatkan dekomposisi bahan organik berjalan lambat.

Kandungan bahan organik (karbon organik) dalam tanah mencerminkan kualitas tanah yang langsung maupun tidak langsung berpengaruh pada kualitas tanah dan keberlanjutan agronomi karena pengaruhnya pada indikator fisik, kimia dan biologi dari kualitas tanah.

5.4.3 Total Cadangan Karbon

Total cadangan karbon rata-rata tertinggi terdapat pada HR cengkeh dengan kisaran umur 20-38 tahun ($332,24 \text{ Mg ha}^{-1}$), sedangkan cadangan karbon terendah terdapat pada HR sengon landform karst dengan kisaran umur 3-4 tahun ($97,23 \text{ Mg ha}^{-1}$) pada Gambar 18.



Gambar 18. Total Cadangan Karbon diatas dan di Dalam Tanah Pada Berbagai SPL

Total cadangan karbon HR sengon pada landform vulkanik ($151,16 \text{ Mg ha}^{-1}$) memiliki nilai lebih besar dari pada di landform karst ($76,30 \text{ Mg ha}^{-1}$). Begitu pula dengan cadangan karbon cengkeh dikarenakan cengkeh memiliki usia yang lebih tua yaitu 20-38 tahun. Pengaruh landform dan manajemen dari petani mengakibatkan cadangan karbon tiap plot pengukuran menjadi beragam.

Adanya perbedaan jumlah cadangan karbon pada setiap lokasi penelitian dikarenakan perbedaan kerapatan dan jenis tumbuhan pada setiap lokasi. Suatu sistem penggunaan lahan yang terdiri dari pohon dengan spesies yang memiliki nilai kerapatan kayu tinggi, biomasnya akan lebih tinggi bila dibandingkan dengan lahan yang mempunyai spesies dengan nilai kerapatan kayu rendah (Rahayu *et al.*, 2007). Nilai karbon tersimpan menyatakan banyaknya karbon yang

mampu diserap oleh tumbuhan dalam bentuk biomassa. Jumlah karbon yang semakin meningkat harus berbanding lurus dengan jumlah serapannya oleh tumbuhan untuk menghindari pemanasan global.

5.5 Cadangan Karbon Rata-rata per Siklus Tanam (*Time Averaged C Stock*)

Cadanga karbon rata-rata per siklus tanam (*time averaged C stock*) diperoleh dari data rata-rata cadangan karbon tersimpan di seluruh plot pengukuran lapangan kemudian diperoleh persamaan, dari persamaan tersebut di estimasi cadangan karbon sampai umur maximum tanaman, nilai paruh itulah yang dinamakan *time averaged C stock*. Cadangan karbon rata-rata per siklus tanam HR sengon landform vulkanik adalah 111, 96 Mg ha⁻¹, HR jabon 81,90 Mg ha⁻¹. Sedangkan pada HR sengon landform karst 105,82 Mg ha⁻¹ dan cengkeh 246,91 Mg ha⁻¹.

Tabel 7. Total Cadangan Karbon Pada Berbagai SPL

Landform	LUS	Umur lahan		Cadangan C	Time Averaged C Stock
		-----tahun-----			
Vulkanik	HR Sengon	3-4	8	176,13	111,96
	HR Jabon	3-6	8	179,69	81,90
Karst	HR Sengon	3-4	8	75,30	105,82
	Cengkeh	20-38	100	332,24	246,91

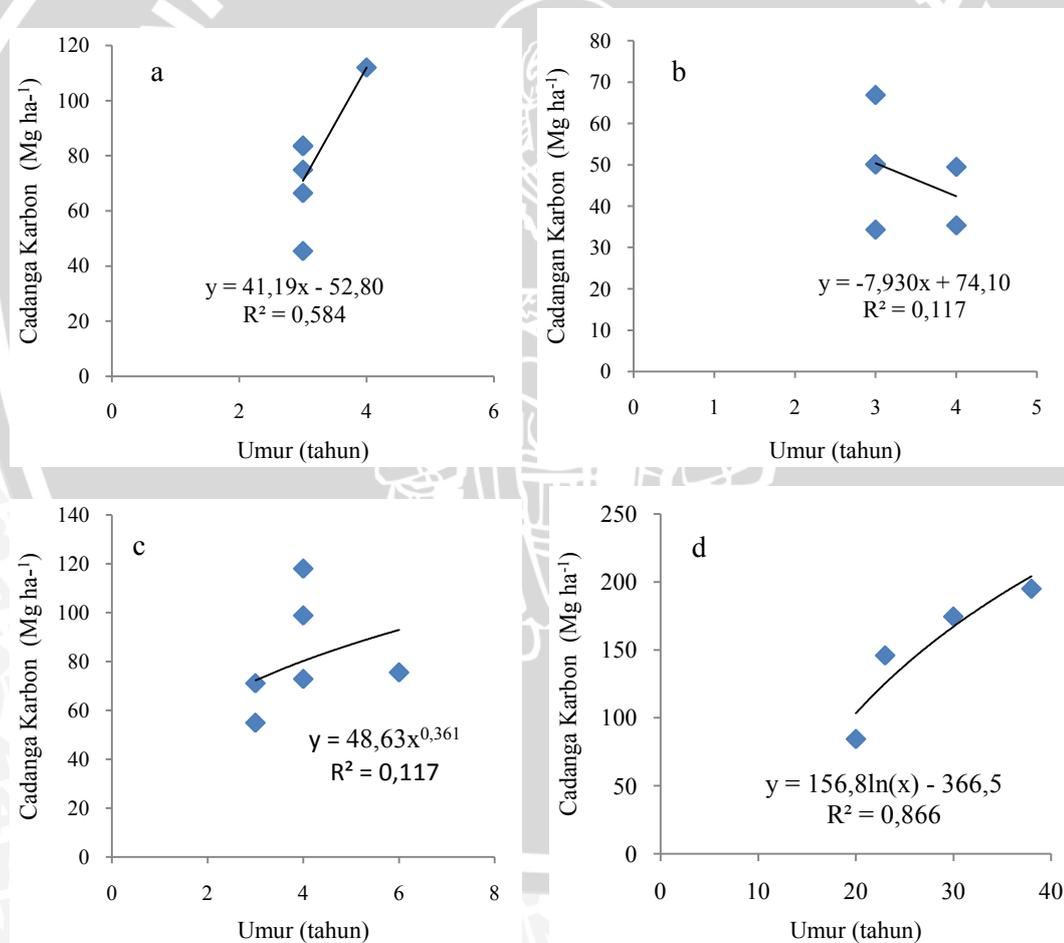
Tanaman cengkeh lebih berpotensi menyimpan cadangan karbon di lahan lebih lama dibandingkan dengan HR sengon dan jabon karena cengkeh memiliki umur yang relatif lebih panjang (100 tahun) dibandingkan dengan sengon dan jabon yang hanya 8 tahun saja.

Peningkatan umur pohon pada HR sengon landform vulkanik diikuti oleh peningkatan cadangan C dengan persamaan $y = 41,19x - 52,80$ ($R^2 = 0,584$), HR jabon dengan persamaan $y = 48,63x^{0,361}$ ($R^2 = 0,117$), sedangkan pada HR sengon landform karst dengan persamaan $y = -7,930x + 74,10$ ($R^2 = 0,117$) dan cengkeh dengan persamaan $y = 156,8\ln(x) - 366,5$ ($R^2 = 0,866$) pada Gambar 19.

Dimana y adalah peningkatan cadangan C (Mg ha⁻¹) dan x adalah umur pohon (tahun). Penyerapan cadangan C tertinggi terdapat pada HR sengon

landform vulkanik ($41,19 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$). Hal ini disebabkan berat jenis kayu sengon merupakan jenis kayu sedang ($0,64 \text{ g cm}^{-3}$), mempunyai rata-rata basal area yang tinggi ($18,56 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) selain itu sengon mempunyai pertumbuhan yang cepat sehingga lebih banyak menyerap karbon bila dibandingkan dengan cengkeh yang memiliki siklus tanam yang panjang (100 tahun). Sedangkan penyerapan C pada jabon landform vulkanik sebesar $6,14 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$, pada landform karst sengon sebesar $-7,93 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$, dan pada cengkeh sebesar $3,15 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ th}^{-1}$.

Pertumbuhan sengon pada landform karst dengan persamaan negative, diduga karena sengon umur 4 tahun cadangan karbonnya lebih sedikit dari pada sengon umur 3 tahun, dikarenakan adanya penjarangan dan serangan penyakit tumor atau karat puru pada tanamn sengon. Serta rata-rata jumlah pohon yang lebih sedikit dari pada di landform vulkanik 1 : 1,5 pohon ha^{-1} .



Gambar 19. Estimasi Cadangan Karbon Rata-Rata Per Siklus Tanam (*Time Averaged-C Stock*) a) HR Sengon Landform Vulkanik b) HR Sengon Landform Karst c) HR Jabon Landform Vulkanik dan d) HR Cengkeh.

5.6 Pembahasan Umum

Total cadangan karbon ditentukan oleh besarnya cadangan karbon di atas permukaan tanah (biomasa, nekromasa, tumbuhan bawah, serasah, dan akar) dan di dalam tanah (Hairiah *et al.*, 2006). Dari hasil penelitian, biomasa pada landform vulkanik lebih besar daripada landform karst, sebagai indikatornya adalah tanaman sengon dimana besar biomasa pada landform vulkanik sebesar (151,2 Mg ha⁻¹) sedangkan pada landform karst sebesar (76,3 Mg ha⁻¹). Pada landform vulkanik memiliki rata-rata jumlah pohon dan kerapatan yang lebih banyak daripada landform berkapur, sehingga hal tersebut juga dapat mempengaruhi potensi biomasa masing-masing landform. Biomasa tegakan dipengaruhi oleh faktor iklim seperti curah hujan, selain itu juga dipengaruhi oleh umur tegakan, sejarah perkembangan vegetasi, komposisi dan struktur tegakan (Kusmana, 1993), serta kesuburan tanah melalui peran bahan organik tanah (BOT).

Dalam sistem agroforestri (termasuk didalamnya hutan rakyat) melalui keragaman masukan serasah dan keragaman perakarannya mampu mempertahankan aktifitas dan keragaman biota tanah. Tanaman memberikan masukan bahan organik melalui serasah yang tertimbun di permukaan tanah berupa daun dan ranting serta cabang yang rontok. Bagian akar tanaman memberikan masukan bahan organik melalui akar-akar dan tudung akar yang mati serta dari eksudasi akar. Biodiversitas dalam tanah berperan penting dalam keberlanjutan fungsi ekosistem, antara lain sebagai agen pendorong primer dalam siklus keharmonisan, mengatur dinamika bahan organik tanah dan penyerapan C. Bahan organik yang ada di permukaan tanah ini dan bahan organik yang telah ada di dalam tanah selanjutnya akan mengalami dekomposisi dan mineralisasi dan melepaskan hara tersedia ke dalam tanah. Istilah siklus hara ini di dalam sistem agroforestri sering diartikan sebagai penyediaan hara secara terus menerus (kontinyu) bila ditinjau dari konteks hubungan tanaman-tanah (Hairiah *et al.*, 2002).

Peran bahan organik tanah dalam mempertahankan ketersediaan hara dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman (biomasa pohon). Tanaman menyerap unsur hara dalam tanah melalui akar yang akan disebarkan keseluruh jaringan tanaman, serta dipengaruhi oleh beberapa faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman

seperti sinar matahari (proses fotosintesis), air, suhu udara, dan nutrisi yang tersimpan dalam tanah (Hardjowigeno, 1995).

Pola tanam yang cenderung monokultur pada hutan rakyat yang pada suatu saat akan dipanen menjadikan terjadinya emisi CO₂ ke atmosfer dalam jumlah banyak sehingga lahan menjadi *zero sink*. Sedangkan pada lahan agroforestri, dengan adanya penanaman beraneka jenis pohon (timber dan buah-buahan) dengan variasi umur yang berbeda di suatu lahan akan meningkatkan potensi lahan sebagai penyimpan karbon. *Zero sink* seperti yang terjadi pada perkebunan monokultur menjadikan agroforestri masih lebih baik bila dibandingkan dengan sistem monokultur.



VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

1. Cadangan karbon rata-rata tertinggi terdapat pada HR cengkeh dengan kisaran umur 20-38 tahun ($332,2 \text{ Mg ha}^{-1}$), sedangkan cadangan karbon terendah terdapat pada HR sengon landform karst dengan kisaran umur 3-4 tahun ($97,2 \text{ Mg ha}^{-1}$).
2. Biomassa pada landform vulkanik lebih besar daripada landform karst, sebagai indikatornya adalah tanaman sengon dimana besar biomasa pada landform vulkanik sebesar ($151,2 \text{ Mg ha}^{-1}$) sedangkan pada landform karst sebesar ($76,3 \text{ Mg ha}^{-1}$).
3. Kontribusi nekromasa, tumbuhan bawah, dan seresah, terhadap total cadangan karbon relatif kecil bila dibandingkan dengan kontribusi biomasa pohon. Cadangan karbon diatas permukaan tanah mengkontribusi sekitar 83% ($185,7 \text{ Mg ha}^{-1}$), sedangkan bahan organik tanah hanya mengkontribusi karbon sekitar 17% ($37,4 \text{ Mg ha}^{-1}$) saja.
4. Rata-rata cadangan biomasa sekitar 77% ($125,5 \text{ Mg ha}^{-1}$) dan tanah sekitar 23% ($37,4 \text{ Mg ha}^{-1}$).
5. *Time averaged C stock* pada HR sengon pada landform vulkanik dan karst sebesar (112 Mg ha^{-1}) dan (106 Mg ha^{-1}) dengan siklus tanam 8 tahun, HR jabon vulkanik sebesar (82 Mg ha^{-1}) dengan siklus tanam 8 tahun, serta HR cengkeh sebesar (247 Mg ha^{-1}) dengan siklus tanam selama 100 tahun.

6.2 Saran

1. Perlu penelitian lanjutan, dimana pengukuran lebih difokuskan pada karbon pohon yang umum ditemukan dengan variasi umur pohon yang berbeda. Apabila tidak memungkinkan maka perluasan daerah penelitian perlu dilakukan sehingga bisa mewakili cadangan karbon dalam satu siklus tanam.
2. Informasi sejarah tutupan lahan yang berhubungan dengan umur tanaman lebih diperhatikan. Supaya keakuratannya lebih tepat, guna mengetahui besar kandungan karbon.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, B.L., and B.F. Hajek. 1989. Mineral Occurrence in Soil Environment. p. 199–278. In J.B. Dixon and S.B. Weed (Eds.). Mineral in Soil Environments. 2nd ed. Soil Sci. Soc. Am. Madison, Wisconsin, USA.
- Baker, F.S., J.A. Helms., T.W. Daniel. 1987. Prinsip-Prinsip Silviculture. Terjemahan. Joko Marsono. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Brown, S. 1997. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer. (FAO Forestry Paper - 134). FAO, Rome.
- Departemen Kehutanan. 1995. Hutan Rakyat. Departemen Kehutanan RI. Jakarta.
- Dewi, W.S., K. Hairiah., D. Suproyogo. 2007. Layanan Ekologi Cacing Jenis Penggali Tanah Dalam Mempertahankan Makroporositas Tanah Lahan Pertanian Bekas Hutan. Prosiding HITI IX. Yogyakarta.
- Direktorat Jenderal RRL (Dirjen RRL). 1976. Pedoman Penanaman Mahoni (*Swietenia macrophylla King*). Departemen Pertanian. Jakarta.
- Djajakirana, G. 2002. Dampak Kebakaran Hutan Terhadap Kualitas Tanah Mineral dan Gambut. Jurusan Tanah. Fakultas Pertanian. IPB. Bogor.
- Djajapertjunda, S. 2003. Mengembangkan Hutan Milik di Jawa. Alqaprint Jatinangor. Bandung.
- Fiantis, D. 2006. Laju Pelapukan Kimia Debu Vulkanis G. Talang dan Pengaruhnya Terhadap Proses Pembentukan Mineral Liat Non-Kristalin. Universitas Andalas, Padang.
- Hairiah, K., A. Ekadinata., R.R. Sari., S. Rahayu. 2011. Petunjuk Praktis Pengukuran Cadangan Karbon dari Tingkat Lahan ke Bentang Lahan: World Agroforestry Centre.
- Hairiah, K., dan S. Rahayu. 2007. Petunjuk Praktis Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan: World Agroforestry Centre.
- Hairiah, K., S. Dewi., F. Agus., S. Velarde., M.van Noordwijk, dan S. Rahayu. 2010. Measuring of Carbon Stocks Across Land Use Systems: A Manual. The World Agroforestry Centre, ICRAF Southeast Asia.
- Hairiah, K., S. R. Utami., B. Lusiana, dan M. van Noordwijk. 2002. Bahan Ajar 6: Neraca Hara dan Karbon dalam Sistem Agroforestri.
- Hairiah, K., S. Rahayu, dan Berlian. 2006. Layanan Lingkungan Agroforestri Berbasis Kopi: Cadangan Karbon dalam Biomasa Pohon dan Bahan Organik Tanah (Studi Kasus di Sumberjaya, Lampung Barat). AGRIVITA, 28 (3): 298-309.
- Hairiah, K., S.M. Sitompul., M.van Noordwijk., C. Palm. 2001. Methods for Sampling Carbon Stocks Above and Below Ground. Bogor. Indonesia: ICRAF.
- Handayanto, E., K. Hairiah., Y. Nuraini., B. Prasetyo, dan F.K. Aini. 2006. Biologi Tanah. Fakultas Pertanian-Universitas Brawijaya. Malang.

- Hardjanto. 2000. Pengusahaan Hutan Rakyat di Jawa. Di dalam: Didik Suharjito, Penyunting. Hutan Rakyat di Jawa Peranannya dalam Perekonomian Desa. Bogor: Program Penelitian dan Pengembangan Kehutanan Masyarakat (P3KM), Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
- Hardjowigeno, S. 1987. Ilmu Tanah. PT. Melton Putra. Jakarta.
- Husch, B., C.I. Miller, and T.W. Beers. 1982. Forest Measurement. Jont Willey and sons. New York.
- International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF). 2007. Wood Density. <http://www.worldagroforestry.org/sea/index.asp>. Diakses pada tanggal 25 Desember 2012.
- Iswaran, V. 1980. A Laboratory for Agriculture Analysis. Today and Tomorrow's Printers and Publishers.
- Kusmana, C. 1993. A Study on Mangrove Forest Management Base on Ecological Data in East Sumatera, Indonesia [desertation]. Japan: Faculty of Agricultural, Kyoto University.
- Munir, M. 1996. Tanah Ultisol – Tanah Ultisol Di Indonesia. Pustaka Jaya. Jakarta.
- Mutuo, P.K., G. Cadisch, A. Albrecht, C. Palm, and L. Verchot. 2005. Potential of Agroforestry For Carbon Sequestration and Mitigation of Greenhouse Gas emissions From Soils in the Tropics. Nutrient cycling in Agroecosystems 71: 43 - 54.
- Ojo. 2003. Potensi Simpanan Karbon di Atas Permukaan Tanah pada Hutan Tanaman Jati di KPH Madiun. Bogor: Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
- Rahayu, S., B. Lusiana, M. van Noordwijk. 2007. Pendugaan Cadangan Karbon di Atas Permukaan Tanah pada Berbagai Sistem Penggunaan Lahan di Kabupaten Nunukan, Kalimantan Timur. Bogor: World Agroforestry Centre.
- Rajamuddin, U.A., Syamsul A.S., B. Radjagukguk. 2006. Karakteristik Kimiawi dan Mineralogi Tanah pada Beberapa Ekosistem Bentang Lahan Karst di Kabupaten Gunung Kidul. Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan Vol 6 (1) (2006) p: 1-12.
- Riyanto, H.D., R.P. Buanaputra. 2010. Model Pertumbuhan Tegakan Hutan Tanaman Sengon untuk Pengelolaan Hutan. Balai Penelitian Kehutanan Solo.
- Shoji, S., M. Nanzyo, dan R. Dahlgren. 1993. Productivity and Utilization of Volcanic Ash Soils. Developments in Soil Science. Volume 21: 209-251.
- Simon, H. 1995. Pokok-pokok Pikiran Tinjauan Ekonomi Pengembangan Hutan Rakyat, Dalam Proceeding Seminar Pengembangan Hutan Rakyat. Bangkinang, Riau. 10-11 April 1995, Riau.
- Soepardi, G. 1983. Sifat dan Ciri Tanah. Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor. Bogor.

- Suharjito, D. 2000. Hutan Rakyat di Jawa. Program Penelitian dan Pengembangan Kehutanan Masyarakat (P3KM). Fakultas kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
- Sukadaryati. 2006. Potensi Hutan Rakyat di Indonesia dan Permasalahannya. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan Bogor. http://www.dephut.go.id/files/HR_Permasalahan.pdf&w=potensi+hutan+rakyat [20 Februari 2013].
- Sutaryo, D. 2009. Penghitungan Biomassa. Sebuah Pengantar Untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon. Wetlands International Indonesia Programme. Bogor.
- Tan, K.H. 1982. Principles of Soil Chemistry. Marcel Dekker, Inc. Madison Avenue, New York.
- Tresnawan, H., dan U. Rosalina. 2002. Pendugaan Biomassa di Atas Tanah di Ekosistem Hutan Primer dan Hutan Bekas Tebangan (Studi Kasus Hutan Dusun Aro, Jambi). *Jurnal Manajemen Hutan Tropika* 8(1):15-29.
- Wada, K. 1989. Allophane and Imogolite. Ch. 21, p.1051-1087. In : JB Dixon and SB Weed (*ed*), *Minerals in Soil Environments*, 2nd Edition.
- Yefri, N. 1987. Struktur Pohon Hutan Bekas Tebangan di Air Gadang Pasaman. Tesis Sarjana Biologi. Padang: FMIPA-UNAND.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengukuran Cadangan Karbon di Lapangan



Lampiran 2. Deskripsi Wilayah Lokasi Penelitian

Landform	Kode Plot	Desa	GPS		Ketinggian (m dpl)	Umur Lahan (tahun)	
			x	y			
Vulkanik	Sengon 3-4	Argosari	0696012	9121269	653	3	
		Pamotan	'0689962	9093573	423	4	
		Pamotan	'0691782	9092233	426	3	
		Sumberkembar	'0694474	9091365	479	3	
		Sengon 3	Majantengah	'0688013	9094359	387	3
			Dampit	'0694126	9090989	471	3
		Jabon 3-6	Argosari	'0694972	9121167	591	3
			Argosari	'0694564	9121367	581	5
		Jabon 4	Wringianom	'0697552	9110205	769	4
		Jabon 3-4	Majantengah	'0688020	9094460	389	3
	Wringianom		'0697618	9109972	769	4	
Karst		Argosari	'0695971	9121533	636	4	
	Sengon 3-4	Argotirto	0685916	9083213	516	3	
		Argotirto	0686010	9083230	519	3	
		Argotirto	0685689	9083510	550	4	
		Argotirto	0685674	9083364	543	3	
		Argotirto	0685892	9083060	533	3	
		Argotirto	0686967	9079673	448	4	
		Cengkeh 20-28	Argotirto	0686010	9083230	519	20
			Argotirto	0686169	9079215	495	30
			Argotirto	0686861	9079907	469	25
			Argotirto	686967	9079673	448	38

Lampiran 3. Analisis Ragam Diameter Vulkanik

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Ulangan stratum	29	911.257	31.423	3.43	
Ulangan.*Units* stratum					
Umur	1	103.945	103.945	11.36	0.002
Residual	29	265.439	9.153		
Total	59	1280.641			

Lampiran 4. Analisis Ragam Diameter Karst

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Ulangan stratum	29	1055.963	36.413	22.28	
Ulangan.*Units* stratum					
Umur	1	7.507	7.507	4.59	0.041
Residual	29	47.399	1.634		
Total	59	1110.869			

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Ulangan stratum	29	224.9308	7.7562	9.53	
Ulangan.*Units* stratum					
Umur	1	7.7061	7.7061	9.46	0.005
Residual	29	23.6134	0.8143		
Total	59	256.2503			

Lampiran 5. Analisis Ragam Landform Vulkanik dan Karst

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Ulangan stratum	29	30804.35	1062.22	14.55	
Ulangan.*Units* stratum					
Landform	1	4054.38	4054.38	55.52	<.001
Residual	29	2117.58	73.02		
Total	59	36976.32			

Source of variation	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Ulangan stratum	29	389559.	13433.	1.54	
Ulangan.*Units* stratum					
Landform	1	96665.	96665.	11.05	0.002
Residual	29	253774.	8751.		
Total	59	739997.			

Lampiran 6. Peta Sebaran Titik Petak Pengukuran Cadangan Karbon

