

**ESTIMASI CADANGAN KARBON PADA BERBAGAI SISTEM  
AGROFORESTRI DI KAWASAN HUTAN DENGAN TUJUAN KHUSUS  
(KHDTK) UB**

Oleh:  
**MARIA ULFAH**  
**(145040201111200)**



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2018**

**ESTIMASI CADANGAN KARBON PADA BERBAGAI SISTEM  
AGROFORESTRI DI KAWASAN HUTAN DENGAN TUJUAN KHUSUS  
(KHDTK) UB**

**Oleh :**

**Maria Ulfah**

**145040201111200**

**PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI  
MINAT MANAJEMEN SUMBERDAYA LAHAN**

**SKRIPSI**

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

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS PERTANIAN**

**JURUSAN ILMU TANAH**

**MALANG**

**2018**



## PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini merupakan hasil dari penelitian saya sendiri, yang dibimbing oleh dosen pembimbing skripsi. Skripsi ini tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar di perguruan tinggi manapun dan sepanjang pengetahuan saya, juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali yang jelas ditunjukkan rujukan dalam skripsi ini dan yang telah disebutkan dalam daftar pustaka.

Malang, Juli 2018



Maria Ulfah

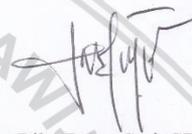
**LEMBAR PERSETUJUAN**

Judul penelitian : Estimasi Cadangan Karbon Pada Berbagai Sistem Agroforestri Di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) UB  
Nama Mahasiswa : Maria Ulfah  
NIM : 145040201111200  
Jurusan : Tanah  
Program Studi : Agroekoteknologi

Disetujui

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping II,



Prof. Ir. Kurniatun Hairiah, PhD

Rika Ratna Sari, SP., MP.

NIP. 195604101983032001

NIP. 2016098801302001

Diketahui,  
Ketua Jurusan



Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU

NIP. 195405011981031006

Tanggal Persetujuan :



LEMBAR PENGESAHAN

Mengesahkan

MAJELIS PENGUJI

Penguji I

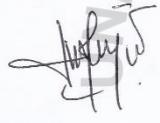
Penguji II

  
Dr. Ir. Retno Suntari, MS.  
NIP. 195805031983032002

  
Prof. Ir. Kurniatun Hairiah, PhD  
NIP. 195604101983032001

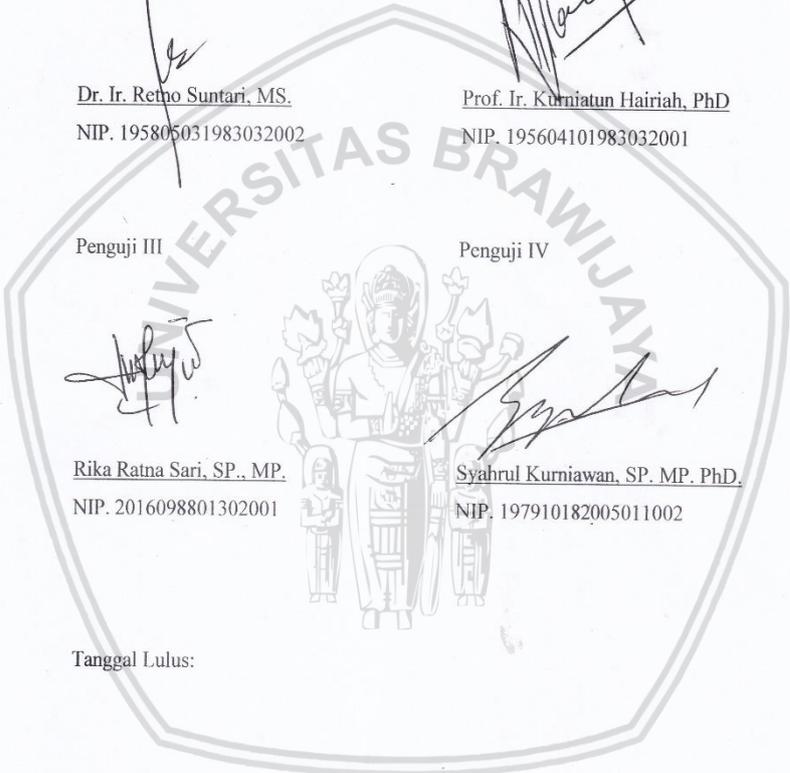
Penguji III

Penguji IV

  
Rika Ratna Sari, SP., MP.  
NIP. 2016098801302001

  
Syahrul Kurniawan, SP. MP. PhD.  
NIP. 197910182005011002

Tanggal Lulus:



LEMBAR PERSEMBAHAN



*Bismillahirrahmanirrahim  
Kupersembahkan  
Skripsi ini Kepada  
"Ayah, Ibu, Kakak serta Adik Ku Tercinta"*



## RINGKASAN

MARIA ULFAH. 1450402011111200. Estimasi cadangan karbon pada berbagai sistem agroforestri di kawasan hutan dengan tujuan khusus (KHDTK) UB. Di bimbing oleh Kurniatun Hairiah dan Rika Ratna Sari.

---

Kerusakan hutan melalui aktivitas deforestasi dan degradasi dapat berdampak negatif pada penurunan kemampuan hutan dalam menyerap karbon yang menyebabkan peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> di udara dan menimbulkan pemanasan global sebagai akibat efek gas rumah kaca (GRK). Konversi hutan menjadi lahan pertanian intensif dapat menyebabkan terbukanya siklus hara karena aktivitas pemanenan dan menyebabkan penurunan kesuburan tanah. Menurunnya tingkat kesuburan tanah dapat berakibat pada menurunnya pertumbuhan tanaman. Salah satu strategi mengendalikan perubahan iklim yang terjadi adalah dengan “mitigasi” konsentrasi gas rumah kaca yang ada di atmosfer dengan menggunakan sistem agroforestri. Pada awal tahun 2016, Universitas Brawijaya, Malang memperoleh 554,74 ha lahan KHDTK dari kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (LKH) yang digunakan untuk kepentingan penelitian dan pengembangan dalam bidang pendidikan. Terdapatnya berbagai macam keanekaragaman jenis tanaman yang ada pada kawasan UB *Forest*, maka perlu dilakukan penelitian mengenai potensi cadangan karbon yang mampu disimpan oleh tanaman.

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juli hingga Bulan September 2017 yang dilakukan di kawasan UB *Forest* yang terletak di 3 desa yaitu Desa Tawangargo, Desa Donowarih, dan Desa Ngenep kecamatan Karangploso Kabupaten Malang. Penentuan plot penelitian dilakukan berdasarkan kriteria umur tanaman pinus dan mahoni. Plot penelitian dibedakan atas jenis tanaman (pinus+kopi; pinus+semusim; mahoni+kopi; mahoni+semusim) dan 1 plot dengan jenis tanaman pinus+kopi yang memiliki umur 15 tahun sebagai kontrol. Setiap penggunaan lahan diulang 3 kali sehingga total plot pengamatan yaitu 15 plot dengan luas 20 x 20 m (menjadi 20 mx 100 m apabila terdapat pohon berdiameter >30 cm). Pengukuran cadangan karbon dilakukan dengan mengacu pada metode RaCSA (*Rapid Carbon Stock Appraisal*). Variabel yang diukur adalah biomassa pohon, tumbuhan bawah (*understorey*), seresah, nekromasa, BI, pH, dan total C-organik.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa cadangan karbon di berbagai macam SPL berbeda nyata dengan nilai cadangan karbon tertinggi terdapat pada sistem penggunaan lahan AFMS (411 Mg ha<sup>-1</sup>) sedangkan untuk nilai cadangan karbon terendah terdapat pada sistem penggunaan lahan AFPKM, AFPKT, AFPS, dan AFMK dengan nilai sebesar 238 Mg ha<sup>-1</sup>. Biomassa pohon memberikan kontribusi C terbesar dibandingkan dengan komponen lainnya yakni nilai 145 Mg ha<sup>-1</sup> – 313 Mg ha<sup>-1</sup> atau 65%, sisanya adalah berasal dari *understorey*, seresah, akar dan nekromassa. Sedangkan untuk bahan organik tanah menyumbang karbon sekitar 65 Mg ha<sup>-1</sup> – 101 Mg ha<sup>-1</sup> (atau sekitar 35%). Peningkatan populasi dan nilai LBD pohon (ukuran diameter pohon (DBH)>30 cm) cenderung diikuti dengan peningkatan total cadangan karbon di UB *Forest*. Keberadaan pohon besar (DBH>30cm) pada UB *Forest* berperan sangat penting untuk mempertahankan cadangan karbon lahan.

## SUMMARY

MARIA ULFAH. 1450402011111200. Carbon stocks estimation in various agroforestry system in UB Forest. Supervised by Kurniatun Hairiah and Rika Ratna Sari.

---

Deforestation and forest degradation lead to a negative impact on the declining of forest capability to store carbon. It can enhance the concentration of CO<sub>2</sub> in the atmosphere and trigger global warming as a result of greenhouse gas effect. Forest conversion into an intensive agricultural land use systems cause the cycle of nutrient opened due to harvesting activity. Gradually, it will followed by declining of soil fertility and plant growth. Agroforestry system broadly believe can mitigate the concentration of carbon dioxide through tree based land use systems. Education forest of Brawijaya University (554,74 ha) or UB Forest which is located in Malang District, majority was planted in agroforestry system that potentially sequest carbon and expect to have a high carbon .

This research was carried out in August to December 2017 in UB forest which is located in 3 vilages, namely Tawangargo, Donowarih, and Ngenep vilage, Karangploso sub-district, Malang District. Plots were selected based on age of pine and mahogany. There was 5 land use systems (LUS) i.e. pine+coffee (AFPKM and AFPKT); pine+annual crops (AFPS); mahogany+coffee (AFMK); mahogany+annual crops (AFMS) and pine+coffee 15 years as plot control. We measured three repetition each land use systems totally 15 plots with size of 20m x 20m (plot will enlarge become 20m x 100m if big tree with diameter >30cm was found in the plot). Carbon stocks were measured using Rapid Carbon Stock Appraisal (RaCSA) methods. Tree biomass, understorey, litter, necromass, bulk density, pH, texture, and C-organic were measured each plots.

The result showed that the total carbon stocks was significantly different among LUS. The highest carbon stock was found in AFMS (411 Mg ha<sup>-1</sup>), whereas the average of carbon stock in AFPKM, AFPKT, AFPS, and AFMK were 238 Mg ha<sup>-1</sup>. Tree biomass contribute mostly 65% from the total or 145 Mg ha<sup>-1</sup> – 313 Mg ha<sup>-1</sup>, the rest were composed by understorey, litter, root and necromass. Soil carbon stock in all plots ranged from 65 Mg ha<sup>-1</sup> - 101 Mg ha<sup>-1</sup> or 35% in average. Increase of tree population and basal area tend to followed by the increase of total stock carbon. The presence of big tree (DBH>30cm) was important to maintain carbon stock of the systems.

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbilalamin, kepada Allah SWT atas segala rahmat dan ridho-Nya sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Estimasi Cadangan Karbon Pada Berbagai Sistem Agroforestri Di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) UB**” dengan baik.

Sehubungan dengan penyusunan skripsi ini, penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu selama pelaksanaan dari awal sampai dengan selesainya penyusunan skripsi. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu, Ayah, kakak dan adik yang senantiasa memunajatkan doa dan memberikan motivasi untuk kesuksesan putrinya.
2. Ibu Prof. Ir. Kurniatun Hairiah, Ph.D selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan kesempatan dan ide penelitian, motivasi, bimbingan, dan masukan yang membangun dan bermanfaat dalam penyusunan laporan.
3. Ibu Rika Ratna Sari, SP. MP. selaku pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, evaluasi masukan serta semangatnya dalam penyusunan laporan.
4. Teman-teman Tim jelajah UB *Forest* (Anggi, Elok, Mas Yoga, Mba Elmi, Mba Ida, Mas Fajri) yang telah membantu dan memberikan semangat dalam pengambilan data, penyusunan data maupun saat penulisan skripsi ini.
5. BPOPTN Fakultas Pertanian yang menghibahkan dana melalui Ibu Prof. Ir. Kurniatun Hairiah, Ph.D dan Bapak Danny Dwi Saputra, SP. M.Si. sehingga bisa mendanai penelitian ini.
6. Bapak Syahrul Kurniawan, SP. MP. PhD. yang telah bersedia memberikan data sehingga memperlancar dalam penyusunan laporan.
7. Pihak UB *Forest* yang telah mengizinkan penulis untuk melakukan penelitian dan pengambilan data di lapang.
8. Laely Fatkhul H dan Kurnia Dessy A yang telah membantu dan memberikan semangat dalam penelitian ini.

9. Semua pihak yang terlibat baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah membantu dalam penyusunan laporan ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari masih banyak terdapat kekurangan dan keterbatasan dalam penulisan, oleh karena itu kritik dan saran dari berbagai pihak sangat penulis harapkan guna kesempurnaan laporan ini.

Malang, Juli 2018

Penulis

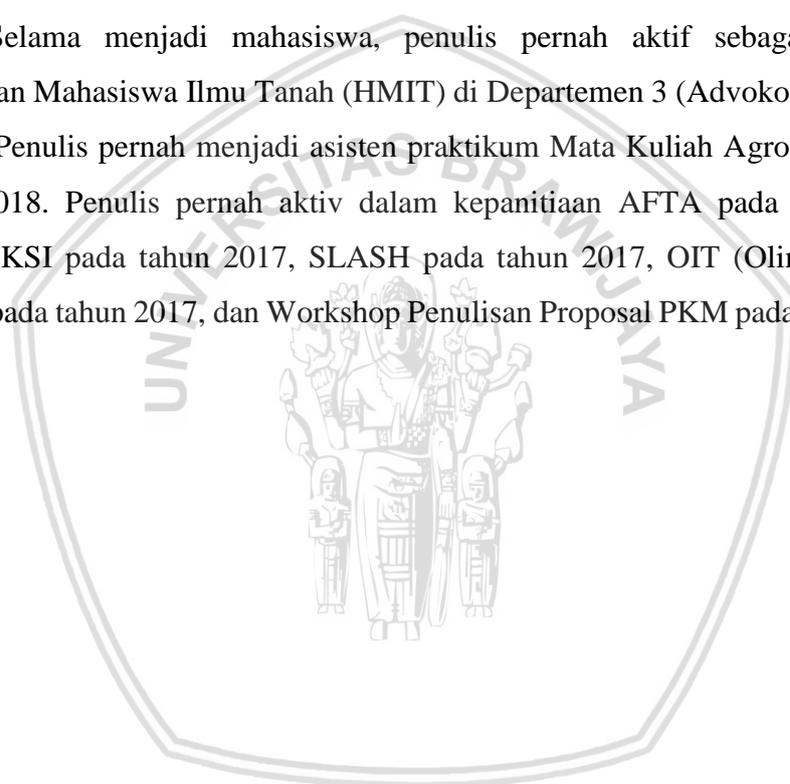


## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Kabupaten Lampung Tengah, Provinsi Lampung pada tanggal 10 Mei 1996 sebagai putri ke 2 dari 3 bersaudara. Penulis Lahir dari pasangan suami istri Bapak Karjono dan Ibu Dwi Ani Sulistiyorini.

Penulis menempuh pendidikan dasar di SDS Abadi Perkasa dari tahun 2002 hingga tahun 2008, kemudian penulis melanjutkan ke SMPS Abadi Perkasa 2008-2011, SMAS Sugar Group 2011-2014. Pada tahun 2014 penulis diterima sebagai mahasiswa Strata-1 Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang, Jawa Timur melalui jalur SNMPTN.

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah aktif sebagai Pengurus Himpunan Mahasiswa Ilmu Tanah (HMIT) di Departemen 3 (Advokom dan Minat Bakat). Penulis pernah menjadi asisten praktikum Mata Kuliah Agroforestri pada tahun 2018. Penulis pernah aktif dalam kepanitiaan AFTA pada tahun 2015, GATRAKSI pada tahun 2017, SLASH pada tahun 2017, OIT (Olimpiade Ilmu Tanah) pada tahun 2017, dan Workshop Penulisan Proposal PKM pada tahun 2017.



## DAFTAR ISI

Halaman

<b>RINGKASAN .....</b>	<b>i</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iii</b>
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>viii</b>
<b>I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan .....	4
1.4 Hipotesis .....	4
1.5 Manfaat .....	4
1.6 Alur Pikir .....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1. Peran agroforestri dalam menyerap karbon .....	5
2.2. Peran kerapatan vegetasi dalam sistem agroforestri dalam mempertahankan cadangan karbon lahan .....	6
2.3. Siklus Karbon.....	7
2.4. Kontribusi Biomassa Pohon dan tanah dalam menyimpan karbon .....	9
<b>III. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>11</b>
3.1. Tempat dan Waktu .....	11
3.2. Alat dan Bahan.....	12
3.3. Strategi Pengamatan.....	12
3.4. Variabel Pengamatan .....	12
3.5. Pelaksanaan Penelitian.....	13
3.6. Analisis Data.....	16
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>17</b>
4.1. Hasil .....	17
4.2 Pembahasan Umum .....	31
<b>V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>39</b>
5.1 Kesimpulan .....	39
5.2 Saran .....	39
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>40</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>45</b>

## DAFTAR TABEL

No	Teks	Halaman
1.	Potensi Serapan Karbon di Negara Tropis .....	8
2.	Variabel Pengamatan Penelitian .....	12
3.	Rumus allometrik pada agroforestri .....	14
4.	Estimasi total penyimpanan carbon pada suatu sistem penggunaan lahan (SPL) ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) .....	16
5.	Luas Bidang Dasar (LBD) Pada Sistem Penggunaan Lahan.....	20
6.	Karakteristik Tanah .....	27
7.	Cadangan Karbon Tanaman .....	28
8.	Hubungan antara struktur lahan dan jasa lingkungan pada system penggunaan lahan.....	32
9.	Hasil ANOVA Akar .....	45
10.	Hasil ANOVA LBD Pohon Besar .....	45
11.	Hasil ANOVA LBD Pohon Sedang .....	45
12.	Hasil ANOVA Biomassa Pohon Besar .....	45
13.	Hasil ANOVA Biomassa Pohon Sedang.....	46
14.	Hasil ANOVA Total Cadangan Karbon.....	46
15.	Hasil ANOVA Cadangan Karbon Tanah .....	46
16.	Hasil ANOVA Cadangan Karbon Tanaman .....	46
17.	Hasil ANOVA Nekromassa.....	46
18.	Hasil ANOVA Populasi.....	47
19.	Hasil ANOVA Seresah.....	47
20.	Hasil ANOVA <i>Understorey</i> .....	47
21.	Hasil ANOVA C-organik .....	47
22.	Hasil Korelasi Antar Variabel Pengamatan.....	48
23.	Data Curah Hujan Tahun 2012-2017 .....	50
24.	Geoposisi Plot Pengamatan .....	50

## DAFTAR GAMBAR

No	Teks	Halaman
1.	Alur pikir penelitian.....	4
2.	Hubungan cadangan karbon diatas permukaan tanah dan struktur diversitas.....	7
3.	Siklus karbon di dalam ekosistem hutan .....	9
4.	Siklus biomassa .....	10
5.	Peta administrasi UB <i>Forest</i> .....	11
6.	Skema Pengambilan contoh tumbuhan bawah .....	14
7.	Petak pengambilan contoh seresah .....	15
8.	(a) SPL agroforestri kopi dengan penaung mahoni dan (b) SPL agroforestri dengan penaung pinus .....	18
9.	(a) Agroforestri sederhana semusim dengan tegakan mahoni dan (b) Agroforestri sederhana semusim dengan tegakan pinus .....	19
10.	Sebaran ukuran DBH pada berbagai sistem penggunaan lahan .....	21
11.	Komposisi penyusun lahan pengamatan terdiri dari pohon penghasil buah dan kayu bangunan pada berbagai macam sistem penggunaan lahan di UB <i>Forest</i> .....	22
12.	Sebaran berat jenis kayu dan kumulasi basal area pada berbagai sistem penggunaan lahan di UB <i>Forest</i> .....	23
13.	Biomassa pohon besar pada berbagai system penggunaan lahan.....	24
14.	Biomassa pohon sedang pada berbagai sistem penggunaan lahan ....	24
15.	Biomassa tumbuhan bawah pada berbagai sistem penggunaan lahan.....	25
16.	Biomassa seresah pada berbagai sistem penggunaan lahan .....	26
17.	Nekromasa pada berbagai sistem penggunaan lahan .....	26
18.	Komponen penyusun cadangan karbon di atas permukaan tanah pada berbagai system penggunaan lahan di UB <i>Forest</i> .....	29
19.	Cadangan karbon di dalam tanah pada kedalaman berbeda pada berbagai sistem penggunaan lahan di UB <i>Forest</i> .....	30
20.	Total cadangan karbon pada berbagai macam sistem penggunaan lahan di UB <i>Forest</i> .....	31
21.	Perbandingan total cadangan karbon di berbagai daerah .....	34
22.	Hubungan antara populasi pohon terhadap cadangan karbon .....	35
23.	(a) Hubungan antara LDBbesar (DBH>30cm) terhadap nilai cadangan karbon di UB Forest (b) Hubungan antara LDBsedang (DBH<30cm) terhadap nilai cadangan karbon di UB Forest, dan (c) Hubungan antara LDBb+s terhadap nilai cadangan karbon di UB <i>Forest</i> .....	36
24.	Hasil analisis <i>multivariate</i> (biplot): Variabel total cadangan karbon, LBD total (LBD pohon besar dan pohon sedang), BI tanah dari semua sistem penggunaan lahan di UB <i>Forest</i> .....	37



**DAFTAR LAMPIRAN**

No	Teks	Halaman
1.	Analisis Ragam.....	45
2.	Korelasi Antar Variabel Pengamatan .....	48
3.	Dokumentasi Penelitian.....	49
4.	Data Curah Hujan 2012-2017.....	50
5.	Geoposisi Plot Pengamatan .....	50



## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Kerusakan hutan melalui aktivitas deforestasi dan degradasi dapat berdampak negatif terhadap kelestarian lingkungan seperti berkurangnya kelestarian fungsi ekologis tanah, air, pencemaran udara, dan ketersediaan plasma nuftah. Selain itu juga berdampak pada penurunan kemampuan hutan dalam menyerap karbon yang menyebabkan peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> di udara dan menimbulkan pemanasan global. Penebangan hutan dapat menyebabkan simpanan karbon terlepas ke atmosfer sebagai karbondioksida. Oleh karena itu, deforestasi diestimasi dapat melepaskan 1-2 milyar ton karbon per tahun sejak tahun 1990, dan menyebabkan 15-25% emisi gas rumah kaca. Selain itu deforestasi juga menimbulkan efek yang berbahaya bagi stabilisasi iklim selanjutnya (Gibbs *et al.*, 2007).

Konversi hutan menjadi lahan pertanian intensif menyebabkan siklus hara tertutup berubah menjadi terbuka, karena adanya aktivitas pemanenan yang menyebabkan penurunan kesuburan tanah. Menurunnya tingkat kesuburan tanah dapat berakibat pada menurunnya pertumbuhan tanaman. Arifin (2011) melaporkan bahwa konversi hutan menjadi lahan pertanian menyebabkan penurunan kualitas tanah yang disebabkan oleh (1) lahan menjadi semakin terbuka, sehingga erosi permukaan akan semakin tinggi, (2) intensitas penanaman yang tinggi akan menguras banyak unsur hara dan bahan organik tanah (Van Noordwijk *et al.*, 2004)., dan (3) penggunaan pestisida dan bahan kimia lainnya akan mencemari lingkungan.

Ekosistem hutan dan sistem berbasis pepohonan memiliki peranan penting dalam mengurangi gas karbon dioksida yang ada di udara melalui pemanfaatan gas CO<sub>2</sub> dalam proses fotosintesis (Indriyanto, 2006) dan menimbunnya dalam biomasa tumbuhan dan dalam tanah. Cadangan karbon mempunyai arti yang semakin penting, karena berperan dalam menambat karbon serta menyimpannya dalam jumlah yang besar (Mettay *et al.* 2006: (Tarnocai, *et al.*, 2009). Secara global, cadangan karbon tanah diperkirakan hampir tiga kali lipat cadangan karbon dalam biomassa (*above ground C stock*), dan sekitar dua kali lipat cadangan karbon di atmosfer (Lal, 2004: Eswaran *et al.*, 1993). Jika tidak dikonservasi dengan baik, cadangan karbon berpotensi menjadi sumber emisi gas rumah kaca (GRK) dan

dapat berkontribusi terhadap peningkatan konsentrasi GRK di atmosfer yang akan berdampak pada laju perubahan iklim. Oleh karena itu sebagai tindakan mitigasi terhadap terjadinya perubahan iklim, maka perlu dilakukan konservasi dan peningkatan cadangan karbon. Causarano *et al.* (2008) menyatakan bahwa manajemen lahan sangat menentukan tingkat cadangan karbon tanah.

Salah satu strategi mengendalikan perubahan iklim yang terjadi adalah dengan “mitigasi” konsentrasi gas rumah kaca (Verchot *et al.*, 2012) yang ada di atmosfer dengan menggunakan sistem agroforestri. Agroforestri merupakan suatu sistem pengelolaan lahan pertanian dengan intensitas gangguan mekanis relatif rendah sehingga dapat berperan dalam proses mitigasi (Utami, 2003). Kehilangan karbon tanah melalui erosi juga dapat ditekan, karena tingkat erosi pada system agroforestri relatif kecil dibanding sistem pertanian monokultur. Suplai bahan organik ke dalam tanah pada sistem agroforestri juga relatif lebih terjamin karena terdapat berbagai macam tumbuhan yang berbeda strata yang menghasilkan biomassa lebih dibandingkan dengan sistem pertanian monokultur. Agroforestri memberikan tawaran yang cukup menjanjikan untuk memitigasi GRK di atmosfer (IPCC, 2003; Van Noordwijk, 2004), karena pohon dan tanaman sela membutuhkan gas CO<sub>2</sub> untuk fotosintesis. Hasil fotosintesis tanaman ditimbun dalam biomassa tanaman dan tanah dalam biomassa tanaman dan tanah dalam kurun waktu yang lama mencapai 30-50 tahun.

Jumlah karbon yang disimpan tiap sistem akan berbeda karena jenis vegetasi memiliki pertumbuhan yang berbeda, sehingga kemampuan dalam menyerap dan menyimpan karbon juga berbeda (Hairiah *et al.*, 2011). Dalam penelitian Mantung (2012) karbon tersimpan dan nilai jasa serapan karbon hutan pinus pada HPT Batualu, diperoleh jumlah potensi aktual sebesar 422,35 Mg ha<sup>-1</sup> dan karbon tersimpan sebesar 194,28 Mg ha<sup>-1</sup> tanaman lainnya. Widiyanto *et al.* (2003) menyatakan bahwa bila ditinjau dari cadangan karbon, sistem agroforestri lebih menguntungkan daripada sistem pertanian berbasis tanaman musiman maupun hutan tanaman karena adanya pepohonan yang memiliki biomassa tinggi dan masukan seresah yang bermacam-macam kualitasnya serta terjadi secara terus-menerus. Walaupun peran agroforestri dalam mempertahankan cadangan karbon di daratan masih lebih rendah bila dibandingkan dengan hutan alam.

Awal tahun 2016, Universitas Brawijaya, Malang memperoleh 554,74 ha lahan KHDTK atau dikenal dengan nama UB *Forest* (di lereng bawah Gunung Arjuno) dari kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (LKH) yang digunakan untuk kepentingan penelitian dan pengembangan dalam bidang pendidikan. Sebelumnya, lahan tersebut dikelola oleh perhutani bersama masyarakat sekitar. Lahan tersebut ditanami pohon pinus dan mahoni (berumur sekitar 45 tahun), dibawah tegakan ditanami kopi atau dengan tanaman sayuran atau tanaman herbal (jahe) dengan pola tanam agroforestri sederhana.

Terdapatnya berbagai macam keanekaragaman jenis tanaman yang ada pada kawasan UB *Forest*, maka perlu dilakukan penelitian mengenai potensi cadangan karbon yang mampu disimpan oleh tanaman. Setelah mengetahui seberapa besar cadangan karbon yang dapat disimpan pada suatu lahan di kawasan UB *Forest* diharapkan dapat membantu memberikan informasi dasar dalam melakukan tindakan konservasi berikutnya terkait dengan pencegahan peningkatan emisi gas rumah kaca.

### 1.2. Rumusan Masalah

Sebagian besar jumlah karbon yang berasal dari makhluk hidup bersumber dari hutan. Seiring terjadinya kerusakan hutan, maka pelepasan karbon ke atmosfer juga terjadi sebanyak tingkat kerusakan hutan. Dalam pencegahan kehilangan jumlah karbon maka perlu dilakukannya perbaikan manajemen lahan di UB *Forest*. Sebelum melakukan perbaikan tersebut maka diperlukan data dan informasi mengenai keanekaragaman jenis tanaman dan cadangan karbon yang ada pada kawasan UB *Forest*. Karena adanya keterbatasan informasi mengenai jumlah cadangan karbon maka penelitian ini perlu dilakukan. Terdapat beberapa pertanyaan penelitian yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

- a. Berapa besar potensi simpanan karbon pohon dan tanah pada berbagai macam sistem agroforestri pada kawasan UB *Forest*?
- b. Apakah kerapatan pohon pada sistem agroforestri menentukan tingginya cadangan karbon?

### 1.3. Tujuan

Tujuan dari penelitian yang akan dilakukan adalah :

- a. Mengestimasi cadangan karbon pada sistem penggunaan lahan agroforestri di kawasan UB *Forest*.
- b. Mempelajari korelasi populasi pohon dengan cadangan karbon lahan agroforestri.

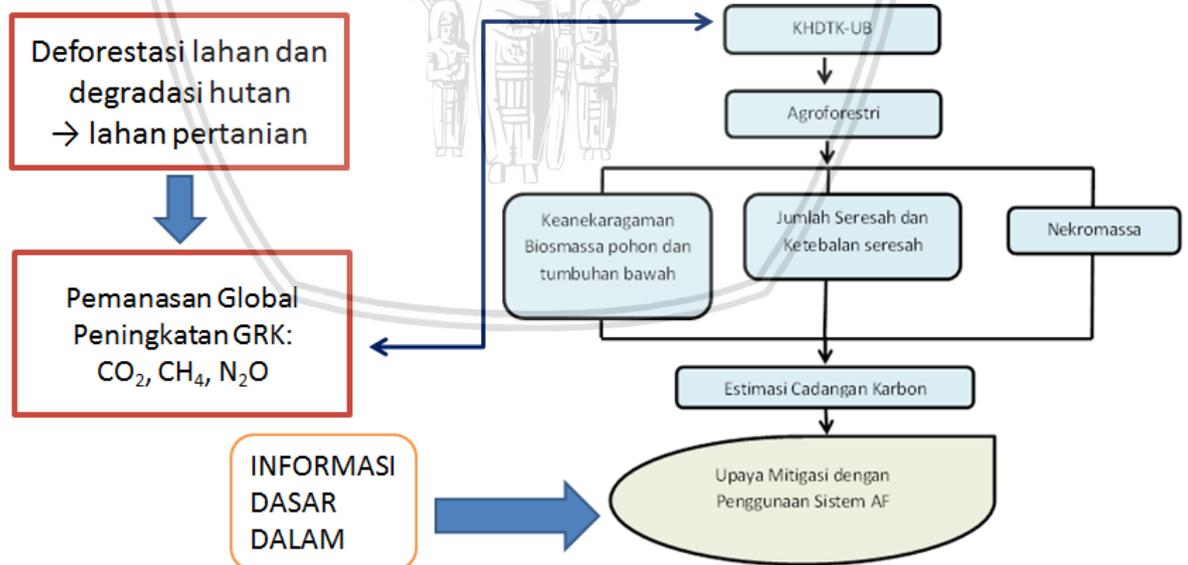
### 1.4. Hipotesis

Tingginya populasi pohon yang ditanam dalam sistem agroforestri diikuti oleh tingginya cadangan karbon.

### 1.5. Manfaat

Setelah didapatkan informasi tentang potensi cadangan karbon di berbagai sistem penggunaan lahan agroforestri, maka diharapkan dapat memberikan data dasar bagi pemegang kepentingan untuk menentukan aktivitas konservasi wilayah UB *Forest*.

### 1.6. Alur Pikir



Gambar 1. Alur pikir penelitian

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Peran agroforestri dalam menyerap karbon

Perubahan tata guna lahan dan peruntukkan lahan dianggap sebagai penyebab pelepasan CO<sub>2</sub> ke atmosfer. IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) memperkirakan CO<sub>2</sub> yang terlepas akibat adanya deforestasi sekitar 2.563 MtCO<sub>2</sub>. Sekitar 24 juta ton cadangan karbon tersimpan di vegetasi dan tanah. Laju kehancuran hutan di Indonesia sangat cepat, dari 600.000 ha per tahun (tahun 1980an) menjadi sekitar 1,6 juta ha (akhir tahun 1990) mengakibatkan menurunnya tutupan hutan 129 juta ha (tahun 1990) menjadi 82 juta ha (tahun 2000), sehingga Indonesia mengalami penurunan daya serap CO<sub>2</sub> setiap tahunnya.

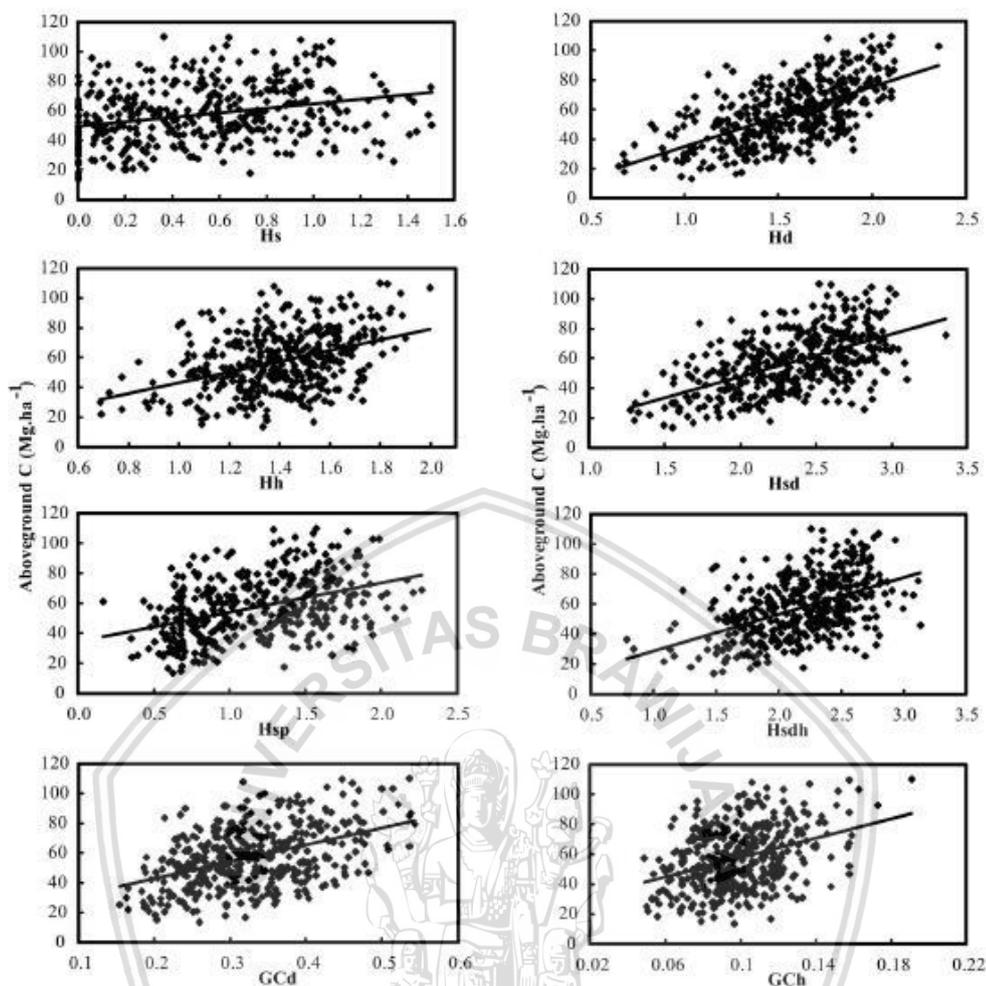
Sehubungan dengan perubahan iklim, sistem agroforestri diperkirakan memiliki potensi yang tinggi dalam penyerapan karbon di atmosfer. Menurut Utami *et al.* (2003) agroforestri adalah salah satu sistem pengolahan lahan yang berfungsi produktif dan protektif. Sistem agroforestri berkontribusi mengurangi peningkatan CO<sub>2</sub> atmosfer dan gas rumah kaca lainnya dengan cara meningkatkan karbon dalam tanah dan mengurangi tekanan untuk pembukaan lahan hutan, dimana karbon yang berasal dari CO<sub>2</sub> tersebut diambil oleh tanaman dan disimpan dalam bentuk biomassa.

Sistem agroforestri sangat berperan dalam penyerapan karbon. Hal ini dibuktikan oleh Hairiah *et al.* (2006) dalam studi kasus cadangan karbon yang dilakukan di Sumberjaya, Lampung Barat yang menyatakan bahwa adanya peningkatan sistem agroforestri berbasis kopi multistrata 10 Mg ha<sup>-1</sup> pada satu periode kopi 25 tahun. Agroforestri merupakan suatu sistem pola tanam berbasis pohon yang dapat mempertahankan cadangan karbon (*C-stock*) karena adanya akumulasi C yang cukup tinggi dalam biomassa pepohonan. Selain dari pada itu sistem ini dapat mengurangi emisi gas bila dibandingkan dengan sistem pertanian monokultur (Ketterings, 2001).

## 2.2. Peran kerapatan vegetasi dalam sistem agroforestri dalam mempertahankan cadangan karbon lahan

Agroforestri merupakan salah satu praktek manajemen agroekosistem yang mengkombinasikan tanaman semusim dan pohon, atau campuran berbagai jenis pohon dalam suatu lahan dengan atau tanpa ternak. Keanekaragaman jenis dan populasi pohon yang cukup tinggi dengan strata kanopi yang beragam memiliki beberapa peranan yang sangat penting, antara lain (1) berpotensi dalam menyimpan karbon, (2) sebagai tanaman penayang untuk mengurangi evapotranspirasi, (3) mengontrol erosi dan (4) menjaga siklus nutrisi (Van Noordwijk *et al.*, 2004). Besarnya karbon yang dapat disimpan oleh sistem agroforestri ditentukan oleh komponen penyusun lahan seperti jenis pohon, jumlah, dan umur pohon (ukuran diameter pohon)

Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak ada hubungan antara tingginya keanekaragaman suatu sistem dengan jumlah cadangan karbonnya. Hasil penelitian Natalia *et al.* (2017) menyebutkan bahwa terdapat hubungan yang lemah antara index keanekaragaman jenis dengan cadangan karbon diatas permukaan tanah di sistem agroforestri di daerah Pulang Pisang, Kalimantan Tengah. Hasil ini serupa dengan hasil penelitian Markum *et al.* (2015). Namun demikian beberapa peneliti telah melaporkan hubungan positif antara keanekaragaman jenis dan biomassa tanaman (Vil'A *et al.*, 2007). Ishii *et al.* (2004) juga menyatakan bahwa kompleksitas struktural justru dapat meningkatkan pertumbuhan dengan mempromosikan pemanfaatan sumber daya komplementer antara spesies tanaman. Temuan ini konsisten dengan, hubungan positif antara produktivitas tanaman dan keanekaragaman spesies tanaman (Balvanera *et al.*, 2006) Wang *et al.* (2011) menyatakan bahwa cadangan karbon diatas tanah meningkat dengan meningkatnya keragaman jenis pohon (Gambar 2).



Gambar 2. Hubungan cadangan karbon diatas permukaan tanah dan struktur diversitas (Wang *et al.*, 2011)

Henry *et al.* (2009) telah meneliti mengenai pengaruh biodiversitas vegetasi permanen terhadap cadangan karbon di atas permukaan tanah (*aboveground*) di lahan pertanian di Kenya Barat mengemukakan bahwa cadangan karbon cenderung lebih tinggi pada sistem penggunaan lahan yang mempunyai diversitas tanaman tahunan lebih tinggi karena plot yang lebih besar cenderung memiliki lebih banyak pohon sehingga C lebih banyak tersimpan di pohon-pohon, dan terdapat berbagai macam jenis pohon yang berbeda yang tumbuh.

### 2.3. Siklus Karbon

Karbon adalah unsur kimia yang paling utama dari bahan organik yang mengontrol reproduksi genetik dalam organisme. Karbon disimpan dalam bumi dalam bentuk: (1) Molekul organik dalam organisme mati yang ditemukan di

biosfer, (2) gas karbon dioksida di atmosfer, (3) Bahan Organik dalam tanah, (4) Dalam litosfer sebagai bahan bakar fosil dan deposit batuan sedimen seperti batu gamping, dolomit, dan kapur, dan (5) di lautan sebagai karbon dioksida terlarut atmosfer dan sebagai kerang kalsium karbonat di laut (Pdwirniy, 2006).

Karbon merupakan komponen penting penyusun biomassa tanaman, kandungan karbon sekitar 45-50% bahan kering dari tanaman (Brown, 1997). Tempat penyimpanan karbon adalah biomassa pohon (termasuk bagian atas yang meliputi batang, cabang, ranting, daun, bunga dan buah; bagian bawah yang meliputi akar), bahan organik mati (nekromassa), serasah, tanah, dan yang tersimpan dalam bentuk produk kayu (Snowdown *et al.*, 2002). Jumlah karbon yang diserap oleh hutan untuk dikelola lebih lanjut ditentukan oleh jumlah karbon pada biomassa tegakan, jumlah karbon yang tersisa di bawah permukaan tanah pada akhir rotasi, dan jumlah karbon yang tersimpan di dalam produk yang terbentuk dari pemanenan kayu (Johnsen *et al.*, 2001).

Tabel 1. memperlihatkan potensi serapan karbon berdasarkan jenis praktek kehutanan. Brown dan Gaston (1996); Nair dan Nair (2002); dan Cacho *et al.* (2003) mengemukakan bahwa praktek hutan rakyat (*agroforestry*) dan hutan tanaman di negara tropis memiliki potensi besar dalam menyerap karbon yaitu sebesar 6,3 dan 16,4 GtC.

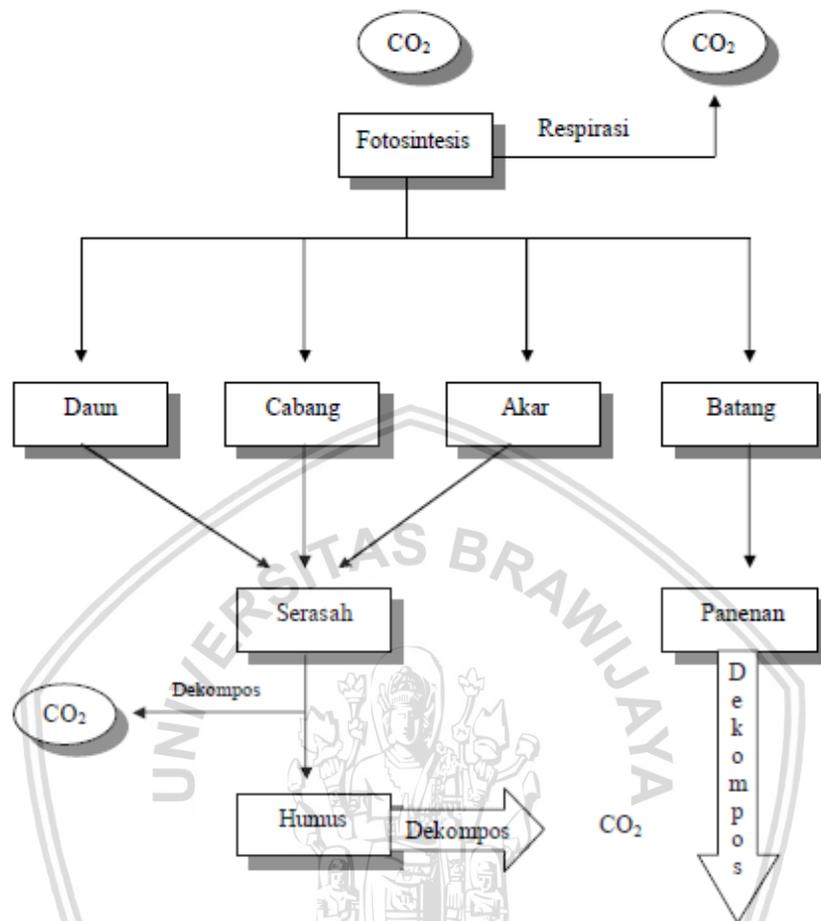
Tabel 1. Potensi Serapan Karbon di Negara Tropis

Sumber Penelitian	Jenis Praktek Kehutanan		
	Hutan Tanaman (GtC)	Agroforestri (GtC)	Hutan Regenerasi (GtC)
Trexler&Haugen 1994	2,0 – 5,0	0,7 – 1,6	9,0 – 23,0
Brown & Gaston 1996	16,4	6,3	11,5 – 28,7

Sumber : Cacho *et al.* 2003.

Pada atmosfer bumi karbondioksida terdapat dalam kepekatan rendah sekitar 0,03%, tetapi CO<sub>2</sub> ini memainkan peranan yang penting dalam iklim bumi. Radiasi sinar matahari yang masuk mempunyai panjang gelombang yang berbeda-beda pada saat mengenai bumi, sehingga sebagian besar energi diubah menjadi radiasi inframerah. Karbondioksida memainkan peranan dalam mengatur suhu bumi dengan menyerap dan mencegah radiasi inframerah. Karbondioksida tersimpan dalam organisme yang masih hidup dan yang telah mati seperti pada

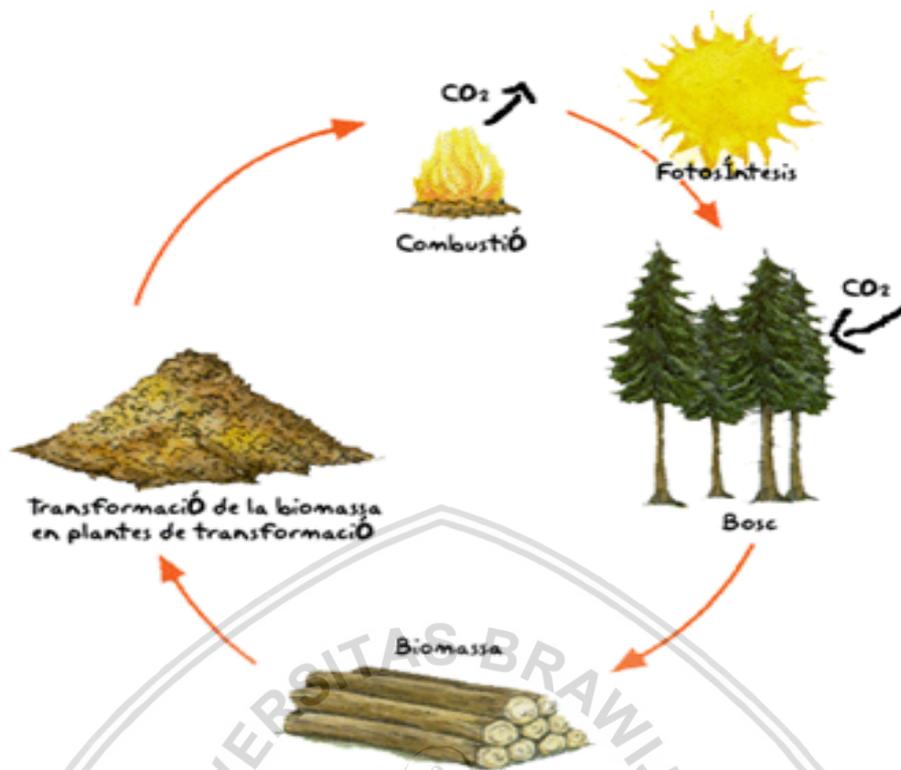
siklus karbon berikut:



Gambar 3. Siklus karbon di dalam ekosistem hutan (Naburus dan Mohren, 1995)

#### 2.4. Kontribusi Biomassa Pohon dan tanah dalam menyimpan karbon

Menurut (Brown, 1997) biomassa merupakan jumlah bahan organik yang di produksi oleh organisme (tumbuhan) per satuan unit area pada suatu saat. Biomassa bisa dinyatakan dalam ukuran berat, seperti berat kering dalam satuan gram. Unit satuan biomassa adalah gram per m<sup>2</sup> atau ton per hektar, sedangkan laju produksi biomassa adalah laju akumulasi biomassa dalam kurun waktu tertentu, sehingga unit satuannya dinyatakan per satuan waktu, misalnya kg per ha per tahun (Barbour *et al.*, 1987). Biomassa dalam suatu komunitas hutan terdapat di atas dan di bawah permukaan tanah (*above and below ground biomass*).



Gambar 4. Siklus biomassa (White dan Plaskett, 1981)

Pada dasarnya pengukuran biomassa di atas tanah mencakupi tiga tahap kegiatan, yaitu:

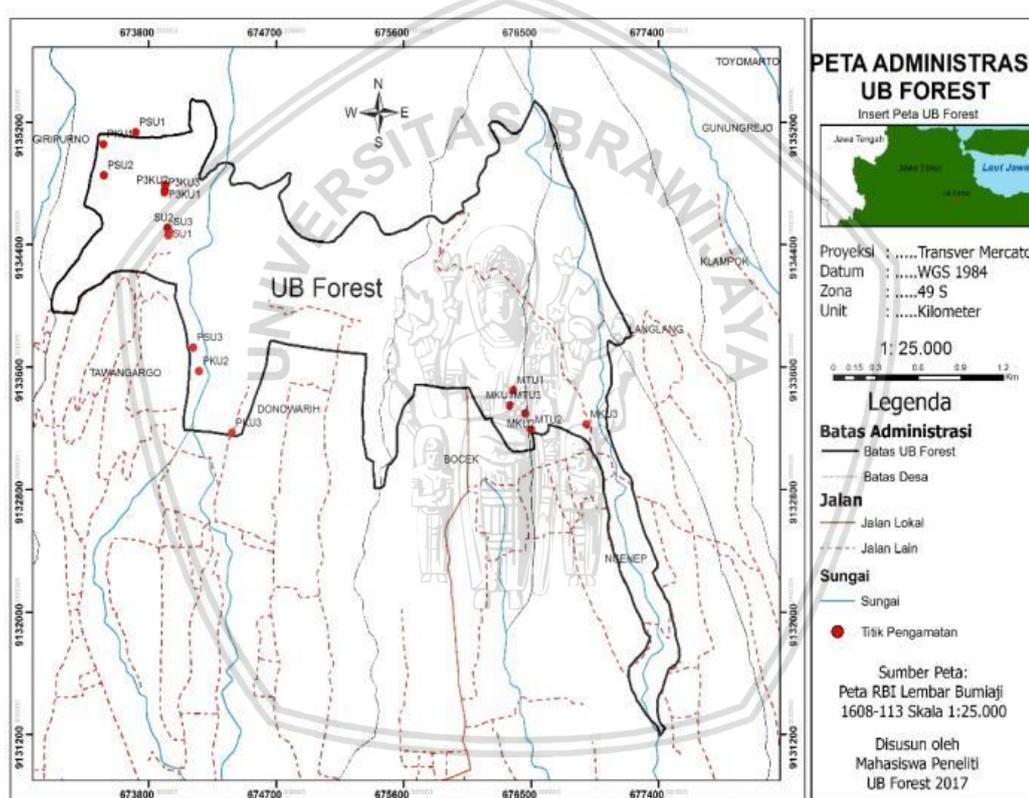
1. Membuat plot contoh pengukuran (transek pengukuran)
2. Mengukur biomassa pohon
3. Mengukur biomassa tumbuhan bawah

Untuk mengurangi kerusakan selama proses pengukuran, biomassa pohon dapat diestimasi dengan menggunakan persamaan alometrik. Informasi tentang kandungan biomassa dalam suatu pohon sangat penting dalam kegiatan pengelolaan karena dapat dianggap sebagai sumber dan sinks dari karbon serta memberi manfaat jasa lingkungan. Kandungan biomassa pada tiap-tiap bagian pohon berbeda misalnya pada pohon komersil umumnya terdiri dari batang pohon (60-65%), tajuk (5%), daun dan cabang (10-15%) dan akar (5%). Pada bagian batang memiliki komposisi selulosa 50%, hemiselulosa 20% dan lignin 30% (White dan Plaskett, 1981).

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Tempat dan Waktu

Penelitian dilaksanakan di berbagai sistem penggunaan lahan yang ada di wilayah KHDTK-UB di kaki Gunung Welirang, Kecamatan Karangploso (Koordinat  $7^{\circ}49'300''$ – $7^{\circ}51'363''$  LS dan  $112^{\circ}34'378''$ – $112^{\circ}36'526''$  BT) yang meliputi tiga desa yaitu, Desa Tawangargo, Donowarih, dan Desa Nnggenep (Gambar 5); pada bulan Agustus-Desember 2017. Analisis Laboratorium dilaksanakan di laboratorium Fisika, Kimia, dan Biologi Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya.



Gambar 5. Peta administrasi UB Forest (Sumber: Sudarto, 2016)

### 3.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan yaitu GPS (*Global Positioning System*), meteran 50 m, pita meteran, blok besi, palu karet, frame seresah, timbangan, ayakan, labu erlenmeyer, pipet tetes, buret, oven, alat tulis dan kamera.

Bahan yang digunakan yaitu peta (tutupan lahan, sebaran umur pohon dan sebaran jenis tanah), tali rafia, larutan  $K_2Cr_2O_7$ , larutan  $H_2SO_4$ , larutan  $H_3PO_4$  85%, aquades, indikator defenilamina,  $FeSO_4$ , dan contoh tanah.

### 3.3. Strategi Pengamatan

Pengamatan dilakukan pada berbagai keragaman penggunaan lahan dengan jalan melakukan survey di berbagai penggunaan lahan.

Sumber keragaman (SK) 1 : Jenis Penggunaan Lahan

1. Af Pinus+Kopi umur 15 th
2. Af Pinus+kopi umur 35 th
3. AF Pinus+Sayuran 35 th
4. AF Mahoni+ Sayuran 35 th
5. AF Mahoni+Kopi 35 th

Pengukuran diulang 3x di tempat yang berbeda.

### 3.4. Variabel Pengamatan

Tabel 2. Variabel Pengamatan Penelitian

Aspek	Pengukuran	Jenis Pengukuran
1. Tanaman	Populasi dan biomasa pohon Biomasa tumbuhan bawah	Jenis, jumlah pohon, DBH pohon Berat masa tumbuhan bawah, $kg\ m^{-2}$
2. Nekromasa & Seresah	Berat masa nekromasa	Diameter batang mati, Berat masa seresah, $kg\ m^{-2}$
3. Tanah Kedalaman 0-10, 10-20 dan 20-30 cm	Berat masa tanah, kandungan C organik	BI, BJ, tekstur, pH dan total C-organik (%)

### 3.5. Pelaksanaan Penelitian

Pengukuran cadangan karbon di UB *Forest* dilakukan mengikuti standard prosedur RaCSA (*Rapid Carbon Stock Appraisal*) (Hairiah *et al.*, 2011) dengan tahapan sebagai berikut:

#### 3.5.1. Penetapan Plot Pengamatan

Pengukuran dilakukan pada petak berukuran 20 m x 20 m = 400 m<sup>2</sup> untuk plot Agroforestri. Apabila terdapat pohon dengan diameter batang > 30 cm atau lingkaran batang > 95 cm, ukuran petak pengamatan harus diperbesar menjadi 20 m x 100 m = 2000 m<sup>2</sup> (Hairiah *et al.*, 2011). Ada 5 pool karbon yang diukur adalah Biomasa pohon dan tumbuhan bawah, nekromasa dan seresah permukaan serta kandungan C-organik tanah.

#### 3.5.2. Pengukuran Biomassa Pohon

Biomasa pohon dapat diukur dengan cara menaksir volume pohon dengan mengukur diameter pohon (DBH), sedang akar tanaman diestimasi menggunakan nilai terpasang (*default value*), untuk nisbah tajuk:akar di daerah lembab adalah 4:1.

Penghitungan biomasa pohon dilakukan dengan mengintegrasikan data DBH ke dalam persamaan *allometric generic* khusus untuk pohon bercabang di daerah tropika basah (curah hujan rata-rata 1500-4000 mm th<sup>-1</sup>) dari Chave *et al.*, (2005) dengan rumus sebagai berikut:

$$(AGB)_{est.} = r \cdot \exp(-1.499 + 2.148 \ln(D) + 0.207 (\ln(D))^2 - 0.0281 (\ln(D))^3), \text{ kg/pohon}$$

Keterangan:

AGB = Biomasa pohon di atas tanah;

D = Diameter batang (cm); r kerapatan jenis kayu (g cm<sup>-3</sup>).

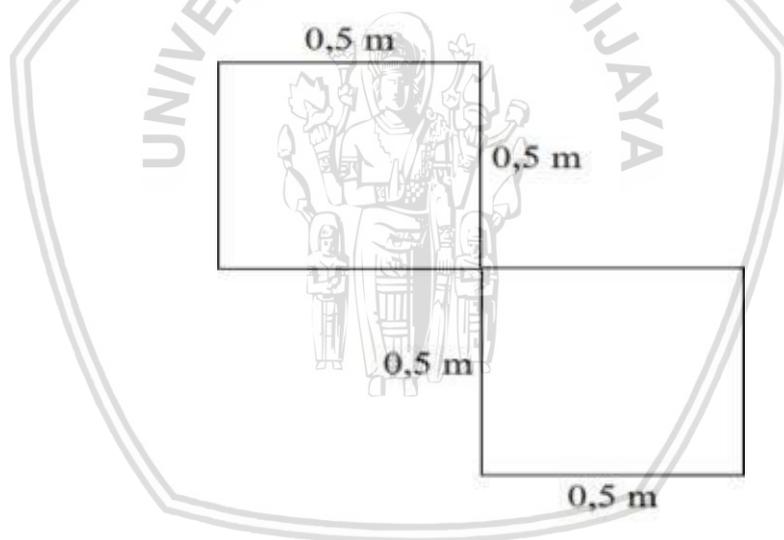
Persamaan allometrik pada sistem agroforestri berbeda berbeda dengan tumbuhan di hutan. Hal tersebut dikarenakan pada manajemen pengelolaannya agroforestri dipengaruhi oleh pemangkasan, pengaturan jarak tanam, pemupukan dan penyiangan. Berikut adalah rumus-rumus allometrik pada agroforestri berdasarkan buku “Pengukuran Cadangan Karbon: dari Tingkat Lahan ke Bentang Lahan” yang ditulis oleh Hairiah, *et al.* (2011):

Tabel 3. Rumus allometrik pada agroforestri

Jenis Pohon	Rumus Allometrik	Sumber
Kopi dipangkas	$(AGB)_{est} = 0.281 D^{2.06}$	Arifin, 2001
Kakao	$(AGB)_{est} = 0.1208 D^{1.98}$	Yiliasmara, <i>et al.</i> , 2009
Pisang	$(AGB)_{est} = 0.030 D^{2.13}$	Arifin, 2001
Sengon	$(AGB)_{est} = 0.0272 D^{2.831}$	Sugiharto, 2002

### 3.5.3. Biomassa Tumbuhan Bawah (*Understory*)

Pengambilan biomassa tumbuhan bawah dilakukan secara destruktif. Tumbuhan bawah yang diambil sebagai contoh adalah semua tumbuhan hidup berupa pohon berdiameter < 5 cm, herba dan rumput-rumputan (Hairiah *et al.*, 2011) yang diambil dari sub-plot pengamatan berukuran 0,5 m x 0,5 m di dalam sub plot utama dengan ukuran 20m x 20m (untuk agroforestri).



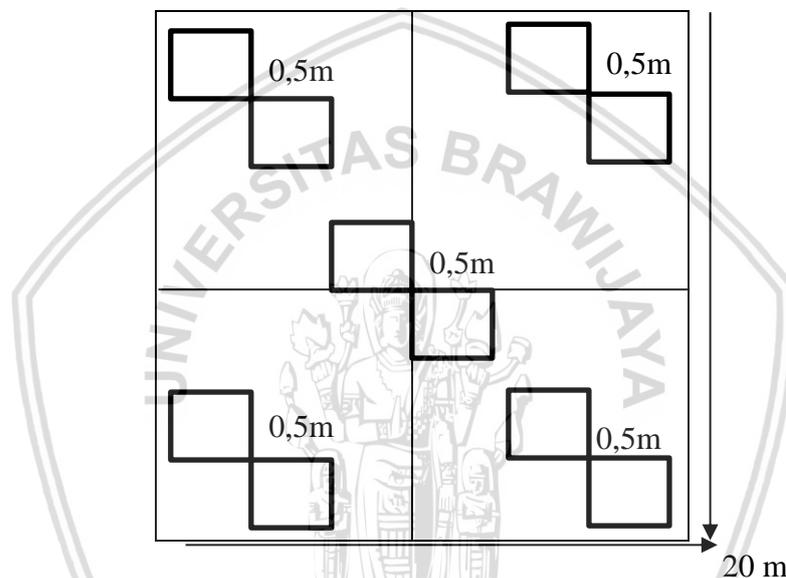
Gambar 6. Skema Pengambilan contoh tumbuhan bawah

### 3.5.4. Nekromassa

Pengambilan contoh nekromasa (bagian tanaman mati) dilakukan pada permukaan tanah yang masuk dalam plot kecil (20 m x 20 m) dan/atau plot besar (20 m x 100 m). Pengambilan contoh nekromasa yang berdiameter antara 5 cm hingga 30 cm dilakukan pada plot kecil, sedangkan batang berdiameter >30 cm dilakukan pada plot besar.

### 3.5.5. Seresah dan *Understorey*

Pengambilan seresah dilakukan pada plot utama 20x20 m pada tiap kuadran. Pengambilan contoh seresah dilakukan dengan menggunakan ukuran 50x50 cm. Pengukuran ketebalan seresah dilakukan sebanyak tiga titik pada setiap kuadran. Kemudian memisahkan contoh seresah berdasarkan jenisnya, yaitu daun, ranting, dan *understorey*. Contoh seresah kemudian ditimbang untuk mengetahui berat basahnya lalu di oven dengan suhu 85°C selama 48 jam. Setelah kering oven kemudian ditimbang kembali untuk mengetahui berat kering.



Gambar 7. Petak pengambilan contoh seresah

### 3.5.6. Pengambilan Contoh Tanah

Pengambilan contoh tanah dilakukan dengan 2 metode: contoh tanah terganggu (untuk analisis karakteristik kimia) dan contoh tanah utuh (untuk penetapan BI tanah). Contoh tanah diambil pada kedalaman 0-10 cm, 10-20 cm, dan 20-30 cm pada titik yang sama dengan titik pengambilan contoh seresah dan tumbuhan bawah. Contoh tanah dari 5 titik dicampur rata per kedalaman untuk dianalisis pH, total C-organik, dan tekstur tanahnya.

Pengambilan contoh tanah utuh dilakukan menggunakan blok besi berukuran 20 cm x 20 cm x 10 cm pada tiap plot perwakilan. Contoh tanah diambil pada kedalaman (0-10 cm, 10-20 cm dan 20-30 cm), contoh tanah ditimbang berat basahnya, diambil contohnya dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C, ditimbang berat keringnya, sehingga bisa dihitung berat isi tanah (BI).

### 3.5.7. Perhitungan Cadangan Karbon Per Lahan

Semua data (total) biomasa pohon dan tumbuhan bawah dan nekromasa per lahan dimasukkan ke dalam Tabel 4 yang merupakan estimasi akhir jumlah C tersimpan per lahan. Perhitungan jumlah karbon tersimpan diperoleh dengan mengalikan nilai biomasa dikalikan dengan rata-rata kandungan karbon tanaman yaitu 0.46 (*default value*). Total karbon per lahan dapat diperoleh dengan menjumlahkan semua cadangan C dari berbagai komponen penyusun lahan.

Tabel 4. Estimasi total penyimpanan carbon pada suatu sistem penggunaan lahan (SPL) ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )

SPL	Biomasa ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) (I)	Akar, ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) (II)	Tumbuhan bawah ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) (III)	Nekromas ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) (IV)	Seresah ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) (V)	Total biomasa = <b>I+II+III+IV+V</b> ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	% C	Total Cadangan <b>C = Total x % C</b> ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) (VI)	Tot. C tanah, ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) (VII)	Total cadangan C ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) (VIII)
....	....	....	....	....	....	....	...	....	....	....

### 3.6. Analisis Data

Pengaruh perlakuan akan dianalisis dengan menggunakan program pengolah data *GenStat 18 edition*. Sebelum seluruh data dilakukan dianalisis keragamannya, dilakukan uji normalitas terlebih dahulu. Uji korelasi dilakukan untuk mengetahui pengaruh antar variabel. Apabila terdapat korelasi antar variabel, maka akan di dilanjutkan dengan uji regresi untuk mengetahui pola hubungannya. Uji *multivariate* (Biplot) dilakukan untuk mengetahui variabel yang berpengaruh terhadap cadangan karbon.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Hasil

#### 4.1.1. Sejarah Plot Penelitian

Lahan KHDTK-UB terletak di kawasan pegunungan Volkanik tua tepatnya berada di lereng bawah Gunung Arjuno-Welirang. Lahan KHDTK-UB memiliki luas 544 ha dengan relief berombak dan kelerengan yang beragam mulai miring hingga sangat curam dengan kelerengan 15% hingga >60%. Penggunaan lahan di KHDTK-UB terdiri atas dua penggunaan lahan yaitu hutan konservasi dan hutan produksi. Skema pengelolaan lahan di kawasan tersebut dilakukan secara multifungsi yaitu sebagai area konservasi, area penelitian dan pengembangan, area pendidikan dan latihan, area hutan produksi, dan hutan ekonomi. Sebelumnya, lahan tersebut dikelola oleh perhutani bersama masyarakat sekitarnya. Wilayah KHDTK-UB sebagian besar ditanami pohon pinus dan mahoni, dengan tumbuhan bawah di tanami kopi, sayuran atau herbal (jahe) oleh masyarakat sekitar. Secara teknis pola tanam di KHDTK-UB mengikuti pola agroforestri sederhana. Masyarakat yang bertempat tinggal di sekitar KHDTK-UB diperbolehkan menggunakan lahan di bawah tegakan pohon untuk ditanami namun tidak boleh merusak tanaman utama. Hasil produksi dari agroforestri tersebut digunakan sebagai pemenuhan kebutuhan sehari-hari seperti, untuk dijual ataupun dikonsumsi sendiri.

##### 4.1.1.1. Sistem Penggunaan Lahan Agroforestri Kopi

Sebagian besar wilayah KHDTK-UB termasuk dalam kategori agroforestri sederhana. Sistem penggunaan lahan tersebut sudah ada sejak kawasan UB *Forest* dikelola oleh Perhutani sebagai hutan produksi sekitar 40 tahun yang lalu. Sebelumnya, petani diperbolehkan untuk menanam jenis tanaman apa saja (contohnya: tanaman semusim) oleh perhutani. Namun dalam pelaksanaannya terdapat beberapa persyaratan yang harus dipenuhi seperti, petani diharuskan melakukan penyadapan getah pohon pinus sebagai ganti sewa lahan. Sejak 10-20 tahun yang lalu, perhutani menganjurkan petani untuk menanam tanaman kopi dibawah tegakan pinus dan mahoni. Namun disaat umur kopi berusia muda sekitar 0-2 tahun dan kanopi pohon penayang belum terlalu rapat, petani melakukan penanaman tanaman sela seperti cabai, terung.

Manajemen pengelolaan lahan agroforestri kopi tidak begitu intensif seperti halnya lahan agroforestri semusim ataupun pun lahan semusim. Pada lahan agroforestri kopi, sebagian petani lebih memilih melakukan pemupukan menggunakan pupuk kandang dan masukan seresah. Selanjutnya, ketika pertumbuhan kopi semakin tinggi dan kanopi pohon penayang sudah terlalu rapat, maka petani akan menghentikan penanaman tanaman semusim dan mengganti tanaman sela dengan tanaman herbal seperti jahe dan kunyit.



Gambar 8. (a) SPL agroforestri kopi dengan penayang mahoni dan (b) SPL agroforestri dengan penayang pinus

#### 4.1.1.2. Agroforestri Sederhana Semusim (Cabai, Wortel, Talas)

Selain sistem penggunaan lahan agroforestri berbasis kopi, terdapat juga agroforestri berbasis tanaman semusim. Kebanyakan petani memilih tanaman semusim untuk dibudidayakan di bawah tegakan pohon dengan tingkat kerapatan kanopi masih rendah. Tanaman semusim yang dibudidayakan yaitu cabai, wortel, terung. Alasan petani memilih tanaman semusim dikarenakan jangka waktu panen yang pendek sehingga bisa memenuhi kebutuhan sehari-hari sembari menunggu hasil panen dari tanaman kopi. Pengelolaan lahan yang dilakukan oleh petani pada lahan agroforestri+tanaman semusim tergolong lebih intensif jika dibandingkan dengan pengelolaan agroforestri berbasis kopi. Pada lahan agroforestri+tanaman semusim, pengolahan tanah dan pemupukan dilakukan lebih sering yang dipraktekkan setiap awal penanaman tanaman semusim. Petani menyatakan bahwa tanaman semusim memerlukan banyak unsur untuk tumbuh dan berkembang secara maksimal, sehingga pengolahan tanah, pemupukan dan perawatan tanaman dilakukan lebih maksimal. Namun tidak semua jenis tanaman semusim yang ditanam oleh petani membutuhkan perawatan misalnya tanaman talas. Pemupukan

pada tanaman talas di lakukan satu kali pada masa awal tanam saja sedangkan untuk pemupukan pada tanaman cabai dilakukan berkala.



Gambar 9. (a) Agroforestri sederhana semusim dengan tegakan mahoni dan (b) Agroforestri sederhana semusim dengan tegakan pinus

#### 4.1.2. Karakterisasi Sistem Penggunaan Lahan di KHDTK-UB

##### 4.1.2.1. Luas Bidang Dasar dan Kerapatan Tutupan Lahan

Pengukuran Luas Bidang Dasar (LBD) atau Basal Area diukur untuk mengetahui besarnya suatu luasan lahan yang ditempati oleh pohon sehingga dapat ditentukan suatu penggunaan lahan termasuk ke dalam sistem monokultur atau agroforestri. Apabila rasio LBD pohon dominan  $>80\%$  maka lahan tersebut dikelompokkan sebagai monokultur (Hairiah *et al.*, 2006). LBD setiap SPL disajikan pada Tabel 4. System penggunaan lahan AFPKT (Agroforestri pinus+kopi tua) AFPS (Agroforestri Pinus+ Tanaman Semusim), AFMK (Agroforestri Mahoni+Kopi), AFMS (Agroforestri Mahoni+Tanaman Semusim) memiliki nilai rasio LBD pohon  $>80\%$  yang menyatakan lahan tersebut dikatakan monokultur namun berdasarkan komponen penyusunnya system penggunaan lahan tersebut masih dikatakan agroforestri sederhana karena terdiri dari pohon dan tanaman semusim. Hal ini dukung berdasarkan pengertian agroforestri yang dinyatakan oleh Huxley (1999) yang mengatakan agroforestri merupakan suatu sistem penggunaan lahan yang mengkombinasikan tanaman kayu-kayuan (Pepohonan, bambu, dan lainnya) dengan tanaman tidak berkayu seperti rumput atau sayur-sayuran.

Tabel 5. Luas Bidang Dasar (LBD) Pada Sistem Penggunaan Lahan

No	Sistem Penggunaan Lahan	Dominasi	LBD Pohon Besar (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	LBD Pohon Sedang (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	Populasi (Pohon ha <sup>-1</sup> )	LBD relatif (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )
1	AFPKM	Kopi	0	0.28	2392	73.4
2	AFPKT	Kopi	7.72	0.02	1134	97.5
3	AFPS	Pinus	9.65	1.45	339	92.7
4	AFMK	Kopi	15.17	0.63	894	97.5
5	AFMS	Mahoni	31.69	0.64	530	98.2
	s.e.d		5.32	0.40	0.10	

Keterangan: AFPKM (Agroforestri Pinus+Kopi muda), AFPKT (Agroforestri pinus+kopi tua) AFPS (Agroforestri Pinus+ Tanaman Semusim), AFMK (Agroforestri Mahoni+Kopi), AFMS (Agroforestri Mahoni+Tanaman Semusim), s.e.d (*Standart Errors of Deviation*).

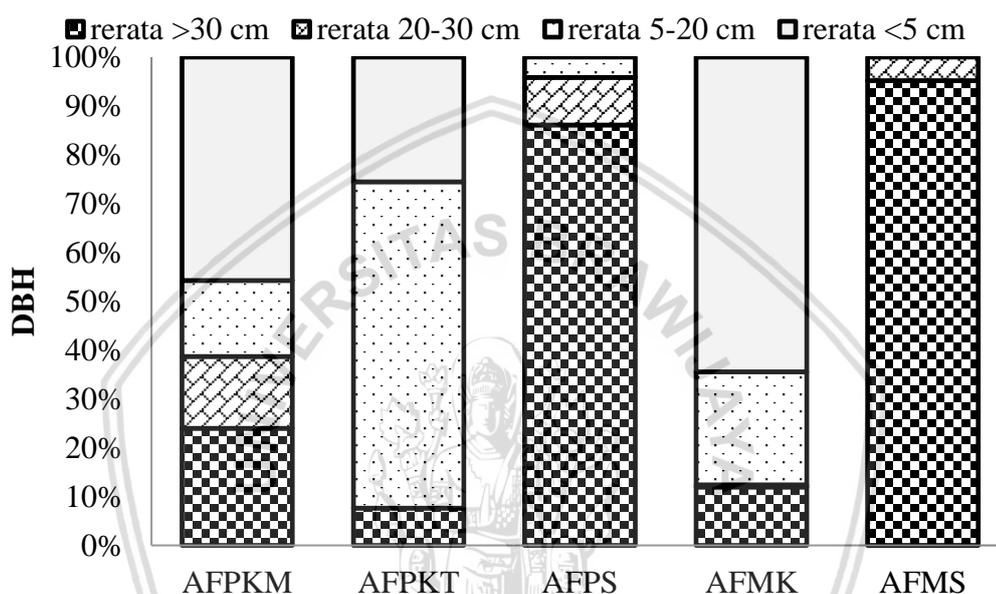
Luas Bidang Dasar setiap SPL beragam (Tabel 5), LBD pohon DBH>30 cm terbesar terdapat pada penggunaan lahan AFMS dengan nilai 32 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> dan terendah terdapat di AFPKM karena di dalam lahan tersebut tidak dijumpai pohon dengan DBH>30 cm. Berdasarkan analisis ragam LBD pohon ukuran sedang tidak berbeda nyata ( $p>0.05$ ) (Lampiran 1) dengan nilai rerata sebesar 0,4 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>.

Jumlah populasi pohon antar penggunaan lahan berbeda nyata ( $p<0.05$ ), dengan nilai populasi tertinggi terdapat pada penggunaan lahan AFPKM dengan nilai sebesar 2392 Pohon ha<sup>-1</sup> dan nilai populasi terendah terdapat pada penggunaan lahan AFPS dengan nilai sebesar 530 Pohon ha<sup>-1</sup> hal ini dikarenakan adanya pengaturan jarak tanam antar penggunaan lahan.

#### 4.1.1.2. Sebaran diameter pohon (DBH) dan komposisi pohon penyusun

Analisis sebaran diameter pohon dilakukan untuk mengetahui diameter pohon yang mendominasi dalam suatu lahan. AFPS dan AFMS didominasi oleh pohon DBH>30 cm (Gambar 10). Adanya dominasi tersebut dikarenakan umur tanaman mahoni dan pinus telah mencapai umur lebih dari 35 tahun sehingga memiliki ukuran diameter batang yang besar pula. Semakin lama umur suatu pohon maka diameter batang akan semakin bertambah. Haygreen dan Bowyer (1996) dalam Malau *et al.* (2013) menyatakan bahwa seiring bertambahnya umur melalui pembentukan dan pembesaran sel-sel yang membelah berulang-ulang membentuk sel-sel baru yang meristematik. Selama pohon tumbuh, pohon menambah kayu baru sehingga memperbesar diameter batang, cabang serta memperbanyak jumlah bagian-bagian pohon lainnya.

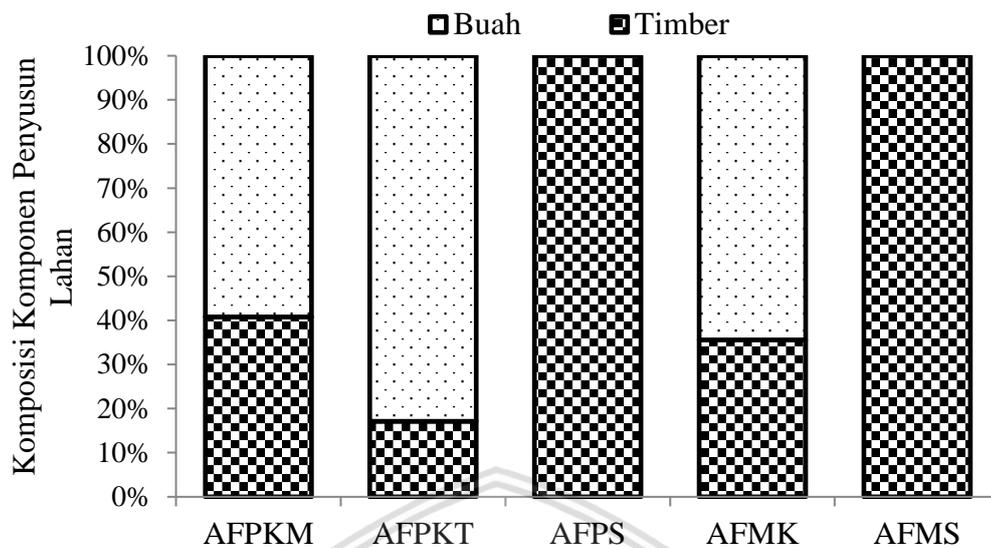
Selain umur pohon, jarak tanam antar pohon dominan mempengaruhi pertumbuhan tanaman. pengaturan jarak tanam berpengaruh terhadap besarnya intensitas cahaya dan ketersediaan unsur hara yang dibutuhkan bagi tanaman. semakin lebar jarak tanam, semakin besar intensitas cahaya dan semakin banyak ketersediaan unsur hara bagi individu tanaman, karena jumlah pohonnya lebih sedikit. Sebaliknya semakin rapat jarak tanam semakin banyak jumlah pohon dan persaingan semakin ketat (Mawazin, 2008).



Gambar 10. Sebaran ukuran DBH pada berbagai sistem penggunaan lahan di lokasi penelitian [AFPKM (Agroforestri Pinus+Kopi muda), AFPKT( Agroforestri pinus+kopi tua) AFPS (Agroforestri Pinus+ Tanaman Semusim), AFMK (Agroforestri Mahoni+Kopi), AFMS (Agroforestri Mahoni+Tanaman Semusim)]

Komposisi pohon penyusun lahan pada berbagai sistem penggunaan lahan (SPL) memiliki persentase berbeda-beda (Gambar 11). Tanaman timber mendominasi pada setiap sistem penggunaan lahan, hal ini dikarenakan tanaman pinus dan mahoni menjadi tanaman utama dan difokuskan untuk produksi kayu pada setiap penggunaan lahan. Komposisi penyusun pohon pada sistem agroforestri kopi lebih bervariasi jika dibandingkan dengan agroforestri mahoni semusim dan pinus semusim. Komposisi penyusun pohon yang beragam akan meningkatkan jumlah cadangan karbon.

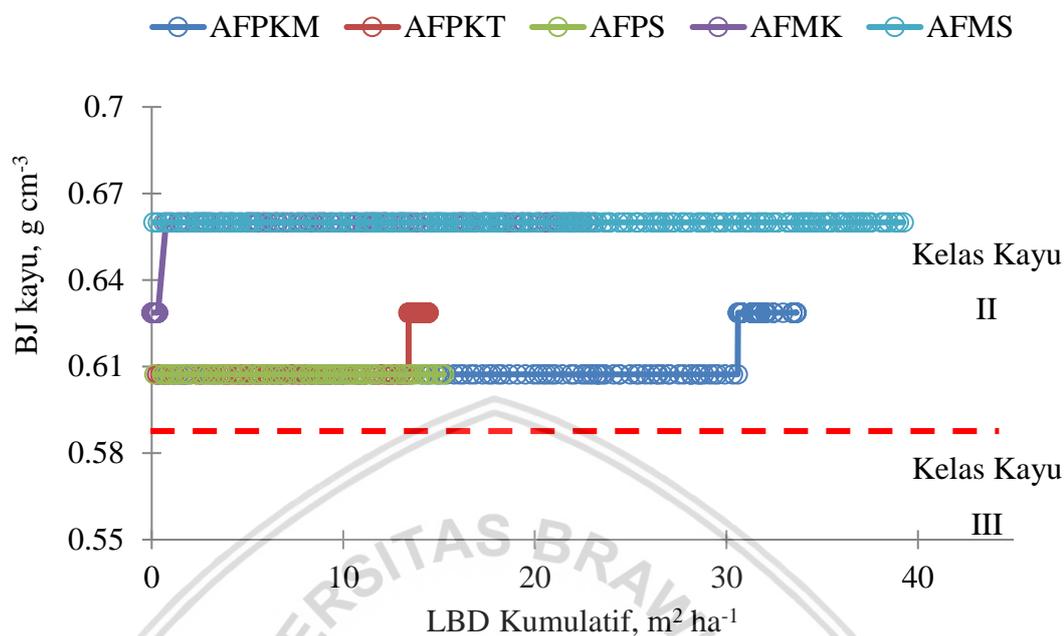
Hairiah dan Rahayu (2007) menyatakan tingkat penyimpanan karbon antar lahan berbeda-beda, tergantung pada keragaman jenis dan kerapatan tumbuhan yang ada, jenis tanahnya serta pengolahannya.



Gambar 11. Komposisi penyusun lahan pengamatan terdiri dari pohon penghasil buah dan kayu bangunan pada berbagai macam sistem penggunaan lahan di UB Forest [AFPKM (Agroforestri Pinus+Kopi muda), AFPKT (Agroforestri pinus+kopi tua), AFPS (Agroforestri Pinus+ Tanaman Semusim), AFMK (Agroforestri Mahoni+Kopi), AFMS (Agroforestri Mahoni+Tanaman Semusim)]

#### 4.1.1.3. Sebaran berat jenis kayu (BJ Kayu)

Berat jenis kayu menunjukkan kecepatan pertumbuhan pohon. Pohon yang memiliki tingkat pertumbuhan cepat biasanya memiliki nilai berat jenis kayu yang rendah sehingga kualitasnya kurang bagus. Semakin berat kayu, biasanya pohon tersebut memiliki pertumbuhan yang lambat (Hairiah & Rahayu, 2007). AFPS memiliki nilai BJ kayu dan kumulatif LBD yang rendah dibandingkan dengan sistem penggunaan lainnya, sedangkan AFMS memiliki nilai BJ tertinggi yaitu  $0,66 \text{ g cm}^{-3}$  (Gambar 12). Terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi berat jenis kayu yaitu umur pohon, tempat tumbuh, posisi kayu dalam batang dan kecepatan tumbuh. Berat jenis kayu merupakan salah satu sifat fisik kayu yang penting sehubungan dengan penggunaannya (Pandit dan Hikmat, 2002).



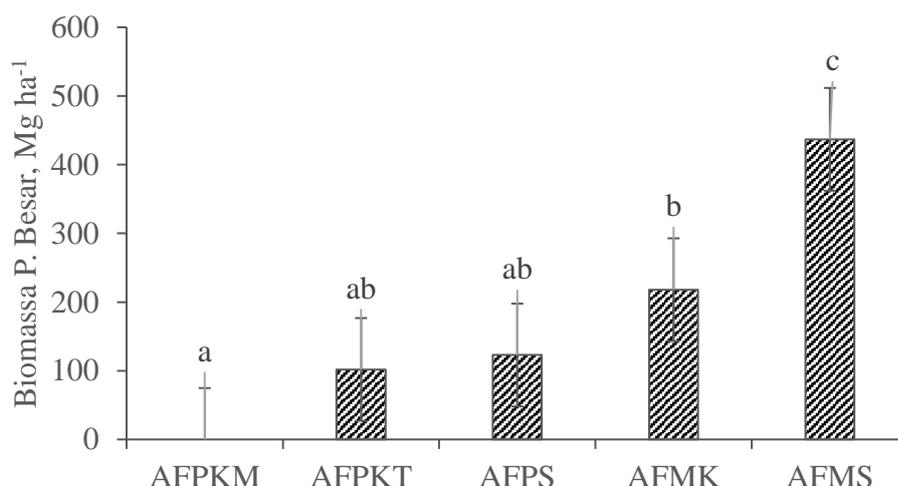
Gambar 12. Sebaran berat jenis kayu dan kumulasi basal area pada berbagai sistem penggunaan lahan di UB Forest

#### 4.1.3. Biomassa dan Nekromassa Tanaman

Biomassa diestimasi dengan persamaan *allometrik* yang dikembangkan oleh peneliti terdahulu pada suatu daerah tertentu. Unit satuan biomassa dan nekromassa adalah  $\text{g m}^{-2}$  atau  $\text{Mg ha}^{-1}$  (Paustian *et al.*, 1997). Biomassa yang diukur meliputi biomassa pohon (besar dan sedang), *understorey*, seresah dan nekromassa pada berbagai sistem penggunaan lahan.

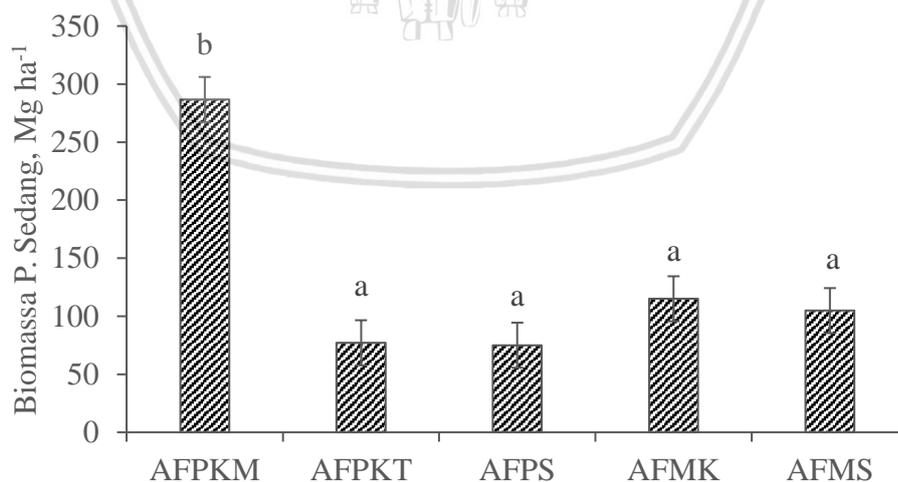
##### 4.1.3.1. Biomassa Pohon

Hasil analisis keragaman, menunjukkan bahwa biomassa pohon berbeda nyata ( $p < 0.05$ ) (Lampiran 1) pada semua SPL. Biomassa pohon besar tertinggi terdapat pada AFMS dengan nilai  $437 \text{ Mg ha}^{-1}$ , dan yang terendah terdapat pada AFPKM dengan nilai  $0 \text{ Mg ha}^{-1}$  karena tidak ditemukan pohon besar dalam SPL tersebut (Gambar 13). Biomassa merupakan jumlah total materi organik tanaman yang hidup di atas tanah yang dihasilkan sebagai bobot kering tanaman per unit areal. Jumlah biomassa merupakan persentase besarnya biomassa pada bagian tanaman terhadap biomassa total tanaman (Saragih *et al.*, 2010).



Gambar 13. Biomassa pohon besar pada berbagai system penggunaan lahan [AFPKM (Agroforestri Pinus+Kopi muda), AFPKT( Agroforestri pinus+kopi tua) AFPS (Agroforestri Pinus+ Tanaman Semusim), AFMK (Agroforestri Mahoni+Kopi), AFMS (Agroforestri Mahoni+Tanaman Semusim)]

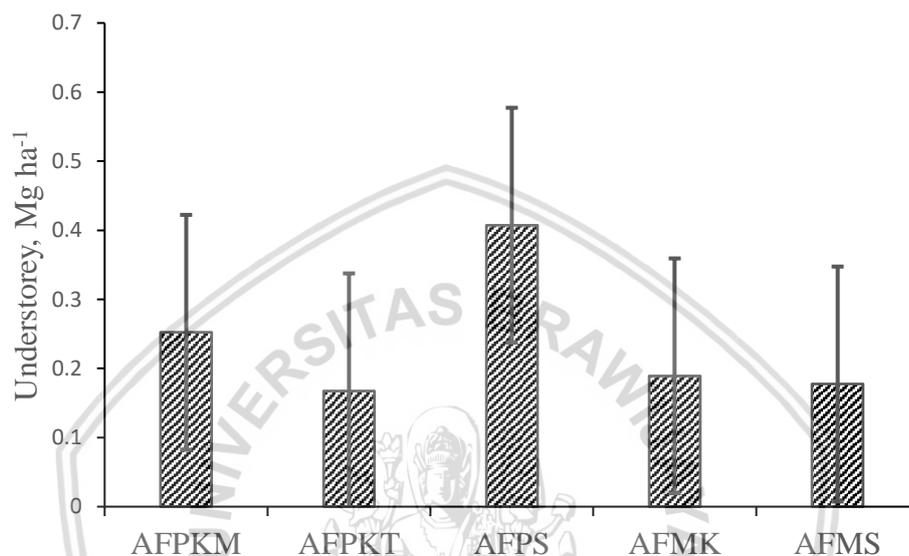
Biomassa pohon DBH ukuran “sedang” tertinggi terdapat pada AFPKM rata-rata 286.7 Mg ha<sup>-1</sup>, sedangkan yang terendah terdapat di AFPKT, AFPS, AFMK dan AFMS dengan nilai rata-rata sebesar 92.97 Mg ha<sup>-1</sup>(Gambar 14). Secara umum peningkatan kelas DBH akan meningkatkan jumlah biomassa beberapa bagian tanaman. Menurut Bond-Lamberry *et al.* (2002) dalam Yusuf *et al.* (2014) menyatakan adanya variasi biomassa pada pohon dikarenakan adanya perbedaan usia tanaman, kerapatan, dan kualitas tempat tumbuh.



Gambar 14. Biomassa pohon sedang pada berbagai sistem penggunaan lahan [AFPKM (Agroforestri Pinus+Kopi muda), AFPKT( Agroforestri pinus+kopi tua) AFPS (Agroforestri Pinus+ Tanaman Semusim), AFMK (Agroforestri Mahoni+Kopi), AFMS (Agroforestri Mahoni+Tanaman Semusim)]

#### 4.1.3.2. *Understorey* (Tumbuhan Bawah)

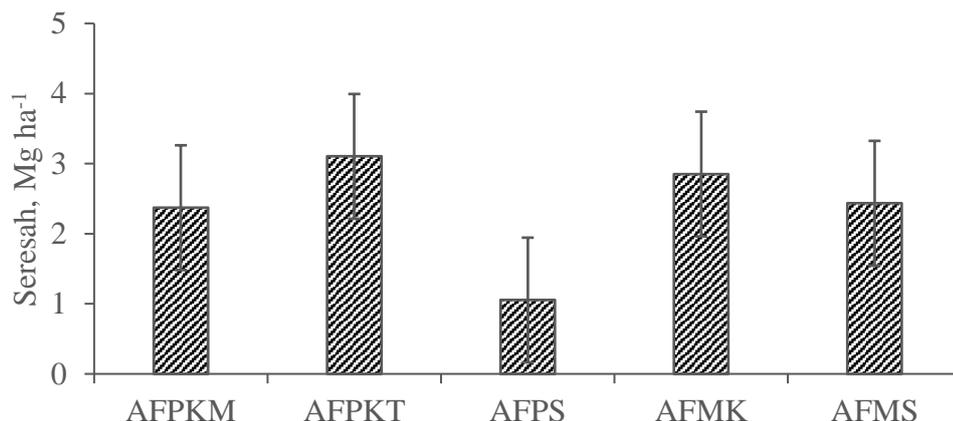
Hasil analisis keragaman menunjukkan biomasa tumbuhan bawah menunjukkan tidak adanya perbedaan yang nyata ( $p>0.05$ ) pada setiap penggunaan lahan (Gambar 15). Rerata biomassa *understorey* adalah  $0,2388 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Tumbuhan bawah atau *Understorey* merupakan tanaman atau pohon kecil yang memiliki diameter  $<5\text{cm}$ .



Gambar 15. Biomassa tumbuhan bawah pada berbagai sistem penggunaan lahan [AFPKM (Agroforestri Pinus+Kopi muda), AFPKT (Agroforestri pinus+kopi tua) AFPS (Agroforestri Pinus+ Tanaman Semusim), AFMK (Agroforestri Mahoni+Kopi), AFMS (Agroforestri Mahoni+Tanaman Semusim)]

#### 4.1.3.3. Seresah

Perbedaan nilai biomassa seresah pada setiap sistem penggunaan lahan disajikan pada Gambar 16. Berdasarkan hasil analisis keragaman, menunjukkan bahwa seresah tidak adanya perbedaan yang nyata ( $p>0,05$ ) (Lampiran 1) pada setiap penggunaan lahan. Nilai rerata seresah di berbagai penggunaan lahan adalah  $2,36 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Banyaknya produksi biomassa dipengaruhi oleh penumpukan seresah dalam kurun waktu tertentu, heterogenitas seresah dapat memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan tingkat pembusukannya (Gibbs *et al.*, 2007).

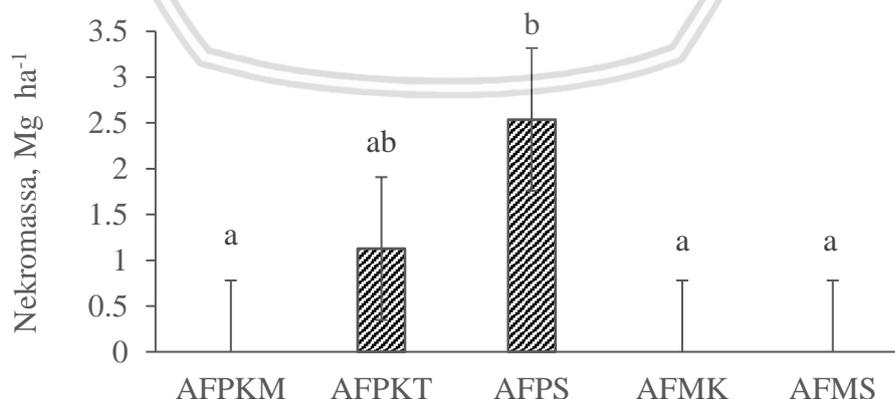


Gambar 16. Biomassa seresah pada berbagai sistem penggunaan lahan

[AFPKM (Agroforestri Pinus+Kopi muda), AFPKT( Agroforestri pinus+kopi tua) AFPS (Agroforestri Pinus+ Tanaman Semusim), AFMK (Agroforestri Mahoni+Kopi), AFMS (Agroforestri Mahoni+Tanaman Semusim)]

#### 4.1.3.4 . Nekromasa

Hasil analisis keragaman, menunjukkan bahwa biomassa nekromasa berbeda nyata ( $p < 0,05$ ) antar sistem penggunaan lahan (Gambar 17). Nilai tertinggi terdapat pada AFPS sebesar 2.54 Mg ha<sup>-1</sup> dan nilai terendah terdapat pada lahan AFMK, AFMS, dan AFPKM dengan nilai 0 Mg ha<sup>-1</sup>. Besar kecilnya kandungan nekromasa dapat mengindikasikan terjadinya perubahan pada jumlah biomassa tersimpan pada tegakan di suatu area. Semakin menurunnya biomassa akan membawa pengaruh terhadap siklus karbon di atmosfer karena hampir 50% biomassa tumbuhan terdiri dari unsur karbon dan unsur tersebut dapat terlepas ke atmosfer (Brown, 1997).



Gambar 17. Nekromasa pada berbagai sistem penggunaan lahan

[AFPKM (Agroforestri Pinus+Kopi muda), AFPKT( Agroforestri pinus+kopi tua) AFPS (Agroforestri Pinus+ Tanaman Semusim), AFMK (Agroforestri Mahoni+Kopi), AFMS (Agroforestri Mahoni+Tanaman Semusim)]

#### 4.1.4. Karakteristik Tanah

Pada setiap sistem penggunaan lahan masing-masing memiliki tutupan lahan yang berbeda-beda. Tutupan lahan tersebut akan memberikan masukan seresah dan nekromassa (bahan organik) yang berbeda. Hal tersebut berpengaruh pada proses dekomposisi bahan organik menjadi bahan organik tanah (BOT).

Cadangan karbon melalui pertumbuhan tanaman dipengaruhi oleh peran bahan organik tanah dalam mempertahankan hara, kondisi fisik, dan biologi tanah (Mutuo *et al.*, 2005). C-organik pada berbagai SPL di KHDTK-UB berbeda-beda disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Karakteristik tanah pada berbagai system penggunaan lahan

No	Sistem Penggunaan Lahan	Kedalaman (cm)	*C-		BI		
			org %	pH	g cm <sup>-3</sup>	C ref	Ctotal/Cref
1	AFPKM	0-10	4,11	5,23	0,67	4,42	0,9
		10-20	3,25	5,11	0,64	4,38	0,7
		20-30	3,08	5,11	0,66	4,42	0,7
2	AFPKT	0-10	6,65	5,44	0,68	4,03	1,7
		10-20	5,62	5,42	0,63	4,02	1,4
		20-30	5,62	5,42	0,62	4,02	1,4
3	AFPS	0-10	4,99	4,86	0,69	4,11	1,2
		10-20	4,85	5,22	0,68	4,27	1,1
		20-30	4,85	5,15	0,64	4,27	1,1
4	AFMK	0-10	4,37	5,57	0,75	3,99	1,1
		10-20	3,78	5,47	0,68	4,04	0,9
		20-30	3,78	5,24	0,81	4,04	0,9
5	AFMS	0-10	5,05	5,8	0,72	3,77	1,3
		10-20	4,48	5,26	0,72	3,86	1,2
		20-30	4,48	5,06	0,73	3,86	1,2

Keterangan: AFPKM (Agroforestri Pinus+Kopi muda), AFPKT (Agroforestri pinus+kopi tua) AFPS (Agroforestri Pinus+ Tanaman Semusim), AFMK (Agroforestri Mahoni+Kopi), AFMS (Agroforestri Mahoni+Tanaman Semusim). \*sumber: (Mukaromah, 2017)

Nilai C-organik pada berbagai SPL mempunyai kisaran antara 3,1-6,6%. Sedangkan untuk berat isi (BI), nilai tertinggi terdapat pada penggunaan lahan AFMK dengan nilai (0,75 g cm<sup>-3</sup>) dan nilai terendah terdapat pada penggunaan lahan AFPKT dengan nilai (0,64 g cm<sup>-3</sup>). Nilai BI yang berbeda-beda pada setiap SPL dapat diakibatkan karena adanya pengolahan lahan oleh petani sehingga membuat tanah semakin padat. Jenis penggunaan lahan dan perbedaan pengolahan lahan di

dalamnya akan memberikan pengaruh yang berbeda terhadap BI, porositas total, dan kadar air tanah.

#### 4.1.4. Total Cadangan Karbon

##### 4.1.4.1. Cadangan Karbon Tanaman

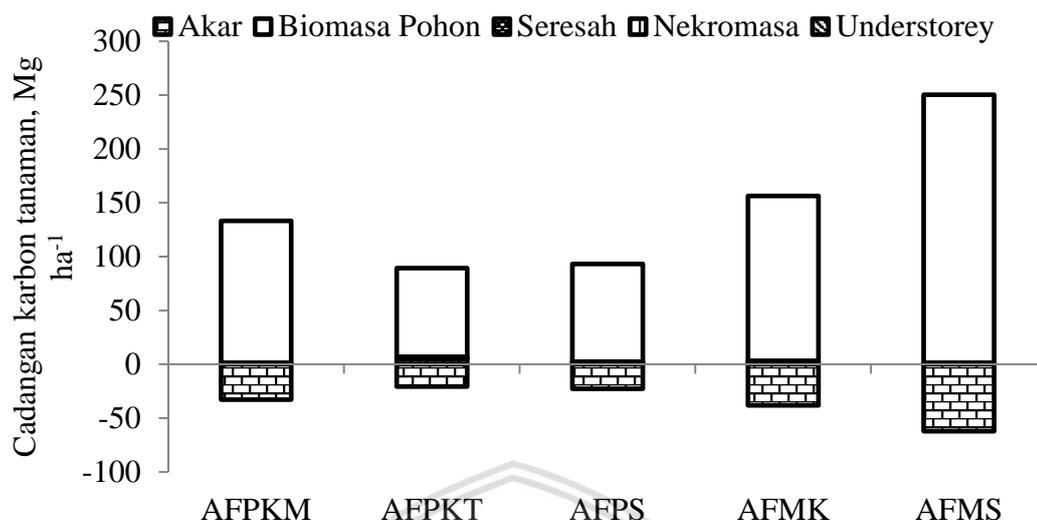
Berdasarkan hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa cadangan karbon tanaman menunjukkan adanya perbedaan yang nyata ( $p < 0,05$ ) (Lampiran 1) antar penggunaan lahan. Nilai cadangan karbon tanaman tertinggi terdapat pada penggunaan lahan AFMS sebesar  $312.64 \text{ Mg ha}^{-1}$  dan nilai terendah terdapat pada penggunaan lahan AFPKT, AFPKM, AFPS, dan AFMK dengan nilai rata-rata sebesar  $145 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

Tabel 7. Cadangan Karbon Tanaman pada berbagai system penggunaan lahan

Sistem Penggunaan Lahan	Pohon	<i>Understorey</i>	Nekromasa	Seresah	Akar	Karbon Tanaman
	-----Mg ha <sup>-1</sup> -----					Mg ha <sup>-1</sup>
AFPKM	131.86	0.12	0	1.09	32.97	166.04
AFPKT	82.34	0.08	0.52	1.43	20.59	104.95
AFPS	91.00	0.19	1.17	0.48	22.75	115.59
AFMK	153.20	0.09	0	1.31	38.30	192.90
AFMS	249.15	0.08	0	1.12	62.29	312.64
s.e.d	78.01	0.17	0.789	0.89	9.05	44.9

Ket: Akar diperoleh dengan menggunakan nilai terpasang (*Default Value*) nisbah tajuk:akar 4:1 (Hairiah *et al.*, 2007). AFPKM (Agroforestri Pinus+Kopi muda), AFPKT (Agroforestri pinus+kopi tua) AFPS (Agroforestri Pinus+ Tanaman Semusim), AFMK (Agroforestri Mahoni+Kopi), AFMS (Agroforestri Mahoni+Tanaman Semusim), s.e.d (*Standart Errors of Deviation*).

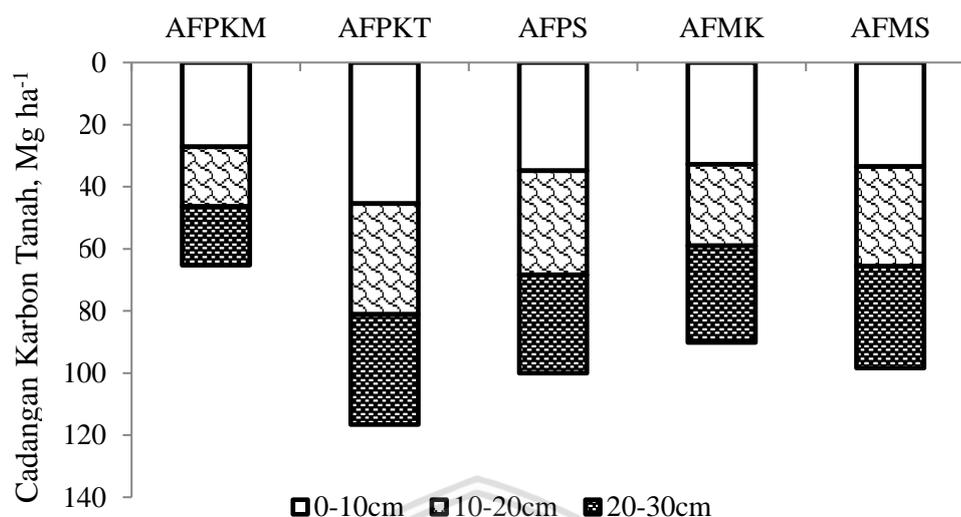
Nilai cadangan karbon tanaman atau cadangan karbon di atas permukaan tanah sangat dipengaruhi oleh komponen biomassa pohon (Gambar 18). Komponen *understorey*, seresah, akar, dan nekromasa yang tidak terlalu memberikan kontribusi yang tidak terlalu besar. Nekromasa hanya memberikan pengaruh pada beberapa penggunaan lahan. Hal tersebut dikarenakan nekromassa hanya ditemukan pada penggunaan lahan AFPKT dan AFPS. Kandungan biomassa pada tiap-tiap bagian pohon berbeda misalnya pada pohon komersil umumnya terdiri dari batang pohon (60-65%), tajuk (5%), daun dan cabang (10-15%) dan akar (5%) (White dan Plaskett, 1981).



Gambar 18. Komponen penyusun cadangan karbon di atas permukaan tanah pada berbagai system penggunaan lahan di UB Forest [AFPKM (Agroforestri Pinus+Kopi muda), AFPKT( Agroforestri pinus+kkopi tua) AFPS (Agroforestri Pinus+ Tanaman Semusim), AFMK (Agroforestri Mahoni+Kopi), AFMS (Agroforestri Mahoni+Tanaman Semusim)]

#### 4.1.4.2. Cadangan Karbon di Dalam Tanah

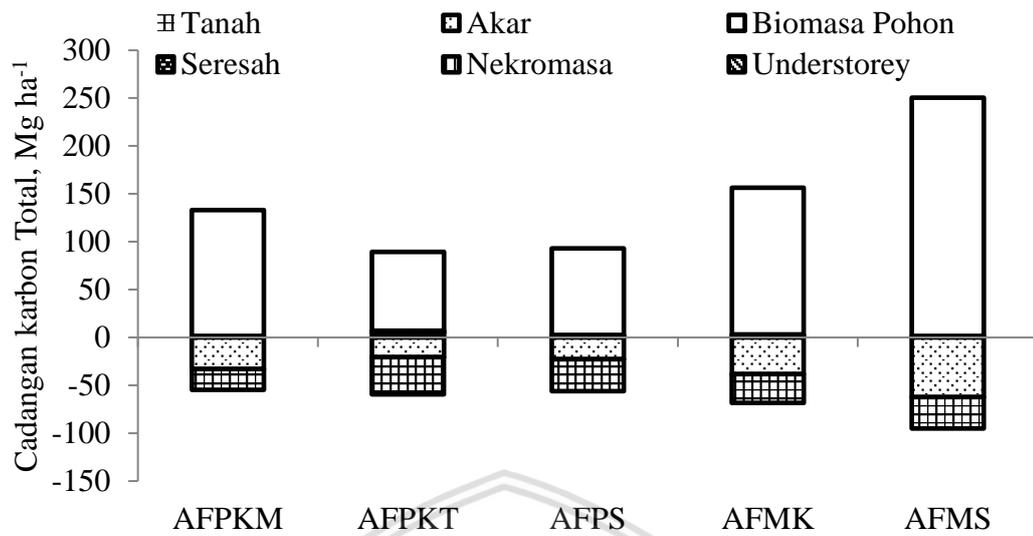
Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa cadangan karbon antar penggunaan lahan berbeda nyata ( $p < 0,05$ ) (Lampiran 1). Cadangan karbon tertinggi terdapat pada AFPKT, AFPS, AFMK, dan AFMS dengan rerata  $101 \text{ Mg ha}^{-1}$ . dan nilai cadangan karbon dalam tanah terendah terdapat pada penggunaan lahan AFPKM dengan nilai  $65 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Cadangan karbon antar tiap kedalaman memiliki nilai yang sama tidak adanya dominasi antar tiap kedalaman (Gambar 19). Nilai cadangan karbon di dalam tanah tidak dipengaruhi oleh kedalaman tanah. Tingginya cadangan karbon dalam tanah dapat disebabkan karena populasi tanaman, umur tanaman, nekromassa dan seresah lebih tinggi daripada penggunaan lahan lain.



Gambar 19. Cadangan karbon di dalam tanah pada kedalaman berbeda pada berbagai sistem penggunaan lahan di UB Forest [AFPKM (Agroforestri Pinus+Kopi muda), AFPKT (Agroforestri Pinus+Kopi Tua) AFPS (Agroforestri Pinus+Tanaman Semusim), AFMK (Agroforestri Mahoni+Kopi), AFMS (Agroforestri Mahoni+Tanaman Semusim)]

#### 4.1.4.3. Total Cadangan Karbon

Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa cadangan karbon pada berbagai sistem penggunaan lahan (SPL) terdapat perbedaan yang nyata ( $p < 0,05$ ) (Lampiran 1). Cadangan karbon tertinggi terdapat pada system penggunaan lahan AFMS dengan nilai sebesar  $411 \text{ Mg ha}^{-1}$  sedangkan untuk nilai cadangan karbon terendah terdapat pada system penggunaan lahan AFPKT, AFPKM, AFPS, dan AFMK dengan nilai rata rata sebesar  $238 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Hal tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti, komponen penyusun lahan, kerapatan tanaman, dan populasi pada setiap SPL.



Gambar 20. Total cadangan karbon pada berbagai macam sistem penggunaan lahan di UB Forest [AFPKM (Agroforestri Pinus+Kopi muda), AFPKT( Agroforestri pinus+kopi tua) AFPS (Agroforestri Pinus+ Tanaman Semusim), AFMK (Agroforestri Mahoni+Kopi), AFMS (Agroforestri Mahoni+Tanaman Semusim)]

Rerata massa karbon terbesar terdapat pada bagian batang pohon dengan nilai 145 Mg ha<sup>-1</sup> atau 65% dari total karbon (Gambar 20). Hal ini menunjukkan bahwa biomassa pohon menyumbang karbon lebih banyak dibandingkan dengan komponen penyusun lainnya. Muhdi (2012) menjelaskan bahwa bagian batang memiliki kadar karbon yang terbesar karena pada masa pertumbuhan dan masa produktif, tanaman akan menyerap karbon melalui daun dalam proses fotosintesis dan disebarkan ke seluruh bagian tanaman. Namun pendapat Lal (2004) dalam Eswaran *et al.* (1993) menyatakan bahwa dalam kondisi tanah yang subur cadangan karbon tanah diperkirakan hampir tiga kali lipat cadangan karbon dalam biomassa (*above ground C stock*), dan sekitar dua kali lipat cadangan karbon di atmosfer

#### 4.2. Pembahasan Umum

Agroforestri secara luas didefinisikan sebagai interaksi antara tanaman pertanian dengan pohon. Pengolahan pohon dalam agroforestri secara luas berpotensi untuk meningkatkan populasi biota tanah dan pertumbuhan tanaman. Adanya pohon secara tidak langsung dapat mengubah lingkungan tanah seperti halnya tutupan kanopi yang mampu mencegah air hujan sehingga tidak langsung mengenai tanah, akar mampu mengambil dalam tanah, menjadi tanaman penanung bagi *understorey* dan tanah, seresah mampu menjadi *landcover*/tutupan tanah dan masukan nutrisi untuk tanah (Barrios *et al.*, 2012). Hubungan antara struktur lahan



dan jasa lingkungan pada system penggunaan lahan agroforestri dan semusim dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Hubungan antara struktur lahan dan jasa lingkungan pada system penggunaan lahan

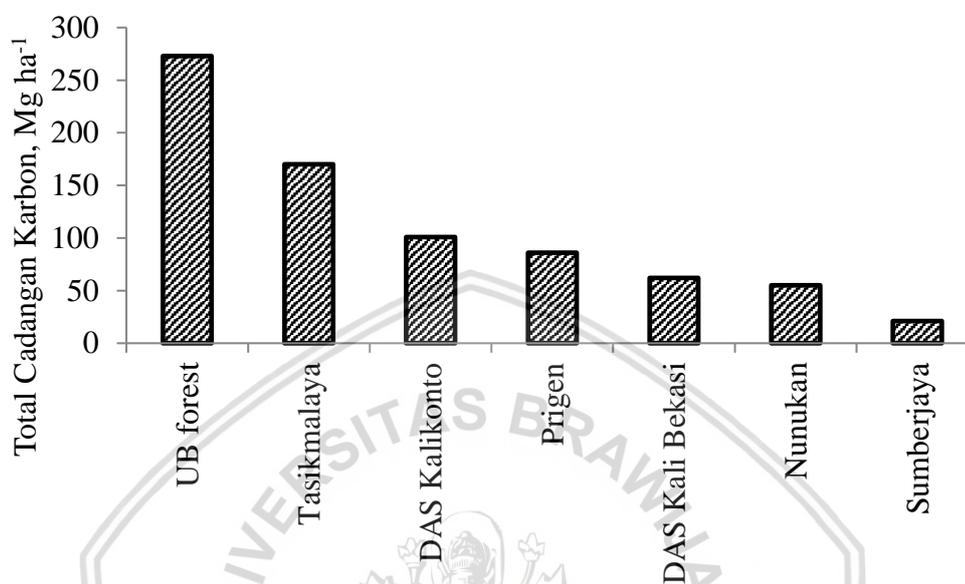
No	Struktur	Fungsi	Jasa Lingkungan	Agroforestri	Semusim
1	Kerapatan pohon	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mengurangi intensitas cahaya matahari yang masuk</li> <li>2. Menahan air hujan untuk tidak langsung jatuh ke tanah</li> <li>3. Penyimpan karbon</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menjaga iklim mikro</li> <li>2. Mengurangi tingkat erosi</li> <li>3. Mengurangi emisi karbon</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Jarak tanam tidak teratur</li> <li>2. Jenis tanaman lebih beragam</li> <li>3. Mampu menyimpan cadangan karbon lebih tinggi</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Jarak tanam lebih teratur</li> <li>2. Jenis tanaman terbatas</li> <li>3. Kurang mampu menyimpan cadangan karbon yang banyak</li> </ol>
2	Masukan seresah	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sumber bahan organik</li> <li>2. Pelindung tanah dari air hujan</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Meningkatkan unsur hara</li> <li>2. Mengurangi laju erosi</li> <li>3. Menjaga iklim mikro tanah</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Jumlah masukan seresah banyak</li> <li>2. Jenis seresah banyak</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Jumlah masukan seresah sedikit</li> <li>2. Jenis seresah sedikit</li> </ol>
3	Biota tanah	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menggemburkan tanah</li> <li>2. Membantu proses pendekomposisi</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Meningkatkan porositas</li> <li>2. Meningkatkan ketersediaan bahan organik</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Jumlah dan jenis biota tanah lebih banyak</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Jumlah dan jenis biota tanah lebih sedikit</li> </ol>
4	Perakaran	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menggemburkan tanah</li> <li>2. sumber bahan organik</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Meningkatkan porositas</li> <li>2. Meningkatkan laju infiltrasi</li> <li>3. Menambah kandungan bahan organik tanah</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Perakaran tidak teratur dan sangat rapat dan memiliki ukuran akar yang beragam</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Perakaran cenderung teratur dan ukuran akar sama dikarenakan hanya terdapat beberapa jenis tanaman</li> </ol>

Berkaitan dengan upaya menekan efek rumah kaca yaitu mengurangi gas CO<sub>2</sub> di atmosfer, dapat dilakukan dengan meningkatkan jumlah pohon yang ditanam di luar hutan. Agroforestri merupakan suatu sistem yang mana terdapat kombinasi jenis pepohonan dengan tanaman sela. Selain dijadikan sumber penghasil utama, pohon yang ada dapat menghasilkan karbon yang cukup tinggi. Roshetko *et al.* (2002) menyatakan bahwa kandungan biomassa pada agroforestri tinggi sehingga pembangunan sistem agroforestri pada lahan-lahan kritis dan terlantar selain dapat memperlambat terjadinya pemanasan global juga memberikan dampak positif terhadap lingkungan dan sosio-ekonomi masyarakat.

Total cadangan karbon ditentukan oleh besarnya nilai cadangan karbon di atas permukaan tanah (biomassa, nekromassa, tumbuhan bawah, seresah, dan akar) dan di dalam tanah (Hairiah *et al.*, 2006). Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan total cadangan karbon di UB *Forest* sebesar 273 Mg ha<sup>-1</sup>. Hal ini disebabkan karena komponen penyusun lahan di UB *Forest* didominasi oleh pohon dengan DBH >30cm dan DBH 20-30cm. Hairiah & Rahayu (2007) menyatakan suatu sistem penggunaan lahan yang ditanami jenis pohon dengan kerapatan kayu tinggi, maka biomasnya akan lebih tinggi daripada lahan yang ditanami jenis pohon dengan nilai kerapatan kayu rendah. Selain itu hasil penelitian yang diperoleh (Olivia *et al.*, 2006) menunjukkan bahwa spesies *Pinus nigra* memiliki korelasi yang kuat antara nilai kerapatan kayu dengan umur pohon.

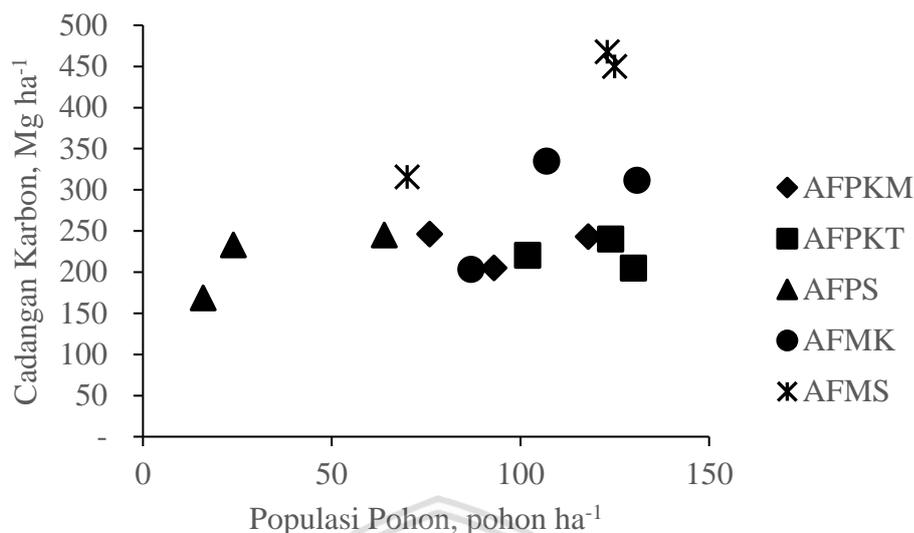
Cadangan karbon di UB *Forest* mempunyai nilai total cadangan karbon lebih tinggi apabila dibandingkan dengan agroforestri di DAS Kalikonto, Malang rata-rata 101 Mg ha<sup>-1</sup> (Hairiah dan Rahayu, 2010); Prigen, Pasuruan rata-rata 86 Mg ha<sup>-1</sup> (Sari, 2010); Nunukan, Kalimantan Timur (55 Mg ha<sup>-1</sup>) (Hairiah *et al.*, 2007); DAS Kali bekasi (62 Mg ha<sup>-1</sup>) (Adinugroho, 2011); AF gmelina, Tasikmalaya (170 Mg ha<sup>-1</sup>)(Siarudin & Indrajaya, 2017) dan AF di Sumberjaya, Lampung Barat (21 Mg ha<sup>-1</sup>) (Hairiah *et al.*, 2006) (Gambar 21). Hal ini dikarenakan adanya perbedaan struktur lahan yaitu berhubungan dengan umur, spesies pohon, dan kerapatan antar daerah. Cadangan karbon di UB *Forest* memiliki nilai cadangan karbon tertinggi dikarenakan terdapat pohon dominan yang berumur lebih dari 35 tahun yang memiliki diameter pohon >30 cm. Perbedaan spesies pohon ini menunjukkan bahwa keragaman jenis tanaman pada SPL bukan menjadi

faktor utama dalam menentukan total cadangan karbon. Hairiah dan Rahayu (2010) menyatakan tingkat penyimpanan karbon antar lahan berbeda-beda, tergantung pada keragaman jenis dan kerapatan tumbuhan yang ada, jenis tanahnya serta pengolahannya.



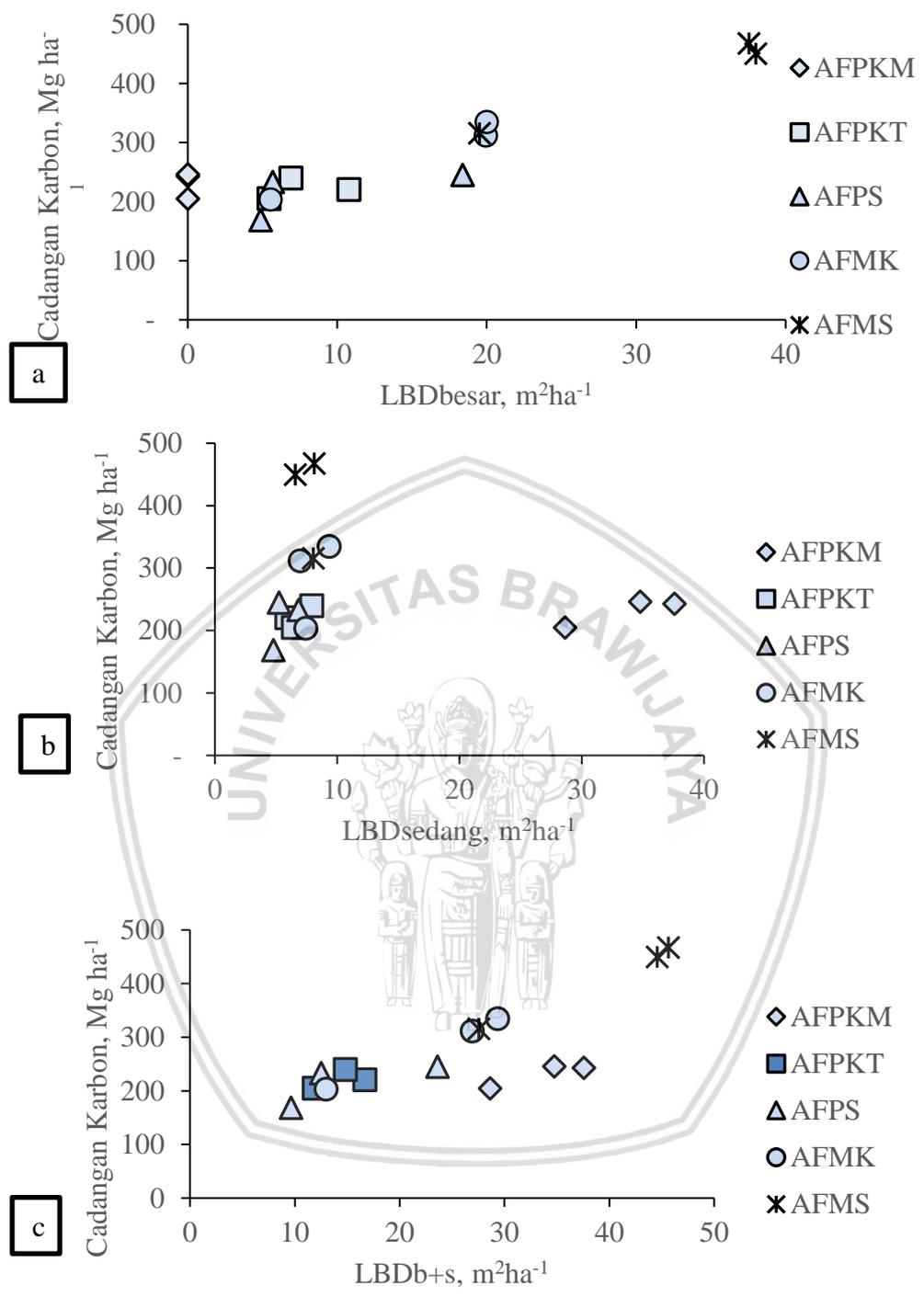
Gambar 21. Perbandingan total cadangan karbon di berbagai daerah

Keragaman plot pengukuran karbon ditunjukkan dengan kerapatan populasi pohon, jumlah dan kerapatan jenis. Populasi pohon merupakan jumlah pohon dalam suatu plot. Peningkatan populasi pohon memiliki kecenderungan diikuti dengan peningkatan jumlah cadangan karbon ( $r=0,45$ ), hal tersebut menunjukkan bahwa populasi tidak mempengaruhi cadangan karbon. Namun demikian, Hairiah *et al.* (2007) menyatakan bahwa selain kerapatan pohon, diameter juga mempengaruhi peningkatan cadangan karbon melalui peningkatan biomassa. Dalam Penelitian Adinugroho *et al.* (2011), yang dilakukan di Hulu DAS Bekasi menyatakan semakin tinggi kerapatan suatu lahan makan akan disusun oleh tegakan yang berdiameter kecil dan sebaliknya semakin rendah kerapatan tegakan maka akan mempunyai tegakan berdiameter besar, karena hal tersebut yang menyebabkan suatu SPL tersebut mempunyai cadangan karbon yang tinggi.



Gambar 22. Hubungan antara populasi pohon terhadap cadangan karbon

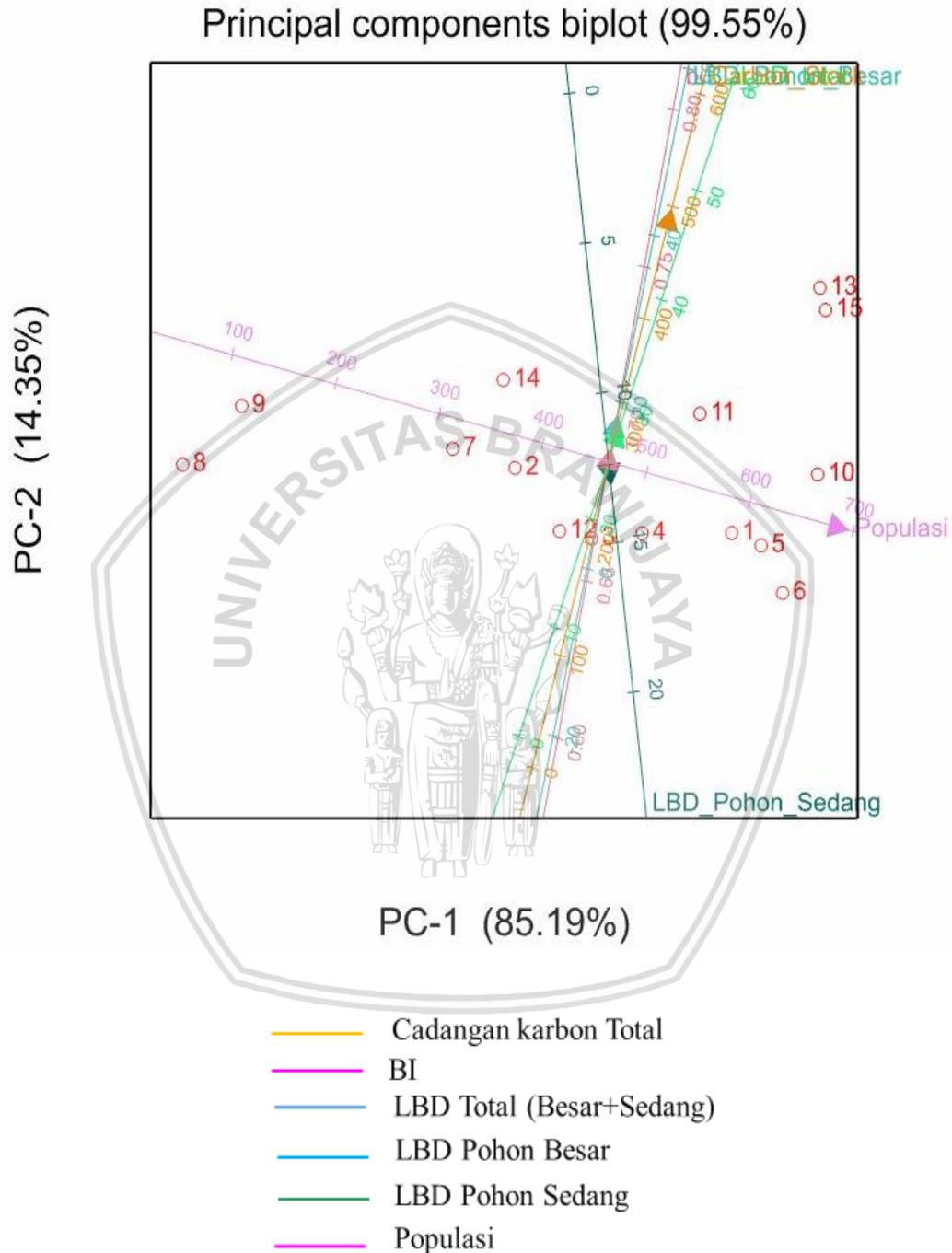
Hubungan luas bidang dasar dan cadangan karbon disajikan dalam Gambar 23. Pada kedua grafik tersebut menunjukkan nilai LBD berbanding lurus dengan nilai cadangan karbon. LBD pohon besar lebih menentukan tingginya cadangan karbon dibandingkan dengan pohon sedang. Dengan demikian, apabila terdapat perubahan spesies dominan pohon besar maka akan berpengaruh terhadap penurunan biomassa dan cadangan karbon di lokasi penelitian. Hasil ini serupa dengan hasil penelitian dari Mutuo *et al.* (2005) yang menyatakan nilai LBD pohon mempengaruhi cadangan karbon sebesar 47%, sisanya dipengaruhi oleh faktor lain.



Gambar 23. (a) Hubungan antara LBD<sub>besar</sub> (DBH>30cm) terhadap nilai cadangan karbon di UB Forest (b) Hubungan antara LBD<sub>sedang</sub> (DBH<30cm) terhadap nilai cadangan karbon di UB Forest, dan (c) Hubungan antara LBD<sub>b+s</sub> terhadap nilai cadangan karbon di UB Forest

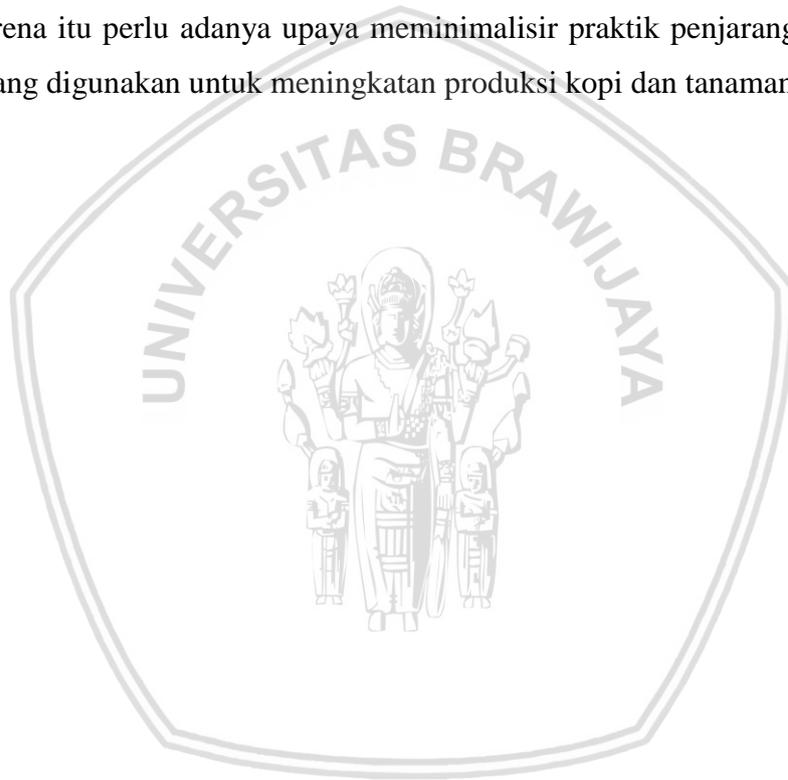
Berdasarkan hasil analisis Biplot (Gambar 24) sudut yang terbentuk antara cadangan karbon dengan LBD pohon lebih sempit (lancip) apabila dibandingkan dengan sudut antara nilai cadangan karbon dengan populasi. Dua variabel yang

memiliki nilai korelasi positif akan digambarkan sebagai dua buah garis dengan arah yang sama atau membentuk sudut sempit. Hal ini menyatakan bahwa variabel LBD pohon mempunyai korelasi positif terhadap nilai cadangan karbon.



Gambar 24. Hasil analisis *multivariate* (biplot): Variabel total cadangan karbon, LBD total (LBD pohon besar dan pohon sedang), BI tanah dari semua system penggunaan lahan di UB Forest

Karbon tersimpan pada tanaman semakin meningkat seiring dengan pertambahan umur tanaman (Yuliasmara dan Wibawa, 2009). Hal ini disebabkan karena adanya pertambahan diameter yang merupakan dari hasil fotosintesis. Pertambahan diameter akan menentukan jumlah karbon yang dikandung suatu vegetasi. Keberadaan pohon besar (DBH>30cm) pada UB *Forest* memiliki peranan yang sangat penting di dalam mempertahankan cadangan karbon lahan. Pohon besar (DBH>30cm) mempunyai tingkat penyerapan karbon lebih tinggi dan penyimpanan yang lebih banyak dalam waktu yang lama. Adanya penjarangan pohon akan mengurangi nilai total cadangan karbon dalam Kawasan UB Forest. Oleh karena itu perlu adanya upaya meminimalisir praktik penjarangan (*thinning*) pohon yang digunakan untuk meningkatkan produksi kopi dan tanaman semusim.



## V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

1. Cadangan karbon di berbagai system penggunaan lahan berbeda ( $p < 0,05$ ), cadangan karbon tertinggi terdapat pada system penggunaan lahan AFMS sebesar  $411 \text{ Mg ha}^{-1}$ , sedangkan cadangan karbon terendah terdapat pada system penggunaan lahan AFPKT, AFPKM, AFPS, dan AFMK rata rata sebesar  $238 \text{ Mg ha}^{-1}$ .
2. Cadangan karbon di atas permukaan tanah (biomas dan nekromassa) menyumbang karbon sekitar  $145 \text{ Mg ha}^{-1} - 313 \text{ Mg ha}^{-1}$  atau 65% dari total cadangan karbon, sedangkan bahan organik tanah menyumbang karbon sekitar  $65 \text{ Mg ha}^{-1} - 101 \text{ Mg ha}^{-1}$  (atau sekitar 35%).
3. Peningkatan populasi dan nilai LBD pohon (ukuran diameter pohon (DBH)  $> 30 \text{ cm}$ ) cenderung diikuti dengan peningkatan total cadangan karbon di UB *Forest*.
4. Keberadaan pohon besar (DBH  $> 30 \text{ cm}$ ) pada UB *Forest* berperan sangat penting untuk mempertahankan cadangan karbon lahan.

### 5.2. Saran

Perhitungan yang dilakukan merupakan perhitungan dalam skala plot, yang kurang memberikan makna penting bila tidak dilengkapi dengan upaya untuk mengestimasi besarnya cadangan karbon di seluruh area UB *Forest*, dan perubahannya akibat adanya alih fungsi dan degradasi hutan. Untuk itu, analisis perubahan tutupan lahan di UB *Forest* masih perlu dilakukan dipenelitian yang akan datang.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adinugroho, W.C., Indrawan, A., Supriyanto, Arifin, H.S. 2011. Kontribusi Sistem Agroforestri terhadap Cadangan Karbon di Hulu DAS Kali Bekasi. Bagian dari tesis yang disampaikan pada seminar hasil penelitian sekolah pascasarjana IPB. Pascasarjana IPB. Bogor.
- Arifin, Z. 2011. Analisis Nilai Indeks Kualitas Tanah Entisol Pada Penggunaan Lahan Yang Berbeda. *Agroteksos*, 21(1): 49-54.
- Balvanera, P., Pfisterer, A. B., Buchmann, N., He, J. S., Nakashizuka, T., Raffaelli, D., and Schmid, B. 2006. Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecology Letters*, 9(10): 1146–1156.
- Barbour, M. G., Burk, J. H. and Pitts, W. D. 1987 *Terrestrial Plant Ecology* 2<sup>nd</sup> Edission. The benjamin Publishing.
- Barrios, E.,W Silehi Gudeta.,Shepherd K., & Sinclair, F. Agroforestry and Soil Health:Linking Trees, Soil Biota, and Ecosystem Services. 2012. Oxford University Press. Soil Ecology and Ecosystem Service .
- Bond-Lamberry, B., Wang, C. and Gower, S.T. 2002. Aboveground And Belowground Biomass And Sapwood Area Allometric Equations For Six Boreal Tree Species Of Northern Manitoba. *Can J For Res* 32:1441–1450.
- Brown, S. 1997. Estimating Biomass And Biomass Change Of Tropical Forests: A Primer. *FAO Forestry Paper*, 134(55).
- \_\_\_\_\_, S, and Gaston, G. 1996. Estimates Of Biomass Density For Tropical Forests.
- Cacho, O. J., Marshall, G. R., Milne, M., Working, E. S. a, and No, P. 2003. Smallholder Agroforestry Projects : Potential for Carbon Sequestration and Poverty Alleviation. *Carbon*, (03).
- Chave, J., Andalo, R., Brown S., Cairns M.A., Chambers, J.Q., Eamus, D., Folster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.P., Nelson, B.W., Ogawa, H., Puig, H., Riera, B., and Yamakura, T. 2005. Tree allometry andimproved estimation of carbon stocks and balance in tropicalforests. *Oecologia*, 145:87–99.
- Causarano, H. J., Franzluebbbers, A. J., Shaw, J. N., Reeves, D. W., Raper, R. L., and Wood, C. W. 2008. Soil Organic Carbon Fractions and Aggregation in the Southern Piedmont and Coastal Plain. *Soil Science Society of America Journal*, 72(1):221-234.
- Eswaran, H., Berg, E., and Reich, P. 1993. Organic Carbon in Soils of the World. *Soil Science Society of America Journal*, 57:192–194.

- Gibbs, H. K., Brown, S., Niles, J. O., and Foley, J. A. 2007. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: Making REDD a reality. *Environmental Research Letters*, 2(4).
- Hairiah K, Ekadinata A, and Sari, R.R. 2011. Petunjuk Praktis Pengukuran Cadangan Karbon Dari Tingkat Plot Ke Tingkat Bentang Lahan. Edisi ke 2. World Agroforestry Centre, ICRAF Southeast Asia and University of Brawijaya (UB), Malang, Indonesia.
- \_\_\_\_\_, K., Kurniawan, S., Aini, F., Lestari, N., Lestari, I., Widiyanto and Zulkarnaen, T. 2010. Metoda Pengukuran Karbon Pada lahan Agroforestri. Makalah untuk dipresentasikan pada Seminar setengah hari. Jakarta 25 Maret 2010.
- \_\_\_\_\_, K., & Rahayu, S. 2007. Pengukuran karbon tersimpan di berbagai macam penggunaan lahan. *World Agroforestry Centre*, 77.
- \_\_\_\_\_, K., Rahayu, S., and Berlian. 2006. Layanan lingkungan agroforestri berbasis kopi: Cadangan karbon dalam biomasa pohon dan bahan organik tanah (studi kasus dari Sumberjaya, Lampung Barat). *Agrivita*, 28(3): 298–309.
- Henry, M., Tittonel, P., Manlay, R.J., Bernoux, M., Albrecht, A., Vanlauwe, B. 2009. Biodiversity, carbon stock and sequestration potential in aboveground biomass in smallholder farming systems of western Kenya. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 129:238-252.
- Lal, R. 2004. Carbon Emission From Farm Operations. *Environment International*, 30(7): 981–990.
- Indriyanto. 2006. Ekologi Hutan. Jakarta: Penerbit PT Bumi Aksara.
- IPCC. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry. Penman J, et al. Editor. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme.
- \_\_\_\_\_. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by The National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. and Tanabe, K. (eds.). Published by IGES, Japan.
- \_\_\_\_\_. 2007. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

- Ishii, H., Tanabe, S., And Hiura, T. 2004. Exploring The Relationships Among Canopy Structure, Stand Productivity, And Biodiversity Of Temperate Forest Ecosystems. *For. Sci*, 50(3): 342–355.
- Johnsen, K., Samuelson, L., Teskey, R., McNulty, S., and Fox, T. 2001. Process Models as Tools in Forestry Research and Management. *Forest Science*, 47(1): 2-8.
- Ketterings, Q.M, Coe, R., Noordwijk, V. M., Ambagau, Y., and Palm, C. 2001. Reducing Uncertainty in The Use of Allometric Biomass Equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management*, 146:199-209.
- Malau, Y. 2013. Pendugaan Cadangan Karbon Above Ground Biomass (Agb) Pada Tegakan Agroforestri Di Kabupaten Langkat. *Jurnal USU*. 2(1).
- Mantung, L., Muin, M., & Suhasman. 2012. Potensi Karbon dan Penyerapan Karbondioksida Hutan *Pinus merkusii* di HPT Batualu. Universitas Hasanudin. Makasar.
- Markum, Budhy, S., Sabani, R. 2015. Hutan Kemasyarakatan: Sebuah Ikhtiar Mewujudkan Hutan Lestari Masyarakat Sejahtera. Mataram : RA Visindo.
- Mawazin and Suhaendi, H. 2008. Pengaruh Jarak Tanam Terhadap Pertumbuhan Diameter *Shorea Parvifolia* Dyer. *Jurnal penelitian hutan dan konservasi alam*, 5(4).
- Mettay, A., J.A.A. Mareira, M. Bernoux, T. Boyer, J.M. Douzet, B. Feigl, C. Feller, F. Maraux, R. Oliver, and E. Scopel. 2006. Storage and form of organic carbon in no-tillage under cover crop system on clayey Oxisol in dryland rice production (Cerrados, Brazil). *Soil Tillage Res*
- Muhamad. 2012. Meminimalkan Kehilangan Cadangan Massa Karbon Melalui Pemanenan Kayu Ramah Lingkungan di Hutan Alam Tropika Kalimantan Timur. Departemen Ilmu Kehutanan. USU. Medan.
- Mukaromah, M. 2017. Studi Kadar C-Organik Tanah Pada Berbagai Penggunaan Lahan Di UB Forest. Skripsi. Fakultas Pertanian. Universitas Brawijaya. Malang.
- Mutuo, P.K., Cadisch, G., Albercht, A., Palm, C.A., and Verchot, L. 2005. Potential of Agroforestry for carbon Sequestration and Mitigation of Greenhouse Gas Emission From Soil in The Tropics. *Nutrient cycling in Agroecosystem*, (71), 43-54.
- Nair, P.K.R., and Nair, D.V. 2002. Carbon Sequestration in Agroforestry System.

- Nabuurs, G.J., Mohren, G.M.J. 1995. Modelling Analysis of Potential Carbon Sequestration in Selected Forest Type. *Can. J. For.* (25):1157-1172.
- Natalia, D., Hairiah, K. and Arisoesilaningih, E. 2017. Apakah Keanekaragaman Spesies Pohon Dalam Agroforestry Karet Dapat Mempertahankan Cadangan Karbon. Tesis. Fakultas Pertanian. Universitas Brawijaya. Malang.
- Olivia, A. G., Merino, V. B., Garcia, M. C., Golfinsco, J. F., and Prieto, E. H. 2006. Effect Of Grow Conditions On Wood Density Of Spanis Pinus nigra. *Wood Science and Technology*, 3(10): 190-204.
- Pandit, I. K. N. dan Hikmat, R. 2002. Anatomi Kayu: Pengantar Sifat Kayu Sebagai Bahan Baku. Yayasan Penerbit Fakultas Kehutanan IPB. Bogor.
- Pidwirny, M. 2006. The Carbon Cycle. *Fundamental Of Physical Geography 2nd edition*.
- Roschetko, J.M., Delaney, M., Hairiah, K., Purnomosidhi, P., 2002. Carbon Stocks In Indonesian Homegarden Systems: Can Smallholder Systems Be Targeted For Increased Carbon Storage? *American Journal of Alternative Agriculture* 17:1-11.
- Saragih, J., Lucey, S., And Cohn, J. 2011. Deformable model fitting by regularized landmark mean-shift. *International Journal of Computer Vision*, 91(2):200–215.
- Siarudin, M., and Indrajaya, Y. 2017. Dinamika Cadangan Karbon Sistem Agroforestri Gmelina (*Gmelina arborea Roxb.*) Pada Hutan Rakyat Di Tasikmalaya Dan Banjar, Jawa Barat. *Wasian* 4 (1): 37–46.
- Snowdon, P., Raison, J., Keith H. 2002. Protocol For Sampling Tree And Stand Biomass. Australian Greenhouse Office Series III.
- Sudarto. 2016. Peta Administrasi Dalam KHDTK-UB. Fakultas Pertanian. Universitas Brawijaya. Malang.
- Tarnocai, C., Canadell, J. G., Schuur, E. A., Kuhry, P., Mazhitova, G., and Zimov, S. 2009. Soil Organic Carbon Pools In The Northern Circumpolar Permafrost Region. *Global Biogeochemical Cycles*, 23(2).
- Utami, S. R., Bruno, V. Noordwijk, M. V. Kurniatun. H. Mustofa, A. S. 2003. Bahan Ajaran Agroforestri 9: Prospek Penelitian dan Pengembangan Agroforestri di Indonesia. *World Agroforestry Centre (ICRAF)*.
- Van Noordwijk, M., Cadisch, G., and Ong, C. K. 2004. Below-ground interactions in tropical agroecosystems. Concepts and models with multiple plant

components. CABI.

- Verchot, L.V., Kamalakumari, A., and Romjin, E. 2012. Emissions factors: Converting land use change to CO<sub>2</sub> estimates. Dalam A. Angelsen, M. Brockhaus, W.D. Sunderlin, dan L. Verchot (Eds). *Analysing REDD+: challenges and choices* (pp. 261–278). Bogor, Indonesia: *Center for region*. (45): 75- 86.
- Vil`A, M., Vayreda, L. J., Comas, J.J., Ib`A `Nez, Mata, T., and Ob`On, B. 2007. Species Richness and Wood Production: A Positive Association In Mediterranean Forests. *Ecol. Lett*, 10 (3): 241–250.
- Wang, W., Lei, X., Zhihai, M., Kneeshaw, D., Peng, C. 2011. Positive Relationship between Aboveground Carbon Stocks and Structural Diversity in Spruce-Dominated Forest Stands in New Brunswick, Canada. *Forest Science*, 57(6): 506-515.
- White, L. P., and Plaskett, L. G. 1981. *Biomass as Fuel*. London: Academic Press.
- Widianto, H. Kurniatun, S. Didik, A. S. Mustofa. 2003. Fungsi Dan Peran Agroforestri. *World Agroforestry Centre (ICRAF)*.
- Yuliasmara, F. and Wibawa. 2009. Pengukuran Karbon Tersimpan Pada Perkebunan Kakao Dengan Pendekatan Biomassa Tanaman. *Warta Pusat Penelitian Kopi dan Kakao*, (23): 159– 169.
- Yusuf, S. Hawken, S. Dans, T. Avezum, A. F. Mcqueen, M. Budaj, A. Pais, P. Varigos, J. and Lisheng, L. 2014. Effect of Potentially Modifiable Risk Factors Associated with Myocardial Infarction. *Lancet Journal*, 364(9438):937-52.

## LAMPIRAN

## Lampiran 1. Analisis Ragam

Tabel 9. Hasil ANOVA Akar

Sumber keragaman	db	JK	KT	F hit	Fpr	s.e.d	ket
ulangan	2	265.6	132.8	0.24			
SPL	4	4857.7	1214.4	2.18	0.162	19.28	tn
Residual	8	4460.4	557.5				
Total	14	9583.7					

Tabel 10. Hasil ANOVA Biomassa Pohon Besar

Sumber keragaman	db	JK	KT	F hit	Fpr	s.e.d	ket
ulangan	2	25474.	12737	1.52			
SPL	4	327322.	81830	9.76	0.004	74.8	*
Residual	8	67087	8386				
Total	14	419883					

Tabel 11. Hasil ANOVA Biomassa Pohon Sedang

Sumber keragaman	Db	JK	KT	F hit	Fpr	s.e.d	ket
ulangan	2	1355.7	677.9	1.2			
SPL	4	93635.9	23409	41.43	<.001	19.41	*
Residual	8	4520.5	565.1				
Total	14	99512.1					

Tabel 12. Hasil ANOVA LBD Pohon Besar

Sumber keragaman	db	JK	KT	F hit	Fpr	s.e.d	ket
ulangan	2	152.19	76.09	1.8			
SPL	4	1685.65	421.41	9.94	0.003	5.32	*
Residual	8	339.01	42.38				
Total	14	2176.85					

Keterangan :

\* : berbeda nyata

\*\* : sangat berbeda nyata

tn : tidak berbeda nyata

Tabel 13. Hasil ANOVA LBD Pohon Sedang

Sumber keragaman	db	JK	KT	F hit	Fpr	s.e.d	ket
ulangan	2	0.32	0.16	0.66			
SPL	4	0.76	0.19	0.79	0.562	0.40	tn
Residual	8	1.93	0.24				
Total	14	3.00					

Tabel 14. Hasil ANOVA Total Cadangan Karbon

Sumber keragaman	db	JK	KT	F hit	Fpr	s.e.d	ket
Ulangan	2	4672.	2336	0.78			
SPL	4	80518.	20130	6.71	0.011	44.7	*
Residual	8	23982	2998				
Total	14	109173					

Tabel 15. Hasil ANOVA Cadangan Karbon Tanah

Sumber keragaman	db	JK	KT	F hit	Fpr	s.e.d	ket
Ulangan	2	1088.8	544.4	2.13			
SPL	4	4227.9	1057	4.14	0.042	13.05	*
Residual	8	2042.4	255.3				
Total	14	7359.2					

Tabel 16. Cadangan Karbon Tanaman

Sumber keragaman	db	JK	KT	F hit	Fpr	s.e.d	ket
ulangan	2	9803	701	0.24			
SPL	4	83168	6395	2.16	0.11	44.9	*
Residual	8	24168	2966				
Total	14	117138					

Tabel 17. Hasil ANOVA Nekromassa

Sumber keragaman	db	JK	KT	F hit	Fpr	s.e.d	ket
ulangan	2	0.21	0.10	0.11			
SPL	4	15.07	3.76	4.04	0.04	0.78	*
Residual	8	7.47	0.93				
Total	14	22.75					

Keterangan :

\* : berbeda nyata

\*\* : sangat berbedanyata

tn : tidak berbeda nyata

Tabel 18. Hasil ANOVA Populasi

Sumber keragaman	db	JK	KT	F hit	Fpr	s.e.d	ket
ulangan	2	0.002	0.001	2.27			
SPL	4	0.030	0.007	17.91	<.001	0.017	*
Residual	8	0.003	0.000				
Total	14	0.035					

Tabel 19. Hasil ANOVA Seresah

Sumber keragaman	db	JK	KT	F hit	Fpr	s.e.d	ket
ulangan	2	0.69	0.348	0.29			
SPL	4	7.52	1.881	1.58	0.269	0.89	tn
Residual	8	9.50	1.188				
Total	14	17.72					

Tabel 20. Hasil ANOVA *Understorey*

Sumber keragaman	db	JK	KT	F hit	Fpr	s.e.d	ket
ulangan	2	0.16	0.08	1.78			
SPL	4	0.12	0.03	0.65	0.64	0.17	tn
Residual	8	0.37	0.05				
Total	14	0.65					

Tabel 21. Hasil ANOVA C-organik

Sumber keragaman	db	JK	KT	F hit	Fpr	s.e.d	ket
ulangan	2	0.0001	0.0001	3.07			
SPL	4	0.001	0.0001	13.22	0.001	0.004	**
Residual	8	0.0002	0.00002				
Total	14	0.001					

Keterangan :

\* : berbeda nyata

\*\* : sangat berbeda nyata

tn : tidak berbeda nyata

## Lampiran 2. Korelasi Antar Variabel Pengamatan

Tabel 22. Hasil Korelasi Antar Variabel Pengamatan

Perlakuan	Ulangan	Karbon Tanah	Karbon Tanaman	Cadangan Karbon Total	Populasi	LBD P. Besar	LBD P. Sedang
Ulangan	1						
Karbon Tanah	0.38	1					
Karbon Tanaman	-0.27	-0.26	1				
Cadangan Karbon Total	-0.18	-0.01	0.97	1			
Populasi	-0.18	-0.07	0.45	0.45	1		
LBD P. Besar	-0.22	0.08	0.86	0.92	0.34	1	
LBD P. Sedang	-0.14	-0.15	0.39	0.36	0.01	0.39	1

### Lampiran 3. Dokumentasi Penelitian



Pengukuran Plot



Pengukuran Lingkar Lilit Batang



Frame Pengambilan Seresah dan Understorey



Pengambilan Sampel Tanah (BI, Tekstur, C-organik)



Analisis Tekstur Tanah



Pengukuran C-organik



#### Lampiran 4. Data Curah Hujan 2012-2017

Tabel 23. Data Curah Hujan Tahun 2012-2017 (BMKG Stasiun Klimatologi Karangploso Malang)

NO	BULAN	TAHUN (mm)					
		2012	2013	2014	2015	2016	2017
1	Januari	287	366	306	228	207	373
2	Februari	422	214	194	394	667	234
3	Maret	211	287	183	248	191	406
4	April	66	218	293	297	87	253
5	Mei	0	120	40	100	200	42
6	Juni	0	184	45	38	156	35
7	Juli	0	132	7	0	112	39
8	Agustus	4	0	40	0	90	0
9	September	0	0	0	0	45	46
10	Oktober	107	89	17	0	248	-
11	November	149	170	141	166	434	-
12	Desember	482	421	338	210	268	-
JUMLAH		1728	2201	1604	1681	2705	1428

#### Lampiran 5. Geoposisi Plot Pengamatan

Tabel 24. Geoposisi Plot Pengamatan

No	Titik Koordinat		SPL	Ulangan	Block
	X	Y			
1	0673914	9134791	AFPKM	1	84b
2	0673912	9134756	AFPKM	2	84b
3	0673909	9134742	AFPKM	3	84b
4	0673479	9135057	AFPKT	1	85b-1
5	0674154	9133574	AFPKT	2	90b
6	0674386	9133170	AFPKT	3	91b
7	0673706	9135134	AFPS	1	85b-1
8	0673482	9134854	AFPS	2	85b-1
9	0674112	9133728	AFPS	3	90b
10	0676348	9133348	AFMK	1	98-a1
11	0676457	9133296	AFMK	2	98a-1
12	0676889	9133226	AFMK	3	100a
13	0676372	9133449	AFMS	1	98a-1
14	0676498	9133191	AFMS	2	98a-1
15	0676348	9133348	AFMS	3	98a-1