



**PENDUGAAN CADANGAN KARBON (C-STOCK) PERKEBUNAN SENGON
LAUT (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen) DI MOJAN BINTORO
PATRANG JEMBER DAN PEMANFAATANNYA
SEBAGAI BUKU SUPLEMEN**

SKRIPSI

Oleh :

**Misrai Farauk
NIM 100210103057**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN BIOLOGI
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER
2014**



**PENDUGAAN CADANGAN KARBON (C-STOCK) PERKEBUNAN SENGON
LAUT (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen) DI MOJAN BINTORO
PATRANG JEMBER DAN PEMANFAATANNYA
SEBAGAI BUKU SUPLEMEN**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan dan mencapai gelar Sarjana Pendidikan (S1) pada Program Studi Pendidikan Biologi

Oleh

Misrai Farauk
NIM 100210103057

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN BIOLOGI
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER
2014**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ayahanda Mahyadi dan ibunda tercinta Hotimah, terimakasih atas segala dukungan dan doa yang selalu tercurahkan dan mengiringi setiap langkahku. Semoga Allah melimpahkan rahmat dan hidayat-Nya untuk ayahanda dan ibunda tercinta;
2. Guru-guru dan dosen biologi tercinta terimakasih yang tak terhingga atas segala ilmu pengetahuan dan didikan dengan penuh dedikasi yang Bapak/Ibu berikan kepadaku, sehingga dapat mengantarkan ananda pada jenjang sebagaimana adanya saat ini. Semoga semua ilmu yang Bapak/Ibu berikan bisa menjadi bekal yang baik dalam mempersiapkan kehidupanku di masa depan dan bisa bermanfaat untukku serta orang-orang di sekitarku;
3. Kakakku Hosnawiyah, Ahmad Choliq, dan Wiwik Nur Aini yang selalu memberikan dukungan moril selama ananda kuliah, terimakasih atas kasih sayang yang diberikan kepada ananda selama ini. Semoga kita bisa menjadi orang dapat membanggakan keluarga kita dan orang-orang di sekitar kita;
4. Keluarga besarku di Jember terimakasih atas segala doa, dukungan, dan semangat yang telah diberikan kepadaku sampai saat ini.

MOTTO

Keberimanan seseorang tidak hanya diukur dari banyaknya ritual di tempat ibadah.
Tapi, menjaga dan memelihara lingkungan juga merupakan hal yang
sangat fundamental dalam kesempurnaan
iman seseorang *)



*) Gazali, Hatim. 2012. *Islam Emansipatoris*. <http://www.islamemansipatoris.com>

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Misrai Farauk

NIM : 100210103057

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: “Pendugaan Cadangan Karbon (*C-stock*) Perkebunan Sengon Laut (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen) Di Mojan Bintoro Patrang Jember dan Pemanfaatannya Sebagai Buku Suplemen” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus saya junjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 30 Mei 2014

Yang menyatakan,

Misrai Farauk
NIM 100210103057

SKRIPSI

**PENDUGAAN CADANGAN KARBON (C-STOCK) PERKEBUNAN SENGON
LAUT (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen) DI MOJAN BINTORO
PATRANG JEMBER DAN PEMANFAATANNYA
SEBAGAI BUKU SUPLEMEN**

Oleh

Misrai Farauk
NIM 100210103057

Pembimbing

Dosen Pembimbing I : Drs. Wachju Subchan M.Sc., Ph.D.

Dosen Pembimbing II : Prof. Dr. Suratno, M.Si

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pendugaan Cadangan Karbon (*C-stock*) Perkebunan Sengon Laut (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen) Di Mojan Bintoro Patrang Jember dan Pemanfaatannya Sebagai Buku Suplemen” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember pada:

Hari : Jumat
Tanggal : 30 Mei 2014
Tempat : FKIP/Pendidikan Biologi

Tim Penguji:

Ketua

Sekretaris

Dr. Iis Nur Asyiah, S.P., M.P.
NIP 197306142 200801 2 008

Prof. Dr. Suratno, M.Si.
NIP 19670625 199203 1 003

Anggota I

Anggota II

Drs. Wachju Subchan M.S., Ph.D.
NIP 19630813 199302 1 001

Prof. Dr. Joko Waluyo, M.Si.
NIP 19571028 198503 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Jember

Prof. Dr. Sunardi, M.Pd.
NIP 19540501 198303 1 005

RINGKASAN

Pendugaan Cadangan Karbon (*C-stock*) Perkebunan Sengon Laut (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen) Di Mojan Bintoro Patrang Jember dan Pemanfaatannya Sebagai Buku Suplemen; Misrai Farauk, 100210103057, 2014: 157 halaman; Program Studi Pendidikan Biologi, Jurusan Pendidikan MIPA, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember.

Terjadinya peningkatan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) berpengaruh terhadap timbulnya pemanasan global. Pemanasan global menjadi isu yang penting karena dampaknya sudah mulai dirasakan oleh makhluk hidup. Untuk mengantisipasi dampak yang lebih mengancam pada masa yang akan datang, maka usaha-usaha preventif perlu dilakukan, salah satunya yaitu dengan penghijauan dan konservasi area vegetasi. Sengon laut (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen) merupakan jenis vegetasi berkayu dengan nilai komoditas tinggi yang akhir-akhir ini banyak dibudidayakan. Dengan meningkatnya penanaman sengon laut tersebut, maka secara tidak langsung telah membantu proses penyerapan CO₂ dari udara saat proses fotosintesis, sehingga dari proses tersebut perkebunan sengon laut dapat berkontribusi dalam menyimpan cadangan karbon.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi biomassa dan cadangan karbon pada perkebunan sengon laut di Mojan Bintoro Patrang Jember, mengetahui potensi penyerapan CO₂ oleh tegakan sengon laut, dan mengetahui pemanfaatan hasil penelitian yang disusun sebagai buku suplemen untuk sub materi siklus karbon di SMA. Luas perkebunan sengon laut yang diteliti adalah 48 ha. Jenis penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif. Penelitian deskriptif adalah penelitian yang mendeskripsikan suatu gejala, peristiwa atau kejadian yang terjadi sekarang. Bersifat kuantitatif artinya data yang diperoleh berupa data angka. Penelitian ini dilakukan dengan metode *non-destructive* (tanpa merusak) untuk mengukur biomassa dan cadangan karbon. Potensi biomassa dan cadangan karbon yang diukur dalam penelitian ini yaitu biomassa di atas permukaan tanah (*above ground biomass*) dan

biomassa di bawah permukaan tanah (*below ground biomass*). Biomassa yang ada di atas permukaan tanah meliputi tegakan (tajuk dan akar) sengon laut, tumbuhan bawah, serasah gugur dan nekromassa, sedangkan biomassa yang ada di dalam tanah, yaitu akar pohon sengon laut. Kemudian diukur pula kandungan dari C-organik tanah pada kedalaman antara 0-10 cm yang merupakan sumber karbon dalam tanah. Uji kandungan C-organik tanah dilakukan di laboratorium kesuburan tanah Fakultas Pertanian Universitas Jember.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa potensi biomassa perkebunan sengon laut di Mojan Bintoro Patrang Jember adalah 59,414 ton/ha dan potensi cadangan karbonnya adalah 32,400 ton/ha, sedangkan untuk potensi penyerapan CO₂ oleh tegakan sengon laut adalah 93,039 ton/ha. Dengan nilai cadangan karbon total perkebunan sengon laut di Mojan Bintoro Patrang Jember sebesar 32,400 ton/ha, maka cadangan karbon total yang dapat disimpan pada perkebunan sengon laut tersebut dengan luas 48 ha adalah sebesar 1.555,200 ton karbon, sedangkan total CO₂ yang dapat diserap oleh tegakan sengon laut pada perkebunan sengon laut tersebut dengan luas lahan 48 ha adalah sebesar 4.465,872 ton. Hasil tersebut menyatakan bahwa perkebunan sengon laut di Mojan Bintoro Patrang Jember cukup berpotensi dalam menyimpan karbon atau menyerap CO₂ dari udara untuk mengurangi emisi Gas Rumah Kaca (GRK).

Adapun rerata skor hasil validasi buku suplemen dari tim ahli (dosen) adalah sebesar 91,6%, sedangkan rerata skor dari tim pengguna (guru biologi SMA) adalah sebesar 90,4%. Rerata skor dari enam validator tersebut adalah 91,0%. Hal tersebut berarti bahwa buku suplemen yang telah disusun sangat layak dijadikan buku pengayaan pengetahuan untuk sub materi siklus karbon di SMA. Diharapkan dengan disusunnya buku suplemen sebagai buku pengayaan pengetahuan ini, siswa dapat termotivasi untuk lebih berperan serta dalam upaya menjaga dan memelihara lingkungan.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah Swt. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “ Pendugaan Cadangan Karbon (*C-stock*) Perkebunan Sengon Laut (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen) Di Mojan Bintoro Patrang Jember dan Pemanfaatannya Sebagai Buku Suplemen”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Pendidikan Biologi, Jurusan Pendidikan MIPA, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Sunardi, M.Si., selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
2. Susi Setiawani, S.Si., M.Sc., selaku Ketua Jurusan Pendidikan MIPA FKIP Universitas Jember;
3. Prof. Dr. Suratno, M.Si, selaku Ketua Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Jember dan selaku Dosen Pembimbing Akademik serta merangkap Dosen Pembimbing II, yang telah banyak membimbing dan memberikan masukan dalam penyusunan skripsi ini;
4. Drs.Wachju Subchan, MS, Ph.D., selaku Dosen Pembimbing I, yang telah membimbing, memberi motivasi dan memberikan dukungan demi kesempurnaan skripsi ini;
5. Seluruh Dosen Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Jember, atas segala bimbingan dan ilmu yang telah diberikan selama ini;
6. I Ketut Suardinata, selaku guru SMA Negeri 1 Jember yang telah berkenan untuk membantu validasi buku suplemen hasil penelitian;
7. Drs. Dwi Herwanto, selaku guru SMA Negeri 5 Jember yang telah berkenan untuk membantu validasi buku suplemen hasil penelitian;

8. Sutoyo, selaku guru SMA Muhammadiyah 3 Jember yang telah berkenan untuk membantu validasi buku suplemen hasil penelitian;
9. Teman-teman di Program Studi Pendidikan Biologi Angkatan 2010, yang telah banyak memberiku warna dalam hidup dan kenangan indah, serta
10. Semua pihak yang telah membantu demi kelancaran dalam penyelesaian penyusunan skripsi ini.

Penulis juga menerima kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, Mei 2014

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Batasan Masalah.....	6
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian	7
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pengertian Biomassa	8
2.1.1 Metode Pengukuran Biomassa.....	8
2.1.2 Faktor Yang Mempengaruhi Biomassa.....	11
2.2 Pengertian Unsur Karbon.....	12
2.2.1 Siklus Karbon.....	13
2.2.2 Karbon Tumbuhan	15

2.2.3 Pengertian Cadangan Karbon.....	16
2.3 Sengon Laut (<i>Paraserianthes falcataria</i> (L.) Nielsen)	18
2.3.1 Klasifikasi Sengon Laut	19
2.3.2 Karakteristik Sengon Laut.....	19
2.3.3 Habitat Sengon Laut.....	20
2.4 Pengukuran Diameter dan Tinggi Tegakan.....	21
2.5 Buku Suplemen sebagai Sumber Belajar	22
2.5.1 Pengertian Buku Suplemen	23
2.5.2 Ciri-ciri Buku Suplemen.....	24
BAB 3. METODE PENELITIAN	
3.1 Jenis Penelitian	26
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	26
3.3 Alat dan Bahan.....	26
3.4 Metode Pengambilan Data.....	27
3.5 Definisi Operasional	27
3.6 Variabel, Sub Variabel, Parameter dan Teknik Pengukuran dalam Penelitian	28
3.7 Desain Penelitian.....	29
3.7.1 Penentuan dan Peletakan Plot.....	29
3.7.2 Pengukuran Biomassa Tajuk Sengon Laut.....	30
3.7.3 Pengukuran Biomassa Akar Sengon Laut	31
3.7.4 Pengukuran Biomassa Tumbuhan Bawah dan Serasah Gugur (<i>Litter fall</i>).....	32
3.7.5 Pengukuran Nekromassa	33
3.7.6 Pengukuran Karbon Tanah	34
3.7.6 Pengovenan	35
3.7.7 Validasi Buku Suplemen	35

3.8 Prosedur Penelitian	36
3.9 Analisis Data	38
3.9.1 Konversi Biomassa menjadi Karbon	38
3.9.2 Potensi Penyerapan CO ₂	38
3.9.3 Analisis Validasi Buku Suplemen	39
3.10 Alur Penelitian.....	40
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Penelitian	41
4.1.1 Potensi Biomassa dan Cadangan Karbon Perkebunan Sengon Laut.....	41
4.1.2 Potensi Penyerapan Karbondioksida Tegakan Sengon Laut	49
4.1.3 Hasil Validasi Buku Suplemen	51
4.2 Pembahasan.....	55
4.2.1 Potensi Biomassa dan Cadangan Karbon Perkebunan Sengon Laut.....	56
4.2.2 Potensi Penyerapan Karbondioksida Tegakan Sengon Laut	65
4.2.3 Hasil Validasi Buku Suplemen	67
BAB 5. PENUTUP.....	70
5.1 Simpulan	70
5.2 Saran	70
DAFTAR BACAAN.....	71
LAMPIRAN-LAMPIRAN	76

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Karbon tersimpan di berbagai tipe penutupan lahan di beberapa lokasi penelitian	18
3.1 Variabel, sub variabel, parameter dan teknik pengukuran cadangan karbon dan penyusunan buku suplemen.	28
3.2 Kriteria nilai buku suplemen.....	39
4.1 Potensi biomassa dan cadangan karbon perkebunan sengon laut di Dusun Mojan.....	41
4.2 Potensi biomassa dan cadangan karbon tajuk sengon laut.....	43
4.3 Potensi biomassa dan cadangan karbon akar sengon laut.....	45
4.4 Potensi biomassa dan cadangan karbon tumbuhan bawah.....	46
4.5 Potensi biomassa dan cadangan karbon serasah gugur.....	47
4.6 Potensi biomassa dan cadangan karbon nekromassa.	48
4.7 Kandungan C-organik dan karbon tanah perkebunan sengon laut.....	49
4.8 Potensi penyerapan CO ₂ tajuk dan akar sengon laut.....	50
4.9 Hasil validasi tim ahli.	52
4.10 Hasil validasi guru biologi SMA.	53
4.11 Daftar komentar atau saran validator atas buku suplemen.....	54

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Tegakan sengon laut (<i>Paraserianthes falcataria</i> (L.) Nielsen)	20
Gambar 2.2 Hagameter	24
Gambar 3.1 Desain plot penelitian	30
Gambar 3.2 Lokasi plot penelitian pada perkebunan sengon laut Mojan Bintoro	30
Gambar 3.3 Jaring penangkap serasah daun	33
Gambar 3.4 Skema alur penelitian	41
Gambar 4.1 Tumbuhan bawah dominan perkebunan sengon laut Mojan Bintoro	60

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A. Matriks Penelitian.....	76
Lampiran B. Kuisisioner Validasi Buku Suplemen.....	78
Lampiran C. Perhitungan Data Penelitian.....	88
Lampiran D. Dokumentasi Penelitian.....	117
Lampiran E. Hasil Uji C-organik Tanah.....	121
Lampiran F. Lembar Konsultasi Penyusunan Skripsi.....	122
Lampiran G. Surat Ijin dan Bukti Selesai Penelitian.....	123
Lampiran H. Hasil Validasi Buku Suplemen.....	134

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Segala aktivitas manusia yang sangat kompleks seringkali menimbulkan dua akibat yang saling bertolak belakang. Hal ini bisa dilihat dengan semakin meningkatnya perkembangan ilmu dan teknologi yang semakin canggih, sehingga suatu pekerjaan dapat diselesaikan dengan mudah dan tanpa memakan banyak waktu, biaya, dan tenaga. Sedangkan dilain pihak, hal tersebut justru dapat mengakibatkan tingkat kesadaran manusia terhadap lingkungan semakin menurun, sehingga kondisi lingkungan menjadi semakin buruk.

Keadaan lingkungan yang kita rasakan saat ini menunjukkan adanya sebuah perubahan, salah satunya yaitu peningkatan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) yang berpengaruh terhadap timbulnya perubahan iklim yang terjadi pada 50 tahun terakhir. Hal tersebut banyak disebabkan oleh aktivitas manusia yang kurang bijak terhadap lingkungan. Sehingga dampak terparah yang dapat kita rasakan saat ini yaitu terjadinya pemanasan global.

Pemanasan global (*Global Warming*) adalah kejadian meningkatnya temperatur rata-rata atmosfer, laut dan daratan bumi. Pemanasan global merupakan salah satu aspek kunci terjadinya perubahan iklim. Perubahan iklim akibat pemanasan global semakin menjadi perhatian yang serius bagi kelangsungan kehidupan manusia di bumi saat ini. Perubahan iklim global yang terjadi akhir-akhir ini disebabkan karena terganggunya keseimbangan energi antara bumi dan atmosfer. Keseimbangan tersebut dipengaruhi antara lain oleh peningkatan gas karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄) dan nitrogen oksida (N₂O) yang lebih dikenal dengan Gas Rumah Kaca (GRK) (Muhi, 2011:1).

Peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer sebagian besar disebabkan oleh aktivitas manusia, seperti alih fungsi lahan, pencemaran udara akibat pembakaran bahan bakar fosil untuk transportasi, pembangkit tenaga dan aktivitas industri, serta

meningkatnya aktivitas penebangan liar. Kegiatan ini mengakibatkan banyak karbon akan terlepas ke atmosfer. Beberapa gejala yang telah timbul seperti meningkatnya suhu bumi, perubahan cuaca, mencairnya es di kutub dan perubahan gejala alam lainnya, semakin menegaskan akan pentingnya mengatasi dampak pemanasan global, sehingga perlu adanya solusi bijak dan tepat untuk mengatasi permasalahan tersebut. (Waryono, 2002: 3).

REDD+ (*Reduced Emissions from Deforestation and Degradation*) adalah mekanisme internasional yang dimaksudkan dapat memberikan insentif bersifat positif bagi negara berkembang yang berhasil mengurangi emisi dari deforestasi dan degradasi hutan, sehingga diharapkan menjadi salah satu solusi mengatasi pemanasan global. Pengurangan emisi dari deforestasi dan degradasi hutan menjadi isu penting dalam berbagai forum kehutanan terutama setelah masuknya isu ini ke dalam Agenda COP 11-UNFCCC (*Conference of Parties-United Nations Framework Convention on Climate Change*). Saat ini REDD+ telah berkembang dalam mekanisme penurunan emisi dari deforestasi dan degradasi hutan, peran konservasi, pengelolaan hutan secara lestari, dan peningkatan cadangan karbon pada tumbuhan (Kementerian Kehutanan, 2010:1).

Suatu tumbuhan, baik di dalam maupun di luar kawasan hutan mampu menyerap gas karbon dioksida (CO_2) dari udara melalui proses fotosintesis, yang selanjutnya diubah menjadi karbohidrat ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$). Karbohidrat tersebut akan disebarkan ke seluruh tubuh tumbuhan dan akhirnya ditimbun di dalamnya, yang kemudian dinyatakan sebagai biomassa tumbuhan. Proses penimbunan karbon (C) dalam tubuh tumbuhan hidup dinamakan proses sekuestrasi (*C-sequestration*). Dengan demikian mengukur jumlah atau cadangan karbon (*C-Stock*) yang disimpan dalam tubuh tumbuhan hidup (biomassa) pada suatu lahan dapat menggambarkan banyaknya CO_2 di atmosfer yang diserap oleh tumbuhan. (Hairiah, *et al.*, 2011:1).

Tanaman atau pohon berumur panjang yang tumbuh di hutan primer, di hutan sekunder, kebun monokultur, maupun pekarangan rumah atau kebun campuran (*agroforestry*) merupakan tempat penyimpanan karbon yang jauh lebih besar daripada

tanaman semusim. Oleh karena itu, hutan alami dengan keanekaragaman jenis pepohonan berumur panjang dan serasah yang banyak merupakan gudang penyimpanan karbon tertinggi pada daratan, baik di atas maupun di bawah permukaan tanah (Affandi, 2002:1). Hutan secara alami juga melepaskan CO₂ ke udara lewat respirasi dan dekomposisi (pelapukan serasah) dalam jumlah kecil, namun proses pembakaranlah yang melepaskan CO₂ sekaligus dalam jumlah besar ke atmosfer. Berkenaan dengan upaya pengembangan lingkungan bebas pencemaran, maka jumlah CO₂ di udara harus dikendalikan dengan jalan menekan emisi CO₂ ke udara serendah mungkin dan meningkatkan serapan CO₂ atau meningkatkan cadangan karbon oleh tumbuhan.

Cadangan karbon merupakan kuantitas absolut dari karbon yang tersimpan dalam suatu area pada suatu waktu tertentu. Cadangan karbon pada strata pohon merupakan besar karbon yang tersimpan pada pohon dalam bentuk biomassa pohon. Cadangan karbon di hutan sekitar 50% diantaranya tersimpan dalam vegetasi hutan (Sutaryo, 2009:2). Jumlah cadangan karbon antar lahan berbeda-beda, tergantung pada jenis tanahnya, keanekaragaman dan kerapatan tumbuhan serta cara pengelolaannya, sehingga perlu dilakukan pengukuran jumlah cadangan karbon yang disimpan dalam setiap jenis lahan (Hairiah *et al.*, 2011:1).

Jenis lahan yang merupakan tempat paling berpotensi besar dalam menyimpan cadangan karbon adalah hutan primer, disusul oleh hutan sekunder, perkebunan, agroforestri, lahan padi dan terakhir padang rumput. Hutan tentunya dapat memberikan pengaruh terhadap terjadinya perubahan iklim. Penebangan hutan dapat menimbulkan amplitudo variasi iklim yang tidak menentu (Ryadi, 1981:59). Selain hutan, suatu vegetasi lain seperti perkebunan juga cukup berpotensi dalam menyimpan cadangan karbon yang membantu proses penyerapan CO₂ di udara. Salah satunya adalah perkebunan sengon laut yang saat ini banyak dibudidayakan atau ditanam oleh masyarakat terutama petani, karena sengon laut memiliki nilai komoditas tinggi.

Sengon laut (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen) adalah tanaman yang termasuk famili *Leguminoceae* yang merupakan tanaman asli di Maluku, Papua, Papua New Guinea, Pulau Bismark dan Pulau Solomon. Tanaman ini dibawa oleh Teysmann untuk ditanam di Kebun Raya Bogor pada tahun 1871. Sengon laut merupakan pohon yang sangat cocok untuk dibudidayakan, baik dalam skala besar maupun dalam skala kecil. Peluang usaha budidaya sengon laut dalam skala besar atau kecil semakin terbuka lebar mengingat permintaan ekspor yang kian meningkat sehingga penanamannya telah banyak dilakukan (Atmosuseno, 2008:2). Aktivitas penanaman sengon laut yang semakin meningkat secara tidak langsung telah membantu proses penghijauan di daerah lingkungan sekitar, sehingga perkebunan sengon laut tersebut dapat membantu penyerapan CO₂ dari udara.

Salah satu kegiatan penanaman sengon laut telah dilakukan oleh Pemerintah Kabupaten Jember melalui Dinas Perkebunan Kabupaten Jember pada hari menanam pohon dan bulan menanam nasional tanggal 28 November 2008 di Mojan Bintoro Patrang Jember sebagai bentuk kegiatan menanam 10.000 pohon. Maksud kegiatan ini adalah meningkatkan kepedulian berbagai pihak pentingnya penanaman dan pemeliharaan pohon berkelanjutan untuk mengurangi pemanasan global. Selain itu, juga bertujuan meningkatkan absorpsi gas CO₂, SO₂, dan polutan lainnya, mencegah banjir, kekeringan, dan tanah longsor, serta meningkatkan upaya konservasi sumberdaya genetik tanaman industri (Dinas Perkebunan Kabupaten Jember, 2008).

Mojan terletak di Kelurahan Bintoro Kecamatan Patrang Kabupaten Jember dan merupakan salah satu tempat perkebunan sengon laut yang cukup luas yaitu seluas 48 ha. Perkebunan tersebut merupakan perkebunan monokultur dengan umur tegakan 5 tahun (Dinas Perkebunan Kabupaten Jember, 2008). Sekiranya perlu dilakukan perhitungan nilai cadangan karbon yang mampu disimpan perkebunan tersebut, sehingga memberikan informasi tentang karbon yang mampu diserap untuk mengurangi emisi gas yang dapat menyebabkan pemanasan global.

Pengetahuan tentang dampak dan akibat dari pemanasan global perlu ditanamkan kepada masyarakat sejak awal. Dengan adanya referensi yang memadai, diharapkan masyarakat untuk lebih sadar dan bijak mengenai permasalahan pemanasan global. Bagaimana dampak yang ditimbulkan dan cara mencegah ataupun mengatasi dampak pemanasan global tersebut, sehingga penelitian ini akan dipublikasikan dalam bentuk buku suplemen. Buku suplemen yang akan disusun adalah buku pengayaan pengetahuan untuk sub materi siklus karbon di SMA. Buku suplemen tersebut diharapkan mampu memberikan wawasan bagi pembacanya baik guru maupun siswa dalam proses pembelajaran. Hal ini sesuai dengan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 2 tahun 2008 pasal 6 (2) yang menyatakan bahwa “selain buku teks pelajaran, pendidik dapat menggunakan buku panduan pendidik, buku pengayaan, dan buku referensi dalam proses pembelajaran”.

Dari latar belakang yang telah dijelaskan di atas maka perlu dilakukan penelitian dengan judul “Pendugaan Cadangan Karbon (*C-stock*) Perkebunan Sengon Laut (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen) Di Mojan Bintoro Patrang Jember dan Pemanfaatannya Sebagai Buku Suplemen”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan di atas maka dapat dirumuskan permasalahan penelitian sebagai berikut:

- a. Berapakah potensi biomassa dan cadangan karbon perkebunan sengon laut (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen) di Mojan Bintoro Patrang Jember?
- b. Berapakah potensi penyerapan gas karbondioksida (CO_2) tegakan sengon laut (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen) di Mojan Bintoro Patrang Jember?
- c. Apakah hasil dari penelitian pendugaan cadangan karbon (*C-stock*) perkebunan sengon laut (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen) di Mojan Bintoro Patrang Jember dapat dimanfaatkan sebagai salah satu buku suplemen”?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian pendugaan cadangan karbon (*C-stock*) di Perkebunan sengon laut tersebut, masalah yang dibahas terbatas pada:

- a. Umur tegakan sengon laut (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen) yang diteliti yaitu 5 tahun.
- b. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode tanpa pemanenan (*non-destructive*).
- c. Pengukuran biomassa tumbuhan bawah terbatas pada daun dan batang (*above ground biomass*).
- d. Pengukuran kandungan C-Organik tanah terbatas pada lapisan tanah dengan kedalaman antara 0-10 cm.
- e. Serasah yang diukur merupakan serasah gugur (*litter fall*) dan nekromassa yang diukur berupa tunggak/tunggul tanaman, cabang dan ranting utuh yang berdiameter ≥ 1 cm dan panjang $\geq 0,3$ m.
- f. Buku suplemen yang dihasilkan adalah jenis buku pengayaan pengetahuan untuk sub materi siklus karbon di SMA.

1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijelaskan sebelumnya, maka tujuan penelitian ini adalah:

- a. Mengetahui potensi biomassa dan cadangan karbon perkebunan sengon laut (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen) di Mojan Kelurahan Bintoro Patrang Jember.
- b. Mengetahui potensi penyerapan gas karbondioksida (CO_2) tegakan sengon laut (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen) di Mojan Bintoro Patrang Jember.
- c. Mengetahui apakah hasil dari penelitian pendugaan cadangan karbon (*C-stock*) perkebunan sengon laut (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen) di Mojan Bintoro Patrang Jember dapat dimanfaatkan sebagai salah satu buku suplemen.

1.5 Manfaat

Dari hasil penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat, antara lain:

- a. Bagi penulis, memberikan pengalaman baru tentang bagaimana cara mengukur cadangan karbon (*C-stock*) yang terdapat pada perkebunan sengon laut (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen).
- b. Bagi peneliti lain dalam bidang yang sama, dapat digunakan sebagai acuan untuk penelitian berikutnya yang berkaitan.
- c. Bagi proses belajar mengajar, memberikan pengetahuan dan menambah wawasan keilmuan tentang potensi cadangan karbon di perkebunan sengon laut (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen).

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Biomassa

Biomassa berasal dari kata *bio* yang artinya hidup dan *massa* yang berarti berat. Brown (1997) mendefinisikan biomassa sebagai jumlah total bahan organik hidup yang dinyatakan dengan satuan ton massa kering per satuan luas. Sedangkan menurut Soegianto (1994:14), biomassa didefinisikan sebagai massa atau berat dari individu suatu populasi dan sering dinyatakan per unit luas atau volume.

Biomassa terbagi menjadi dua komponen yaitu biomassa di atas permukaan tanah (*above ground biomass*) dan biomassa di bawah permukaan tanah (*below ground biomass*). Biomassa di atas permukaan tanah terdiri atas tumbuhan hidup (batang, cabang, daun, tumbuhan menjalar, tumbuhan epifit, tumbuhan bawah) dan tumbuhan mati (nekromassa). Sedangkan biomassa di bawah permukaan tanah meliputi akar tumbuhan hidup maupun mati. Selain itu terdapat pula organisme dan bahan organik tanah yang dapat menyimpan karbon dalam tanah. Komponen biomassa di atas permukaan tanah merupakan bagian terbesar dari total jumlah biomassa yang mampu menyimpan cadangan karbon (Adinugroho, *et.al.*, 2006).

Senyawa karbon dibutuhkan oleh makhluk hidup sebagai salah satu unsur pembangun biomassa dan sebagai sumber energi. Melalui proses fotosintesis, CO₂ di udara diserap oleh tanaman dan diubah menjadi karbohidrat (C₆H₁₂O₆) yang kemudian ditimbun pada bagian tubuh tumbuhan seperti batang yang kemudian dinyatakan sebagai biomassa tumbuhan. Pendugaan cadangan karbon suatu vegetasi dapat diketahui dengan menghitung biomassa vegetasi tersebut.

2.1.1 Metode Pengukuran Biomassa

Menurut Brown (1997) ada dua pendekatan untuk menduga biomassa dari pohon yaitu pertama berdasarkan pendugaan volume kulit sampai batang bebas cabang yang kemudian dirubah menjadi jumlah biomassa (ton/ha), sedangkan yang

kedua secara langsung dengan menggunakan persamaan regresi biomassa (persamaan allometrik). Tetapi yang menjadi kelemahan persamaan regresi penduga biomassa terbaru yang berlaku di daerah tropik yang dibuat Brown tidak menyertakan penduga biomassa per bagian pohon seperti untuk batang, cabang, daun, dan kulit.

Pendekatan pertama oleh Brown (1997) menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Biomassa di atas tanah (ton/ha)} = \text{VOB} \times \text{WD} \times \text{BEF}$$

Keterangan :

VOB = Volume batang bebas cabang dengan kulit (m^3/ha)
WD = Kerapatan kayu
BEF = Faktor ekspansi (Perbandingan total biomassa pohon kering oven di atas tanah dengan biomassa kering oven volume inventarisasi hutan)

Pendekatan kedua dalam menentukan kerapatan biomassa yaitu dengan menggunakan persamaan regresi biomassa berdasarkan diameter batang pohon. Dasar dari persamaan regresi ini adalah hanya mendekati biomassa rata-rata per pohon menurut sebaran diameter, dengan menggabungkan sejumlah pohon pada setiap kelas diameter dan menjumlahkan (total) seluruh pohon untuk seluruh kelas diameter.

Brown (1997) telah membuat model penduga biomassa di hutan tropika dengan model pangkat sebagai berikut:

$$\text{Biomassa di atas tanah (Y)} = a D^b$$

Keterangan: Y = massa kering per pohon (kg);
D = diameter setinggi dada (130 cm);
a & b = konstanta.

Metode pendugaan biomassa saat ini sudah berkembang. Metode pendugaan biomassa dikelompokkan dalam dua kategori, yaitu; (1) metode pemanenan (*destructive*) yang terdiri atas; (a) metode pemanenan individu tanaman, (b) metode pemanenan kuadrat dan (c) metode pemanenan individu pohon yang mempunyai luas

bidang dasar rata-rata; dan (2) metode pendugaan tidak langsung (*non-destructive*) yang terdiri dari; (a) metode hubungan *allometrik*, yakni dengan mencari korelasi yang paling baik antara dimensi pohon dan biomasanya, dan (b) *crop meter*, yaitu dengan cara menggunakan seperangkat alat elektroda yang kedua kutubnya diletakkan di atas permukaan tanah pada jarak tertentu (Chapman dalam Onrizal (2004:8); Hairiah & Rahayu, 2007:7).

Pada metode pendugaan cadangan karbon pada suatu vegetasi, parameter yang diukur adalah biomassa pohon, karena biomassa pohon memiliki proporsi terbesar dalam menyimpan karbon. Pengukuran besar biomassa pohon dapat dilakukan tanpa melakukan perusakan, sebab biomassa pohon dapat diestimasi dengan menggunakan persamaan allometrik yang didasarkan pada pengukuran parameter yang lebih mudah diukur seperti diameter dan tinggi batang (Hairiah & Rahayu, 2007:19).

Persamaan allometrik didefinisikan sebagai suatu studi dari suatu hubungan antara pertumbuhan dan ukuran salah satu bagian organisme dengan pertumbuhan atau ukuran dari keseluruhan organisme. Dalam studi biomassa hutan/pohon, persamaan allometrik digunakan untuk mengetahui hubungan antara ukuran pohon (diameter atau tinggi) dengan massa (kering) pohon secara keseluruhan (Sutaryo, 2009:8). Keunggulan menggunakan persamaan allometrik diantaranya dapat mempersingkat waktu pengambilan data di lapangan, tidak membutuhkan banyak sumber daya manusia (SDM), mengurangi biaya dan mengurangi kerusakan pohon. Sedangkan kelemahan persamaan allometrik yaitu tidak bisa digunakan secara umum untuk seluruh jenis pohon dan harus memperhatikan kondisi pohon yang akan diukur biomasanya.

Pengukuran biomassa vegetasi dapat memberikan informasi tentang nutrisi dan persediaan karbon dalam vegetasi secara keseluruhan atau pada bagian-bagian tertentu. Mengukur biomassa vegetasi pohon tidaklah mudah, khususnya pada hutan campuran dan tegakan tidak seumur. Salah satu potensi biomassa terbesar terdapat pada hutan. Biomassa hutan (*forest biomass*) adalah keseluruhan volume semua jenis

tumbuhan pada suatu waktu tertentu yang berperan penting dalam siklus biogeokimia termasuk siklus karbon. Potensi biomassa tumbuhan akan berbeda satu dengan yang lainnya, karena terdapat faktor-faktor yang bisa mempengaruhi potensi biomassa suatu tumbuhan (Sutaryo, 2009:1).

2.1.2 Faktor yang Mempengaruhi Biomassa

Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi potensi biomassa suatu tumbuhan. Diantaranya adalah faktor iklim seperti suhu dan curah hujan. Semakin tinggi suhu, maka dapat menyebabkan kelembapan udara relatif semakin berkurang. Hal ini disebabkan karena udara relatif yang tinggi akan memiliki tekanan udara parsial uap air lebih tinggi dibanding dengan tekanan udara parsial CO₂ sehingga difusi uap air melalui stomata ke dalam tumbuhan lebih besar dibanding CO₂. Hal tersebut menyebabkan kadar CO₂ yang masuk ke dalam tumbuhan lebih kecil, sehingga mengakibatkan laju fotosintesis menurun (Lugo & Snedaker dalam Irawan, 2009:8).

Curah hujan (presipitasi) juga sangat berpengaruh terhadap laju peningkatan biomassa tumbuhan. Presipitasi antara daerah satu dengan daerah lainnya mempunyai besaran yang berbeda tergantung pada kondisi lingkungan. Daerah dengan curah hujan rendah, menyebabkan kondisi tanah menjadi kering sehingga kondisi lingkungan menjadi gersang. Sebaliknya dengan curah hujan yang tinggi, menyebabkan kandungan air dalam tanah melimpah. Kedua kondisi yang berbeda tersebut menyebabkan perbedaan kandungan hara yang tersedia dalam tanah. Semakin banyak hara tanah maka potensi biomassa tumbuhan menjadi lebih besar dan begitupula sebaliknya. Hal tersebut karena hara tanah dapat mempengaruhi pertumbuhan tumbuhan (Hairiah *et al.*, 2011:1). Selain pengaruh faktor iklim lingkungan, terdapat pula faktor lain seperti umur, kerapatan tegakan, komposisi tegakan dan kualitas tempat tumbuh yang dapat mempengaruhi besarnya potensi biomassa suatu tumbuhan (Lugo & Snedaker dalam Irawan, 2009:8).

2.2 Pengertian Unsur Karbon

Karbon adalah unsur kimia bukan logam dengan simbol atom C yang banyak terdapat di dalam semua bahan organik dan di dalam bahan anorganik tertentu. Unsur ini mempunyai nomor atom 6 dan massa atom 12 sma (Agus *et al.*, 2011:9). Umumnya karbon menyusun 50% dari biomassa tumbuhan, sehingga cadangan karbon dapat diduga dari jumlah biomassa tumbuhan. Sejak kandungan karbon di atmosfer meningkat pesat, berbagai ahli ekologi tertarik untuk menghitung jumlah karbon yang tersimpan dalam suatu vegetasi seperti hutan alami, hutan sekunder, maupun perkebunan. Karbon juga tersimpan dalam material yang sudah mati sebagai serasah, batang pohon yang jatuh ke permukaan tanah, dan sebagai material sukar lapuk di dalam tanah. Hutan mengandung cadangan karbon dalam jumlah yang sangat besar, sehingga hutan dapat dikatakan sebagai lumbung karbon atau tempat menyimpan karbon yang sangat penting (Whitmore dalam Hadi, 2007:5).

Hutan merupakan sumber daya alam yang sangat penting dan bermanfaat bagi hidup dan kehidupan baik secara langsung maupun tidak langsung. Manfaat langsung dari keberadaan hutan di antaranya adalah kayu, hasil hutan selain kayu dan juga satwa. Manfaat tidak langsung dari hutan berupa jasa lingkungan, baik sebagai pengatur tata air, fungsi estetika, maupun sebagai penyedia oksigen dan penyerap karbon. Kerusakan hutan dapat berdampak pada perubahan iklim dan pemanasan global, karena menyebabkan manfaat tidak langsung dari hutan sebagai penyerap karbon terbesar di daratan menjadi berkurang.

Sebelum hutan atau jenis vegetasi lain dapat mengatasi masalah perubahan iklim, hutan harus dikelola sedemikian rupa agar dapat beradaptasi dengan perubahan iklim. Bukan sebaliknya, hutan dikelola untuk memitigasi perubahan iklim (Murdiyarso, 2003:103). Hal tersebut karena hutan dapat menyimpan karbon sekurang-kurangnya 10 kali lebih besar dibandingkan dengan tipe vegetasi lain seperti padang rumput, tanaman semusim dan tundra, sehingga memainkan peranan yang penting dalam siklus karbon global di alam.

2.2.1 Siklus Karbon

Siklus karbon adalah siklus biogeokimia dimana karbon dipertukarkan antara biosfer, geosfer, hidrosfer, dan atmosfer yang berkaitan dengan proses-proses dekomposisi bahan-bahan organik. Terdapat tiga *reservoir* utama atau tempat penyimpanan karbon dalam siklus karbon. Reservoir tersebut adalah atmosfer, lautan dan biosfer teresterial (Solomon *et. al.*, 1985).

Pergerakan atau pertukaran karbon antar reservoir, terjadi karena proses-proses kimia, fisika, geologi, dan biologi yang bermacam-macam. Ketersediaan karbon di atmosfer hanya satu persen, namun jumlahnya dapat mencapai 750 Gigaton karbon. Karbon di atmosfer dalam jumlah besar tersedia dalam bentuk CO₂, sebagian kecil dalam bentuk metana (CH₄), karbon monoksida (CO), dan terdapat pula *chlorofluorocarbons* (CFCs). Dimana semua gas tersebut bersifat radiatif yang dapat menimbulkan efek Gas Rumah Kaca (GRK).

Reservoir lautan (termasuk karbon inorganik terlarut dan biota laut hayati dan non-hayati) mengandung kolam aktif karbon yang dapat menampung 39.000 Gigaton karbon. Laut dalam hal ini, mengalami pertukaran karbon yang lambat dengan atmosfer. Reservoir terbesar karbon adalah biosfer terestrial yang mampu menyimpan karbon sampai 65,5 juta Gigaton karbon. Karbon tersebut tersimpan dalam material hayati dan material non-hayati organik seperti karbon tanah (*soil carbon*) yang berupa sedimen dan fosil (Solomon *et. al.*, 1985).

Daur karbon berasal dari dua komponen utama yaitu biomassa di atas tanah dan bahan organik di dalam tanah. Karbon diatas permukaan tanah terdiri dari karbon pada tumbuhan hidup dan komponen tumbuhan mati yang berada di atas tanah, sedangkan karbon dalam tanah berasal dari bahan organik yang mengalami dekomposisi dalam waktu yang lama dan juga berasal dari organisme di dalam tanah. Suatu ekosistem yang tidak terganggu, jumlah dan proporsi kedua komponen utama daur karbon tersebut bersifat relatif konstan dan bahan organik termasuk karbon yang dihasilkan oleh vegetasi berangsur-angsur dikembalikan ke dalam tanah.

Molekul karbon dalam bentuk CO₂ digunakan oleh tumbuhan menjadi molekul organik yang kompleks seperti gula, lemak, protein dan serat, dengan menggunakan energi matahari melalui proses fotosintesis. Proses tersebut menghasilkan produktivitas primer kotor, yang sebagian dikonsumsi lagi dalam proses respirasi, sehingga sisanya berupa produktivitas primer bersih. Molekul organik yang dihasilkan akan diasimilasikan, dikonsumsi, dikeluarkan menjadi kotoran, diurai dan begitu seterusnya sehingga terjadi pertukaran energi yang di dalamnya juga terjadi siklus karbon. Molekul karbon juga dilepaskan ke dalam atmosfer lagi sebagai CO₂ dalam jumlah yang kecil, yaitu dari hasil respirasi organisme konsumen.

Aktivitas manusia telah meningkatkan jumlah CO₂ yang dilepas ke atmosfer dengan melakukan pembakaran bahan bakar fosil, bahan bakar minyak, limbah padat dan kayu untuk berbagai aktivitas seperti menggerakkan kendaraan dan menghasilkan listrik. Pada saat yang sama, jumlah vegetasi yang mampu menyerap CO₂ semakin berkurang akibat perambahan hutan untuk diambil kayunya. Walaupun lautan dan proses alam lainnya mampu mengurangi CO₂ di atmosfer, aktivitas manusia yang melepaskan CO₂ ke udara jauh lebih cepat dari kemampuan alam untuk mengurangnya. Jika kondisi seperti ini terus berlanjut, maka jumlah CO₂ di udara akan meningkat, sehingga dampak dari pemanasan global yang akan kita rasakan akan semakin buruk.

Konsentrasi gas CO₂ di udara sangat kecil bila dibandingkan dengan oksigen dan nitrogen yaitu kurang dari 0,03 %. Akan tetapi gas CO₂ adalah gas rumah kaca yang berperan dalam efek rumah kaca. Sekarang ini, populasi tumbuhan semakin berkurang (banyak hutan rusak dan lain-lain). Sedangkan jumlah kendaraan bermotor, pabrik dan sumber penghasil karbon lainnya yang melepaskan CO₂ ke atmosfer semakin bertambah banyak. Dengan tidak adanya hutan, maka CO₂ tidak diserap sebagai bahan fotosintesis, akan tetapi akan dilepaskan ke atmosfer.

Kita bisa membayangkan bahwa pelepasan CO₂ ke udara tidak sebanding dengan pengubahannya oleh tumbuhan menjadi karbohidrat, karena jumlah areal

vegetasi semakin berkurang. Hal tersebut akan mempengaruhi keseimbangan CO₂ di atmosfer dan keseimbangan ekosistem di bumi. Dengan adanya permasalahan dalam siklus karbon tersebut, maka diperlukan adanya proses penyerapan CO₂ dari atmosfer melalui tumbuhan dalam jumlah yang besar.

2.2.2 Karbon pada Tumbuhan

Suatu sifat fisiologis yang hanya dimiliki oleh tumbuhan ialah kemampuannya untuk menggunakan zat karbon dari udara, kemudian mengubahnya menjadi bahan organik dan mengasimilasikan dalam tubuh tanaman. Peristiwa ini hanya berlangsung jika ada cukup cahaya dan klorofil, peristiwa ini dinamakan fotosintesis. Fotosintesis adalah perubahan energi cahaya menjadi energi kimiawi yang disimpan dalam glukosa atau senyawa organik lainnya yang terjadi pada tumbuhan, algae, dan prokariotik tertentu. Fotosintesis sering dikatakan sebagai proses kimia satu-satunya di bumi yang sangat penting, hal ini dapat terlihat pada stabilitas konsentrasi oksigen dan karbondioksida di atmosfer yang jumlahnya sangat bergantung pada proses fotosintesis pada tumbuhan (Campbell, *et al.*, 2002: 181).

Penyerapan karbon sendiri terjadi didasarkan atas proses kimiawi dalam fotosintesis tumbuhan yang menyerap CO₂ dari atmosfer dan air dari tanah, kemudian dengan adanya cahaya dan klorofil akan menghasilkan oksigen dan karbohidrat (C₆H₁₂O₆). Karbon dari karbohidrat (C₆H₁₂O₆) inilah yang dihitung sebagai cadangan karbon. Karbohidrat tersebut selanjutnya akan dapat berakumulasi dalam bentuk selulosa dan lignin yang disimpan terutama pada bagian batang tumbuhan dan dinyatakan sebagai biomassa tumbuhan (Kementerian Kehutanan, 2010). Telah dijelaskan sebelumnya bahwa energi cahaya yang masuk ke dalam ekosistem hutan akan berubah menjadi energi kimia oleh proses fotosintesis, namun energi yang diubah tidak seluruhnya dikonversi ke biomassa. Sebagian energi akan dibebaskan saat proses respirasi untuk menyuplai energi yang digunakan sebagai aktivitas metabolisme tumbuhan itu sendiri (Barbour, *et al.* dalam Lukito, 2010:6).

Lasco *et al.* (2004:90) menyatakan bahwa tumbuhan menyerap karbon dan disimpan dalam bentuk biomassa kayu, sehingga cara termudah untuk meningkatkan cadangan karbon adalah dengan menanam dan memelihara pohon. Karbon yang disimpan oleh tanaman akan berada dalam tanaman tersebut sampai mati dan lapuk. Selanjutnya karbon dapat dilepaskan dari bagian-bagian yang telah menua, tanaman yang mati, proses pemangkasan dan penebangan tanaman. Jumlah cadangan karbon yang pada tumbuhan yang sedang tumbuh tergantung dari spesies, iklim dan juga bervariasi berdasarkan umur tumbuhan (Foley dalam Lukito, 2010:7).

2.2.3 Pengertian Cadangan Karbon

Cadangan karbon pada dasarnya merupakan banyaknya karbon yang tersimpan pada vegetasi, biomassa lain dan karbon dalam tanah (Lugina, *et al.*, 2011:4). Komponen karbon dapat dibedakan menjadi dua kelompok yaitu karbon yang berasal dari biomassa di atas permukaan tanah (*above ground biomass*) dan karbon yang berasal dari bahan organik di bawah permukaan tanah (*below ground biomass*). Karbon di atas permukaan tanah terdiri atas biomassa pohon, biomassa tumbuhan bawah, tumbuhan mati (nekromassa) dan serasah. Karbon di bawah permukaan tanah berasal biomassa akar dan dapat pula berasal dari bahan organik tanah (Lugina *et al.*, 2011:2).

Besarnya cadangan karbon umumnya sebesar 50% dari nilai biomasanya (Brown, 1997; Sutaryo, 2009:2). Namun faktor konversi dari biomassa untuk menentukan besaran cadangan karbon tidak seluruhnya sebesar 50%. Hal ini tergantung pada jenis vegetasi yang diukur. Seperti kandungan karbon pada hutan akan berbeda dengan cadangan karbon pada perkebunan, agroforestri maupun sawah. Hal ini menunjukkan betapa pentingnya mengetahui nilai biomassa dalam menentukan besaran pendugaan cadangan karbon pada suatu jenis vegetasi tersebut.

Aktivitas penebangan liar dan penggundulan hutan, menyebabkan cadangan karbon yang dapat diserap oleh tumbuhan menurun. Peningkatan penyerapan

cadangan karbon dapat dilakukan dengan usaha sebagai berikut.

- a. Meningkatkan pertumbuhan biomasa suatu vegetasi secara alami.
- b. Menambah cadangan kayu pada suatu vegetasi dengan penanaman pohon atau mengurangi pemanenan kayu.
- c. Mengembangkan suatu vegetasi dengan jenis pohon yang cepat tumbuh.
- d. Melakukan konservasi atau tindakan perlindungan terhadap jenis vegetasi yang penting seperti hutan alami.

Kemampuan hutan dalam menyerap dan menyimpan karbon tidak sama antara hutan alami, hutan tanaman, hutan payau, hutan rawa maupun di hutan rakyat tergantung pada jenis pohon, tipe tanah dan topografi. Oleh karena itu, informasi mengenai cadangan karbon dari berbagai tipe hutan, jenis pohon, jenis tanah dan topografi di Indonesia sangat penting. Studi pengukuran cadangan karbon tersimpan pada berbagai tipe penutupan lahan telah banyak dilakukan di Indonesia. Pengukuran cadangan karbon tersimpan ini menunjukkan hasil yang beragam pada berbagai tipe penutupan lahan. Perbedaan cadangan karbon tersimpan juga ditunjukkan pada tipe penutupan lahan yang sama di lokasi yang berbeda. Perbedaan ini dapat dipengaruhi oleh struktur vegetasi dan aktivitas manusia (silvikultur atau pemanenan), degradasi dan bencana alam (Sutaryo, 2009:2). Hasil pengukuran karbon tersimpan berbagai tipe penutupan lahan pada beberapa lokasi penelitian yang dilakukan oleh para peneliti sebelumnya tersaji pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Karbon tersimpan berbagai tipe penutupan lahan di beberapa lokasi penelitian

Tipe lahan	Lokasi	Karbon tersimpan (Ton.ha⁻¹)
Hutan primer	Kabupaten Nunukan, Kalimantan Timur ¹	230,10
Hutan primer	Tambling Wildlife Nature Conservation, Taman Nasional Bukit Barisan Selatan ²	178,44
Hutan sekunder (bekas tebangan 0 – 10 tahun)	Kabupaten Nunukan, Kalimantan Timur ¹	206,80

Tipe lahan		Lokasi			Karbon tersimpan (Ton.ha ⁻¹)
Hutan sekunder		Tambling Wildlife Nature Conservation, Taman Nasional Bukit Barisan Selatan ²			81,65
Tegakan Mangrove		Taman Nasional Meru Betiri (TNMB) ³			67,06
Kebun campuran (umur 0-10 tahun)		Resort Andongrejo, SPTN II Ambulu, Taman Nasional Meru Betiri ³			28,49
Agroforestri muda	kopi	Tambling Wildlife Nature Conservation, Taman Nasional Bukit Barisan Selatan ²			27,92
Agroforestri coklat muda		Tambling Wildlife Nature Conservation, Taman Nasional Bukit Barisan Selatan ²			14,04
Tegakan <i>Acacia mangium</i> (umur 10 tahun)		BKPH Parung Panjang, KPH Bogor ³			26,94
Padi		Kabupaten Kalimantan Timur ¹	Nunukan,		4,80
Padang rumput		Tambling Wildlife Nature Conservation, Taman Nasional Bukit Barisan Selatan ²			3,44

Sumber: ¹Lusiana *et al.* (2005); ²Prasetyo (2010); ³Tim PKLP TNMB 2010 (2010) dalam (Sularso, 2011:7)

2.3 Sengon laut (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen)

Paraserianthes falcataria (L.) Nielsen dikenal juga dengan *Albizia falcataria* (L) Fosberg, *Albizia moluccana* Mig., dan *Albizia falcataria* Backer. Berdasarkan nama lokal, Sengon laut dikenal dengan nama Albisia, Jeunjing (Jawa Barat), Mbesiah (Jawa Tengah), Sengon sebrang (Jawa Tengah dan Jawa Timur), Jing laut (Madura) dan Tedehu pute (Sulawesi). Sedangkan di Malaysia dan Brunei, sengon dikenal dengan nama Puak, Batai atau Kayu macis (Atmosuseno, 1998:8). Propinsi dengan luas tanaman sengon rakyat terbesar adalah Jawa Tengah dan Jawa Barat, dimana total jumlah pohon yang dibudidayakan di kedua provinsi ini dilaporkan lebih

dari 60% dari total jumlah pohon sengon yang ditanam oleh masyarakat di Indonesia. Sehingga sangat berkontribusi dalam menyimpan cadangan karbon (Departemen Kehutanan dan Badan Statistika Nasional: 2004).

2.3.1 Klasifikasi Sengon Laut (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen)

Klasifikasi sengon laut (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen) adalah sebagai berikut.

Kindom	: Plantae
Divisi	: Tracheophyta
Sub divisi	: Spermatophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Bangsa	: Fabales
Famili	: Fabaceae
Marga	: Paraserianthes
Jenis	: <i>Paraserianthes falcataria</i> (L.) Nielsen) (ITIS, 2012)

2.3.2 Karakteristik Sengon Laut (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen)

Pohon sengon laut dapat mencapai tinggi 40 m dengan tinggi batang bebas cabang 10 - 30 m dan diameter batang sampai 80 cm. Kulit luar berwarna putih kelabu, tidak beralur dan tidak mengelupas. Pohon sengon laut berdaun majemuk, menyirip ganda, tangkai daun atau tangkai poros utama dengan satu atau lebih anak daun yang berukuran kecil. Tipe bunganya yaitu bulir dan sebagian besar bercabang malai dan berbulu halus. Panjang kedudukan bunga 10-25 mm, kelopak bunga 2-2,5 mm, daun mahkota 5-7 mm, berwarna putih sedangkan dibaliknya berwarna kuning muda, berbulu rapat dan berbuah polong.



Gambar 2.1 Tegakan sengon laut (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen)
(Sumber: Siner Plantation, 2012)

Tajuk sengon laut berbentuk payung, tipis, jarang dan selalu hijau, berbunga sepanjang tahun dan berbuah pada bulan Juni - November. Bijinya kecil dan berkulit keras. Jumlah biji sengon sekitar 40.000 biji/kg atau 36.000 biji per liter. Dan mempunyai daya kecambah sebesar 80% dengan perlakuan perendaman pada air mendidih selama 24 jam (Krisnawati *et al.*, 2011:1).

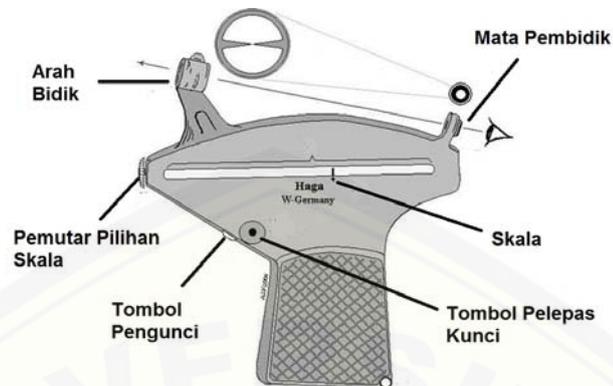
2.3.3 Habitat Sengon

Tanaman sengon dapat tumbuh baik pada tanah regosol, aluvial, dan latosol yang bertekstur lempung berpasir atau lempung berdebu dengan keasaman tanah sekitar pH 6-7. Ketinggian tempat yang optimal untuk tanaman Sengon antara 0 – 800 m dpl. Walaupun demikian tanaman Sengon ini masih dapat tumbuh sampai ketinggian 1500 m di atas permukaan laut. Sengon termasuk jenis tanaman tropis, sehingga untuk tumbuhnya memerlukan suhu sekitar 18° C - 27° C. Tanaman Sengon membutuhkan batas curah hujan minimum yang sesuai, yaitu 15 hari hujan dalam 4 bulan terkering, namun juga tidak terlalu basah, dan memiliki curah hujan tahunan yang berkisar antara 2000 – 4000 mm. Kelembapan juga mempengaruhi setiap tanaman.

2.4 Pengukuran Diameter dan Tinggi Tegakan

Pengukuran diameter dilakukan setinggi dada (*dbh/diameter at breast height*) yaitu 1,3 m dari permukaan tanah pada kondisi pohon berdiri. Pengukuran setinggi dada relatif mudah untuk dilakukan dan memiliki korelasi yang kuat dengan parameter lainnya seperti luas bidang dasar dan volume batang. Selain itu ada beberapa alasan mengapa pengukuran diameter dilakukan setinggi dada, yaitu karena alasan kepraktisan dan kenyamanan pada saat mengukur. Pada kebanyakan jenis pohon, pengukuran setinggi dada diukur secara bebas dari pengaruh banir. Pengukuran diameter dilakukan dengan mengukur keliling batang pohon kemudian mengkonversinya menjadi diameter dengan cara membagi keliling dengan π (3,14). Diameter setinggi dada (1,3 m) pada umumnya memiliki hubungan yang cukup erat dengan peubah-peubah (dimensi) pohon lainnya (Muhdin dalam Lukito, 2013:12).

Penetapan diameter setinggi dada sebagai standar pengukuran diameter batang dimaksudkan sebagai letak pengukuran diameter batang yang menjadi ciri karakteristik sebuah pohon, mengingat batang pada umumnya memiliki bentuk yang semakin kecil ke ujung atas (*taper*), sehingga akan banyak sekali titik pengukuran diameter bila mengikuti perubahan bentuk batang. Sedangkan untuk pengukuran tinggi tegakan digunakan alat pengukur tinggi yaitu hagameter atau yang disebut juga haga altimeter. Hagameter merupakan alat untuk mengukur ketinggian pohon, yang dikembangkan pada tahun 1950 oleh perusahaan Haga. Hagameter telah menjadi alat penting dalam kehutanan internasional dan industri kayu dari saat itu sampai saat ini. Hagameter atau alat pengukur tinggi tegakan tersaji pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Hagameter (Sumber: <http://karyaperdanamandiri.com>)

Prinsip penggunaan hagameter untuk mengukur tinggi suatu tegakan adalah sebagai berikut.

- a. Menentukan jarak pengukuran atau kejauhan sesuai dengan skala yang ada yaitu antara 15, 20, 25, atau 30 meter dari pohon, dimana poin yang dibidik (misalnya ujung pohon) dapat dilihat.
- b. Melepaskan jarum penunjuk skala dengan menekan tombol pelepas kunci di bagian samping.
- c. Membidik pangkal pohon, kemudian menekan tombol pengunci dan membaca angka yang muncul pada skala (a).
- d. Menekan tombol pelepas kunci yang ada dibagian samping.
- e. Kemudian membidik ujung pohon, lalu menekan tombol pengunci dan membaca angka yang muncul pada skala (b).
- f. Adapun perhitungan tinggi pohon = (b)-(a).

2.5 Buku Suplemen sebagai Sumber Belajar

Sumber belajar dapat dirumuskan sebagai segala sesuatu yang dapat memberikan kemudahan kepada peserta didik dalam memperoleh sejumlah informasi, pengetahuan, pengalaman, dan keterampilan dalam proses belajar mengajar

(Mulyasa, 2002:48). Sumber belajar yang ada, pada garis besarnya dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- a. Manusia, yaitu orang menyampaikan pesan secara langsung, seperti guru, konselor, dan administrator, yang dirancang secara khusus dan disengaja untuk kepentingan belajar (*by design*).
- b. Bahan, yaitu sesuatu yang mengandung pesan pembelajaran, baik yang dirancang secara khusus seperti film pendidikan, peta, grafik, buku, dan lainlain yang disebut media pengajaran (*instructional media*), maupun bahan yang bersifat umum yang dapat dimanfaatkan untuk kepentingan belajar.
- c. Lingkungan, yaitu ruang dan tempat di mana sumber-sumber dapat berinteraksi dengan para peserta didik. Ruang dan tempat yang dirancang secara sengaja untuk kepentingan belajar, misalnya perpustakaan, laboratorium, kebun, dan lainlain.
- d. Alat dan peralatan, yaitu sumber belajar untuk produksi dan atau memainkan sumber lain, misalnya: tape recorder, kamera, slide.
- e. Aktivitas, yaitu sumber belajar yang biasanya merupakan kombinasi antara teknik dengan sumber lain untuk memudahkan belajar (Mulyasa, 2002: 48-49).

2.5.1 Pengertian Buku Suplemen

Buku suplemen disebut juga sebagai buku nonteks pelajaran. Buku suplemen atau buku nonteks pelajaran berfungsi sebagai bahan pengayaan, referensi, atau panduan dalam kegiatan pendidikan dan pembelajaran dengan menggunakan penyajian yang longgar, kreatif, dan inovatif serta dapat dimanfaatkan oleh pembaca lintas jenjang dan tingkatan kelas atau pembaca umum. Buku suplemen memiliki kedudukan sebagai buku yang dapat melengkapi pendalaman materi dan penambahan wawasan bagi pembaca dari pembahasan materi yang tidak tersaji secara lengkap dalam buku teks pelajaran (Pusat Perbukuan, 2008b:3).

Buku suplemen terdiri atas buku pengayaan, buku referensi, dan buku panduan pendidik. Buku pengayaan di masyarakat sering dikenal dengan istilah buku bacaan. Buku ini dimaksudkan untuk memperkaya wawasan, pengalaman, dan pengetahuan pembacanya. Buku pengayaan dikelompokkan menjadi tiga, yaitu buku pengayaan pengetahuan, buku pengayaan keterampilan, dan buku pengayaan kepribadian. Buku referensi atau buku rujukan merupakan buku yang isi maupun penyajiannya dapat digunakan untuk mendapatkan jawaban kejelasan pengetahuan tentang sesuatu hal secara cepat dan tetap. Sedangkan buku panduan pendidik adalah buku yang memuat prinsip, prosedur, deskripsi materi pokok, atau model pembelajaran yang dapat digunakan oleh para pendidik dalam menjalankan tugas pokok dan fungsi pendidik.

Buku suplemen atau nonteks pembelajaran berbeda dengan buku teks pelajaran. Berdasarkan makna leksikal, buku teks pelajaran merupakan buku yang dipakai untuk mempelajari atau mendalami suatu subjek pengetahuan dan ilmu serta teknologi, sehingga mengandung penyajian asas-asas tentang subjek tersebut. Sedangkan buku suplemen atau nonteks merupakan buku-buku yang tidak digunakan secara langsung sebagai buku utama untuk mempelajari salah satu bidang studi pada lembaga pendidikan. Buku suplemen yang disusun dalam penelitian ini berupa buku pengayaan pengetahuan untuk SMA.

2.5.2 Ciri-ciri Buku Suplemen

Berdasarkan ciri-ciri buku suplemen dapat diidentifikasi buku-buku yang berkategori buku pengayaan pengetahuan, yaitu:

- a. Buku-buku yang dapat digunakan di sekolah atau lembaga pendidikan, namun bukan merupakan buku acuan wajib bagi peserta didik dalam mengikuti kegiatan pembelajaran;

- b. Buku-buku yang menyajikan materi untuk memperkaya buku teks pelajaran, atau sebagai informasi tentang ilmu pengetahuan dan teknologi secara dalam dan luas, atau buku panduan bagi pembaca;
- c. Buku-buku nonteks pelajaran tidak diterbitkan secara berseri berdasarkan tingkatan kelas atau jenjang pendidikan;
- d. Buku-buku nonteks pelajaran berisi materi yang terkait secara langsung dengan sebagian atau salah satu Standar Kompetensi atau Kompetensi Dasar yang tertuang dalam Standar Isi dan memiliki keterhubungan dalam mendukung pencapaian tujuan pendidikan nasional;
- e. Materi atau isi dari buku nonteks pelajaran dapat dimanfaatkan oleh pembaca dari semua jenjang pendidikan dan tingkatan kelas atau lintas pembaca;
- f. Penyajian buku suplemen atau nonteks pelajaran bersifat longgar, kreatif, dan inovatif sehingga tidak terikat pada ketentuan-ketentuan proses dan sistematika belajar, yang ditetapkan berdasarkan ilmu pendidikan dan pengajaran (Pusat Perbukuan, 2008b:2-3).

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan adalah deskriptif kuantitatif. Penelitian deskriptif adalah penelitian yang mendeskripsikan suatu gejala, peristiwa atau kejadian yang terjadi sekarang. Bersifat kuantitatif artinya hasil penelitian yang didapatkan dari penelitian ini berupa data angka.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian berada di Mojan Bintoro Patrang Jember. Pengovenan sampel dan penimbangan massa kering dilakukan di laboratorium botani FKIP Pendidikan Biologi Universitas Jember, sedangkan untuk analisis kandungan C-organik tanah dilakukan di laboratorium kesuburan tanah Fakultas Pertanian Universitas Jember. Adapun untuk validasi buku suplemen, dilaksanakan di 3 SMA di Kabupaten Jember. Waktu penelitian telah dilaksanakan mulai dari bulan Maret sampai Mei 2014.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Alat yang digunakan meliputi pita ukur (meteran), tali untuk plot, plastik, karung, koran, timbangan digital EPSO5 dengan ketelitian 0,1 gram, timbangan manual dengan ketelitian 10 gram, peralatan tulis, kertas label, tongkat setinggi 1,3 m, golok, pisau, pasak, jaring, jangka sorong, *soil tester*, *hagameter* (alat mengukur tinggi), *box* besi, lembar pengamatan (*tally sheet*), oven, *aluminium foil*, pengayak tanah, mortar, alu, gelas ukur, erlenmeyer, spektrofotometer, kalkulator, *Software Microsoft Excel*, dan kamera digital.

3.3.2 Bahan

Bahan dalam penelitian yang diukur cadangan karbonnya adalah tegakan sengon laut, tumbuhan bawah, nekromassa, serasah gugur (*litter fall*), dan tanah yang terdapat pada perkebunan sengon laut di Mojan Bintoro Patrang Jember. Adapun bahan yang digunakan untuk mengukur kandungan C-organik tanah adalah asam sulfat (H_2SO_4) dan kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$).

3.4 Metode Pengambilan Data

Jenis-jenis data yang digunakan untuk kegiatan penelitian ini dibagi menjadi dua jenis data, yaitu :

- a. Data primer: data yang diukur secara langsung dari lapangan, meliputi diameter batang sengon laut setinggi dada (*dbh/ diameter at breast height*) yaitu 1,3 m dari atas tanah, tinggi tegakan, massa basah dan massa kering tumbuhan bawah, serasah dan nekromassa serta sampel tanah pada lokasi tegakan sengon laut;
- b. Data sekunder: data penunjang penelitian berupa kondisi umum lokasi penelitian seperti pH tanah dan kelembapan tanah.

3.5 Definisi Operasional

Agar tidak menimbulkan pengertian ganda, maka peneliti memberikan definisi operasional sebagai berikut.

- a. Biomassa adalah biomassa sebagai jumlah total bahan organik hidup di atas permukaan tanah pada pohon yang dinyatakan dengan satuan ton massa kering per satuan luas (Brown, 1997)
- b. Cadangan karbon pada dasarnya merupakan banyaknya karbon yang tersimpan pada vegetasi, biomassa lain dan di dalam tanah (Lugina, *et al.*, 2011:4)
- c. Persamaan allometrik didefinisikan sebagai suatu studi dari suatu hubungan antara pertumbuhan dan ukuran salah satu bagian organisme dengan pertumbuhan atau ukuran dari keseluruhan organisme.

- d. Buku suplemen adalah buku berisi materi pendukung dan pelengkap yang berfungsi sebagai bahan pengayaan, referensi, atau panduan dalam kegiatan pendidikan (Pusat Perbukuan, 2008b:2).
- e. Tunggul atau tunggak adalah sisa kayu tebang yang masih berdiri di atas permukaan tanah.

3.6 Variabel, Sub Variabel, Parameter dan Teknik Pengukuran dalam Penelitian

Variabel penelitian ini terdiri dari pengukuran cadangan karbon dan penilaian buku suplemen, sedangkan sub variabel, parameter dan teknik pengukurannya, secara lebih detail tertera pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Variabel, sub variabel, parameter dan teknik pengukuran cadangan karbon dan penyusunan buku suplemen

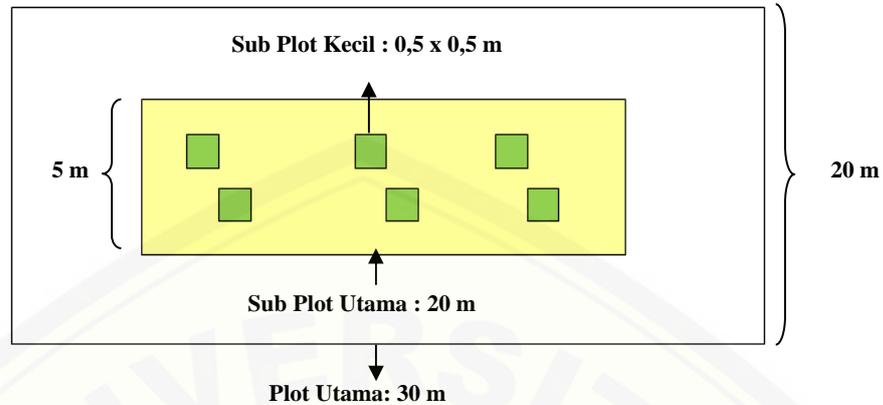
No.	Variabel	Sub variabel	Parameter	Teknik pengukuran
1.	Cadangan Karbon	Biomassa	Tajak sengon laut	Mengukur diameter dan tinggi tajuk kemudian memasukkan dalam persamaan allometrik
			Akar sengon laut	Menggunakan <i>default value</i> dengan nisbah tajuk:akar (4:1)
			Tumbuhan bawah	Mencabut bagian daun dan batang tumbuhan bawah untuk diukur massa basah dan massa kering
			Serasah gugur	Memasang jaring untuk mengumpulkan serasah gugur kemudian mengukur massa basah dan massa kering serasah tersebut
			Nekromassa	Mengukur diameter, tinggi, massa basah dan massa kering nekromassa
		C-organik	Tanah	Analisis C-organik dengan metode kurmis di laboratorium
2.	Buku Suplemen		Kelayakan buku suplemen	Validasi oleh 3 dosen dan 3 guru SMA dengan angket dari Pusat Perbukuan, 2008a.

3.7 Desain Penelitian

Penelitian ini terdiri dari dua tahap, yaitu tahap pengukuran cadangan karbon menggunakan metode *non-destructive* (tanpa perusakan/pemanenan) yang dilaksanakan di perkebunan sengon laut Mojan Bintoro, kemudian di laboratorium FKIP Pendidikan Biologi dan laboratorium kesuburan tanah Faklutas Pertanian Universitas Jember. Tahap kedua adalah validasi buku suplemen yang dilaksanakan di 3 SMA di Kabupaten Jember.

3.7.1 Penentuan dan Peletakan Plot

Luas areal perkebunan sengon laut (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen) di Mojan Bintoro Patrang Jember adalah 48 ha. Plot penelitian yang digunakan dalam penelitian ini berukuran 20 m x 30 m sejumlah delapan plot. Menurut Lugina (2011:7) luas plot minimum untuk mengukur cadangan karbon pada vegetasi tingkat pohon adalah 20 m x 20 m, sedangkan dalam penelitian ini menggunakan plot berukuran 20 m x 30 m dengan tujuan mengurangi bias. Jumlah plot yang digunakan dalam penelitian ini adalah delapan plot, hal ini ditentukan berdasarkan pertimbangan luas lahan, jarak tanam tiap tegakan, tipe perkebunan dan efisiensi biaya. Penempatan plot dilakukan secara *purposive random sampling*, artinya plot diletakkan secara acak dengan titik awal yang telah ditentukan sebelumnya. Metode ini merupakan metode penentuan lokasi secara sengaja yang dinyatakan representatif (Bakri, 2009). Terdapat pula sub plot utama berukuran 5 m x 20 m yang digunakan untuk mengukur biomasa nekromassa, sedangkan sub plot kecil berukuran 0,5 m x 0,5 m sebanyak enam buah, digunakan untuk mengukur biomassa tumbuhan bawah. Plot penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terdapat pada Gambar 3.1, sedangkan peletakan tiap plot penelitian pada lokasi perkebunan sengon laut di Mojan Bintoro tersaji pada Gambar 3.2.



Gambar 3.1 Desain plot penelitian
(Sumber: Modifikasi dari Hairiah, *et. al.*, 2011:10)



Gambar 3.2 Lokasi Plot penelitian pada perkebunan sengon laut Mojang Bintoro
(Sumber: <http://www.google.com/earth/>)

3.7.2 Pengukuran Biomassa Tajuk Sengon Laut

Pendugaan biomassa tajuk dilakukan dengan mengukur diameter dan tinggi tegakan sengon laut. Kemudian digunakan persamaan allometrik yang dikembangkan oleh Purwanto (2009) untuk menghitung biomasnya atau massa keringnya. Untuk mencari biomassa tajuk sengon laut yang dinyatakan sebagai Massa Kering (MK) dilakukan secara *non-destructive* dengan menggunakan persamaan allometrik berikut.

$$MK = 0,0199(D^2H)^{0,9296} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

MK : Massa kering (Kg/pohon)

D : Diameter (cm)

H : Tinggi (m) (Purwanto, 2009; BKPH IX, 2009).

Pengukuran tajuk sengon laut dilakukan dalam plot besar berukuran 20 m x 30 m. Pengukuran diameter (*dbh*) dilakukan setinggi dada pada kondisi pohon berdiri, yaitu dengan mengukur keliling batang pohon setinggi dada (1,3 m *dbh*) dari permukaan tanah, kemudian mengkonversinya menjadi diameter dengan cara membagi keliling dengan π (3,14). Pengukuran tinggi tegakan sengon laut dilakukan menggunakan hagameter dan tinggi tegakan yang diukur merupakan tinggi total.

Untuk mengetahui total biomassa pohon, maka dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$\text{Total Biomassa Tajuk (Kg)} = MK_1 + MK_2 + \dots\dots + MK_n \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

MK₁ : Massa kering pohon ke-1 (Kg)

MK₂ : Massa kering pohon ke-2 (Kg)

MK_n : Massa kering pohon ke-n (Kg) (Hairiah, *et. al.*, 2011:27).

3.7.3 Pengukuran Biomassa Akar Sengon Laut

Biomassa akar juga dapat diestimasi menggunakan persamaan allometrik berdasarkan diameter akar utama (*proximal root*), namun untuk tujuan praktis, pengukuran cadangan karbon pada akar sengon laut digunakan nilai terpasang (*default value*) dengan nisbah tajuk : akar yaitu 4:1. Nilai terpasang (*default value*) yang digunakan merupakan hasil penaksiran rasio umum perbandingan antara biomassa tajuk dan bagian akar untuk daerah tropika dengan tipe lahan kering. Hal ini didasarkan pada kondisi mineral tanah di daerah tropika tersebut, yang ikut mempengaruhi pertumbuhan dan potensi biomassa tumbuhan, sehingga dapat

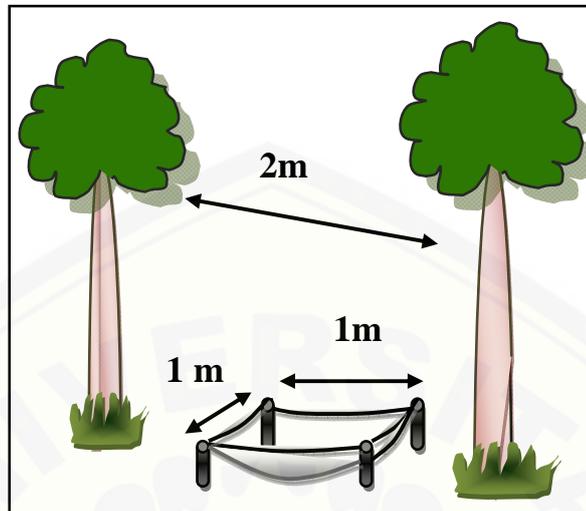
ditentukan rasio umum nilai terpasang (*default value*) pada tiap jenis lahan (Cairns *et al.*; Mokany *et al.*; dalam Hairiah & Rahayu, 2007:32).

3.7.4 Pengukuran Biomassa Tumbuhan Bawah dan Serasah Gugur (*Litter fall*)

Pengambilan contoh tumbuhan bawah dilakukan pada setiap petak penelitian berukuran 0,5 m x 0,5 m yang meliputi semak belukar dengan diameter batang kurang dari 5 cm, seperti tumbuhan menjalar, rumput-rumputan, semak maupun terna. Pengukuran biomassa tumbuhan bawah dilakukan secara *destructive* yaitu mengambil bagian berupa daun dan batang tanaman bawah (*above ground biomass*) untuk diukur massa basah totalnya, sedangkan bagian akar tidak diikutkan karena termasuk dalam biomassa dibawah permukaan tanah (*below ground biomass*) dan pengambilan akar di bawah tanah juga cukup sulit dilakukan.

Tahap selanjutnya yaitu mengukur massa basah sub contoh (batang dan daun tumbuhan bawah) langsung di lapangan menggunakan timbangan digital EPSO5, untuk kemudian dilakukan pengovenan supaya diketahui massa kering sub-contoh dan massa kering totalnya (Hairiah dan Rahayu, 2007:32). Setiap plot diambil sub contoh tanaman bawah dari masing-masing biomassa daun dan batang sekitar 100 - 300 g. Bila biomassa contoh yang didapatkan hanya sedikit (< 100 g), maka timbang semuanya dan jadikan sebagai sub contoh (Lugina *et al.*, 2011:11).

Pengambilan serasah gugur (daun dan ranting) sengon laut dilakukan dengan teknik pemasangan jaring. Hal ini karena ukuran serasah gugur sengon laut yang sangat kecil, sehingga sangat sulit untuk mengumpulkan serasah tersebut untuk diukur massa basah nya. Teknik ini dilakukan dengan memasang jaring berukuran 1 m x 1 m sebanyak tiga buah pada setiap plot utama selama dua minggu. Pemasangan jaring selama dua minggu disesuaikan dengan laju dekomposisi serasah sengon laut (Munawar *et. al.*, 2010:4). Kemudian dilakukan penimbangan massa basah serasah tersebut secara langsung menggunakan timbangan digital EPSO5. Berikut visualisasi teknik pemasangan jaring yang digunakan untuk menangkap serasah daun yang jatuh.



Gambar 3.3 Jaringan penangkap serasah daun

Massa kering tanaman bawah dan serasah diketahui setelah pengovenan. Massa kering yang dihasilkan setelah pengovenan dinyatakan dalam satuan kilogram/m², kemudian dikonversi dalam bentuk ton/ha. Nilai biomassa tanaman bawah dan serasah dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$\text{Total MK} = \frac{\text{MK sub-contoh}}{\text{MB sub-contoh}} \times \text{Total MB} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

MB : massa basah (g)

MK : massa kering (g) (Hairiah & Rahayu, 2011: 30).

3.7.5 Pengukuran Nekromassa

Nekromassa adalah bagian pohon yang telah mati, baik yang masih tegak di atas permukaan tanah seperti pohon mati berdiri dan tunggul/tunggak pohon, maupun kayu tumbang seperti cabang, ranting dan bagian tumbuhan yang telah lapuk. Nekromassa yang dihitung dalam penelitian ini meliputi pohon tumbang berdiri, pohon rebah, tunggul/tunggak pohon, kayu atau ranting yang berdiameter ≥ 1 cm dan

panjang $\geq 0,3$ m yang telah jatuh ke tanah. Ukuran plot yang digunakan untuk pengambilan nekromassa adalah 5 m x 20 m. Cara mengukur nekromassa yaitu dengan mengukur diameter rerata kedua pangkal ujung nekromassa menggunakan meteran jika ukurannya besar, namun jika ukurannya kecil, maka digunakan jangka sorong. Kemudian mengukur tinggi atau panjang nekromassa dan menentukan tingkat pelapukan dari nekromassa tersebut. Setelah mendapatkan data tersebut, maka selanjutnya dilakukan perhitungan menggunakan rumus berikut.

$$MK = \pi \rho H D^2/40 \times \text{persen pelapukan} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

π	: phi (3,14)
MK	: massa kering (g.cm ⁻³)
ρ	: massa jenis (g.cm ⁻³)
H	: tinggi/panjang nekromassa (m)
Persen pelapukan	: 100% untuk kayu segar dan 50% untuk kayu lunak (lapuk)
D	: diameter (cm) (Hairiah <i>et al.</i> , 2011:35)

3.7.6 Pengukuran Karbon Tanah

Selanjutnya untuk mengukur karbon tanah, maka terlebih dahulu harus mengukur kandungan C-organik tanah dengan mengambil satu sampel tanah pada tiap plot penelitian. Sampel tanah diambil pada kedalaman 0-10 cm kemudian dilakukan analisis kandungan C-organik dalam tanah di laboratorium dengan metode kurmis menggunakan kalium dikromat (K₂Cr₂O₇) dan asam sulfat (H₂SO₄) (Ballittan, 2005). Sampel tanah diambil pada kedalaman 0-10 cm karena melihat karakter serasah yang berukuran kecil dan sedikit, sehingga karbon tanah banyak terdekomposisi dan terakumulasi pada kedalaman tersebut (Harsh *et. al.*, 2012).

Jumlah plot utama pada penelitian ini adalah delapan plot, sehingga terdapat delapan sampel tanah yang akan diuji kandungan C-organiknya di laboratorium. Selanjutnya dihitung pula massa basah tanah menggunakan timbangan manual dengan ketelitian 10 gram. Ditentukan pula kerapatan lindak tanah, dimana tanah

pada tiap plot diambil menggunakan *box* besi dengan ukuran volume 3.000 cm³, kemudian ditimbang massa basah tanah tersebut untuk menentukan massa keringnya (Adinugroho *et al.*, 2006:17). Pengukuran pH dan kelembapan tanah di lapangan sebagai data sekunder dilakukan dengan menggunakan *soil tester*. Pengukuran C-organik yang tersimpan di dalam tanah dalam bentuk persen, dilakukan di laboratorium kesuburan tanah Fakultas Pertanian Universitas Jember. Setelah diketahui kandungan % C-organik, maka untuk menentukan jumlah karbon dalam tanah digunakan rumus berikut.

$$C_t = K_d \times \rho \times \% \text{ C-organik} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:

- C_t : Kandungan karbon tanah (g/cm³)
 K_d : Kedalaman contoh tanah (cm)
 ρ : Kerapatan lindak (*bulk density*) (g/cm³) (massa contoh tanah/volume contoh tanah)
 % C-organik : Nilai persentase kandungan karbon diperoleh dari pengujian di laboratorium (Lugina *et al.*, 2011:19).

3.7.7 Pengovenan

Pengeringan sub contoh biomassa tanaman bawah, serasah gugur, nekromassa dan tanah, dilakukan dalam oven pada suhu 80° C selama 48 jam (Hairiah, *et al.*, 2011:19). Pengovenan tersebut bertujuan untuk mengetahui berat kering konstan sub contoh. Selanjutnya menimbang massa kering dan mencatatnya dalam lembar pengamatan (*tally sheet*) untuk kemudian dihitung kandungan karbon (*C-stock*) pada tumbuhan bawah, serasah gugur, nekromassa dan tanah tersebut.

3.7.8 Validasi Buku Suplemen

Buku suplemen yang dihasilkan adalah jenis buku suplemen atau buku nonteks pengayaan pengetahuan. Tidak ada buku utama sebagai buku yang ditunjang secara khusus oleh buku suplemen ini. Buku suplemen ini dibuat dengan mengacu

pada Kompetensi Inti 4 yaitu “mengolah, menalar, dan menyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, dan mampu menggunakan metode sesuai kaidah keilmuan”. Kompetensi Dasar yang hendak dicapai adalah Kompetensi Dasar 4.15 yaitu “membuat charta daur biogeokimia (siklus nitrogen/ siklus karbon/siklus sulfur/siklus pospor) dari hasil kajian literatur” (Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, 2013).

Pada dasarnya buku suplemen ini dapat dibaca oleh pihak manapun sebagai bahan pengayaan pengetahuan. Diharapkan semua pihak dapat membaca buku suplemen ini terutama dari siswa SMA, karena maksud penyusunan buku suplemen tersebut adalah menanamkan rasa peduli terhadap lingkungan sejak dini. Validasi buku suplemen dilakukan oleh enam validator, yaitu tiga orang dosen ahli dari FKIP Program Studi Pendidikan Biologi Universitas Jember dan tiga orang guru biologi SMA, masing-masing dari SMA Negeri 1 Jember, SMA Negeri 5 Jember dan SMA Muhammadiyah 3 Jember.

3.8 Prosedur penelitian

a. Survei pendahuluan

Survei pendahuluan dilakukan untuk mengetahui kondisi lahan perkebunan sengon laut seperti luas areal perkebunan dan faktor-faktor lainnya. Data tersebut digunakan sebagai informasi awal untuk melakukan penelitian sesungguhnya.

b. Pengukuran diameter dan tinggi tegakan sengon laut

Pengukuran diameter tegakan sengon laut dilakukan dengan mengukur diameter setinggi dada atau 1,3 (*dbh*) menggunakan pita meteran. Pengukuran tinggi tegakan yaitu dengan menggunakan hagameter.

c. Pengukuran biomassa tumbuhan bawah (*understorey*)

Pengukuran biomassa atau cadangan karbon tumbuhan bawah dengan cara mencabut batang dan daun tumbuhan bawah dalam plot 0,5 m x 0,5 m sebanyak enam buah, kemudian menimbang massa basah langsung ditempat penelitian.

- d. Pengukuran biomassa nekromassa
Nekromassa yang diukur meliputi tunggul, kayu dan ranting besar yang telah jatuh ke tanah, baik yang berupa kayu utuh atau yang sudah lapuk.
- e. Pengukuran biomassa serasah gugur (*litter fall*)
Pengukuran biomassa serasah digunakan jaring berukuran 1 m x 1 m yang diletakkan dalam tiap plot sebanyak 3 jaring selama dua minggu, kemudian menimbang massa basah serasah yang jatuh pada jaring.
- f. Pengukuran karbon tanah
Sampel tanah dari tiap plot diambil secukupnya pada kedalaman tanah antara 0-10 cm untuk menentukan kandungan C-organik. Dilakukan pula perhitungan massa jenis dan kerapatan lindak tanah (*bulk density*) menggunakan *box* besi.
- g. Penelitian dalam laboratorium
Penelitian dalam laboratorium dilakukan untuk mengukur massa kering tumbuhan bawah, serasah gugur, nekromassa, dan tanah. Dilakukan pula analisis kandungan C-organik tanah menggunakan metode kurmis.
- h. Pengolahan data
Mengolah data primer dan data sekunder hasil penelitian untuk mengetahui potensi biomassa, cadangan karbon dan penyerapan CO₂.
- i. Pembuatan buku Suplemen
Buku suplemen disusun sebagai buku pengayaan pengetahuan untuk sub materi siklus karbon di SMA dan bisa pula dimanfaatkan oleh masyarakat umum.
- j. Validasi buku suplemen
Buku suplemen divalidasi oleh 3 dosen Biologi FKIP Pendidikan Biologi dan 3 Guru SMA di Kabupaten Jember.

3.9 Analisis Data

3.9.1 Konversi Biomassa menjadi Karbon

Potensi karbon tegakan (tajuk dan akar) sengon laut, tumbuhan bawah, serasah gugur dan nekromassa diduga melalui biomassa yaitu dengan mengkonversi setengah dari jumlah biomassa. Karbon tersusun antara 44% - 50% dari potensi biomassa pada suatu vegetasi. Dalam penelitian ini digunakan faktor konversi standar internasional untuk pendugaan karbon sebesar 46% atau 0,46 (Hairiah & Rahayu, 2007:47). Kemudian potensi biomassa dikonversi menjadi cadangan karbon dengan menggunakan rumus berikut.

$$C = Y_n \times 0,46 \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

C : Karbon (ton/ha)

0,46 : Faktor konversi dari standar internasional untuk pendugaan karbon.

Y_n : Biomassa tegakan (ton/ha) (Hairiah & Rahayu, 2007:47).

3.9.2 Potensi Penyerapan Karbondioksida (CO₂)

Untuk mengetahui nilai penyerapan CO₂ khusus tegakan sengon laut, diperoleh dengan mengalikan nilai karbon dengan faktor konversi sebesar 3,67. Nilai potensi penyerapan CO₂ diperoleh dari perbandingan rumus kimia C terhadap CO₂. Diketahui massa atom C = 12 dan O = 16, maka massa atom CO₂ = (1 x 12) + (2 x 16) = 44. Perbandingan massa atom CO₂ terhadap C (Karbon) = (44 : 12) = 3,67. Sehingga rumus potensi penyerapan CO₂ adalah sebagai berikut.

$$\text{Karbondioksida (CO}_2\text{)} = C \times 3,67 \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan:

CO₂ : karbondioksida (ton/ha)

C : karbon (ton/ha) (Mirbach, 2000).

3.9.3 Analisis Validasi Buku Suplemen

Data yang digunakan dalam validasi bahan ajar ini merupakan data kuantitatif dengan menggunakan empat tingkatan penilaian dengan kriteria sebagai berikut:

- 1) Skor 4, apabila validator memberikan penilaian sangat baik
- 2) Skor 3, apabila validator memberikan penilaian baik
- 3) Skor 2, apabila validator memberikan penilaian cukup baik
- 4) Skor 1, apabila validator memberikan penilaian kurang baik

Data yang diperoleh pada tahap pengumpulan data dengan instrumen pengumpulan data, dianalisis dengan menggunakan teknik analisis berikut.

$$\text{Nilai} = \frac{\text{Total nilai yang diperoleh}}{\text{Total nilai seluruhnya}} \times 100$$

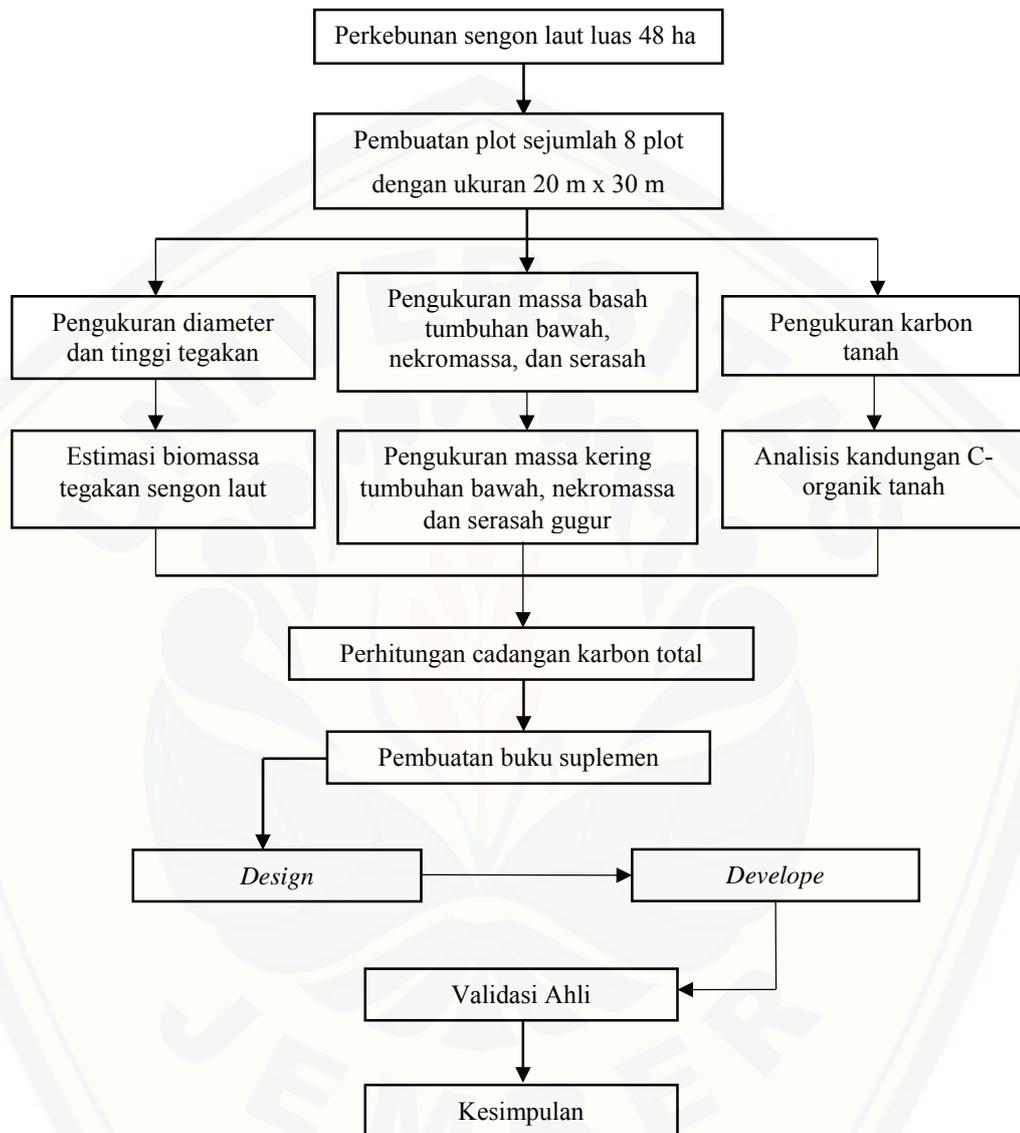
Selanjutnya data persentase penilaian yang diperoleh diubah menjadi data kuantitatif yang menggunakan kriteria validitas pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.2 Kriteria Nilai Validasi Buku Suplemen

No.	Rentangan Nilai (%)	Keterangan
1	81-100	Sangat Layak
2	61-80	Layak
3	41-60	Cukup Layak
4	20-40	Tidak Layak

Sumber: (Pusat Perbukuan, 2008a).

3.10 Alur Penelitian



Gambar 3.4 Skema Alur Penelitian