

SKRIPSI

POTENSI STOK KARBON BERDASARKAN PERBEDAAN UMUR PADA TEGAKAN CEMARA GUNUNG (*Casuarina junghuhniana*) DI LEMBANG NONONGAN, KECAMATAN SOPAI, KABUPATEN TORAJA UTARA

Disusun dan diajukan oleh

**STEVANUS ANGGIANTO
M111 15 310**



**DEPARTEMEN KEHUTANAN
FAKULTAS KEHUTANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

HALAMAN PENGESAHAN

Potensi Stok Karbon Berdasarkan Perbedaan Umur pada Tegakan Cemara Gunung (*Casuarina junghuhniana*) di Lembang Nonongan, Kecamatan Sopai, Kabupaten Toraja Utara.

Disusun dan diajukan oleh

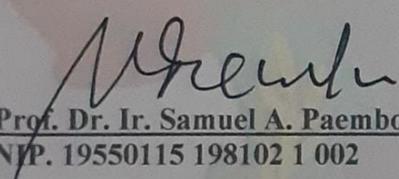
STEVANUS ANGGIANTO
M111 15 310

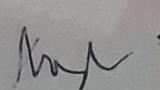
Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Kehutanan Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin pada tanggal 30 Juli 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui :

Pembimbing I

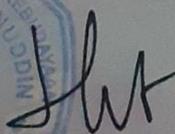
Pembimbing II


Prof. Dr. Ir. Samuel A. Paembonan
NIP. 19550115 198102 1 002


Dr. Ir. Syamsuddin Millang, M.S
NIP. 19601231 198601 1 075

Mengetahui,

Ketua Program Studi Kehutanan


Dr. Forest. Muhammad Alif K.S., S.Hut., M.Si
NIP. 19790831 200812 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Stevanus Anggianto
Nim : M11115310
Program Studi : Kehutanan
Jenjang : S1

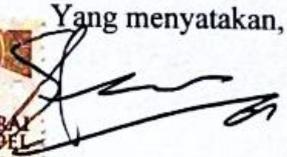
Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

*“Potensi Stok Karbon Berdasarkan Perbedaan Umur Pada
Tegakan Cemara Gunung (Casuarina junghuhniana) di Lembang
Nonongan, Kecamatan Sopai, Kabupaten Toraja Utara”*

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain, skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 16 Agustus 2021

Yang menyatakan,

METERAI
TEMPEL
98DCAAJX345748029
10000
SEKILAS RIBU RUPAH

Stevanus Anggianto

ABSTRAK

Stevanus Anggianto (M11115310). Potensi Stok Karbon Berdasarkan Perbedaan Umur pada Tegakan Cemara Gunung (*Casuarina junghuhniana*) di Lembang Nonongan, Kecamatan Sopai, Kabupaten Toraja Utara di bawah bimbingan Samuel A. Paembonan dan Syamsuddin Millang

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui stok karbon Cemara Gunung (*C. junghuhniana*) di Lembang Nonongan, Kecamatan Sopai, Kabupaten Toraja Utara berdasarkan perbedaan umur. Penelitian ini menggunakan metode *purposive sampling* dalam penentuan plot. Sampel penelitian dipilih berdasarkan umur tegakan di lokasi penelitian, yaitu 5 tahun, 10 tahun, 12 tahun, 16 tahun, dan 22 tahun. Masing-masing umur dibuatkan 5 plot sampel dengan ukuran plot 25 m × 25 m. Nilai biomassa dan karbon pohon dihitung menggunakan persamaan allometrik yaitu dengan mengukur diameter pohon setinggi dada, sedangkan nilai konversi ke nilai karbon menggunakan Standar Nasional Indonesia (SNI 7724 : 2001). Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan nilai karbon tiap pohon, karbon tegakan (ton/ha), dan serapan CO₂ tiap bertambahnya umur tegakan. Rata-rata nilai C per pohon pada umur 5 tahun yaitu 48,00 kg/pohon, umur 10 tahun yaitu 114,45 kg/pohon, umur 12 tahun 165,38 kg/pohon, umur 16 tahun yaitu 220,04 kg/pohon, serta umur 22 tahun yaitu 376,56 kg/pohon. Rata-rata nilai karbon pohon dan serapan CO₂ pohon pada umur 5 tahun yaitu 13,40 ton/ha dan 49,15 ton/ha, umur 10 tahun yaitu 34,95 ton/ha dan 128,26 ton/ha, umur 12 tahun yaitu 37,15 ton/ha dan 136,35 ton/ha, umur 16 tahun yaitu 58,40 ton/ha dan 214,37 ton/ha, serta umur 22 tahun yaitu 93,37 ton/ha dan 342,66 ton/ha.

Kata kunci: *Casuarina junghuhniana*, Umur Tegakan, Stok Karbon

KATA PENGANTAR

Salam Sejahtera bagi Kita Semua

Segala puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa di dalam Kristus Yesus atas penyertaan-Nya dan Kasih Setia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Potensi Stok Karbon Berdasarkan Perbedaan Umur Pada Tegakan Cemara Gunung (*Casuarina junghuhniana*) di Lembang Nonongan, Kecamatan Sopai, Kabupaten Toraja Utara”** guna memenuhi syarat dalam menyelesaikan pendidikan di Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin.

Penghormatan dan ucapan terima kasih yang sedalam-dalamnya penulis persembahkan kepada Ayahanda tercinta **Yovinus Charles B.M**, Ibunda tercinta **Fransisca Muatang** yang senantiasa mendoakan, memberikan perhatian, kasih sayang, nasehat, dan semangat kepada penulis. Serta kepada saudara-saudariku terkasih **Bripda Gregorius Reyston B.M** dan **Theresia Hebrys B.M**, terimakasih atas doa dan dukungannya selama ini. Semoga dihari esok penulis kelak menjadi anak yang membanggakan.

Dalam penyelesaian skripsi ini, penulis telah banyak mendapat bantuan, dukungan, motivasi, dan doa dari berbagai pihak, untuk itu penulis menyampaikan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak **Prof. Dr. Ir. Samuel Arung Paembonan** dan Bapak **Dr.Ir Syamsuddin Millang, M.S** selaku pembimbing yang telah meluangkan banyak waktu, tenaga dan pikiran-nya dalam memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis sehingga selesainya penulisan skripsi ini.
2. Bapak **Prof. Dr. Ir. Baharuddin Nurkin M.Sc.** dan Bapak **Ir. Munajat Nursaputra S.Hut., M.Sc., IPM** selaku penguji yang telah membantu dalam memberikan masukan dan saran yang sangat konstruktif guna penyempurnaan skripsi ini.
3. Ketua Departemen Kehutanan Bapak **Dr Forest. Muhammad Alif K.S., S.Hut., M.Si** dan Sekretaris Departemen Ibu **Dr. Siti Halima Larekeng, SP., MP**, dan Seluruh **Dosen** serta **Staf Administrasi** Fakultas Kehutanan atas bantuannya.

4. Keluarga besar **Persekutuan Doa Rimbawan Mahasiswa Kristen Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin (PDR-MK Fahutan Unhas)** terimakasih atas doa, kebersamaan, dan dukungannya selama penulis menyelesaikan skripsi ini.
5. Teman-teman **Angkatan 2015 (VIRBIUS 2015)** terimakasih atas kerja sama, semangat dan dukungan yang diberikan kepada penulis selama melalui masa kuliah.
6. Kanda-kanda senior, teman-teman dan adik-adikku **Kak Ayu, Kak Diron, Kak Heri, Kak Defky, Kak James, Kak Tono, Kak Dini, Kak Desi, Kak Irwan, Wawan, Ime, Ade, Aurel, Ike, Yefan, Ima, Glo, Ingrid, Herald, Regina, Wilga, Yeyen, Tisar, Noel, Jordy, Lestian, Ardian, Ade Ilham, Alief, Wisdem, Reisha, Yuna, Grace, Mery, Peboy, Icel, Nehemia, Kemal, Juprianto, Faden, Dwiky Junior, Pipo, Septin, Igawati, Cheryl, Lady, Ita Reza, Wahyu, dan Yoel** terimakasih atas dukungan dan semangat yang kalian berikan.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan yang perlu diperbaiki, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkan dan khususnya kepada penulis sendiri.

Makassar, Juli 2021

P e n u l i s

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan dan Kegunaan	2
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Pemanasan Global	4
2.1.1. Pengertian Pemanasan Global	4
2.1.2. Penyebab Pemanasan Global	4
2.1.3. Dampak Pemanasan Global	6
2.1.4. Penanggulangan Dampak Pemanasan Global	7
2.2. Biomassa	8
2.2.1. Perhitungan Biomassa	9
2.3. Karbon	11
2.3.1. Siklus Karbon	11
2.3.2. Karbon Dioksida (CO ₂)	12
2.3.3. Serapan Karbon dioksida (CO ₂)	12

2.3.4	Stok Karbon	13
2.4.	Cemara Gunung (<i>Casuarina junghuhniana</i>)	13
2.4.1.	Deskripsi Umum.....	13
2.4.2.	Syarat Tumbuh.....	14
2.4.3.	Manfaat Kayu Cemara Gunung.....	15
III.	METODOLOGI PENELITIAN.....	17
3.1.	Waktu dan Tempat	17
3.2.	Alat dan Bahan	17
3.3.	Metode Penelitian.....	18
3.3.1.	Tahap Persiapan dan Observasi Lapangan.....	18
3.3.2.	Tahap Penentuan Plot.....	18
3.3.3.	Tahap Pengambilan Data.....	21
3.4	Analisis Data.....	21
3.4.1	Perhitungan Luas Bidang Dasar.....	21
3.4.2	Perhitungan Biomassa Pohon.....	22
3.4.3	Perhitungan Karbon dari Biomassa.....	22
3.4.4	Serapan CO ₂	22
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	24
4.1.	Sebaran Hasil Pengukuran	24
4.2	Potensi Kandungan Karbon Tegakan	25
4.3.	Potensi Serapan CO ₂	31
V.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	33
5.3.	Kesimpulan.....	33
5.2	Saran	33
	DAFTAR PUSTAKA	34
	LAMPIRAN	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
Gambar 1.	Peta Sebaran Plot Tegakan Umur 5 Tahun	19
Gambar 2.	Peta Sebaran Plot Tegakan Umur 10 Tahun	19
Gambar 3.	Peta Sebaran Plot Tegakan Umur 12 Tahun	20
Gambar 4.	Peta Sebaran Plot Tegakan Umur 16 Tahun	20
Gambar 5.	Peta Sebaran Plot Tegakan Umur 22 Tahun	21
Gambar 6.	Diameter Rata-rata dan Nilai MAI.....	25
Gambar 7.	Hubungan umur tegakan dengan kandungan C per pohon.	26
Gambar 8.	Hubungan umur tegakan yang telah diinterpolasi dengan C per pohon, pertambahan kandungan karbon selama periode 5 tahun dan pertambahan nilai karbon rata-rata tahunan.	27
Gambar 9.	Hubungan umur tegakan dengan kandungan C (ton/ha).	28
Gambar 10.	Hubungan umur tegakan dengan serapan CO ₂	29

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
Tabel 1.	Karakteristik Lingkungan Tempat Tumbuh Tegakan	17
Tabel 2.	Rata-rata diameter, biomassa dan karbon pohon.	24
Tabel 3.	Simpanan Karbon pada Berbagai Tipe Hutan di Sulawesi	29
Tabel 4.	Total serapan CO ₂ per hektar.	31

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Data Perhitungan LBDS, Biomassa , Karbon, dan Serapan Karbon dalam Plot.	39
Lampiran 2.	Dokumentasi Penelitian.....	52

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pemanasan global adalah kejadian meningkatnya suhu rata-rata atmosfer, laut dan daratan bumi. Dalam sejarahnya, planet bumi telah menghangat (dan juga mendingin) berkali-kali selama 4,65 milyar tahun. Pada saat ini, bumi menghadapi pemanasan cepat, yang oleh para ilmuwan dianggap disebabkan aktivitas manusia (Darsono, 1993 dalam Wihel, dkk, 2014).

Meningkatnya suhu rata-rata permukaan bumi yang terjadi adalah akibat meningkatnya emisi gas rumah kaca, seperti; karbon dioksida, metana, dinitro oksida, hidrofluorokarbon, perfluorokarbon, dan sulfur heksafluorida di atmosfer. Emisi ini terutama dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar fosil (minyak bumi dan batu bara) serta akibat penggundulan dan pembakaran hutan diperkirakan telah menyebabkan perubahan-perubahan sistem terhadap ekosistem di bumi, antara lain; perubahan iklim yang ekstrim, mencairnya es sehingga permukaan air laut naik, serta perubahan jumlah dan pola presipitasi. Adanya perubahan sistem dalam ekosistem ini telah memberi dampak pada kehidupan di bumi seperti terpengaruhnya hasil pertanian, hilangnya gletser dan punahnya berbagai jenis hewan (Utina, 2009). Salah satu cara untuk mengendalikan perubahan iklim adalah dengan mengurangi emisi gas rumah kaca yaitu dengan mempertahankan keutuhan hutan alami dan meningkatkan kerapatan populasi pepohonan di luar hutan.

Hutan merupakan sumber daya alam yang dapat memberikan manfaat berlipat ganda baik manfaat yang secara langsung maupun manfaat secara tidak langsung. Manfaat hutan yang tidak langsung yaitu sebagai penyerap karbon dioksida (CO_2) dengan bantuan cahaya matahari, air dari tanah dan vegetasi yang berklorofil mampu menyerap karbondioksida (CO_2) dari atmosfer melalui proses fotosintesis, dimana karbon dioksida (CO_2) dari atmosfer diikat dan diubah menjadi bentuk energi (gugus gula) yang bermanfaat bagi kehidupan serta penghasil oksigen (O_2) (Purwitasari, 2011).

Cemara Gunung merupakan jenis tanaman pionir dari lahan deforestasi hutan seperti daerah miring berbatu, daerah yang tidak terganggu serta areal padang

rumpun (Pinyopusarerk dan Boland, 1995 dalam Harjoko, 2018). Cemara Gunung juga merupakan jenis yang toleran terhadap musim kering, kemungkinan besar dapat bertahan pada kondisi *waterlog* dan mampu mengatasi keadaan kekurangan oksigen. Pada saat pohon Cemara Gunung tumbuh beberapa meter, pohon Cemara Gunung tersebut tahan terhadap kebakaran. (WAC 2008 dalam Harjoko, 2018).

Menurut Widiyanto (2011), perhitungan potensi karbon diperlukan dalam memasuki era perdagangan karbon, dimana negara maju akan memberikan bantuan pembiayaan dan teknologi kepada negara berkembang yang terbukti dapat mengurangi emisi karbonnya, dengan mekanisme yang dapat diukur, dilaporkan dan diverifikasi, atau *Measurable, Reportable and Verifiable* (MRV). Pada tahun 2015, tercatat nilai perdagangan karbon global sekitar US\$ 50 milyar, dimana 70% dari total tersebut dihasilkan dari *Emission Trading System* dan 30% dihasilkan dari *Carbon Tax*. Penghitungan potensi karbon sudah cukup banyak dilakukan, meskipun belum mewakili semua jenis tanaman hutan dan mewakili wilayah di Indonesia, sehingga informasi mengenai potensi karbon pada berbagai pola tegakan khususnya hutan tanaman (HR/HKM) masih terbatas. Disamping itu juga masih dijumpai adanya kesulitan di dalam menduga potensi karbon pada berbagai pola tegakan hutan tanaman, sehingga menyulitkan dalam menentukan nilai karbon yang dapat diperdagangkan.

Berdasarkan pernyataan tersebut, maka penelitian mengenai Potensi Stok Karbon Berdasarkan Perbedaan Umur pada Tegakan Cemara Gunung (*Casuarina junghuhniana*) di Lembang Nonongan, Kecamatan Sopai, Kabupaten Toraja Utara perlu dilakukan karena dengan mengetahui jumlah stok karbon tegakan Cemara Gunung, kita akan lebih memahami manfaat ekologi Cemara Gunung sebagai penyimpan cadangan karbon sehingga usaha dalam rangka mengurangi pemanasan global serta memberikan kontribusi dalam penurunan gas rumah kaca nasional secara signifikan.

1.2. Tujuan dan Kegunaan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui stok karbon Cemara Gunung (*C. junghuhniana*) berdasarkan perbedaan umur di Lembang Nonongan, Kecamatan Sopai, Kabupaten Toraja Utara.

Kegunaan dari penelitian ini adalah dapat memberikan informasi mengenai kontribusi stok karbon Cemara Gunung sebagai salah satu upaya dalam mengendalikan dampak pemanasan global.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pemanasan Global

2.1.1. Pengertian Pemanasan Global

Pemanasan global (*global warming*) menjadi salah satu isu lingkungan utama yang dihadapi dunia saat ini. Pemanasan global berhubungan dengan proses meningkatnya suhu rata-rata permukaan bumi. Peningkatan suhu permukaan bumi ini dihasilkan oleh adanya radiasi sinar matahari menuju ke atmosfer bumi, kemudian sebagian sinar ini berubah menjadi energi panas dalam bentuk sinar infra merah diserap oleh udara dan permukaan bumi (Utina, 2009).

Pemanasan global merupakan isu pokok yang membawa dampak terjadinya perubahan iklim yang mempengaruhi kehidupan di bumi. Pemanasan global terjadi karena peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di lapisan atmosfer bumi. Atmosfer lebih banyak menerima dibandingkan melepaskan karbon, akibat dari pembakaran bahan bakar fosil, kendaraan bermotor dan mesin industri, sehingga karbon terakumulasi. Sementara itu volume penyerapan berkurang akibat dari penebangan hutan, perubahan tataguna lahan, dan pembangunan. Akumulasi karbon di atmosfer menimbulkan efek rumah kaca, akibat terperangkapnya gelombang pendek sinar matahari, sehingga meningkatkan suhu atmosfer bumi (Komiya, dkk, 2000).

Pemanasan global terjadi ketika konsentrasi gas-gas tertentu yang dikenal dengan gas rumah kaca, yang terus bertambah di udara. Hal tersebut disebabkan oleh tindakan manusia, kegiatan industri yang umumnya dihasilkan oleh penggunaan batubara, minyak bumi, gas, dan penggundulan serta pembakaran hutan. Rusaknya hutan-hutan yang seharusnya berfungsi sebagai penyimpan CO₂ juga makin memperparah keadaan ini karena pohon-pohon yang terbakar akan melepaskan CO₂ yang tersimpan di dalam jaringannya ke atmosfer (Budianta, 2010).

2.1.2. Penyebab Pemanasan Global

a. Efek Rumah Kaca

Matahari merupakan sumber energi utama dari setiap sumber energi yang terdapat di bumi. Energi matahari sebagian tersebar dalam bentuk radiasi

gelombang pendek, termasuk cahaya tampak. Energi ini mengenai permukaan bumi dan berubah dari cahaya menjadi panas. Permukaan bumi kemudian menyerap sebagian panas sehingga menghangatkan bumi, dan sebagian dipantulkannya kembali ke luar angkasa. Menumpuknya jumlah gas rumah kaca seperti uap air, karbon dioksida, dan metana di atmosfer mengakibatkan sebagian dari panas ini dalam bentuk radiasi inframerah tetap terperangkap di atmosfer bumi, kemudian gas-gas ini menyerap dan memantulkan kembali radiasi gelombang yang dipancarkan oleh permukaan bumi. Akibatnya panas tersebut akan tersimpan di permukaan bumi. Kondisi ini dapat terjadi berulang sehingga mengakibatkan suhu rata-rata tahunan bumi terus meningkat (Fadliah, 2008).

Gas-gas tersebut berfungsi sebagaimana kaca pada atap rumah kaca. Makin meningkat konsentrasi gas-gas ini di atmosfer, makin besar pula efek panas yang terperangkap di bawahnya. Efek rumah kaca ini sangat dibutuhkan oleh segala makhluk hidup yang ada di bumi, karena tanpa efek rumah kaca planet bumi akan menjadi sangat dingin lebih kurang -18°C , sehingga seluruh permukaan bumi akan tertutup lapisan es. Dengan temperatur rata-rata sebesar 15°C , bumi sebenarnya telah lebih panas 33°C dengan efek rumah kaca. Akan tetapi jika gas-gas tersebut telah berlebih di atmosfer, maka akan terjadi sebaliknya dan mengakibatkan pemanasan global (Fadliah, 2008).

b. Lapisan Ozon

Masalah lingkungan dan kesehatan manusia yang terkait dengan penipisan ozon sesungguhnya berbeda dengan resiko yang dihadapi manusia dari akibat pemanasan global. Walaupun begitu, kedua fenomena tersebut saling berhubungan. Beberapa polutan (zat pencemar) memberikan kontribusi yang sama terhadap penipisan lapisan ozon dan pemanasan global.

Hasil pantauan Fadliah (2008), menyimpulkan bahkan ozon melindungi kehidupan di bumi dari radiasi ultraviolet matahari. Namun, semakin membesarnya lubang ozon di kawasan kutub bumi akhir-akhir ini sungguh mengkhawatirkan. Apabila hal tersebut tidak diantisipasi, maka dapat menimbulkan bencana lingkungan yang luar biasa. Penipisan ozon mengakibatkan masuknya lebih banyak radiasi sinar ultraviolet (UV) yang berbahaya masuk ke permukaan bumi. Namun, meningkatnya radiasi sinar UV bukan hanya menyebabkan terjadinya pemanasan

global, melainkan juga dapat menyebabkan kanker kulit, penyakit katarak, menurunnya kekebalan tubuh manusia, dan menurunnya hasil panen.

2.1.3. Dampak Pemanasan Global

Pemanasan global telah memicu terjadinya sejumlah konsekuensi yang merugikan, baik terhadap lingkungan maupun setiap aspek kehidupan manusia. Beberapa di antaranya adalah sebagai berikut (Gealson, dkk, 2007):

- a. Mencairnya lapisan es di kutub Utara dan Selatan. Peristiwa ini mengakibatkan naiknya permukaan air laut secara global, hal ini dapat mengakibatkan sejumlah pulau-pulau kecil tenggelam. Kehidupan masyarakat yang hidup di daerah pesisir terancam. Permukiman penduduk dilanda banjir rob akibat air pasang yang tinggi, dan ini berakibat kerusakan fasilitas sosial dan ekonomi. Jika ini terjadi terus menerus maka akibatnya dapat mengancam sendi kehidupan masyarakat.
- b. Meningkatnya intensitas fenomena cuaca yang ekstrim. Perubahan iklim menyebabkan musim sulit diprediksi. Petani tidak dapat memprediksi perkiraan musim tanam akibat musim yang juga tidak menentu. Akibat musim tanam yang sulit diprediksi dan musim penghujan yang tidak menentu maka musim produksi panen juga demikian. Hal ini berdampak pada masalah penyediaan pangan bagi penduduk, kelaparan, lapangan kerja, bahkan menimbulkan kriminal akibat tekanan tuntutan hidup.
- c. Punahnya berbagai jenis fauna. Flora dan fauna memiliki batas toleransi terhadap suhu, kelembaban, kadar air, dan sumber makanan. Kenaikan suhu global menyebabkan terganggunya siklus air, kelembaban udara dan berdampak pada pertumbuhan tumbuhan sehingga menghambat laju produktivitas primer. Kondisi ini pun memberikan pengaruh habitat dan kehidupan fauna.
- d. Habitat hewan berubah akibat perubahan faktor-faktor suhu, kelembaban dan produktivitas primer sehingga sejumlah hewan melakukan migrasi untuk menemukan habitat baru yang sesuai. Migrasi burung akan berubah disebabkan perubahan musim, arah dan kecepatan angin, arus laut (yang membawa nutrisi dan migrasi ikan).
- e. Peningkatan muka air laut, air pasang dan musim hujan yang tidak menentu menyebabkan meningkatnya frekuensi dan intensitas banjir.

- f. Ketinggian gunung-gunung tinggi berkurang akibat mencairnya es pada puncaknya.
- g. Perubahan tekanan udara, suhu, kecepatan, dan arah angin menyebabkan terjadinya perubahan arus laut. Hal ini dapat berpengaruh pada migrasi ikan, sehingga memberi dampak pada hasil perikanan tangkap.
- h. Berubahnya habitat memungkinkan terjadinya perubahan terhadap resistensi kehidupan larva dan masa pertumbuhan organisme tertentu, kondisi ini tidak menutup kemungkinan adanya pertumbuhan dan resistensi organisme penyebab penyakit tropis. Jenis-jenis larva yang berubah resistensinya terhadap perubahan musim dapat meningkatkan penyebaran organisme ini lebih luas. Ini menimbulkan wabah penyakit yang dianggap baru.

2.1.4. Penanggulangan Dampak Pemanasan Global

Menurut Suwedi (2005), upaya penanggulangan ditujukan untuk mengurangi dampak atau akibat dari pemanasan global yang sudah terjadi. Upaya-upaya tersebut antara lain adalah:

- a. Peningkatan sarana dan prasarana penanggulangan bencana banjir dan kekeringan, seperti:
 - 1. Penyesuaian desain dan system drainase yang ada dalam rangka penanggulangan banjir.
 - 2. Peningkatan jumlah waduk dan sumur resapan dalam usaha mempertahankan ketersediaan cadangan air.
 - 3. Peningkatan perangkat pemadam kebakaran baik pemadam kebakaran hutan maupun perumahan.
 - 4. Peningkatan perangkat penanggulangan banjir.
- b. Merehabilitasi lahan kritis dengancara penggalakan penanaman pohon (reboisasi) sebagai upaya memperbanyak media penyerap gas karbon serta meningkatkan ketersediaan cadangan air.
- c. Peningkatan penanganan lingkungan dan habitat pesisir, seperti :
 - 1. Merehabilitasi habitat hutan mangrove, terumbu karang dan padang lamun.
 - 2. Peningkatan bangunan pelindung pantai dan pesisir.

3. Penyesuaian RTRW pesisir dan laut terhadap perubahan kondisi (lahan, infrastruktur, sosial dan lingkungan) sebagai akibat dari dampak pemanasan global.
- d. Peningkatan pelayanan kesehatan masyarakat.

2.2. Biomassa

Biomassa adalah materi yang bersal dari makhluk hidup, termasuk bahan organik baik yang hidup maupun yang mati, baik yang ada di atas permukaan tanah maupun yang berada di bawah permukaan tanah, seperti pohon, hasil panen, rumput, serasah, akar, hewan, serta sisa kotoran hewan (Sutaryo, 2009). Menurut Brown (1997), Biomassa adalah total berat atau volume organisme dalam suatu area atau volume tertentu. Biomassa juga didefinisikan sebagai total jumlah materi hidup di atas permukaan pada suatu pohon dan dinyatakan dengan satuan ton berat kering per satuan luas.

Pohon (dan organisme fotoautotrof lainnya) melalui proses fotosintesis menyerap CO_2 dari atmosfer dan mengubahnya menjadi karbon organik (karbohidrat) dan menyimpannya dalam biomassa tubuhnya seperti dalam batang, daun, akar, umbi, buah dan-lain-lain. Keseluruhan hasil dari proses fotosintesis ini sering disebut juga dengan produktifitas primer. Dalam aktifitas respirasi, sebagian CO_2 yang sudah terikat akan dilepaskan kembali dalam bentuk CO_2 ke atmosfer. Selain melalui respirasi, sebagian dari produktifitas primer akan hilang melalui berbagai proses misalnya herbivory dan dekomposisi. Sebagian dari biomassa mungkin akan berpindah atau keluar dari ekosistem karena terbawa aliran air atau agen pemindah lainnya. Kuantitas biomassa dalam hutan merupakan selisih antara produksi melalui fotosintesis dan konsumsi. Perubahan kuantitas biomassa ini dapat terjadi karena suksesi alami dan oleh aktifitas manusia seperti silvikultur, pemanenan dan degradasi. Perubahan juga dapat terjadi karena adanya bencana alam (Sutaryo, 2009).

Cahyaningrum dkk. (2014) mengemukakan dari hasil penelitian menunjukkan bagian pohon yang memiliki kandungan biomassa karbon terbesar adalah bagian batang. Batang merupakan bagian berkayu dan tempat penyimpanan cadangan makanan dari hasil fotosintesis. Pohon melakukan proses fotosintesis

untuk menghasilkan energi dengan menyerap karbon dari lingkungan. Pohon menyerap karbon melalui daun, kemudian melakukan fotosintesis, dan hasilnya disebar ke bagian pohon yang lain. Bagian pohon yang mampu menyimpan lebih banyak adalah bagian terbesar pohon yaitu batang.

Hasil fotosintesis ini kemudian digunakan oleh tumbuhan untuk melakukan pertumbuhan ke arah horisontal dan vertikal. Karena itu, semakin besarnya diameter disebabkan oleh penyimpanan biomassa hasil konversi karbon dioksida yang semakin bertambah besar seiring dengan semakin banyaknya karbon dioksida yang diserap pohon tersebut. Secara umum hutan dengan *net growth* (terutama pohon-pohon yang sedang berada dalam fase pertumbuhan) mampu menyerap lebih banyak karbon dioksida, sedangkan hutan dewasa dengan pertumbuhan yang kecil menahan dan menyimpan persediaan karbon tetapi tidak dapat menyerap karbon dioksida ekstra (Cahyaningrum dkk. 2014).

2.2.1. Perhitungan Biomassa

Terdapat 4 cara utama untuk menghitung biomassa yaitu (i) *sampling* dengan pemanenan (*destructive sampling*) secara *in situ*; (ii) *sampling* tanpa pemanenan (*non-destructive sampling*) dengan data pendataan hutan secara *in situ*; (iii) Pendugaan melalui penginderaan jauh; dan (iv) pembuatan model. Untuk masing-masing metode di atas, persamaan allometrik digunakan untuk mengekstrapolasi cuplikan data ke area yang lebih luas. Penggunaan persamaan *allometrik standard* yang telah dipublikasikan sering dilakukan, tetapi karena koefisien persamaan allometrik ini bervariasi untuk setiap lokasi dan spesies, penggunaan persamaan *standard* ini dapat mengakibatkan galat (*error*) yang signifikan dalam mengestimasi biomassa suatu vegetasi (Sutaryo, 2009).

a. Sampling dengan pemanenan

Metode ini dilaksanakan dengan memanen seluruh bagian tumbuhan termasuk akarnya, mengeringkannya dan menimbang berat biomasanya. Pengukuran dengan metode ini untuk mengukur biomassa hutan dapat dilakukan dengan mengulang beberapa area cuplikan atau melakukan ekstrapolasi untuk area yang lebih luas dengan menggunakan persamaan allometrik. Meskipun metode ini terhitung akurat untuk menghitung biomassa pada cakupan area kecil, metode ini terhitung mahal dan sangat memakan waktu.

b. Sampling tanpa pemanenan

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

c. Pendugaan melalui penginderaan jauh.

Penggunaan teknologi penginderaan jauh umumnya tidak dianjurkan terutama untuk proyek-proyek dengan skala kecil. Kendala yang umumnya adalah karena teknologi ini relatif mahal dan secara teknis membutuhkan keahlian tertentu yang mungkin tidak dimiliki oleh pelaksana proyek. Metode ini juga kurang efektif pada daerah aliran sungai, pedesaan atau wanatani (*agroforestry*) yang berupa mosaik dari berbagai penggunaan lahan dengan persil berukuran kecil (beberapa hektar saja). Hasil penginderaan jauh dengan resolusi sedang mungkin sangat bermanfaat untuk membagi area proyek menjadi kelas-kelas vegetasi yang relative homogen. Hasil pembagian kelas ini menjadi panduan untuk proses survey dan pengambilan data lapangan. Untuk mendapatkan estimasi biomassa dengan tingkat keakuratan yang baik memerlukan hasil penginderaan jauh dengan resolusi yang tinggi, tetapi hal ini akan menjadi metode alternatif dengan biaya yang besar.

d. Pembuatan model

Model digunakan untuk menghitung estimasi biomassa dengan frekuensi dan intensitas pengamatan insitu atau penginderaan jauh yang terbatas. Umumnya, model empiris ini didasarkan pada jaringan dari sample plot yang diukur berulang, yang mempunyai estimasi biomassa yang sudah menyatu atau melalui persamaan allometrik yang mengkonversi volume menjadi biomassa.

Terdapat dua pendekatan untuk mengestimasi biomassa di atas permukaan dari suatu pohon / hutan. Dua (2) Pendekatan tersebut adalah pendekatan langsung dengan membuat persamaan allometrik dan pendekatan tidak langsung dengan menggunakan "*biomass expansion factor*". Meskipun terdapat keuntungan dan kekurangan dari masing-masing pendekatan, tetapi harus diperhatikan bahwa pendekatan tidak langsung didasarkan pada faktor yang dikembangkan pada tingkat tegakan dari hutan dengan kanopi yang tertutup (rapat)

dan tidak dapat digunakan untuk membuat estimasi dari pohon secara individu (IPCC, 2003 dalam Sutaryo, 2009).

2.3. Karbon

Menurut Sutaryo (2009), karbon adalah unsur kimia yang dengan simbol C dan nomor atom 6. Karbon merupakan unsur kimia bukan logam dengan simbol atom C yang banyak terdapat di dalam semua bahan organik dan di dalam bahan organik tertentu. Unsur ini mempunyai nomor atom 6 dan berat atom 12 g (Agus, dkk. 2011).

2.3.1. Siklus Karbon

Siklus karbon adalah siklus biogeokimia dimana karbon dipertukarkan antara biosfer, geosfer, hidrosfer, dan atmosfer. Dalam siklus ini terdapat empat reservoir karbon utama yang dihubungkan oleh jalur pertukaran. Reservoir-reservoir tersebut adalah atmosfer, biosfer terestrial (biasanya termasuk pulasistem air tawar dan material non-hayati organik seperti karbon tanah (*soil carbon*), lautan (termasuk karbon inorganik terlarut dan biota laut hayati dan nonhayati), dan sedimen (termasuk bahan bakar fosil). Pergerakan karbon, pertukaran karbon antar reservoir, terjadi karena proses-proses kimia, fisika, geologi, dan biologi yang bermacam-macam. Lautan mengandung kolam aktif karbon terbesar dekat permukaan bumi, namun demikian laut dalam bagian dari kolam ini mengalami pertukaran yang lambat dengan atmosfer (Whitten et al., 1999 dalam Nugroho, 2010).

Secara alami, pelepasan karbon hutan ke atmosfer, atau disebut emisi, terjadi melalui berbagai mekanisme seperti respirasi makhluk hidup, dekomposisi bahan organik serta pembakaran biomassa. Selain melakukan proses fotosintesis untuk mengubah karbon dioksida (CO_2) menjadi oksigen (O_2) dan glukosa, tumbuhan juga melakukan proses respirasi yang melepaskan CO_2 . Namun proses ini cenderung tidak signifikan karena CO_2 yang dilepas masih dapat diserap kembali pada saat proses fotosintesis (Manuruki, dkk. 2011).

Dalam siklus tersebut, molekul karbon dalam bentuk CO_2 digunakan oleh tumbuhan menjadi molekul organik yang kompleks seperti gula, lemak, protein dan serat, dengan menggunakan energi matahari melalui proses fotosintesis (Whitten et al., 1999 dalam Nugroho, 2010). Proses ini menghasilkan produktivitas primer

kotor, yang sebagian dikonsumsi dalam respirasi. Sisanya adalah produktivitas primer bersih. Molekul organik dikonsumsi dikeluarkan menjadi kotoran, diasimilasikan, dikonsumsi, dikeluarkan sebagai kotoran, diasimilasikan dan seterusnya sampai dapat digunakan sebagai energi. Molekul karbon dilepaskan ke dalam atmosfer lagi sebagai CO₂, yaitu hasil respirasi organisme konsumen seperti jamur atau binatang, atau tumbuhan sebelum dikonsumsi lagi (Begon et al., 1990).

2.3.2. Karbon Dioksida (CO₂)

Karbendioksida (rumus kimia: CO₂) atau zat asam arang adalah sejenis senyawa kimia yang terdiri dari dua atom oksigen yang terikat secara kovalen dengan sebuah atom karbon. Ia berbentuk gas pada keadaan temperatur dan tekanan standar dan hadir di atmosfer bumi. Rata-rata konsentrasi karbendioksida di atmosfer bumi kira-kira 387 ppm berdasarkan volume walaupun jumlah ini bisa bervariasi tergantung pada lokasi dan waktu. Karbendioksida gas rumah kaca yang penting karena ia menyerap gelombang inframerah dengan kuat (Alamenda, 2010 dalam Batara, 2015).

Karbendioksida dihasilkan oleh semua hewan tumbuh-tumbuhan fungi dan mikroorganisme pada proses respirasi dan digunakan oleh tumbuhan pada proses fotosintesis. Oleh karena itu karbon dioksida merupakan komponen penting dalam siklus karbon dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil karbendioksida anorganik dikeluarkan dari gunung berapi dan proses kegiatan lainnya seperti pada mata air panas (Alamenda, 2010 dalam Batara, 2015).

2.3.3. Serapan Karbon dioksida (CO₂)

Daya serap karbon dioksida sebuah pohon juga ditentukan oleh luas keseluruhan daun, umur daun, dan fase pertumbuhan tanaman. Selain itu, pohon-pohon yang berbunga dan berbuah memiliki kemampuan fotosintesis yang lebih tinggi sehingga mampu sebagai penyerap karbon dioksida yang lebih baik. Banyak faktor yang mempengaruhi daya serap karbon dioksida. Diantaranya ditentukan oleh mutu klorofil. Mutu klorofil ditentukan berdasarkan banyaknya magnesium yang menjadi inti klorofil. (Alamenda, 2010 dalam Batara 2015).

Menurut Paembonan (2012), semakin cepat penyerapan CO₂ dari udara, semakin cepat pertumbuhan biomaassa pohon. Oleh karena itu, untuk mempercepat

penyerapan CO₂ dari udara, maka program penghijauan dan reboisasi dengan menanam *Fast Growing species*. Jenis FGS akan mempercepat penyerapan karbon di udara sedangkan jenis pohon yang bertumbuh lambat akan memperlama kandungan cadangan karbon selama hidupnya. Jumlah karbon yang tersimpan dalam pohon berbanding linear dengan kenaikan biomassa pohon yaitu dengan bertambahnya tinggi, diameter, serta umur pohon, dan mencapai kondisi stabil ketika umur pohon mencapai masa tebang. Volume serapan karbon berjalan lambat pada tahap semai menjadi sapihan. Sedangkan proses penyerapan karbon secara cepat terjadi pada fase sapihan ke fase tiang dan pohon, karena pohon mengalami peningkatan penambahan volume batang dan tajuk yang sangat cepat.

2.3.4 Stok Karbon

Cadangan karbon pada suatu sistem penggunaan lahan dipengaruhi oleh jenis vegetasinya. Suatu sistem penggunaan lahan yang terdiri dari pohon dengan spesies yang mempunyai nilai kerapatan kayu tinggi, biomasnya akan lebih tinggi bila dibandingkan dengan lahan yang mempunyai spesies dengan nilai kerapatan kayu rendah. Jenis-jenis pohon yang ditanam dapat diambil dari berbagai jenis yang ada tergantung dari kebutuhan yang diinginkan. Pemilihan jenis pohon umumnya didasari pertimbangan potensi ketersediaan jenis dan kesesuaian jenis dengan tempat tumbuh. Berikut ini beberapa jenis pohon berdasarkan daerah asal meliputi : jenis indigenus (indigenous species) yaitu jenis yang tumbuh secara alami pada suatu tempat dengan kondisi lingkungan tertentu; jenis endemik (endemic species) adalah jenis yang tumbuh hanya pada suatu tempat yang dibatasi oleh wilayah geografis tertentu; jenis exotic (exotic species) adalah jenis pohon yang diintroduksi atau didatangkan dari tempat lain, baik dari luar daerah tersebut maupun luar negeri (Paembonan, 2012).

2.4. Cemara Gunung (*Casuarina junghuhniana*)

2.4.1. Deskripsi Umum

Cemara Gunung (*Casuarina junghuniana*) termasuk dalam famili *Casuarinaceae*. Cemara Gunung di Indonesia dikenal dengan beberapa nama antara lain cemara gunung, kayu angin, dan casuari. Pohon ini di Inggris dikenal dengan

nama *forest oak*, *mountain ru*, *red tipped ru*, *she oak*. *Mvinje* merupakan nama yang dikenal untuk daerah Swahili, sedangkan di Thailand pohon ini dikenal dengan nama *son-pradiphat* (Harjoko, 2018). World Agroforestry Center (WAC) (2008) dalam Harjoko (2018) menerangkan bahwa tanaman ini merupakan jenis dari Indonesia yang sudah menyebar ke Australia, China, India, Kenya, Tanzania dan Thailand. Lembaga Penelitian Kehutanan di Jawa memperkenalkan kayu ini ke Tanzania dan Kenya pada tahun 1955. Tahun 1900 tanaman hibridnya dikenalkan di Thailand dan hasil progeninya selanjutnya dikenalkan di India pada awal tahun lima puluhan.

Cemara Gunung merupakan jenis tanaman pionir dari lahan deforestasi hutan seperti daerah miring berbatu, daerah yang tidak terganggu serta areal padang rumput (Pinyopusarerk dan Boland, 1995). Cemara Gunung juga merupakan jenis yang toleran terhadap musim kering, kemungkinan besar dapat bertahan pada kondisi *waterlog* dan mampu mengatasi keadaan kekurangan oksigen. Pada saat pohon Cemara Gunung tumbuh beberapa meter, pohon Cemara Gunung tersebut tahan terhadap kebakaran. (WAC 2008 dala Harjoko 2018).

Menurut Tantra (1980), sistematika Cemara Gunung dapat dituliskan sebagai berikut:

Regnum : Plantae
Sub Regnum : Tracheobionta
Super Divisi : Spermatophyta
Divisi : Magnoliophyta
Kelas : Magnoliopsida
Sub Kelas : Hamamelidae
Ordo : Casuarinales
Famili : Casuarinaceae
Genus : *Casuarina*
Spesies : *Casuarina junghuhniana* Miq.

2.4.2. Syarat Tumbuh

Cemara Gunung dapat tumbuh pada berbagai macam tipe tanah dengan kisaran yang luas, mulai dari tanah vulkanik sampai tanah berpasir dan liat berat. Selain itu jenis ini juga dapat tumbuh pada daerah di bawah 100 mdpl.

Pinyopusarerk dan Boland (1995) menyatakan, bahwa tanaman ini tumbuh pada daerah dengan ketinggian 550-3100 mdpl. Kisaran rata-rata suhu tempat tumbuhnya berkisar antara 10°- 20°C. Rata-rata curah hujan yang sesuai yaitu 700-2000 mm/tahun. Jenis Cemara Gunung ini juga dapat bertahan pada kisaran pH yang tinggi mulai dari 2.8 pada tanah liat asam sampai 8 pada tanah bebatuan atau kapur (WAC 2008 dalam Harjoko 2018).

Cemara Gunung merupakan salah satu jenis tanaman *fast growing* (cepat tumbuh) dan dapat mencapai tinggi maksimal 35 meter. Diameter pohon Cemara Gunung ini antara 30-50 cm dengan diameter maksimal 65 cm, bentuk tajuk dari pohon ini agak terbuka. Kayunya keras dengan warna cokelat kemerah-merahan dan cenderung mudah terpecah. Tipe bunganya uniseksual dengan buah berbentuk kerucut. Benih Cemara Gunung merupakan benih jenis ortodoks. Viabilitas benih dapat terjaga sampai satu tahun pada suhu ruangan. Jumlah benih perkilogramnya sebanyak 1-1,8 juta benih/kg. Benih berbiji satu dan bersayap, dalam penyerbukannya pohon ini dibantu oleh angin. Pertumbuhan tunas cenderung berhenti atau kurang selama periode pembungaan yang bertepatan dengan musim kemarau (Harjoko, 2018).

2.4.3. Manfaat Kayu Cemara Gunung

Cemara Gunung merupakan tanaman yang dapat digunakan dalam kegiatan reklamasi dan rehabilitasi hutan. Khususnya tanaman ini sangat cocok untuk tanaman pionir pada daerah longsor. Selama ini penggunaan kayu cemara gunung masih terbatas secara lokal hanya untuk bahan bakar atau sebagai sumber energi. Kayu Cemara Gunung cocok untuk produksi kayu bakar dan kayu arang.

Pada kondisi berat jenis dari kayu tersebut 900-1000 kg/m³ dan kerapatan dari kayu arang adalah 650 kg/m³. Energi yang dihasilkan dari kayu arang sebesar 34.500 kJ/kg. Nilai tersebut merupakan nilai energi tertinggi bila dibandingkan dengan jenis kayu bakar lainnya. Kayu Cemara Gunung ini di Thailand populer digunakan untuk sumber konstruksi penyangga dan untuk penjerat ikan serta galah atau tiang. Selain itu dapat digunakan untuk campuran kayu *dipterocarpus* untuk membuat *hardboard*. Fungsi lain dari tanaman ini yaitu sebagai tanaman peneduh dan tanaman pembatas karena sesuai dengan fungsinya sebagai tanaman penahan

angin. Tanaman Cemara Gunung terkadang juga digunakan untuk tanaman hias (WAC 2008 dalam Harjoko 2018).