

**ESTIMASI CADANGAN KARBON PADA BERBAGAI TUTUPAN LAHAN
DI KABUPATEN LUWU TIMUR**

**ESTIMATED CARBON RESERVES ON VARIOUS LAND COVER IN
EAST LUWU DISTRICT**

SAKTI SWARNO KARURU



**SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2021

**ESTIMASI CADANGAN KARBON PADA BERBAGAI TUTUPAN LAHAN
DI KABUPATEN LUWU TIMUR**

**ESTIMATED CARBON RESERVES ON VARIOUS LAND COVER IN
EAST LUWU DISTRICT**

SAKTI SWARNO KARURU



**SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2021

**ESTIMASI CADANGAN KARBON PADA BERBAGAI TUTUPAN
LAHAN DI KABUPATEN LUWU TIMUR**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Megister

**Program Studi
Sistem – Sistem Pertanian**

Disusun dan di ajukan oleh

SAKTI SWARNO KARURU

Kepada

**SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2021

TESIS

**ESTIMASI CADANGAN KARBON PADA TUTUPAN LAHAN
DI KABUPATEN LUWU TIMUR**

Disusun dan diajukan oleh

SAKTI SWARNO KARURU

P012172001

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Megister Program Studi Sistem – Sistem
Pertanian Fakultas Pascasarjana Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 25 Januari 2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping

Dr. Ir. Burhanuddin Rasyid, M.Sc.
Nip 196407211990021001

Dr. Ir. Syamsuddin Millang, MS.
Nip 19612311986011075

Ketua Program Studi,

Dekan Fakultas Sekolah Pascasarjana

Dr. Ir. Syatrianty A. Syaiful, MS.
Nip 196203241987022001



Prof. Dr. Ia. Jamafuddin Jompa, M.Sc.
Nip 196703081990031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Sakti Swarno Karuru
Nomor Mahasiswa : P012172001
Program Studi : Sistem – Sistem Pertanian
Jenjang : S2

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Estimasi Cadangan Karbon pada Berbagai Tutupan Lahan di Kabupaten
Luwu Timur

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi/tesis/disertasi yang saya tulis ini benar – benar merupakan hasil karya saya.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 18 Januari 2021

Yang menyatakan



Sakti Swarno Karuru

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, hanya atas karunianya dan berkat-Nya penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan judul “Estimasi Cadangan Karbon pada Berbagai Tutupan Lahan di Kabupaten Luwu Timur” merupakan syarat untuk menyelesaikan studi pada program Pasca Sarjana Sistem – Sistem Pertanian Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan tesis megister ini masih terdapat berbagai kekurangan yang mungkin belum terkoreksi mengingat keterbatasan kemampuan, tenaga dan waktu.

Penuh rasa hormat, penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Ir. Burhanuddin Rasyid, M.Sc sebagai ketua penasehat, dan Dr. Ir. Syamsuddin Millang, M.S sebagai anggota penasehat yang telah membimbing, memberikan arahan dan masukan selama penulisan, serta saya ucapkan terima kasih banyak kepada Prof. Dr. Ir. Hazairin Zubair, M.S., Prof. Dr. Ir. Kaimuddin, M.Si., dan Dr. Ir. Abd. Haris Bahrun, M.S., selaku dosen penguji yang telah memberikan kritikan dan saran terhadap peelitian ini. Selain itu, penulis juga berterima kasih kepada orang tua dan keluarga, serta sahabat dan teman – teman yang senantiasa memberi doa, dukungan dan semangat selama penyusunan tesis ini.

Makassar, 18 Januari 2021

ABSTRAK

SAKTI SWARNO KARURU. *Estimasi Cadangan Karbon pada Berbagai Tutupan Lahan Hutan Sekunder, Agroforestri, Kelapa Sawit dan Sawah* (dibimbing oleh Burhanuddin Rasyid dan Syamsuddin Millang).

Penelitian ini bertujuan memperkirakan cadangan karbon pada tutupan lahan pada hutan sekunder, agroforestri, perkebunan kelapa sawit dan sawah.

Penelitian ini menggunakan ukuran plot sampel 20 x 50 yang diambil sebanyak 9 kali untuk tiap tutupan lahan. Pengumpulan data biomassa menggunakan *nondestructive sampling* dan untuk tumbuhan bawah dan serasah menggunakan *destructive sampling* dengan cara memotong dan mengambil semua tumbuhan bawah dan serasah yang berada pada kuadran 1 x 1 meter. Ada dua macam contoh tanah yang di ambil yaitu tanah terganggu dan tanah utuh.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa estimasi cadangan karbon tertinggi adalah hutan sekunder dengan nilai cadangan karbon sebesar 265,86 ton/ha, Adapun untuk agroforestri nilai cadangan karbon 131,31 ton/ha, sedangkan kelapa sawit dengan nilai cadangan karbon 100,89 ton/ha dan terendah adalah sawah dengan nilai cadangan karbon 70,50 ton/ha.

Kata kunci: Cadangan Karbon, Hutan Sekunder, Kelapa Sawit, Agroforestri, Sawah



ABSTRACT

SAKTI SWARNO KARURU. *Carbon Stock Estimation on Some Land Cover: Secondary Forest, Agroforestry, Palm Oil Plantation and Paddy Field (Supervised by Burhanuddin Rasyid and Syamsuddin Millang)*

This study aims to estimate carbon stocks in the land cover of secondary forest, agroforestry, oil palm plantation and rice fields.

The research used sample plot size 20 x 50 that was taken 9 times for each land cover. Biomass data was collected using non-destructive sampling, since for undergrowth and necromass using destructive sampling by cutting and taking all the undergrowth and litter that were in a 1 x 1 meter quadrant. There were two kinds of soil sampling that were collected, distributed soil and intact soil.

The results show that the highest estimated carbon stock is secondary forest with carbon stock value of 265.86 tons/ha, as for agroforestry the carbon stock value of 131.31 tons/ha, while oil palm with a carbon stock value of 100.80 tons/ha and the lowest is paddy field with carbon stock value of 70.50 tons/ha.

Keywords: Carbon Reserves, Secondary Forest, Palm Oil, Agroforestry, Rice Fields



DAFTAR ISI

PRAKATA.....	V
DAFTAR ISI	VIII
DAFTAR GAMBAR.....	XII
DAFTAR TABEL.....	XIII
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
A. LATAR BELAKANG	1
B. RUMUSAN MASALAH.....	4
C. TUJUAN PENELITIAN	5
D. KEGUNAAN PENELITIAN	5
BAB II	6
TINJUAN PUSTAKA.....	6
A. CADANGAN KARBON.....	6
B. KARBON.....	9
C. TUTUPAN LAHAN TERHADAP EMISI KARBON.....	12
1. <i>Hutan Sekunder</i>	15
2. <i>Agroforestri</i>	18
3. <i>Kelapa Sawit</i>	22
4. <i>Persawahan</i>	25
D. HUBUNGAN SIFAT TANAH DENGAN CADANGAN KARBON.....	27

1. <i>C-organik dan Bahan Organik Tanah</i>	28
2. <i>Tekstur Tanah</i>	30
3. <i>Kemasaman Tanah</i>	32
4. <i>Kerangka Berfikir</i>	34
BAB III	35
METODE PENELITIAN	35
A. PENDEKATAN DAN JENIS PENELITIAN	35
B. LOKASI DAN WAKTU	35
C. PROSEDUR PENELITIAN	35
D. ALAT DAN BAHAN	38
E. METODE ANALISIS DATA	39
1. <i>Pengukuran Biomasa Pohon</i>	41
2. <i>Pengukuran Nekromasa</i>	43
3. <i>Pengambilan Data Tumbuhan Bawah dan Serasah</i>	44
4. <i>Penaksiran Biomasa Akar Pohon</i>	46
5. <i>Pengambilan Sampel Tanah</i>	46
6. <i>Penaksiran Cadangan Karbon Tanah</i>	47
7. <i>Pendugaan Cadangan Karbon di Tingkat Tutupan Lahan</i>	48
8. <i>Perhitungan CO₂-ekuivalen dan pelepasan oksigen</i>	49
9. <i>Analisis Keterkaitan Sifat Tanah dengan Cadangan Karbon</i>	49
F. BAGAN ALIR PENELITIAN	51
G. PETA TUTUPAN LAHAN	52
BAB IV	53

KONDISI UMUM LOKASI	53
A. KEADAAN UMUM WILAYAH	53
1. <i>Letak Geografis dan Administrasi</i>	53
2. <i>Keadaan Iklim</i>	56
BAB V	58
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	58
A. CADANGAN KARBON DI ATAS PERMUKAAN	58
1. <i>Hutan Sekunder</i>	58
2. <i>Agroforestri</i>	67
3. <i>Kelapa Sawit</i>	75
B. CADANGAN KARBON DI BAWAH PERMUKAAN	82
C. TOTAL CADANGAN KARBON PADA TUTUPAN LAHAN.....	86
D. KETERKAITAN / KORELASI SIFAT TANAH DENGAN CADANGAN KARBON..	89
1. <i>C-organik dan Bahan organik</i>	90
2. <i>Tekstur Tanah (% liat)</i>	91
3. <i>Kemasaman Tanah</i>	92
4. <i>Berat Isi Tanah (Bulk Density)</i>	94
E. SERAPAN CO ₂ DAN PELEPASAN OKSIGEN	106
BAB VI	109
KESIMPULAN DAN SARAN.....	109
A. KESIMPULAN	109
B. SARAN	110

DAFTAR PUSTAKA.....	111
LAMPIRAN – LAMPIRAN.....	119

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Kerangka Befikir	34
Gambar 2. Plot untuk pengukuran seluruh komponen cadangan karbon per lahan	37
Gambar 3. Bagan Alir penelitian	51
Gambar 4. Peta tutupan lahan	52
Gambar 5. Penyebaran letak pengambilan plot contoh penelitian di Kabupaten Luwu Timur.....	55
Gambar 6. Cadangan karbon di atas permukaan tanah pada tutupan lahan hutan sekunder.....	65
Gambar 7. Cadangan karbon di atas permukaan tanah pada tutupan lahan Agroforestri.....	73
Gambar 8. Cadangan karbon di atas permukaan tanah pada tutupan lahan Kelapa Sawit	79
Gambar 9. Cadangan karbon di atas permukaan tanah pada tutupan lahan Kelapa Sawit berdasarkan umur tanaman	81
Gambar 10. Total Cadangan karbon di bawah permukaan	83
Gambar 11. Total Cadangan karbon pada tutupan lahan.....	87
Gambar 12. Perbandingan Total Cadangan karbon, serapan CO ₂ dan pelepasan oksigen lahan	106

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Alat dan Bahan.....	38
Tabel 2. Pedoman interpretasi koefisien korelasi (Sugiyono, 2006).....	50
Tabel 3. Lokasi pengambilan sampel penelitian	54
Tabel 4. Keadaan Iklim di Kabupaten Luwu Timur	57
Tabel 5. Jenis dan jumlah vegetasi pada tutupan lahan hutan sekunder.	59
Tabel 6. Biomasa pohon berdasarkan jenis vegetasi pada tutupan lahan hutan sekunder.....	60
Tabel 7. Cadangan karbon di atas permukaan tanah pada tutupan lahan hutan sekunder.....	63
Tabel 8. Jenis dan jumlah vegetasi pada tutupan lahan Agroforestri	67
Tabel 9. Biomasa pohon berdasarkan jenis vegetasi pada tutupan lahan Agroforestri.....	69
Tabel 10. Cadangan karbon di atas permukaan tanah pada tutupan lahan Agroforestri.....	71
Tabel 11. Biomasa pohon kelapa sawit berdasarkan umur tanaman.....	75
Tabel 12. Cadangan karbon di atas permukaan tanah pada sistem lahan kelapa sawit.....	77
Tabel 13. Cadangan karbon di bawah permukaan	82
Tabel 14. Total cadangan karbon pada tutupan lahan.....	86
Tabel 15. Hasil analisis laboratorium sampel tanah pada tutupan lahan .	96
Tabel 16. Keterkaitan sifat tanah dengan total cadangan karbon berdasarkan hasil uji korelasi Pearson	97

Tabel 17. Keterkaitan sifat tanah dengan total cadangan karbon berdasarkan hasil uji korelasi Pearson	100
Tabel 18. Keterkaitan sifat tanah dengan total cadangan karbon berdasarkan hasil uji korelasi Pearson	102
Tabel 19. Keterkaitan sifat tanah dengan total cadangan karbon berdasarkan hasil uji korelasi Pearson	104
Tabel 20. Total serapan CO ₂ dan pelepasan oksigen	106

BAB 1

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pemanasan global dan 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-gas asam arang atau karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄) dan nitrous oksida (N₂O) yang lebih dikenal dengan gas rumah kaca (GRK). Saat ini konsentrasi GRK sudah mencapai tingkat yang membahayakan iklim bumi dan keseimbangan ekosistem (Hairiah dan Rahayu, 2007).

Konsentrasi GRK di atmosfer meningkat sebagai akibat adanya pengelolaan lahan yang kurang tepat, antara lain adanya pembakaran vegetasi hutan dalam skala luas pada waktu yang bersamaan dan adanya pengeringan lahan gambut. Kegiatan-kegiatan tersebut umumnya dilakukan pada awal alih guna lahan hutan menjadi lahan pertanian. Kebakaran hutan dan lahan serta gangguan lahan lainnya telah menempatkan Indonesia dalam urutan ketiga Negara penghasil emisi CO₂ terbesar di dunia. Indonesia berada di bawah Amerika Serikat dan China, dengan jumlah emisi yang dihasilkan mencapai dua miliar ton CO₂ per tahunnya atau menyumbang 10% dari emisi CO₂ di dunia (Hairiah dan Rahayu, 2007).

Hairiah dan Rahayu (2007), menyatakan, tanaman atau pohon berumur panjang yang tumbuh di hutan maupun di kebun campuran (agroforestri) merupakan tempat penimbunan atau penyimpanan C yang jauh lebih besar dari pada tanaman semusim. Oleh karena itu, hutan alami dengan keragaman jenis pepohonan berumur panjang dan seresah yang banyak merupakan gudang penyimpan C tertinggi (baik di atas maupun di dalam tanah). Jumlah C tersimpan dalam setiap penggunaan lahan tanaman, seresah dan tanah, biasanya disebut juga sebagai cadangan C.

Hutan alami merupakan penyimpan karbon (C) tertinggi bila dibandingkan dengan sistem penggunaan lahan pertanian karena itu, hutan alami dengan keragaman jenis pepohonan berumur panjang dan seresah yang banyak merupakan gudang penyimpan C tertinggi. Bila hutan diubah fungsinya menjadi lahan-lahan pertanian atau perkebunan maka jumlah C tersimpan akan merosot. Jumlah C tersimpan antar lahan tersebut berbeda-beda, tergantung pada keragaman dan kepadatan tumbuhan yang ada, jenis tanahnya serta cara pengelolaannya (Hairiah dan Rahayu, 2007). Pada skala global C tersimpan dalam tanah jauh lebih besar dari pada yang tersimpan di vegetasi. Tanah merupakan penyimpan C terbesar pada semua regional ekosistem (bioma), sedang vegetasi penyimpan C terbesar adalah pada bioma hutan (Ratag, 2017).

Indonesia memiliki berbagai macam penggunaan lahan, mulai dari yang paling ekstensif misalnya agroforestri kompleks yang menyerupai hutan, hingga paling intensif seperti sistem pertanian semusim monokultur.

Pengukuran secara kuantitatif C tersimpan dalam berbagai macam penggunaan lahan perlu dilakukan. Untuk itu diperlukan metoda pengukuran standar yang baku dan telah dipergunakan secara luas, agar hasilnya dapat dibandingkan antar lahan dan antar lokasi.

Keanekaragaman jenis tumbuhan pada berbagai penggunaan lahan atau tutupan lahan di Kabupaten Luwu Timur ini tentunya mempunyai kemampuan menyerap dan menyimpan karbon yang bervariasi karena jenis tumbuhan penyusunnya yang berbeda dan perbedaan aktivitas dalam pengelolaan lahan oleh masyarakat sekitar memunculkan keanekaragaman, kerapatan tumbuhan dan pengelolaan lahan yang berbeda, Sehingga mengindikasikan perbedaan nilai cadangan karbon pada masing-masing penutupan lahan.

Jumlah C tersimpan antar lahan berbeda-beda sehingga perlu dilakukan pengukuran untuk mengetahui jumlah cadangan karbon yang tersedia, dengan demikian mengukur jumlah karbon disimpan dalam tubuh tanaman hidup (biomasa) pada suatu lahan dapat menggambarkan banyaknya CO₂ di atmosfer yang diserap oleh tanaman, Sedangkan pengukuran cadangan karbon yang masih tersimpan dalam bagian tumbuhan yang telah mati (nekromasa) secara tidak langsung menggambarkan CO₂ yang tidak dilepaskan ke udara lewat pembakaran. Jumlah cadangan karbon antar lahan berbeda-beda tergantung pada keanekaragaman, kerapatan tumbuhan, jenis tanahnya serta cara pengelolaannya. Penyimpanan karbon pada suatu lahan menjadi lebih

besar bila kondisi kesuburan tanahnya baik, karena biomasa pohon meningkat atau dengan kata lain cadangan karbon di atas tanah (biomasa tanaman) ditentukan oleh besarnya cadangan karbon di dalam tanah (bahan organik tanah). Untuk itu pengukuran banyaknya karbon yang disimpan dalam setiap lahan perlu dilakukan. Pengukuran cadangan karbon dapat dilakukan dengan menggunakan metode RaCSA (*Rapid Carbon Stock Appraisal*) yang mencakup cara untuk mengeksplorasi cadangan karbon tetapi tergantung pada keragaman dan kerapatan tumbuhan yang ada, jenis tanah serta cara pengelolaannya. Hasil dari penelitian tentang perhitungan cadangan karbon di Kabupaten Luwu Timur dapat menjadi acuan dalam pengelolaan dan pemanfaatan lahan secara bijak.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana estimasi cadangan karbon pada tutupan lahan hutan sekunder, agroforestri, kelapa sawit dan sawah?
2. Bagaimana keterkaitan sifat tanah dengan cadangan karbon pada tutupan lahan hutan sekunder, agroforestri, kelapa sawit dan sawah ?
3. Bagaimana keterkaitan cadangan karbon pada tutupan lahan hutan sekunder, agroforestri, kelapa sawit dan sawah terhadap banyaknya CO₂ yang diserap dan pelepasan O₂?

C. Tujuan Penelitian

1. Mengestimasi cadangan karbon pada tutupan lahan hutan sekunder, agroforestri, kelapa sawit dan sawah.
2. Menjabarkan keterkaitan sifat tanah dengan cadangan karbon pada tutupan lahan hutan sekunder, agroforestri, kelapa sawit dan sawah.
3. Menjabarkan keterkaitan cadangan karbon pada tutupan lahan hutan sekunder, agroforestri, kelapa sawit dan sawah terhadap banyaknya CO₂ yang diserap dan pelepasan O₂.

D. Kegunaan Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber informasi dan bahan pertimbangan dalam memanfaatkan dan mengelolah tutupan lahan. Selain itu dapat menambah pemahaman cadangan karbon terhadap perubahan iklim, pengetahuan potensi cadangan karbon pada tutupan lahan hutan sekunder, agroforestri, kelapa sawit dan sawah dan sebagai bahan penilaian dan dasar perhitungan bagi masyarakat dan pemerintah daerah dalam penjualan karbon di masa datang.

BAB II

TINJUAN PUSTAKA

A. Cadangan Karbon

Cadangan karbon dapat dipahami sebagai kandungan karbon yang tersimpan pada permukaan tanah, sebagai biomasa tumbuhan baik hidup ataupun mati, maupun di bawah tanah sebagai bahan organik tanah (Kurniatun Hairiah, Andree Ekadinata, 2011). Seringkali, perhatian terhadap karbon hanya terfokus pada karbon yang tersimpan pada pohon atau dalam hal ini biomasa tumbuhan. Nyatanya, sebagian besar karbon terletak di tanah. Karbon di bawah permukaan tanah, bersumber dari bahan organik tanah dan terdekomposisi dari sistem perakaran tanaman.

Aliran karbon dari atmosfer ke vegetasi merupakan aliran yang bersifat dua arah, yaitu pengikatan CO₂ kedalam biomasa melalui fotosintesis dan pelepasan CO₂ ke atmosfer melalui proses dekomposisi dan pembakaran. Apabila laju konsumsi bahan bakar dan pertumbuhan ekonomi global terus berlanjut seperti yang terjadi pada saat ini, maka dalam jangka waktu 100 tahun yang akan datang suhu global rata-rata akan meningkat sekitar 1,7 - 4,5 °C (Hairiah dan Rahayu, 2007). Tanaman atau pohon berumur panjang yang tumbuh di hutan maupun di kebun campuran (agroforestri) merupakan tempat penimbunan atau penyimpanan C yang jauh lebih besar dari pada tanaman semusim. Oleh karena itu, hutan alami dengan keragaman jenis pepohonan berumur panjang dan serasah yang banyak merupakan gudang penyimpanan C tertinggi (baik di atas maupun

di dalam tanah). Hutan juga melepaskan CO₂ ke udara lewat respirasi dan dekomposisi (pelapukan) serasah, namun pelepasannya terjadi secara bertahap, tidak sebesar bila ada pembakaran yang melepaskan CO₂ sekaligus dalam jumlah yang besar. Bila hutan diubah fungsinya menjadi lahan-lahan pertanian atau perkebunan atau ladang penggembalaan maka C tersimpan akan merosot.

Berkenaan dengan upaya pengembangan lingkungan bersih, maka jumlah CO₂ di udara harus dikendalikan dengan jalan meningkatkan jumlah serapan CO₂ oleh tanaman sebanyak mungkin dan menekan pelepasan (emisi) CO₂ ke udara serendah mungkin. Jadi, mempertahankan keutuhan hutan alami, menanam pepohonan pada lahan-lahan pertanian dan melindungi lahan gambut sangat penting untuk mengurangi jumlah CO₂ yang berlebihan di udara. Jumlah C tersimpan dalam setiap penggunaan lahan tanaman, serasah dan tanah, biasanya disebut juga sebagai cadangan C (Hairiah dan Rahayu, 2007).

Karbon hutan tersimpan dalam bentuk biomasa, sehingga untuk mengetahui kandungan karbon yang tersimpan dalam hutan dapat diperoleh dengan memperkirakan kandungan biomasa hutan. Biomasa hutan didefinisikan sebagai jumlah total bobot kering semua bagian tumbuhan hidup, baik untuk seluruh atau sebagian tubuh organisme, populasi atau komunitas dan dinyatakan dalam berat kering oven per satuan area (ton/unit area) (Krisnawati et al., 2012). Gangguan seperti penggundulan hutan dan kebakaran membuat karbon di atas tanah dan

bawah tanah kembali ke atmosfer. Tidak adanya vegetasi tumbuhan yang melindungi tanah menyebabkan bahan organik tanah yang terpapar oksigen dan sistem perakaran yang mulai membusuk, sehingga karbon tersimpan lepas ke atmosfer (emisi). Namun, pada suatu lahan yang tanamannya dipelihara, akan terjadi proses pengikatan unsur C dari udara kembali menjadi biomasa tanaman secara bertahap saat tanaman tersebut tumbuh besar (sekuestrasi) (Kurniatun Hairiah, Andree Ekadinata, 2011).

Ukuran volume tanaman yang ada pada lahan tersebut, menjadi ukuran jumlah karbon yang tersimpan sebagai biomasa (cadangan karbon). Dengan demikian, efek rumah kaca karena pengaruh unsur CO₂ dapat dikurangi, karena kandungan CO₂ di udara otomatis menjadi berkurang. Namun sebaliknya, efek rumah kaca akan bertambah jika tanaman-tanaman tersebut mati (Donato et al., 2012).

Efek rumah kaca disebabkan karena naiknya konsentrasi gas Karbondioksida (CO₂) dan gas-gas lainnya di atmosfer. Kenaikan konsentrasi gas CO₂ ini terjadi akibat kenaikan pembakaran bahan bakar minyak (BBM), batu bara, dan bahan bakar organik lainnya yang melampaui kemampuan tumbuhan-tumbuhan dan laut untuk mengabsorsinya (Pratama, 2019). Melindungi hutan dan lahan, berarti melindungi cadangan karbon di bawah tanah (Liu et al., 2018). Sektor kehutanan dapat berfungsi sebagai sumber emisi dan penyerap karbon jika dilihat dari konteks perubahan iklim di mana hutan berperan dalam mencegah dan mengurangi emisi dari gas rumah kaca. Untuk ikut berpartisipasi aktif dalam kegiatan

perdagangan karbon di masa yang akan datang, diperlukan pengelolaan hutan yang baik, kegiatan konservasi dan peningkatan kapasitas stok karbon dengan jumlah karbon yang dihasilkan dan diserap (Rajab et al., 2016).

Karbondioksida dianggap sebagai gas rumah kaca utama karena memiliki laju pertambahan emisi yang tinggi, waktu tinggal di atmosfer yang lama dan tingginya emisi yang berasal dari sektor industri. Berdasarkan hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan pada beberapa jenis hutan, hutan berperan menyerap CO₂ dalam jumlah yang besar. Dengan peran tersebut, adanya kondisi hutan yang terjaga akan mampu menjaga konsentrasi CO₂ di atmosfer tetap stabil. Hal ini berarti pula beberapa bencana alam yang sering dihubungkan dengan fenomena gas rumah kaca dan perubahan iklim global akan dapat dicegah (Junaedi, 2007).

B. Karbon

Karbon merupakan komponen penting penyusun biomassa makhluk hidup seperti tanaman. Sekuestrasi karbon diartikan sebagai pengambilan CO₂ secara (semi) permanen oleh tumbuhan melalui fotosintesis dari atmosfer ke dalam komponen organik, disebut fiksasi karbon (Hairiah et al., 2001). Laju reaksi dari tumbuhan hijau melalui reaksi fotosintesis berbanding lurus dengan laju penyerapan CO₂ di udara sekitar tanaman. Hal tersebut berarti reaksi fotosintesis dapat mencegah akumulasi CO₂ yang berlebihan di atmosfer. Hasil akhir fotosintesis ini disimpan oleh tumbuhan dalam bentuk biomassa pohon. Studi terhadap berbagai jenis

pohon diperkirakan kadar kandungan karbon sekitar 45- 50% bahan kering dari tanaman atau biomassa tanaman (Brown, 1997). Potensi sekuestrasi karbon pada ekosistem dataran tergantung pada macam dan kondisi ekosistem yaitu komposisi jenis, struktur dan sebaran umur (untuk hutan), kondisi tempat tumbuh, iklim, tanah, gangguan alami, dan tindakan pengelolaan (Hairiah et al., 2001).

Cadangan karbon atau Carbon stock adalah jumlah karbon dalam suatu carbon pools (sumber karbon). Cadangan karbon pada berbagai kelas penutupan lahan di hutan alam berkisar antara 7,50 hingga 264,70 Mg C/ha. Cadangan karbon untuk berbagai hutan tanaman berkisar antara 35,70 hingga 112,80 Mg C/ha tergantung pada jenis dan umur pohon tersebut. Untuk tegakan agroforestri berkisar antara 1,80 hingga 80,20 Mg C/ha. Cadangan karbon tanah pada berbagai tipe jenis tanah dan kedalaman berkisar antara 5,70 hingga 6,39 Mg C/ha.

Potensi penyimpanan karbon yang paling besar terdapat pada lahan gambut yang didominasi oleh tanah organik (Rochmayanto et al., 2014). (Kehutanan, 2010) mengatakan data cadangan karbon dan perubahannya didasarkan kepada IPCC-GL 2006, memperhitungkan lima sumber karbon. Metode pengukuran karbon di lapangan dengan menempatkan plot-plot contoh telah dikembangkan. Lima sumber karbon yaitu: 1. Biomasa di atas tanah (above ground biomass) terdiri dari biomasa pohon dan tumbuhan bawah 2. Biomasa di bawah tanah (below ground biomass) terdiri dari biomas akar 3. Pohon yang mati (dead wood) atau batang pohon mati baik

yang masih tegak maupun telah tumbang 4. Seresah (litter) yang diukur meliputi bagian tanaman yang telah gugur berupa daun dan ranting 5. Tanah (soil) yang terdiri dari sisa tanaman, hewan, dan manusia yang ada di permukaan dan di dalam tanah.

Isu – isu terjadinya perubahan iklim akibat meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca khususnya CO₂ di atmosfer telah membuat perhatian dunia akan keseimbangan siklus karbon di bumi semakin serius. Hutan memiliki peran sebagai penyeimbang siklus karbon di atmosfer melalui proses penyerapan CO₂ oleh tegakan dari pada proses fotosintesis dan menyimpan sebagian dalam biomasa hidup. Dalam siklus karbon, tanaman melalui fotosintesis menggunakan energi sinar matahari untuk mereaksikan CO₂ dari udara dengan air untuk memproduksi karbohidrat dan oksigen. Karbohidrat yang terbentuk disimpan dalam tanaman dan oksigen dilepaskan ke atmosfer. Jika tanaman teroksidasi melalui dekomposisi alami, dibakar dan dikonsumsi oleh hewan, oksigen di absorpsi dari udara dan CO₂ akan dilepaskan kembali ke atmosfer (Fardiaz, 1995).

Daur karbon terdiri dari dua komponen utama yaitu biomasa di atas tanah dan bahan organik di dalam tanah. Di dalam suatu ekosistem yang tidak terganggu, jumlah dan proporsi kedua komponen relatif konstan, dan bahan organik yang dihasilkan oleh vegetasi berangsur-angsur dikembalikan kedalam tanah. Kejadian alami seperti kebakaran, pohon tumbang dan tanah longsor menyebabkan perubahan lokal, tetapi penebangan hutan atau tanaman tahunan menyebabkan perubahan yang

cukup besar (Chen et al., 1999). Dalam siklus tersebut, 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 (Chen et al., 1999). Sehingga untuk menjaga konsentrasi CO₂ diperlukan pengetahuan tentang keseimbangan karbon atau neraca karbon dari perubahan penggunaan lahan. Neraca karbon akan menggambarkan perubahan stok karbon dari waktu ke waktu di dalam suatu ekosistem tersebut di dalam suatu ruang.

Siklus karbon pada ekosistem hutan meliputi proses penyerapan dan emisi karbon ke atmosfer. Proses ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu kondisi vegetasi yang meliputi jenis vegetasi dan tipe vegetasi, kondisi tempat tumbuh dan lingkungan, kondisi pengelolaan yang terkait dengan pengaturan tata ruang (peruntukan atau penggunaan lahan) dan kondisi gangguan seperti perubahan lingkungan, kemarau, gangguan hama penyakit, pembakaran eksploitasi.

C. Tutupan Lahan Terhadap Emisi Karbon

Pemanfaatan sumberdaya alam khususnya hutan dalam pembangunan selain berdampak positif terhadap kehidupan ekonomi juga telah menimbulkan banyak masalah. Masalah yang timbul antara lain terjadinya banjir, kekeringan dan perubahan lingkungan secara global. Hal ini juga dampak dari pertumbuhan populasi manusia yang cepat yang menyebabkan kebutuhan ekonomi seperti pangan, sandang, bahan bakar, tempat pemukiman, kegiatan pariwisata dan kebutuhan – kebutuhan

lainnya juga bertambah cepat (Millang, 2010). Di lain pihak luas lahan pertanian permanen dan produktivitasnya relatif tidak meningkat, sehingga masyarakat mencari lahan garapan alternatif untuk memenuhi kehidupannya. Kawasan hutan dan areal yang bervegetasi pohon lainnya merupakan areal yang menjadi sasaran paling mudah untuk dialihfungsikan menjadi areal yang dapat menghasilkan kebutuhan sehari – hari. Masalah yang juga terjadi dengan alih fungsi lahan adalah pengrusakan lingkungan, perubahan jumlah cadangan karbon dan perubahan iklim. Perubahan penggunaan lahan dari kawasan hutan menjadi lahan bercocok tanam tanaman pertanian akan berakibat pada rusaknya hutan dan akan berdampak pada terjadinya banjir, lonsor, kekeringan, emisi karbon di atmosfer (Millang, 2010).

Perubahan penggunaan lahan sangat dipengaruhi oleh tiga faktor yaitu faktor alam (karakteristik tanah, hidrologi dan topografi), social ekonomi (pertumbuhan penduduk, perkembangan tanaman, zonasi, peraturan yang mengikat) dan kebijakan pemerintah (Averill et al., 2014).

Perubahan iklim upaya mitigasi telah dilakukan antara lain di bidang tanah untuk dapat mempertahankan laju konversi lahan bervegetasi mulai digunakan lagi, peran vegetasi dalam menyerap CO₂ menjadi bagian penting pada saat ini untuk mengatasi pemanasan global. Perubahan penggunaan lahan berpengaruh terhadap emisi gas rumah kaca dan cadangan karbon dalam tanah dan vegetasi (Feddema et al., 2005 dalam Schulp et al., 2008). Setiap tipe penggunaan lahan berbeda

kemampuannya di dalam menyimpan karbon di dalam tanah dan vegetasi serta berbeda potensi laju perubahan cadangan karbon (Lettens et al., 2004; Bellamy et al., 2008, dalam Schulp et al., 2008).

Secara umum pada hutan lahan kering primer mampu menyimpan karbon dalam jumlah lebih besar dibandingkan dengan hutan lahan kering sekunder karena pada hutan sekunder telah terjadi gangguan terhadap tegakannya, kebakaran, ekstraksi kayu, pemanfaatan lahan untuk bercocok tanam dan aktivitas lainnya di kawasan hutan yang menyebabkan berkurangnya potensi biomasa yang berindikasi langsung terhadap kemampuannya menyimpan 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, biomasanya akan lebih tinggi bila dibandingkan dengan lahan yang mempunyai spesies dengan nilai kerapatan kayu rendah (Lusiana et al., 2005).

Salah satu tawaran untuk meningkatkan cadangan karbon terutama pada tanah – tanah terdegradasi adalah melalui usaha agroforestri, yaitu suatu sistem pertanian berbasis pepohonan yang bertujuan untuk meningkatkan pendapatan petani dengan mempertahankan kelestarian alam. Di Indonesia terdapat berbagai macam agroforestri yang berkembang mulai dari bentuk yang sederhana (misalnya budidaya pagar) hingga kompleks (misalnya hutan karet campuran dan “repong damar” di Sumatra). Bila ditinjau dari cadangan karbon, sistem agroforestri ini lebih

menguntungkan daripada sistem pertanian berbasis tanaman semusim. Hal ini disebabkan oleh adanya pepohonan yang memiliki biomasa tinggi dan masukan serasah yang bermacam-macam kualitasnya dan terjadi secara terus – menerus (Millang, 2010).

Hasil analisis *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) memperkirakan bahwa sebanyak 38 Gt karbon tanah akan diserap oleh hasil kegiatan penghijauan, reboisasi dan agroforestri seluas 345 juta ha selama 50 tahun pertama. Demikian juga sebanyak 40 Gt karbon akan diserap dan disimpan dalam tanah pertanian selama 50 – 100 tahun apabila terjadi perbaikan teknik pertanian (Cole et al., 1997 dalam Thomson et al., 2008). Keanekaragaman jenis tumbuhan pada berbagai penggunaan lahan atau tutupan lahan tentunya mempunyai kemampuan menyerap dan menyimpan karbon yang berbeda karena jenis tumbuhan penyusunnya yang berbeda. Perhitungan cadangan karbon pada berbagai macam tutupan lahan dapat menggambarkan berapa banyak CO₂ di atmosfer yang diserap oleh tumbuhan tersebut.

1. Hutan Sekunder

Hutan memiliki peranan penting dalam menurunkan emisi gas rumah kaca, karena vegetasi hutan mampu menyerap karbon dioksida (CO₂) dan menyimpannya dalam bentuk biomasa. Pendugaan biomasa hutan merupakan tahap penting untuk menilai manfaat hutan dalam penyerapan emisi CO₂ (Anggraini, 2015). Setiap tipe hutan memiliki kemampuan yang berbeda dalam menyerap karbon karena tiap jenis hutan memiliki

karakteristik yang berbeda seperti intensitas penyinaran matahari, kadar air dan kesuburan tanah yang merupakan faktor yang mempengaruhi laju fotosintesis. Selain itu jenis pohon juga memiliki kemampuan yang berbeda dalam menyerap karbon melalui faktor peningkatan umur, diameter, dan panjang batang yang dapat meningkatkan kandungan karbonnya, perbedaan kandungan karbon juga terjadi pada setiap bagian pohon yaitu batang, cabang, ranting, daun dan akar (Xiao et al., 2013).

Onrizal, 2004. Dalam penelitiannya menyebutkan bahwa hubungan antara kandungan biomasa setiap bagian pohon berhubungan secara linear dengan kandungan karbonnya, yaitu kandungan karbon suatu pohon meningkat seiring dengan meningkatnya kandungan biomasa pohon tersebut. Menurut (Palm et al., 1994) pada umumnya estimasi biomasa di hutan dilakukan dengan dua metode yaitu metode destruktif dan non-destruktif. Hal serupa juga dinyatakan oleh (Stewart et al., 1992) bahwa pengukuran biomasa di atas permukaan tanah dapat dilakukan dengan metode destruktif dan non-destruktif.

Pengukuran biomasa metode destruktif adalah pendugaan biomasa dengan melakukan penebangan pada suatu plot ukur sedangkan metode non-destruktif yaitu pendugaan biomasa menggunakan persamaan yang dihasilkan dengan membuat persamaan dari parameter terukur dimensi pohon dengan biomasa yang diketahui dari pendugaan metode destruktif. Parameter yang digunakan dalam pendugaan metode non-destruktif dapat berupa diameter setinggi dada 130 cm (diameter at breast height) atau

tinggi pohon. Pada penelitian yang dilakukan oleh Anggraini (2015) dugaan potensi biomasa di PT. Gunung Gajah Abadi berkisar antara 151.37–270.61 ton/ha. Besarnya biomasa di atas permukaan tanah jumlahnya bervariasi sekitar 210–650 ton/ha tergantung tipe hutannya. Dugaan potensi biomasa total, tingkat tegakan muda, dan pohon kecil paling tinggi terdapat pada hutan primer, karena tutupan lahan ini belum terganggu oleh aktivitas manusia, seperti kegiatan pemanenan dan perlakuan silvikultur. Haeruman (2007) menyatakan bahwa kegiatan deforestasi dan degradasi hutan merupakan penyebab utama dari tingginya emisi karbon dioksida ke atmosfer yang kemudian mengakibatkan perubahan iklim.

Keberhasilan pengelolaan hutan salah satunya dapat dilihat dari aspek karbon tersimpan atau cadangan karbon. Hutan memiliki peran penting sebagai penyimpan karbon. Hutan alami dengan keanekaragaman spesies yang tinggi dan seresah yang melimpah merupakan penyimpan karbon yang baik (Hairiah dan Rahayu, 2007). Karbon tersimpan berbeda untuk berbagai tipe hutan, (Masripatin et al., 2010) menunjukkan cadangan karbon di atas permukaan tanah pada berbagai kelas penutupan lahan di hutan alam berkisar antara 7,5 - 264,7 ton C/ha, hutan alam dataran rendah 230,1 - 264,7 ton C/ha, hutan alam primer dataran tinggi 103,1 ton C/ha, hutan sekunder dataran rendah bekas kebakaran hutan 7,5 - 55,3 ton C/ha, hutan mangrove sekunder 54,1 - 182,5 ton C/ha, hutan gambut 200 ton C/ha dan hutan sekunder dataran rendah 113,2 ton C/ha. Perubahan

komposisi dan struktur tegakan hutan berpengaruh pada cadangan karbon. Oleh karena itu, pendataan cadangan karbon hutan secara berkala penting dilakukan dalam rangka penyediaan salah satu indikator untuk menilai kualitas sumberdaya hutan.

2. Agroforestri

Sistem agroforestri merupakan sistem pengelolaan lahan yang mengkombinasikan tanaman pertanian dan kehutanan. Penerapan agroforestri merupakan salah satu sistem pengolahan lahan yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah yang timbul akibat adanya alih-guna lahan tersebut di atas, dan sekaligus juga untuk mengatasi masalah pangan. Sistem agroforestri akan menekankan penggunaannya pada jenis-jenis pohon serba guna dan menentukan asosiasi antara jenis-jenis vegetasi yang ditanam (Amin et al., 2016).

Sistem agroforestri yang menekankan interaksi antara tanaman kehutanan dan pertanian memiliki potensi dalam penurunan jumlah karbon di atmosfer meskipun tidak sebaik hutan alam. Pola agroforestri memiliki keanekaragaman hayati dan kandungan biomasa yang tinggi karena dapat menyerap karbon jauh lebih besar daripada tanaman semusim (Roshetko et al. 2002; Takimoto et al. 2009; Kurniyawan et al. 2010). Faktor yang memengaruhinya sangat bervariasi antara lain tipe sistem agroforestri yang digunakan, komposisi jenis, umur komponen jenis, lokasi geografis, faktor-faktor lingkungan, dan praktek-praktek pengelolaan.

Agroforestri memiliki empat manfaat utama bagi ekosistem dan lingkungan, yaitu penyerapan karbon, menjaga dan meningkatkan kesuburan tanah, konservasi keanekaragaman hayati, serta menjaga dan meningkatkan kualitas udara dan air (Lestari dan Premono, 2014). Peran agroforestri dalam mempertahankan cadangan karbon di daratan masih lebih rendah dibandingkan dengan hutan alam, tetapi sistem ini dapat merupakan suatu tawaran yang dapat memberikan harapan besar dalam meningkatkan cadangan karbon pada lahan-lahan terdegradasi (Widiyanto et al., 2003).

Hal yang menyebabkan hutan alam memiliki cadangan karbon lebih besar dibandingkan lahan agroforestri karena tanaman pada hutan alam merupakan pepohonan yang memiliki biomasa yang tinggi, dibandingkan dengan tanaman semusim pada lahan agroforestri. Banyaknya biomasa tergantung berdasarkan hasil yang diperoleh saat melakukan fotosintesis (Lukito dan Rohmatiah, 2013).

(Schmitt-Harsh et al., 2012) melaporkan bahwa agroforestri kopi dengan penabung tanaman kayu, obat dan buah di Guatemala dapat menghasilkan stok karbon 127.62 ton/ha. Agroforestri multistrata berbasis kopi di Indonesia rata-rata adalah 43.00 ton/ha, agroforestri sederhana (naungan tunggal) berbasis kopi lahan milik petani dan kebun percobaan masing-masing adalah 23.00 dan 38.00 ton/ha, sedangkan pada lahan kopi monokultur cadangan karbonnya rata-rata hanya 13.00 ton/ha (Hairiah dan Rahayu, 2007).

Ariyanti (2018) pada penelitiannya melaporkan total cadangan karbon di agroforestri repong damar adalah sebesar 245.25 ton/ha dengan serapan CO₂ sebesar 901.11 ton/ha. Sumbangan karbon terbesar berasal dari biomasa tumbuhan hidup, sedangkan nekromasa berupa serasah dan pohon mati menyumbang nilai yang lebih sedikit. Cadangan karbon tertinggi pada tingkat pohon terletak pada jenis damar mata kucing (*S. javanica*) yaitu sebesar 167.98 ton/ha dengan serapan CO₂ sebesar 616.50 ton/ha. Tingginya cadangan karbon pada damar mata kucing (*S. javanica*) diduga karena ukuran diameternya yang besar bisa mencapai 143.31 cm.

Oelbermann dan Voroney (2011) menyebutkan dalam penelitiannya bahwa sistem agroforestri di daerah tropis dan beriklim sedang menyimpan jumlah karbon dalam tanah lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman satu jenis. Peningkatan stok karbon dalam tanah juga dapat dilakukan dengan kegiatan-kegiatan manajemen lahan secara lestari seperti meminimalkan pengolahan lahan dan pemupukan kimia, penggunaan pupuk hijau, sisa tanaman, kompos, mulsa, tanaman penutup tanah dan pergiliran tanaman (Lal, 2004 : (Oelbermann dan Voroney, 2011).

Stok karbon yang tersimpan dalam sistem agroforestri tidak sebanyak hutan alam, namun masih lebih banyak jika dibandingkan dengan sistem pertanian monokultur. Menurut (Widianto et al., 2003) bila ditinjau dari cadangan karbon, sistem agroforestri lebih menguntungkan dibandingkan sistem pertanian berbasis tanaman musiman. Kemampuan agroforestri untuk menyimpan karbon dipengaruhi oleh sistem pemanenan

dengan tebang pilih sehingga tegakan masih tersedia, jumlah jenis yang ditanam lebih dari satu sehingga kemampuan penyimpanan karbon merupakan kumulatif dari setiap jenis yang ada (Yudhistira, 2006).

Peran agroforestri dalam mengurangi gas rumah kaca dan mempertahankan cadangan karbon yaitu dengan salah satu tawaran untuk meningkatkan cadangan karbon pada tanah yang terdegradasi adalah melalui usaha agroforestri, suatu sistem pertanian berbasis pepohonan yang bertujuan untuk meningkatkan pendapatan petani dan mempertahankan kelestarian alam. Bila ditinjau dari cadangan karbon, sistem agroforestri ini lebih menguntungkan dari pada sistem pertanian berbasis tanaman semusim. Hal ini disebabkan oleh adanya pepohonan yang memiliki biomasa tinggi dan masukan serasah yang bermacam-macam kualitasnya dan terjadi secara terus-menerus.

Peran agroforestri dalam mitigasi dapat dilihat dari ketiga strategi di atas yaitu fungsi yang pertama sebagai penyerapan karbon, melalui penanaman campuran (jenis kayu pertukangan, pakan ternak, buah-buahan dan lain-lain). Kedua terhadap fungsi perlindungan stok terlihat pada pengurangan bahaya kebakaran dan serangan hama penyakit dengan pencampuran berbagai jenis tanaman dan yang ketiga terhadap fungsi pemanfaatan energi yang dapat diperbaharui, dengan tanaman jenis penghasil kayu bakar.

Navar et al., (2010) menyebutkan bahwa pengurangan emisi karbon dapat dilakukan dengan penerapan agroforestri pada areal atau lanskap

yang terdeforestasi dengan jenis pohon yang dicampur dengan jenis penabung, pohon dengan daun pakan ternak dan buah-buahan. Sistem agroforestri dinilai lebih menguntungkan daripada sistem pertanian berbasis tanaman musiman maupun hutan tanaman apabila di tinjau dari cadangan karbon. Hal ini disebabkan karena adanya pepohonan yang memiliki biomasa tinggi dan masukan serasah yang bermacam-macam kualitasnya serta terjadi secara terus-menerus (Widianto et al., 2003).

3. Kelapa Sawit

Tanaman kelapa sawit merupakan tanaman tahunan yang berpotensi dalam penyerapan emisi karbon. Umur tanaman kelapa sawit bisa mencapai lebih dari 20 tahun. Karbon tersimpan dalam tanaman kelapa sawit akan mengalami perubahan seiring dengan pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Karbon tersimpan pada tegakan pohon sebagian besar berasal dari biomasa pohon, oleh karena itu pengukuran biomasa pohon dalam suatu hamparan atau kawasan merupakan tahap terpenting dalam pendugaan karbon tersimpan. Pengukuran biomasa pohon dapat dilakukan secara langsung dengan mengukur berat basah tegakan pohon di lapangan dengan cara menebang dan menimbang setiap bagian pohon, atau secara tidak langsung dengan persamaan alometrik biomasa pohon (Pearson et al., 2015).

Produksi biomasa perkebunan kelapa sawit sangat besar. Limbah kelapa sawit baik pohon, pelepah, tandan buah kosong dan cangkang merupakan sumber energi yang cukup besar yang dapat dimanfaatkan

untuk bahan bakar nabati dan menekan penggunaan bahan bakar fosil, sehingga secara signifikan akan menurunkan emisi.

Hasil analisis penutupan lahan (land cover) citra satelit yang dilakukan CIFOR (Gunarso et al., 2013) menunjukkan bahwa sumber lahan untuk perkebunan kelapa sawit di Indonesia sebagian besar berasal dari lahan terdegradasi (degraded land) dan rendah karbon (low-carbon), seperti lahan terlantar (waste land), lahan pertanian, hutan rusak dan tanaman industri. Pengembangan perkebunan kelapa sawit di Indonesia bertujuan untuk meningkatkan pendapatan masyarakat, meningkatkan penerimaan devisa Negara dan menyediakan lapangan kerja. Sejak tahun 2006, Indonesia telah tercatat sebagai Negara produsen minyak kepala sawit terbesar di dunia. Produksi sawit Indonesia menyumbang sekitar 45% dari total produksi dunia (Wahyunto et al., 2013).

Seiring dengan pertambahan jumlah penduduk dan isu lingkungan meningkat yaitu perubahan dari pemanfaatan minyak bumi menjadi minyak nabati (biofuel) maka kebutuhan minyak sawit dunia semakin meningkat. Areal perkebunan kelapa sawit di Indonesia tahun 2009 mencapai 7.508.470 ha dengan luas perkebunan rakyat 3.498.425 ha (45%) (Badrun 2010). Luas perkebunan sawit Indonesia pada tahun 2010 mencapai 8.430.026 ha dengan total produksi CPO mencapai 19.760.011 ton (Ditjenbun 2010). Luas perkebunan kelapa sawit Indonesia pada tahun 2013 seluas 10.010.824 ha dan terus mengalami peningkatan pada tahun 2014 seluas 10.210.892 ha. Pengelolaan perkebunan kelapa sawit di

Indonesia terbagi dalam perkebunan rakyat yang mengelola 4.454.892 ha, perkebunan swasta 5.055.409 ha, dan BUMN 700.591 ha (Infosawit 2014).

Kelapa sawit juga sebagai media untuk melestarikan alam dan lingkungan, antara lain untuk konservasi sumber air tanah, pencegahan tanah longsor, produksi oksigen (O_2), penyerapan emisi karbon dioksida (CO_2) dan pemasok biodiesel utama yang secara signifikan akan meningkat sebagai implementasi dari kebijakan energi nasional. Menurut Ditjenbun (2010), perkebunan kelapa sawit mempunyai kemampuan penyerapan CO_2 yang tinggi (251,9 ton/ha/th) yang sangat berguna dalam mengurangi konsentrasi CO_2 di udara akibat meningkatnya gas rumah kaca yang menyebabkan terjadinya perubahan iklim di bumi (Yahya, 2018).

Estimasi karbon terserap pada biomasa kelapa sawit berdasarkan berat batang, akar dan tandan buah tanaman kelapa sawit berumur 10 tahun, 15 tahun, 19 tahun dan 20 tahun berturut – turut sebesar 37,72 ton CO_2 /ha/tahun, 69.48 ton CO_2 /ha/tahun, 74.65 ton ton CO_2 /ha/tahun dan 82.61 ton ton CO_2 /ha/tahun. Sektor industri memegang peranan terbesar dalam emisi karbon dioksida, sedangkan kontribusi sektor pertanian hanya kecil saja, bahkan pengembangan perkebunan kelapa sawit yang banyak di tentang oleh LSM di Eropa dan Amerika karena dianggap sebagai penyebab deforestasi dan merusak lingkungan hutan, pada aspek ekofisiologis ternyata membawa keuntungan karena kemampuan fiksasi CO_2 , kemampuan produksi O_2 (183,2 ton/ha/th) dan biomasa (C) yang tinggi.

4. Persawahan

Lahan sawah hingga kini masih memegang peranan utama dalam memenuhi kebutuhan pangan nasional dari sektor pertanian. Di sisi lain, lahan sawah dipandang sebagai salah satu sumber emisi gas rumah kaca (GRK). Sektor pertanian memberikan kontribusi 5% dari total emisi GRK nasional dan 46,2% berasal dari lahan sawah. Gas rumah kaca utama meliputi CO₂, metana (CH₄), dinitrogen oksida (N₂O), ozon (O₃), klorofluorokarbon (CFC), hidroklorofluorokarbon (HCFC). (Wihardjaka, 2015). Metan (CH₄) merupakan salah satu gas yang berkontribusi terhadap pemanasan global. Sebesar 43% dari emisi metan ke atmosfer berasal dari lahan basah, yakni 20% dari sawah dan sisanya berasal dari lahan rawa (Wild 1995; (Notohadiprawiro et al., 2006).

Lahan persawahan Indonesia yang luasnya sekitar 10,9 juta hektar diduga memberi kontribusi sekitar 1% dari total global metan (Setyanto, 2006). Emisi metan dari lingkungan akuatik seperti tanah sawah pada dasarnya ditentukan oleh dua proses mikrobial yang berbeda, yaitu produksi metan dan konsumsi metan. Pada tanah sawah, metan diproduksi sebagai hasil antara dan hasil akhir dari berbagai proses mikrobial, seperti dekomposisi anaerobik bahan organik oleh bakteri metanogen. Sementara sebagian dari metan yang diproduksi akan dioksidasikan oleh bakteri metanotrof yang bersifat aerobik di lapisan permukaan tanah dan di zona perakaran. Bakteri metanotrof merupakan bakteri yang memanfaatkan CH₄

sebagai donor elektron untuk menghasilkan energi dan sebagai sumber karbonnya (Hanson dan Hanson, 2008).

Salah satu sumber utama emisi metan adalah lahan sawah dengan peningkatan konsentrasi gas metan di atmosfer sebesar 60 Kg CH₄/tahun (IPPC, 2003) melaporkan bahwa ada beberapa gas yang dapat menimbulkan pemanasan global seperti CH₄ dan N₂O yang dihasilkan dari lahan sawah. Menurut (Setyanto, 2006), CH₄ dihasilkan melalui proses dekomposisi bahan organik secara anaerobik pada lahan rawa dan sawah. Lahan tersebut merupakan salah satu sumber penyumbang gas CH₄ yang cukup signifikan, karena dengan kondisi tanah tergenang sangat sesuai bagi bakteri metanogen (Wihardjaka, 2015). Selain itu, terdapat bakteri metanotrof yang mampu mengubah metan menjadi CO₂ melalui oksidasi dengan menggunakan metan monooksigenase (MMO) dan bakteri heterotroph penghasil CO₂ (Bouwman, 2016).

Analisis lebih lanjut mengindikasikan bahwa lahan pertanian sendiri berkontribusi 13% dari total global emisi GRK di tahun 2000, atau setara dengan 5.729 Mt (metric ton) CO₂ (Rosegrant et al., 2009). Tanaman padi adalah sumber pelepas gas metana dengan dugaan 25-170 Tg CH₄/tahun (Yagi dan Minami, 2012). Penambahan bahan organik ke lahan sawah menjadi salah satu faktor peningkatan emisi gas rumah kaca dari persawahan. Menurut (Wihardjaka, 2015) penambahan pupuk kandang tidak nyata memberikan peningkatan emisi karbon. Namun, (Wihardjaka, 2015) dan (Setyanto, 2006) menambahkan bahwa penambahan bahan

organik berupa jerami ke lahan sawah akan meningkatkan emisi gas metan ke udara. Untuk memenuhi permintaan populasi yang meningkat, dilakukan perluasan penanaman padi sehingga produksi beras diperkirakan meningkat sebesar 65% dari tahun 1990 sampai tahun 2025 (FAO, 2009), sehingga diperkirakan emisi CH₄ global juga meningkat sekitar 50% dari 92 Tg CH₄/tahun di tahun 1990 hingga 131 Tg CH₄/tahun pada 2025 (Bouwman, 2016).

C-organik tanah dianggap sebagai indikator utama kualitas tanah untuk keberlanjutan pertanian, karena peran pentingnya pada sifat biologis, kimia dan fisik pada tanah. Peningkatan kualitas tanah dalam sistem penanaman industri dapat menjadi masalah penting untuk mempertahankan produktivitas tanaman dan kelestarian ekosistem. Dengan perbaikan sifat biologi, kimia dan fisik pada tanah dapat meningkatkan penyerapan C pada tanah yang berarti penghapusan CO₂ di atmosfer. Penyimpanan C stabil sebagai bahan organik tanah adalah salah satu opsi kuat untuk mengurangi GRK sebagai respons terhadap perubahan iklim (Lal, 2004).

D. Hubungan Sifat Tanah dengan Cadangan Karbon

Sifat tanah (fisik, kimia, dan biologi) memengaruhi cadangan karbon tanah (Six *et al.*, 2002). Penyimpanan karbon pada suatu lahan menjadi lebih besar bila kondisi kesuburan tanahnya baik, karena biomasa pohon meningkat (Kurniatun Hairiah, Andree Ekadinata, 2011).

1. C-organik dan Bahan Organik Tanah

Salah satu sifat tanah yang berkaitan dengan cadangan karbon adalah C-organik tanah. Tingkat C-organik tanah secara langsung berkaitan dengan jumlah bahan organik yang terkandung dalam tanah (Ontl dan Schulte, 2017). Konsentrasi C-organik tanah sangat erat kaitannya dengan kualitas tanah dan produktivitas vegetasi. Hubungan ini ada, karena C-organik tanah banyak berperan dalam memperbaiki sifat-sifat tanah seperti perbaikan struktur tanah dan retensi air, kapasitas tukar kation dan pasokan nutrisi tanaman melalui mineralisasi (Lal, 2008).

Pada penelitian yang dilakukan (Sari dan Rafdinal, 2017) keragaman kandungan karbon organik tanah berdasarkan kedalaman menunjukkan perbedaan yang nyata ($p < 0,05$). Kandungan karbon organik tertinggi terdapat pada kedalaman tanah 0-5 cm, sedangkan kandungan karbon organik tanah terendah terdapat pada lapisan 20-30 cm. Hal tersebut disebabkan oleh akumulasi bahan organik hasil dekomposisi serasah yang cenderung tinggi pada lapisan tanah atas, sehingga karbon organik tanah pada lapisan tanah 0-5 cm cenderung lebih tinggi. (Fujino et al., 2016) menyatakan bahwa bahan organik tanah cenderung terkonsentrasi pada lapisan atas tanah, karena sebagian besar pasokan atau input karbon organik tanah adalah dari serasah yang berada pada bagian atas tanah, sedangkan pada kedalaman 30-100 cm, jumlah pasokan dari serasah permukaan menjadi lebih berkurang dengan meningkatnya kedalaman tanah sehingga menyebabkan kandungan karbon organik tanah rendah.

Kandungan karbon organik tanah pada kedalaman 0-5 cm berbeda nyata dengan kedalaman 5-10 cm, 10-20 cm, dan 20-30 cm. Hal tersebut disebabkan oleh distribusi bahan organik tanah hasil dekomposisi serasah yang menurun di setiap lapisan tanah, dan dapat disebabkan oleh penurunan kepadatan akar di setiap lapisan tanah. Menurut (Jobbágy dan Jackson, 2000) penurunan pasokan dari serasah permukaan dan penurunan kepadatan akar dengan meningkatnya kedalaman tanah berkontribusi terhadap kandungan karbon organik tanah yang lebih kecil di horizon B (sub soil) daripada horizon A (top soil). Kandungan karbon organik tanah menurun sejalan dengan meningkatnya kedalaman tanah dapat disebabkan oleh meningkatnya kerapatan tanah. Kandungan karbon organik tanah memiliki korelasi negatif dengan kerapatan tanah.

(Fujino et al., 2016) menyatakan bahwa tinggi rendahnya kerapatan tanah ditentukan oleh kandungan karbon organik tanah, semakin tinggi kandungan karbon organik tanah maka semakin rendah kerapatannya. Kerapatan tanah yang meningkat dapat menyebabkan ruang pori tanah mengecil sehingga menyebabkan kandungan karbon organik tanah menjadi rendah. Krull et al., (2001) menyatakan bahwa hampir semua karbon organik dalam tanah terletak di dalam pori-pori antara partikel tanah, sehingga apabila ruang pori tanah mengecil kandungan karbon organik tanah juga sedikit

2. Tekstur Tanah

Cadangan karbon bersifat siklik, tekstur tanah ikut berpengaruh dalam proses terikat maupun terlepasnya bahan organik. Bahan organik tanah cenderung meningkat bila kandungan liat lebih tinggi (Bot dan Benites, 2008). Lebih lanjut Bot dan Benites menjelaskan, peningkatan ini dipengaruhi oleh dua mekanisme. Pertama, ikatan antara permukaan partikel liat dan bahan organik menghambat proses penguraian karbon. Kedua, kandungan liat yang lebih tinggi meningkatkan potensi pembentukan agregat. Makroagregat secara fisik melindungi molekul materi organik dari mineralisasi lebih lanjut yang disebabkan oleh mikroba. Selain itu, di bawah kondisi iklim yang sama, kandungan bahan organik pada tanah bertekstur halus (liat) adalah dua hingga empat kali dari tanah bertekstur kasar (berpasir) (Power dan Prasad, 1997) dan Kohnke (1989) menyatakan bahwa tanah bertekstur kasar (pasir) mempunyai kandungan bahan organik sangat rendah.

Tekstur tanah (utamanya kandungan liat) merupakan salah satu sifat tanah yang berkorelasi dengan cadangan karbon tanah. Hasil penelitian Liu et al. (2011) menunjukkan bahwa, tingginya kandungan liat dan debu (fraksi $< 20\mu\text{m}$) selalu berasosiasi dengan kerapatan karbon yang tinggi. Fraksi ini juga dinilai mampu berikatan dengan senyawa organik dan memberi perlindungan secara fisik melalui proses pemerangkapan (Paul dan van Veen, 1978).

Pada penelitian yang dilakukan (Tangketasik et al., 2012) tingginya pori makro akan menyebabkan kondisi aerob yang selanjutnya akan mendorong oksidasi bahan organik menjadi mineral-mineral tanah. Korelasi C-organik tanah dengan fraksi liat, baik pada tanah sawah maupun pada tanah tegalan / kebun menunjukkan korelasi positif. Ini berarti bahwa semakin tinggi kadar liat semakin tinggi kadar C-organik tanah. Hal ini disebabkan karena liat berfungsi dalam memegang air yang berpengaruh terhadap pertukaran udara yang semakin tidak baik.

(Foth, 1998) mengatakan bahwa terdapat kecenderungan suatu korelasi antara kandungan liat tanah dengan kandungan bahan organik. Semakin besar kandungan liat maka semakin tinggi kandungan bahan organik, karena molekul-molekul organik yang diadsorpsi oleh liat dilindungi secara parsial dari perombakan oleh mikroorganisme. Hal yang hampir sama juga dikemukakan oleh (Darmawijaya, 1990) bahwa fraksi liat paling berpengaruh terhadap kadar bahan organik tanah karena fraksi liat mempunyai luas permukaan jenis paling besar yaitu mencapai 800 m²/g (Luas permukaan jenis yang besar sangat aktif dalam adsorpsi air).

Tanah yang didominasi oleh fraksi liat mempunyai daya pegang air yang besar dan pori aerasi yang rendah. Keadaan yang pertukaran udara tidak lancar atau semi anaerob akan berpengaruh terhadap dekomposisi bahan organik, yaitu bahan organik akan mengalami proses humifikasi sehingga dihasilkan senyawa-organik yang tahan terhadap pelapukan (Stevenson, 1982).

3. Kemasaman Tanah

Kemasaman tanah (pH) memengaruhi pembentukan humus melalui dua cara, yaitu dekomposisi, dan produksi biomasa. Pada tanah dengan pH masam atau alkalin, pertumbuhan mikroorganismenya tidak optimum, mengakibatkan rendahnya tingkat oksidasi biologis bahan organik (Bot dan Benites, 2008). Kemasaman tanah juga memengaruhi ketersediaan nutrisi tanaman dan dengan demikian mengatur produksi biomasa secara tidak langsung dan nutrisi yang tersedia untuk biota tanah. Hakim (2006), menyatakan bahwa nilai pH dapat menurun apabila bahan organik belum terdekomposisi secara sempurna dan akan meningkat bila bahan organik telah terdekomposisi sempurna.

Kadar C-organik terendah diduga terdapat dalam rentang pH 5.0 - 6.0 (Hairiah *et al.*, 2006). Di bawah pH 5.0, aktivitas biologis berkurang dan terjadi peningkatan mobilisasi kation beracun yang dapat mengurangi tingkat dekomposisi bahan organik. Sementara itu, perusakan bahan organik yang dipicu oleh peningkatan pH tanah, dapat berkontribusi mengorbankan keberlanjutan jangka panjang keberadaan nutrisi tanaman dan penyerapan C oleh tanah. Peningkatan kandungan C-organik di atas pH 5.5 dapat dikaitkan dengan mineralogi tanah yang berbeda (Hairiah *et al.*, 2006).

Meningkatnya pH karena adanya proses dekomposisi bahan organik di dalam tanah. Bahan organik tersebut mengalami humifikasi membentuk

humus, proses selanjutnya yaitu mineralisasi humus tersebut akan menghasilkan kation-kation basa yang meningkatkan pH, seperti yang dikemukakan oleh (Hardjowigeno, 2007), bahwa pupuk organik dalam kaitannya terhadap kesuburan tanah mempunyai beberapa pengaruh terhadap beberapa sifat kimia tanah, antara lain meningkatkan pH tanah sehingga unsur hara lebih mudah diserap tanaman. Ditambahkan oleh Marsono dan Sigit (2004), bahwa pupuk organik memiliki beberapa kelebihan satu di antaranya dapat menetralkan pH.

4. Kerangka Berfikir



Gambar 1. Kerangka Berfikir