

PENGUKURAN STOK KARBON TANAMAN BUAH TAHUNAN



DIREKTORAT JENDERAL HORTIKULTURA
DIREKTORAT PERLINDUNGAN HORTIKULTURA
2022

PENGUKURAN STOK KARBON PADA TANAMAN BUAH TAHUNAN

Cetakan 1, 2022

Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang

Pengarah :

Ir. Sukarman

Tim Penyusun :

1. Dr. M. Agung Sunusi, SP., M.Si
2. Dr. I Putu Santikayasa, S.Si., M.Sc
3. Ir. Yuliasuti Purwaningsih, MM
4. Ir. Aneng Hermami, M.Si
5. Antoni Setiawan, SP

Tim Penyunting :

1. M. Roy Setiawan Tambunan, SP
2. Desy R. Caesarani Utomo, SP
3. Suherman, SE., MM

Penerbit :



Kementerian Pertanian Republik Indonesia

Jl. Ir. H. Juanda No. 20
Kota Bogor 16122, Indonesia
Telp (0251) 8321746. Fax (0251) 8326561

ISBN : 978-979-582-221-9

KATA PENGANTAR

Perubahan iklim merupakan isu global yang memberikan dampak secara regional maupun lokal. Fenomena perubahan iklim tidak dapat dihindari dan menjadi salah satu ancaman yang sangat serius terhadap sektor pertanian.

Salah satu upaya yang belum banyak diketahui masyarakat dalam mitigasi dampak perubahan iklim adalah peran komoditas tanaman buah tahunan dalam penyerapan karbon di atmosfer. Sebagai upaya inventarisasi aksi mitigasi, Kementerian Pertanian melalui Direktorat Jenderal Hortikultura c.q Direktorat Perlindungan Hortikultura telah melakukan pengukuran stok karbon tanaman buah tahunan di 14 kabupaten/kota di 7 Provinsi dan terus berlanjut pada periode berikutnya.

Diharapkan buku ini kedepannya dapat memberikan informasi dan membantu para stakeholder terkait dalam pengukuran serapan karbon khususnya pada tanaman tahunan hortikultura.

Direktur Perlindungan Hortikultura



Ir. Sukarman

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	v
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan.....	4
1.3 Manfaat.....	4
BAB II CUACA, IKLIM DAN PERUBAHAN IKLIM.....	5
2.1 Batasan Cuaca dan Iklim.....	5
2.2 Perubahan Iklim.....	9
2.3 Gas Rumah Kaca.....	12
BAB III MITIGASI PERUBAHAN IKLIM.....	17
3.1 Pengertian/definisi.....	17
3.2 Opsi-opsi mitigasi.....	19
BAB IV KARBON STOK DAN ROSOT KARBON.....	21
4.1 Siklus karbon.....	21
4.2 Komposisi karbon dari tahun ke tahun.....	22
4.3 Rosot Karbon tanaman Buah Tahunan.....	25
BAB V PENGUKURAN STOK KARBON PADA BUAH TAHUNAN.....	27
5.1 Metode Survey.....	27
5.2 Metode Pengambilan Sample.....	28
BAB VI STUDI KASUS STOK KARBON TANAMAN BUAH TAHUNAN.....	37
6.1 Hasil survey dan pembahasan.....	38
6.2 Cadangan karbon total.....	44
6.3 Evaluasi Hasil Kajian.....	46

BAB VII TANTANGAN DALAM PENGUKURAN STOK	
KARBON	48
7.1 Penetapan Umur Tanaman	48
7.2 Penentuan Sampel (jumlah)	48
BAB VIII PENUTUP.....	50
8.1 Rekomendasi dan tindak lanjut.	50
8.2 Implikasi kebijakan	51
DAFTAR BACAAN.....	52

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Unsur-unsur cuaca/iklim serta satuannya	6
Tabel 2.	Luas Pengembangan Kawasan Buah Tahunan Ditjen Horti	25
Tabel 3.	Biomasa dan cadangan karbon atas permukaan tanaman mangga	39
Tabel 4.	Biomasa dan cadangan karbon bawah permukaan tanaman mangga	40
Tabel 5.	Biomasa kering dan cadangan karbon serasah di bawah tajuk tanaman mangga	41
Tabel 6.	Hasil analisis biomasa kering dan cadangan karbon tumbuhan bawah tajuk tanaman mangga	42
Tabel 7.	Hasil analisis komposisi karbon tanah	43
Tabel 8.	Perhitungan karbon total	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Perbedaan Cuaca dan Iklim.....	5
Gambar 2.	Konsentrasi CO ₂ di atmosfer dengan satuan ppm (parts per millions)	11
Gambar 3.	Pergeseran nilai rata-rata dan ekstrim dari suhu dan curah hujan sebagai dampak perubahan iklim.....	12
Gambar 4.	Peningkatan Konsentrasi CO ₂ di Atmosfer.....	15
Gambar 5.	Siklus karbon dengan berbagai proses yang menyertainya	21
Gambar 6.	Grafik Peningkatan temperature permukaan bumi dari tahun ke tahun	24
Gambar 7.	Petunjuk pengukuran diameter tanaman	29
Gambar 8.	Titik lokasi pengukuran diameter berdasarkan bentuk batang	29
Gambar 9.	Alat Ukur Klinometer	30
Gambar 10.	Perhitungan tinggi tanaman menggunakan klinometer	31
Gambar 11.	Pengambilan sampel tumbuhan bawah dan seresah	34
Gambar 12.	Grafik total cadangan karbon tanaman mangga pada berbagai kelompok umur	45

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanasan global atau *global warming* adalah proses peningkatan suhu udara rata-rata, laut, dan daratan bumi yang disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca (GRK) yang terdiri dari gas karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dinitrogen oksida (N_2O), hidrokarbon *Hydrofluoro carbon* (HFC), *perfluoro carbon* (PFC), dan *sulfur hexafluoride* (Khasnis & Nettleman, 2005). Suhu rata-rata global pada permukaan bumi telah meningkat $0,74 + 0,18^\circ\text{C}$ selama 100 tahun terakhir. Penyebab pemanasan global yaitu kegiatan manusia yang berkaitan dengan gaya hidup, pola konsumsi, pertumbuhan penduduk, dan beberapa aktivitas manusia yang dapat merusak lingkungan diantaranya pembakaran bahan bakar fosil (fossil fuel), kegiatan alih fungsi lahan dan perkembangan industri. Kegiatan-kegiatan tersebut dapat menghasilkan GRK yang jumlahnya semakin banyak seiring bertambahnya waktu.

Efek Rumah Kaca menyebabkan panas yang ada di bumi terperangkap di atmosfer dan tidak bisa diteruskan ke luar angkasa dan dipantulkan kembali ke permukaan bumi, sehingga menyebabkan bumi menjadi lebih panas. Efek rumah kaca ini dalam jumlah tertentu berguna bagi kehidupan manusia, namun jika jumlahnya berlebih akan memberikan dampak negative seperti pemanasan global dan perubahan iklim di bumi

Agreement) dengan tujuan yang tercantum pada Pasal 2 ayat (a) menahan kenaikan suhu global dari tingkat suhu era pra-industry di bawah 2 °C dan membatasi kenaikan suhu sampai 1,5 °C di tahun 2100.

Indonesia pada tanggal 22 April 2016, meratifikasi Perjanjian Paris di New York, dan berkomitmen untuk melakukan upaya menurunkan emisi GRK dan bergerak aktif mencegah terjadinya perubahan iklim. Komitmen Indonesia tersebut diperkuat melalui dokumen *Nationally Determined Contribution* (NDC) Republik Indonesia yang pertama pada bulan November 2016. NDC dipergunakan sebagai salah satu acuan pelaksanaan komitmen mitigasi perubahan iklim dengan rencana penurunan emisi hingga tahun 2030 sebesar 29% sampai dengan 41% bila dengan dukungan internasional, dengan proporsi emisi di sektor pertanian (0,32%) melalui upaya mitigasi dan adaptasi perubahan iklim. Secara nasional, target penurunan emisi pada tahun 2030 berdasarkan NDC adalah sebesar 834 juta ton CO₂ ekuivalen (CO₂e) pada target *unconditional* (CM1)/usaha sendiri dan sebesar 1.081 juta ton CO₂e pada target *conditional* (CM2)/dengan bantuan Internasional. Untuk memenuhi target tersebut, secara nasional telah dilakukan berbagai aksi mitigasi pada semua sektor (Kementerian/Lembaga)

Perubahan iklim merupakan isu global yang memberikan dampak secara regional maupun lokal. Hasil kajian dari IPCC (*The Intergovernmental Panel on Climate Change*) menyatakan bahwa perubahan iklim dipicu oleh adanya peningkatan GRK di atmosfer. Perubahan iklim merupakan suatu fenomena yang tidak dapat dihindari dan merupakan salah satu ancaman yang sangat

serius terhadap sektor pertanian serta potensial mendatangkan masalah baru bagi keberlanjutan produksi pangan. Perubahan beberapa unsur iklim yang intensitasnya cenderung berubah atau menyimpang dari kondisi rata-rata (meningkat/menurun) berpotensi menyebabkan gagal panen, banjir, kekeringan yang berdampak pada penurunan produksi pertanian.

Salah satu upaya yang belum banyak diketahui masyarakat dalam mitigasi dampak perubahan iklim adalah peran komoditas tanaman buah dalam penyerapan karbon di atmosfer. Beberapa tanaman buah yang memiliki potensi dalam penyerapan karbon atau dikenal sebagai penyimpan stok karbon seperti tanaman durian, mangga, manggis, alpukat, nangka dan jeruk.

Kementerian Pertanian melalui Direktorat Jenderal Hortikultura c.q Direktorat Perlindungan Hortikultura telah melakukan pengukuran stok karbon tanaman buah tahunan di 14 kabupaten/kota di 7 Provinsi dan terus berlanjut pada periode berikutnya. Hasil pengukuran stok karbon menunjukkan bahwa pada umur tanaman > 20 tahun, komoditas mangga memiliki stok karbon tertinggi sebesar 33,94 ton/ha di Jawa Timur dan komoditas jeruk memiliki stok karbon terendah sebesar 9,17 ton/ha di Jawa Barat.

1.2 Tujuan

1. Mengidentifikasi potensi penyerapan karbon tanaman buah tahunan di wilayah sentra (kampung buah tahunan)
2. Memperoleh data potensi tanaman buah tahunan dalam menyimpan karbon
3. Penghitungan stok karbon pada tanaman buah tahunan
4. Data stok karbon tanaman buah dari berbagai lokasi di Indonesia.
5. Memperoleh data base line stok karbon tanaman buah tahunan

1.3 Manfaat

1. Menjadi referensi dalam rangka penyusunan kebijakan mitigasi perubahan iklim sektor pertanian khususnya hortikultura
2. Menjadi salah satu dasar kebijakan pengembangan kampung hortikultura dalam mitigasi DPI.
3. Sebagai referensi bagi petani, penyuluh, popt, dan stakeholder lainnya dalam upaya penanganan DPI

BAB II

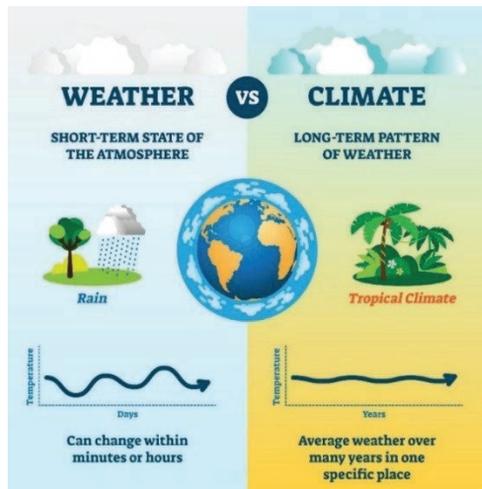
CUACA, IKLIM DAN PERUBAHAN IKLIM

2.1 Batasan Cuaca dan Iklim

Cuaca dan iklim keduanya mengTabelkan tentang kondisi atmosfer. Cuaca merupakan suatu keadaan udara pada saat dan di wilayah tertentu yang relatif sempit dan pada jangka waktu yang singkat. Cuaca terbentuk dari gabungan unsur-unsur cuaca dengan jangka waktu hanya beberapa jam saja. Sedangkan iklim berbeda dengan cuaca dalam hal waktu dan cakupan wilayah. Iklim didefinisikan sebagai kondisi atmosfer (cuaca) rata-rata tahunan yang data dan analisisnya dilakukan

dalam waktu yang relatif lama (umumnya dalam 30 tahun) dan wilayah yang luas. Cakupan iklim dengan rentang waktu 30 tahun mengacu pada ketentuan dari *World Meteorological*

Organisation (WMO). Perbedaan antara cuaca dan iklim digambarkan secara infografis pada Gambar 1.



Gambar 1. Perbedaan Cuaca dan Iklim

Sumber :

www.australianenvironmentaleducation.com.au/education-resources/climate-vs-weather/

2.1.1 Unsur-unsur Cuaca

Secara awam kita menyebut cuaca dengan sebutan suhu panas, sinar matahari terik, angin kencang ataupun hujan lebat. Semua unsur-unsur yang digunakan untuk menyebutkan kondisi cuaca disebut dengan unsur-unsur cuaca. Unsur-unsur cuaca terdiri dari komponen penerimaan radiasi surya, suhu udara, kelembaban udara, tekanan udara, kecepatan angin, arah angin dan penutupan awan. Unsur-unsur cuaca/iklim ini dapat dikuantifikasi dengan satuan yang berbeda-beda seperti yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Unsur-unsur cuaca/iklim serta satuannya

<i>Unsur Cuaca</i>	<i>Satuan</i>
1. <i>Penerimaan radiasi surya</i>	W/m ²
2. <i>Suhu udara</i>	°C
3. <i>Kelembaban udara</i>	%
4. <i>Tekanan udara</i>	mb
5. <i>Kecepatan angin</i>	m/s
6. <i>Arah angin</i>	Derajat
7. <i>Penutupan awan</i>	persepuluhan

Radiasi Surya

Radiasi matahari merupakan sumber energi utama yang menggerakkan sistem iklim bumi. Radiasi matahari merupakan gelombang elektromagnetik hasil proses fusi nuklir yang mengubah hidrogen menjadi helium. Hal ini menyebabkan suhu permukaan matahari sekitar 6.000 Kelvin sedangkan bagian intinya memiliki suhu yang lebih tinggi mencapai jutaan Kelvin. Dengan demikian, radiasi matahari dipancarkan dalam bentuk gelombang elektromagnetik.

sebesar 73.5 juta watt tiap m^2 permukaan matahari (berdasarkan persamaan *Stefan-Boltzman*). Jika diasumsikan jarak rata-rata matahari-bumi sejauh 150 juta km maka radiasi yang sampai di puncak atmosfer secara rata-rata adalah 1.368 W m^{-2} .

Namun demikian radiasi yang sampai di puncak atmosfer tidak semuanya akan diterima oleh permukaan bumi karena ada proses-proses yang terjadi di atmosfer. Radiasi matahari yang sampai di permukaan bumi hanya sekitar 50% dari yang diterima di puncak atmosfer, karena sebagian akan diserap dan dipantulkan kembali ke luar angkasa oleh atmosfer khususnya oleh awan.

Suhu Udara

Setelah radiasi matahari diterima oleh permukaan bumi maka akan dilanjutkan oleh proses selanjutnya karena energi tersebut digunakan dalam berbagai proses di permukaan. Proses itu meliputi pemanasan permukaan, penguapan, pemanasan atmosfer dan fotosintesis. Pendistribusian energi ini secara sederhana dapat diTabelkan dalam bentuk neraca energi. Komponen penggunaan energi dalam neraca energi yang digunakan memanaskan atmosfer di representasikan dalam bentuk suhu udara. Suhu udara memiliki profil yang semakin turun dengan semakin naiknya ketinggian dari permukaan. Hal ini disebabkan karena pemanasan atmosfer/udara ini berasal dari energi pancaran dari permukaan bumi.

Kelembaban udara

Kelembaban udara mengTabelkan kandungan uap air di udara yang dapat dinyatakan sebagai kelembaban mutlak, kelembaban relatif (= nisbi) maupun defisit tekanan uap air. Kelembaban mutlak adalah

kandungan uap air (dapat dinyatakan dengan massa uap air atau tekanannya) per satuan volume. Kelembaban relatif membandingkan antara kandungan/tekanan uap air aktual dengan keadaan jenuhnya atau pada kapasitas udara untuk menampung uap air. Kelembaban relatif dinyatakan dalam persen yang menunjukkan jumlah uap air aktual dibandingkan dengan jumlah uap air maksimum yang mungkin ada di atmosfer.

Tekanan Udara

Tekanan udara berkaitan dengan suhu udara yang terjadi pada suatu tempat dan waktu. Suhu udara yang tinggi berdampak pada volume molekul/partikel udara yang mengembang sehingga tekanan udara menjadi rendah dan demikian juga sebaliknya. Kerapatan udara rendah yang disebabkan oleh jumlah molekul yang sedikit persatuan volume, berakibat pada tekanan udara yang rendah. Tekanan udara juga memiliki hubungan dengan ketinggian tempat. Tekanan udara berbanding terbalik dengan ketinggian suatu tempat sehingga semakin tinggi tempat dari permukaan laut maka akan semakin rendah tekanan udaranya. Tekanan udara juga merupakan salah satu parameter yang berkaitan erat dengan variasi pembentukan arah dan kecepatan angin.

Kecepatan Angin dan arah

Di atmosfer, keadaan tidak setimbang terjadi berkaitan dengan gaya-gaya yang saling berinteraksi. Untuk mengkompensasi gaya-gaya ini, udara akan bergerak untuk mencapai keseimbangan kembali. Kecepatan angin dihitung dari jarak yang ditempuh selama periode waktu tertentu, sedangkan arah angin dinamakan berdasarkan asal

dari angin itu berhembus. Walaupun aliran udara ke atas penting dalam pembentukan awan dan hujan, kecepatan pergerakan horizontal jauh lebih besar dan mempengaruhi proses-proses cuaca.

Penutupan Awan

Keawanan dinyatakan dalam luas total langit yang tertutup awan dalam satuan perdelapan, persepuluh atau persen. Nilai keawanan 0 menunjukkan langit cerah tanpa awan dan keawanan 8/8 atau 10/10 atau 100% menunjukkan langit tertutup awan total. Pengamatan keawanan dapat dilakukan secara manual maupun dengan satelit cuaca. Penyebaran awan biasanya identik dengan penyebaran hujan. Keawanan cukup tinggi dekat equator yang berhubungan dengan konvergensi massa udara dari dua belahan bumi.

2.2 Perubahan Iklim

Secara umum perubahan iklim adalah perubahan yang terjadi pada unsur-unsur iklim dalam rentang waktu yang panjang dibandingkan dengan kondisi iklim pada periode tahun referensi. Namun demikian pengertian perubahan iklim sangat beragam dari berbagai sumber.

Pengertian perubahan iklim menurut Undang-Undang No. 31 Tahun 2009 tentang Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika mendefinisikan bahwa perubahan iklim adalah berubahnya iklim yang diakibatkan, langsung atau tidak langsung, oleh aktivitas manusia yang menyebabkan perubahan komposisi atmosfer secara global serta perubahan variabilitas iklim alamiah yang teramati pada kurun waktu yang dapat dibandingkan.

Sedangkan menurut Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim (Dirjen PPI – KLHK) mendefinisikan perubahan Iklim adalah

perubahan signifikan kepada iklim, suhu udara dan curah hujan mulai dari dasawarsa sampai jutaan tahun. Perubahan iklim tersebut disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi gas karbon dioksida dan gas-gas lainnya di atmosfer yang menyebabkan efek gas rumah kaca.

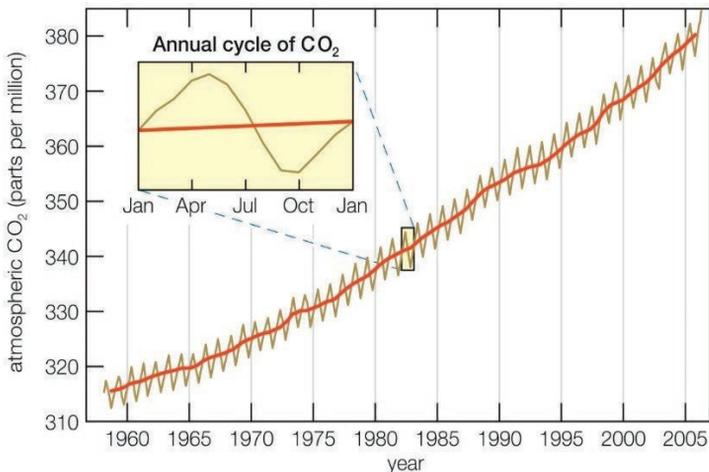
Pengertian perubahan iklim menurut Environmental Protection Agency (EPA) adalah perubahan iklim secara signifikan yang terjadi pada periode waktu tertentu. Dengan kata lain, perubahan iklim juga bisa diartikan sebagai perubahan suhu yang drastis, curah hujan, pola angin, dan lain sebagainya.

Berbeda halnya dengan PBB yang mendefinisikan perubahan iklim sebagai perubahan jangka panjang atau pergeseran dalam suhu dan pola cuaca. Dalam pengertiannya pergeseran ini dapat terjadi secara alami - seperti melalui variasi siklus matahari – atau dipengaruhi oleh aktivitas manusia yang menjadi pendorong utama perubahan iklim. Aktivitas yang dimaksud terutama akibat pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak dan gas.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) mendefinisikan perubahan iklim sebagai perubahan keadaan iklim yang dapat diidentifikasi (misalnya menggunakan uji statistik) dengan perubahan rata-rata dan/atau variabilitas sifat-sifatnya, dan bertahan untuk waktu yang lama, biasanya beberapa dekade atau lebih.

Menurut *World Wildlife Fund (WWF)*, definisi perubahan iklim adalah perubahan pola iklim global atau regional yang disebabkan oleh meningkatnya kadar gas rumah kaca di atmosfer sejak Revolusi Industri, akibat penggunaan bahan bakar fosil.

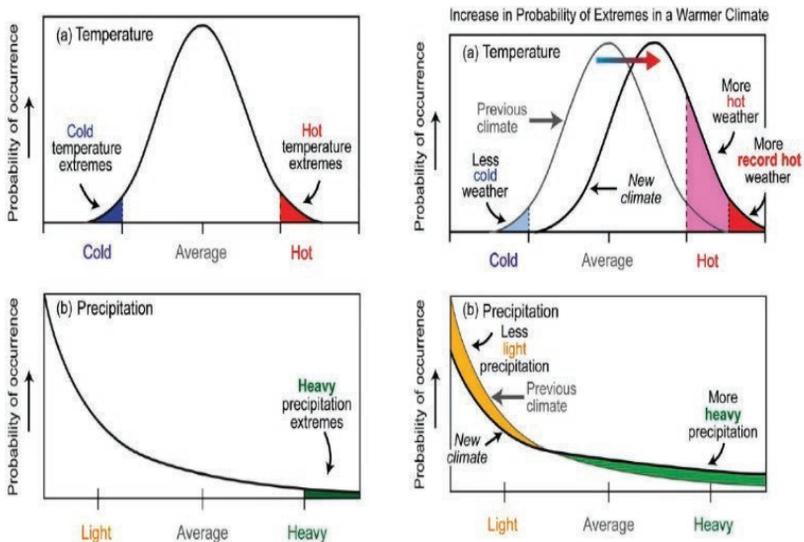
The National Aeronautics and Space Administration (NASA) menjelaskan bahwa perubahan iklim adalah perubahan cuaca yang biasa terjadi di suatu tempat. Misalnya, perubahan curah hujan bias dalam setahun. Perubahan iklim juga merupakan perubahan iklim bumi. Perubahan iklim tidak hanya melibatkan kenaikan suhu, tetapi juga peristiwa cuaca ekstrem, naiknya permukaan laut, pergeseran populasi dan habitat satwa liar, serta berbagai dampak lainnya.



Gambar 2. Konsentrasi CO₂ di atmosfer dengan satuan ppm (parts per millions)

Berdasarkan hasil kajian dan juga analisis di berbagai sumber, perubahan iklim disebabkan oleh adanya peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Hal ini terlihat dari peningkatan konsentrasi GRK di atmosfer diikuti oleh perubahan kondisi iklim sejak periode revolusi industri. Konsentrasi GRK khususnya CO₂ dan CH₄ lebih tinggi dibandingkan dengan periode sebelumnya. Peningkatan ini menyebabkan perubahan pada kondisi iklim khususnya menyebabkan peningkatan suhu.

Perubahan iklim dapat terjadi pada pergeseran nilai statistik dari unsur-unsur iklim. Misalnya pada suhu, perubahan iklim berdampak pada peningkatan nilai rata-rata suhu udara. Hal ini menyebabkan terjadi pergeseran tidak hanya nilai rata-rata suhu udara namun juga nilai ekstrim rendah dan ekstrim tinggi dari suhu udara. Demikian juga dengan curah hujan, perubahan iklim berdampak pada pergeseran dari nilai rata-rata dan juga nilai ekstrim curah hujan (Tabel 3). Pergeseran ini berdampak pada berbagai hal baik secara fisik, lingkungan maupun sosial.



Gambar 3. Pergeseran nilai rata-rata dan ekstrim dari suhu dan curah hujan sebagai dampak perubahan iklim

2.3 Gas Rumah Kaca

Secara definisi GRK adalah gas-gas yang ada di atmosfer yang mampu menyebabkan efek rumah kaca. Efek rumah kaca adalah efek yang terjadi di atmosfer berupa kemampuan dalam meneruskan

radiasi gelombang pendek dari radiasi matahari dan ketidakmampuannya dalam meneruskan radiasi gelombang panjang yang dipancarkan oleh permukaan bumi. Hal ini menyebabkan radiasi gelombang panjang tadi dipantulkan kembali ke permukaan bumi sehingga menyebabkan munculnya dampak pemanasan di permukaan yang lebih tinggi (disebut dengan pemanasan global) yang disebabkan karena adanya gas-gas tertentu di atmosfer. Gas-gas tersebut muncul secara alami, namun demikian gas-gas tersebut juga mampu dipicu oleh aktivitas manusia, terutama aktivitas akibat pembakaran bahan bakar fosil. Gas rumah kaca ini tetap diperlukan di atmosfer dalam konsentrasi tertentu karena tanpa adanya GRK ini maka suhu rata-rata di permukaan bumi akan menjadi di bawah titik beku air, namun demikian konsentrasi GRK yang tinggi menyebabkan pemanasan global.

Gas rumah kaca paling banyak yang ada di atmosfer adalah uap air (H_2O), karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4) dan dinitrogen monoksida (N_2O). Karbon dioksida sebagai salah satu GRK dapat dihasilkan dari berbagai proses alami seperti letusan gunung berapi, ataupun pernapasan hewan (yang menghirup oksigen dan menghembuskan CO_2). Namun, sejak Revolusi Industri menurut IPCC konsentrasi CO_2 pada atmosfer Bumi telah naik hampir 50%, dari 280 ppm pada tahun 1750 hingga 415 ppm pada tahun 2022 yang dipicu oleh aktivitas manusia dan juga kejadian kebakaran lahan dan hutan.

Uap air (H₂O)

Uap air atau air yang ada di atmosfer merupakan salah satu GRK yang memberikan efek terhadap pemanasan global. Uap air ini dapat timbul secara alami dengan jumlah yang berfluktuasi secara kewilayahan khususnya dalam skala regional. Konsentrasi uap air ini juga dipengaruhi oleh aktivitas manusia seperti aktivitas pertanian maupun perubahan lahan karena hal ini mempengaruhi pola evapotranspirasi lahan dan wilayah. Selain memberikan efek rumah kaca, uap air berperan sebagai umpan balik positif (*positif feedback*) terhadap aksi yang dilakukan manusia yang melepaskan GRK ke atmosfer.

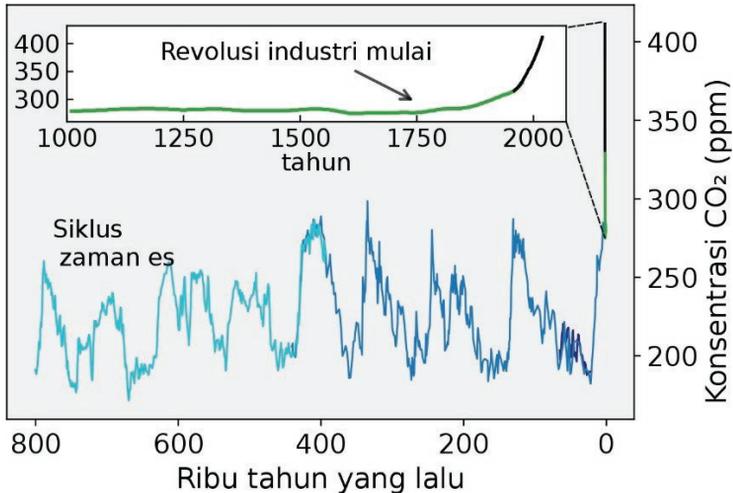
Metana (CH₄)

Metana yang merupakan GRK yang mampu menangkap panas 20 kali lebih banyak bila dibandingkan karbondioksida. Sifat tersebut menyebabkan metana merupakan salah satu GRK yang perlu mendapat perhatian. Metana dihasilkan dari berbagai proses seperti produksi dan transportasi batu bara, gas alam, dan minyak bumi. Metana juga dihasilkan dari pembusukan limbah organik di tempat pembuangan sampah (*landfill*), bahkan dapat dikeluarkan oleh hewan-hewan tertentu, terutama sapi, sebagai produk samping dari pencernaan.

Karbon dioksida (CO₂)

Karbon dioksida merupakan GRK yang paling banyak mendapat perhatian karena konsentrasinya yang terus meningkat di atmosfer. Data menunjukkan bahwa konsentrasi karbon dioksida di atmosfer meningkat secara perlahan hingga mencapai nilai rata-rata 280 ppm

dan terus mengalami peningkatan secara signifikan setelah revolusi industri hingga mencapai konsentrasi 417 ppm pada tahun 2020 seperti ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 4. Peningkatan Konsentrasi CO₂ di Atmosfer

Peningkatan konsentrasi gas karbondioksida di atmosfer berdampak pada peningkatan suhu sehingga menyebabkan pemanasan secara global yang menyebabkan perubahan iklim serta bencana di berbagai belahan bumi. Peningkatan konsentrasi karbondioksida di atmosfer dipengaruhi oleh berbagai penyebab seperti penggundulan hutan atau deforestasi, serta pembakaran bahan bakar fosil.

Dinitrogen monoksida (N₂O)

Dinitrogen monoksida (N₂O) merupakan gas yang mampu menangkap panas cukup besar. Gas dinitrogen monoksida ini dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil serta lahan pertanian. Nitrogen monoksida dapat menangkap panas 300 kali lebih besar dari karbondioksida. Namun demikian konsentrasi gas ini lebih kecil dibandingkan gas karbon dioksida. Berdasarkan data diperoleh bahwa konsentrasi gas ini telah meningkat 16 persen bila dibandingkan dengan konsentrasi pada periode pre-industri.

BAB III

MITIGASI PERUBAHAN IKLIM

3.1 Pengertian/definisi

Mitigasi perubahan iklim merupakan suatu usaha untuk mengurangi risiko terhadap peningkatan emisi GRK di atmosfer. Atau dapat juga dikatakan bahwa mitigasi dalam konteks perubahan iklim pada dasarnya adalah tindakan aktif untuk mencegah atau memperlambat terjadinya perubahan iklim/pemanasan global dan mengurangi dampak perubahan iklim/pemanasan global dengan cara menstabilkan konsentrasi volume gas rumah kaca.

Mitigasi perubahan iklim juga pada dasarnya adalah proses antropogenik yang dilakukan oleh umat manusia dalam mengurangi sumber atau meningkatkan serapan dari GRK yang berkontribusi baik secara langsung maupun tidak langsung pada perubahan iklim. Tujuan utama dari mitigasi perubahan iklim adalah mengurangi dampak negatif dari perubahan iklim dengan cara mengurangi sumber-sumber penyebab dalam hal ini GRK baik dengan cara mengurangi emisi yang dihasilkan dari permukaan atau meningkatkan serapan GRK ke permukaan. Jika dilihat dari proses alami, bumi memiliki kemampuan untuk melakukan proses adaptasi secara alami terhadap perubahan. Dengan demikian, kegiatan mitigasi mampu memberikan kesempatan bumi (dan isinya) secara alami dalam rentang waktu tertentu untuk mampu beradaptasi perubahan iklim.

Menurut peraturan presiden (PP) No 98 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target

Kontribusi yang Ditetapkan secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional, mitigasi perubahan iklim adalah usaha pengendalian untuk mengurangi risiko akibat perubahan iklim melalui kegiatan yang dapat menurunkan emisi atau meningkatkan penyerapan GRK dan penyimpanan/penguatan cadangan karbon dari berbagai sumber emisi.

Upaya mitigasi ini dilakukan dalam rangka pencapaian target kontribusi yang ditetapkan secara nasional dan pengendalian emisi GRK dalam pembangunan nasional. Kontribusi yang dimaksud adalah Kontribusi yang Ditetapkan secara Nasional atau *Nationally Determined Contribution* berupa komitmen nasional dalam penanganan perubahan iklim global dalam rangka pencapaian tujuan persetujuan Paris atas konvensi kerangka kerja perserikatan bangsa-bangsa mengenai perubahan iklim (*Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change*). Kebijakan dan langkah serta implementasi kegiatan sesuai komitmen Pemerintah berupa Pengurangan Emisi GRK 29% (dua puluh sembilan persen) sampai dengan 41% (empat puluh satu persen) pada tahun 2030 dibandingkan dengan Baseline Emisi GRK.

Upaya mitigasi perubahan iklim ini dilakukan dalam 3 tahapan aktivitas yaitu perencanaan aksi mitigasi perubahan iklim, pelaksanaan aksi mitigasi dan pemantauan serta evaluasi aksi mitigasi perubahan iklim. Kegiatan aksi mitigasi perubahan iklim ini dilaksanakan oleh kementerian/lembaga, pemerintah daerah, pelaku usaha dan masyarakat secara umum. Penyelenggaraan mitigasi perubahan iklim ini dikoordinasikan oleh menteri.

Mitigasi perubahan iklim pada negara republik Indonesia dilaksanakan pada sektor dan sub sektor termasuk didalamnya, sektor energi, limbah, proses inudstri dan penggunaan produk, pertanian, kehutanan, sektor lain yang sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Sedangkan subsektor yang dimaksud adalah pembangkit, transportasi, bangunan, limbah padat, limbah cair, sampah, industri, persawahan, peternakan, perkebunan, kehutanan, pengelolaan gambut dan mangrove serta subsektor lain yang bersesuaian dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

3.2 Opsi-opsi mitigasi

Opsi-opsi mitigasi perubahan iklim umumnya berdasarkan komsep implementasi NDC yang berpedoman pada mandat serta ketentuan-ketentuan lain dari UNFCCC yang nantinya digunakan sebagai dasar dalam penyusunan strategi implementasi NDC subsektor atau subnasional. Salah satu implementasi dari NDC adalah komponen mitigasi. Beberapa opsi mitigasi yang dapat dilakukan berdasarkan sektor adalah sebagai berikut:

Sektor Energi:

- Efisiensi penggunaan energi
- Pemanfaatan teknologi bebas bahan bakar fosil
- Penggunaan bahan bakar non fosil (nabati)
- Penggunaan transportasi listrik

Sektor Kehutanan

- Penurunan deforestasi
- Penerapan prinsip pengelolaan hutan berkelanjutan
- Rehabilitasi hutan kritis dan terdegradasi

- Restorasi lahan gambut

Sektor Pertanian

- Penggunaan varietas rendah emisi
- Penerapan sistem pertanian hemat air
- Pemanfaatan limbah ternak untuk energi biogas
- Perbaikan pada pakan

Sektor Limbah

- Pengelolaan limbah padat dan cair yang baik
- Peningkatan pengelolaan dan pemanfaatan sampah
- Peningkatan pemanfaatan sampah dengan sistem kompos

Sektor Industri

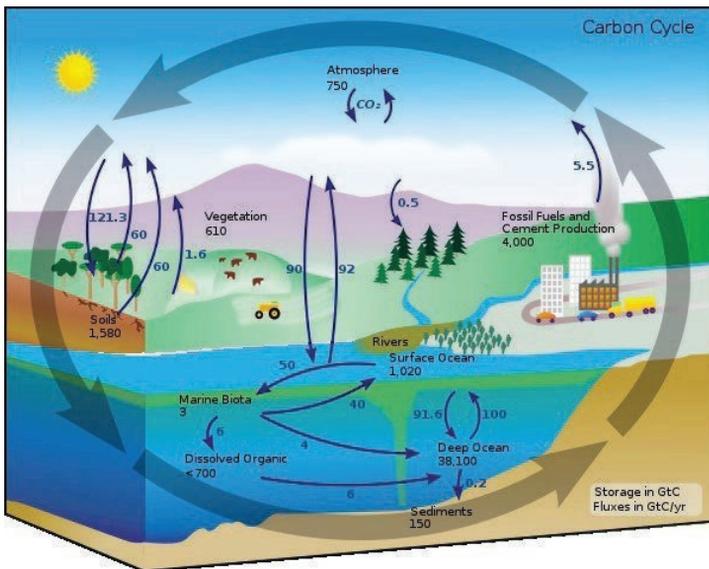
- Peningkatan aksi mitigasi melalui pengurangan emisi pada proses produksi
- Peningkatan efisiensi industri

BAB IV

KARBON STOK DAN ROSOT KARBON

4.1 Siklus karbon

Siklus karbon adalah siklus biogeokimia ketika terjadi pertukaran pada biosfer, hidrosfer, geosfer, hingga atmosfer bumi. Biogeokimia sendiri merupakan pertukaran yang berlangsung terus menerus antara komponen abiotik seperti tanah, air, udara, sinar matahari dengan komponen biotik seperti manusia, hewan, dan tumbuhan. Pertukaran karbon terjadi karena proses-proses kimia, fisika, geologi, dan biologi yang bermacam-macam. Hal ini dapat dijelaskan secara singkat seperti Gambar 5.



Gambar 5. Siklus karbon dengan berbagai proses yang menyertainya (Angka dengan warna hitam menyatakan jumlah karbon tersimpan sedangkan angka dengan warna biru menyatakan jumlah karbon berpinda)

Sumber : <https://www.gramedia.com/literasi/siklus-karbon/>

Karbon dioksida (CO_2) merupakan gas dalam bentuk persediaan karbon anorganik. Proses fotosintesis pada tumbuhan menjadi proses pengubahan karbon dioksida (CO_2) sebagai karbon anorganik menjadi karbohidrat ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) yang merupakan karbon organik. Sebagian karbon organik yang terdapat dalam tubuh tumbuhan juga akan diubah melalui proses fisiologi tumbuhan menjadi bentuk CO_2 kembali melalui proses respirasi.

Karbohidrat yang dihasilkan tumbuhan akan ditransfer melalui proses konsumsi oleh hewan dan manusia. Sehingga, sebagian dari senyawa karbon organik akan menetap sampai tubuh makhluk hidup tersebut mati. Setelah tumbuhan, hewan dan manusia mati maka senyawa organik akan segera terurai kembali melalui proses dekomposisi atau penguraian oleh organisme pengurai dan karbon akan dilepas sebagai CO_2 ke alam, kemudian masuk ke udara atau ke dalam air kembali.

Namun, ada sebagian bahan organik yang tidak bisa segera terurai dalam proses dekomposisi sehingga memerlukan waktu yang sangat lama dan kemudian berubah menjadi fosil seperti batu kapur, arang, dan minyak. Ketika fosil terbakar, maka gas karbon dioksida (CO_2) akan dilepaskan ke udara kembali. Sayangnya, adanya gas karbon dioksida dan gas rumah kaca dari hasil pembakaran bahan bakar fosil ini menyebabkan pemanasan global.

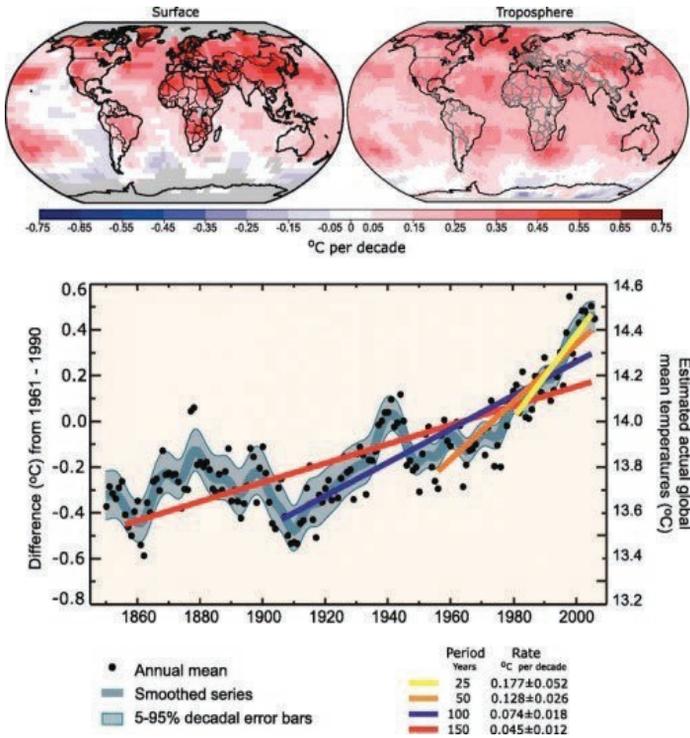
4.2 Komposisi karbon dari tahun ke tahun

Bagian terbesar dari karbon yang berada di atmosfer bumi adalah gas karbon dioksida (CO_2). Meskipun jumlah gas ini merupakan bagian yang sangat kecil dari seluruh gas yang ada di atmosfer (hanya

sekitar 0,04% dalam basis molar). Konsentrasi karbon dioksida di atmosfer telah mengalami peningkatan dari era pra industri pada tahun 1750 yaitu 280 ppm menjadi 378 ppm pada tahun 2005 (Solomo dalam Rinjani dkk., 2007). Gas-gas lain yang mengandung karbon di atmosfer adalah metan dan kloroflorokarbon atau CFC. Siklus karbon akan terus berputar untuk melewati proses yang sama. Namun, semakin lama tingkat kandungan karbondioksida di atmosfer menjadi terlalu banyak. Karbon tersebut terakumulasi di udara dengan berbagai cara diantaranya:

- **Respirasi makhluk hidup.** Glukosa diurai menjadi karbon dioksida dan air.
- **Dekomposisi makhluk hidup yang mati.** Jamur dan bakteri mengurai senyawa karbon pada makhluk hidup yang mati dan mengubah karbon menjadi karbon dioksida jika tersedia oksigen, atau menjadi metana jika tidak tersedia oksigen.
- **Pembakaran bahan bakar fosil.** Batu bara, produk dari industri perminyakan (petroleum), dan gas alam akan melepaskan karbon yang sudah tersimpan selama jutaan tahun di dalam geosfer melalui pembakaran. Hal inilah yang merupakan penyebab utama naiknya jumlah karbon dioksida di atmosfer.
- **Evaporasi permukaan laut.** Ketika permukaan air laut lebih hangat, karbon dioksida terlarut akan dilepas kembali ke atmosfer.

Siklus karbon menjaga keseimbangan konsentrasi karbon pada atmosfer. Jumlah yang berlebihan pada salah satu komponen dapat menyebabkan ketidakseimbangan pada keseluruhan siklus dan



Gambar 6. Grafik Peningkatan temperature permukaan bumi dari tahun ke tahun
 Sumber : <https://www.gramedia.com/literasi/siklus-karbon>

Peningkatan kandungan karbon dioksida secara signifikan mengakibatkan kenaikan temperatur permukaan bumi yang ekstrim, di mana dalam periode 25 tahun terakhir laju kenaikan mencapai $0,177 \pm 0,052$ °C per dekade. Kenaikan temperatur permukaan bumi yang ekstrem ini memberikan beberapa dampak di antaranya mencairnya es di kutub, meningkatnya ketidakseimbangan tanah, perubahan berbagai ekosistem, bencana banjir meningkat, dan lain-lain. Oleh karena itu, manusia perlu mengurangi pembakaran bahan

bakar fosil dan dan melakukan langkah mitigasi lainnya untuk mengurangi peningkatan akumulasi karbon di atmosfer.

4.3 Rosot Karbon tanaman Buah Tahunan

Perubahan iklim dapat memacu pemanasan global yang mengakibatkan terjadinya kenaikan suhu udara hingga fluktuasi curah hujan. Menghadapi kondisi ini, pemerintah dengan giat berupaya untuk memitigasi dampak perubahan iklim. Dari sektor pertanian, Kementerian Pertanian cq Direktorat Jenderal Hortikultura mengembangkan kampung buah sebagai pengembangan Kawasan Buah Tahunan. Selain memberikan dampak ekonomis, pengembangan kawasan buah tahunan juga memberikan sisi positif untuk lingkungan melalui sequestrasi karbon.

Tabel 2. Luas Pengembangan Kawasan Buah Tahunan Ditjen Horti

Tahun	Luas Pengembangan Kawasan Buah (Hektar)					JUMLAH
	Jeruk	Manggis	Durian	Mangga	Alpukat	
2006	4782	1469.3	2058.5	2490.8	0	10800.6
2007	2478.13	644.56	940.9	701.5	0	4765.09
2008	21.5	327.8	198.98	121.69	0	669.97
2009	239.8	285.5	238.1	204.01	0	967.41
2010	690	505	37.5	78.2	0	1310.7
2011	265	255	226	202	80.5	1028.5
2012	1963	503	503	185	470	3624
2013	1816	596	596	716	150	3874
2014	3487	308	308	464	79	4646
2015	3841	572	572	471	191	5647
2016	2540	294	294	230	0	3358
2017	2353	70	70	1315	0	3808
2018	1870	1165	20	2095	0	5150
2019	3285	1560	340	2000	0	7185
2020	378	346	450	84	50	1308
2021	520	330	2145	650	1625	5270
TOTAL	30529.43	9231.16	8997.98	12008.2	2645.5	63412.27

Sumber data : Direktorat Jenderal Hortikultura

Sejak tahun 2006, Kementerian Pertanian melalui Direktorat Jenderal Hortikultura telah mengembangkan lebih dari 50 ha Kawasan tanaman buah tahunan. Dalam estimasi perhitungan, diperkirakan nilai serapan karbon selama 14 tahun pengembangan Kawasan dapat mencapai 10 juta ton.

Penanaman pohon menghasilkan absorbs karbon dioksida dari udara. Karbon akan tersimpan sampai dilepaskan kembali akibat vegetasi tersebut busuk atau dibakar. Tumbuhan memerlukan sinar matahari, karbon dioksida (CO_2) serta air dan hara yang diserap dari dalam tanah untuk kelangsungan hidupnya. Melalui proses fotosintesis, CO_2 di udara diserap oleh tanaman dan diubah menjadi karbohidrat, kemudian disebarkan keseluruh tubuh tanaman dan akhirnya ditimbun dalam tubuh tanaman berupa daun, batang, ranting, bunga dan buah. Proses penimbunan C dalam tubuh tanaman hidup dinamakan proses sekuestrasi (*Csequestration*). Dengan demikian mengukur jumlah C yang disimpan dalam tubuh tanaman hidup (biomassa) pada suatu lahan dapat mengTabelkan banyaknya CO_2 di atmosfer yang diserap oleh tanaman. Sedangkan pengukuran C yang masih tersimpan dalam bagian tumbuhan yang telah mati (nekromasa) secara tidak langsung mengTabelkan CO_2 yang tidak dilepaskan ke udara lewat pembakaran (Hairiah dan Rahayu, 2007).

BAB V

PENGUKURAN STOK KARBON PADA BUAH TAHUNAN

5.1 Metode Survey

Pengumpulan data untuk menghitung potensi cadangan karbon dilakukan dengan metode pengambilan data lapang (survey). Survey dilakukan dengan pengambilan data langsung dari lapangan di wilayah yang memiliki sentra produksi tanaman buah tahunan. Merujuk pada literature, maka dalam inventarisasi cadangan karbon tanaman buah, dilakukan dengan teknik sampling. Teknik sampling adalah merupakan teknik pengambilan sampel untuk menentukan sampel yang akan digunakan dalam penelitian.

Dalam teknik sampling ada beberapa pendekatan yang dapat digunakan seperti probability sampling atau non-probability sampling. Dalam penentuan sampling pengukuran stok karbon dilakukan secara non-probability sampling dengan pendekatan purposive sampling. Purposive sampling merupakan metode pengambilan sample dengan pertimbangan tertentu. Dalam konteks pengambilan sample untuk pengukuran stok karbon beberapa pertimbangan yang dilakukan adalah kemudahan akses, keterbatasan wilayah dan kawasan wilayah produksi, waktu dan dana survey. Sehingga dalam pengambilan data untuk sampling stok karbon ini diambil dari sample dengan berbagai kelompok umur dengan ulangan 2 kali untuk masing-masing kelompok umur.

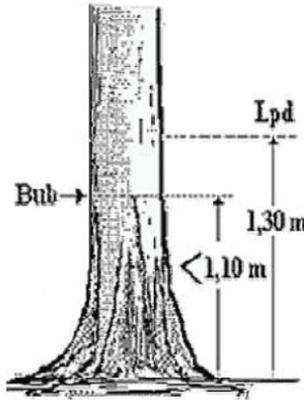
Pengambilan sample untuk menghitung cadangan karbon pada tanaman buah mengacu pada karbon pool yang menjadi lokasi penyimpanan karbon pada tanaman. Karbon pool yang diperhitungkan setidaknya ada 4 karbon pool yaitu: biomassa atas permukaan, biomassa bawah permukaan, bahan organik mati (serasah dan tanaman dibawah tajuk) dan karbon tanah. Dalam analisis ini, cadangan karbon dibawah permukaan tidak dilakukan pengukuran namun dihitung berdasarkan nisbah pucuk : akar yang nilainya merujuk pada literatur.

5.2 Metode Pengambilan Sample

Biomassa atas permukaan

Biomassa atas permukaan adalah semua material hidup diatas permukaan. Biomassa atas permukaan (bap) termasuk didalamnya cadangan karbon yang tersimpan pada batang, tunggul, cabang, kulit kayu, biji dan daun dari vegetasi. Dalam pengambilan sample ini, biomassa atas permukaan diestimasi dengan menggunakan persamaan alometrik menggunakan data parameter tanaman seperti diameter dan tinggi tanaman. Data yang dikumpulkan berupa data diameter setinggi dada (breast height diameter) dan ketinggian tanaman dari pangkal batang sampai pucuk tanaman.

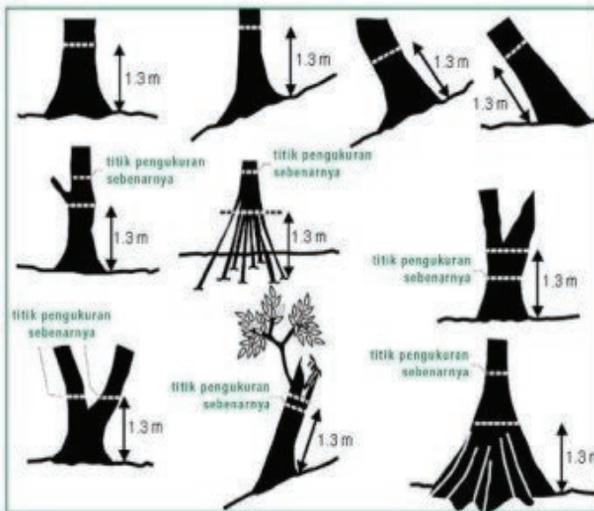
Namun demikian, batang tanaman memiliki bentuk yang berbeda-beda yang dipengaruhi oleh lokasi dan kondisi lingkungan. Proses pengukuran diameter dilakukan menggunakan meteran pada ketinggian seperti Gambar 7.



Keterangan:
 Bub = batas ujung banir
 Lpd = letak pengukuran diameter

Gambar 7. Petunjuk pengukurandiameter tanaman

Namun demikian, pengukuran diameter tanaman kemungkinan berbeda karena dipengaruhi oleh bentuk batang tanaman. Ketentuantinggi pengukuran mengacu pada Gambar 8.

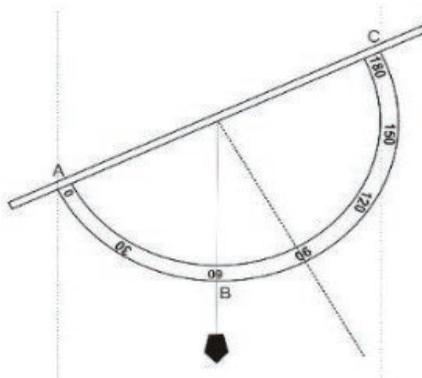


Gambar 8. Titik lokasi pengukuran diameter berdasarkan bentuk batang

Langkah-langkah pengukuran biomassa atas permukaan adalah:

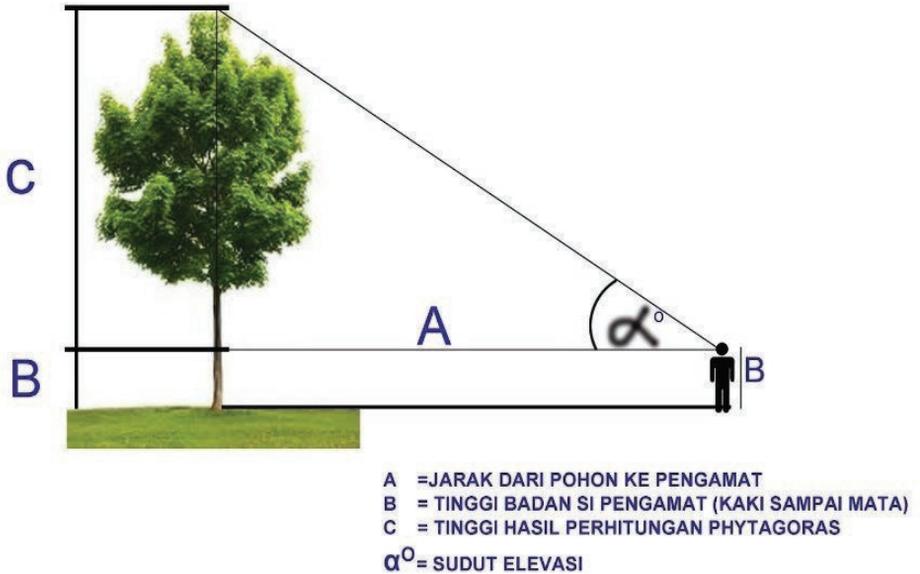
1. Menentukan lokasi pengambilan sampel (titik sample/lokasi tanaman) berdasarkan kelompok umur yang sudah ditentukan
2. Ukur diameter tanaman menggunakan meteran. Diameter diukur pada ketinggian sekitar 130 cm (setinggi dada orang dewasa) atau menyesuaikan dengan bentuk batang tanaman (Gambar 8)
3. Ukur jarak dari tanaman menggunakan meteran
4. Ukur tinggi tanaman menggunakan alat klinometer dari jarak pada langkah 3
5. Catat jarak dan nilai sudut yang dihasilkan oleh klinometer pada lembar kerja.

Pengukuran tinggi tanaman menggunakan klinometer (Gambar 9) mengacu pada prinsip pitagoras. Tinggi tanaman dapat dihitung jika nilai jarak dan sudut pengamatan diperoleh.



Gambar 9. Alat Ukur
Klinometer

Mengacu pada pendekatan persamaan pitagoras maka tinggi tanaman dihitung sebagai berikut (Gambar 10):



$$\text{TINGGI POHON} = C + B$$

$$C = \tan(\alpha^{\circ}) \times A$$

Gambar 10. Perhitungan tinggi tanaman menggunakan klinometer tanaman

Biomasa atas permukaan dihitung berdasarkan parameter tinggi dan diameter tanaman merujuk pada persamaan alometri yang didasarkan pada kondisi serta jenis tanaman. Saat ini (saat buku ini ditulis) persamaan alometri untuk tanaman buah belum tersedia, sehingga perhitungan merujuk pada salah satu persamaan Chave et al, (2005) untuk estimasi tanaman wilayah tropis berdasarkan tipe iklim. Lokasi kegiatan merupakan wilayah humid tropik dengan curah hujan 1500 – 4000 mm per tahun. Rumus yang digunakan adalah:

Keterangan:

$$\text{AGB} = 0.0509 \times \text{berat jenis} \times D^2 \times H$$

AGB = above ground biomass (biomassa atas permukaan)(kg/pohon)

D= diameter setinggi dada (cm)

H=tinggi tanaman (m)

Biomasa bawah permukaan

Seperti yang telah dijelaskan bahwa pengambilan sample untuk biomassa bawah permukaan tidak dilakukan secara langsung. Namun demikian untuk mengestimasi nilai biomassa bawah permukaan digunakan pendekatan Nisbah Pucuk : Akar. Perhitungan biomassa bawah permukaan dilakukan dengan pendekatan nisbah akar pucuk dengan persamaan berikut:

$$\text{Bbp} = \text{NAP} \times \text{Bap}$$

Keterangan:

Bbp =biomasa bawah permukaan

NAP = nisbah akar : pucuk.

Bap = Biomassa atas permukaan

Bahan organik tumbuhan bawah

Tumbuhan bawah mencakup semua vegetasi hidup yang tumbuh di atas tanah dengan tinggi kurang dari 1.5 m (termasuk semai). Tumbuhan bawah yang diambil sebagai sample adalah semua tumbuhan hidup yang berada dibawah tajuk tanaman berdiameter kurang < 5cm, herba, dan rumput-rumputan. Pengambilan contoh tumbuhan bawah yaitu dengan membuat kuadran dibawah tajuk tanaman. Kuadran berbentuk persegi dibuat menggunakan pipa paralon dengan ukuran 0.5 x 0.5 meter. Pengambilan contoh tanaman bawah dilakukan pada semua jenis tanaman bawah yang ada dalam kuadran tersebut.

Tahapan pengukuran biomassa dan analisis bahan organik untuk tanaman bawah dilakukan sebagai berikut:

1. Potong semua jenis tanaman bawah menggunakan pisau atau gunting
2. Masukkan kedalam plastik untuk dilakukan penimbangan dan analisis bahan organik
3. Penimbangan dan analisis bahan organik dilakukan di laboratorium

Perhitungan karbon tumbuhan bawah dihitung dengan persamaan:

$$\text{Karbon tumbuhan bawah} = \text{Biomassa tumbuhan bawah} \times \% \text{ C org}$$

Bahan organik serasah

Serasah merupakan bagian tanaman mati yang berada dibawah tajuk yang belum mengalami dekomposisi sempurna yang ditandai dengan masih utuhnya bentuk jaringan tanaman tersebut. Serasah mencakup semua bahan organik di lantai hutan yang belum terdekomposisi secara sempurna, misalnya daun-daunan, akar-akar rambut, dan ranting-ranting berdiameter kecil (<10 cm). Pengambilan contoh serasah dilakukan dengan membuat kuadran yang diletakkan secara acak dibawah tajuk tanaman.

Tahapan pengukuran biomassa serasah adalah sebagai berikut :

1. Kumpulkan seluruh serasah yang terdapat dalam kuadran
2. Masukkan kedalam plastik untuk ditimbang dan dianalisis
3. Penimbangan dan analisis bahan organik dilakukan di laboratorium

Perhitungan karbon serasah dihitung dengan persamaan :

$$\text{Karbon serasah} = \text{Biomassa serasah} \times \% \text{ C organik}$$

Contoh pengambilan sampel tumbuhan bawah dan serasah dalam kuadran/bingkai subplot ukuran 0.5 x 0.5 m dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Pengambilan sampel tumbuhan bawah dan serasah

Bahan organik tanah

Karbon tanah diukur melalui pengambilan contoh tanah sampai kedalaman tertentu untuk dianalisis lebih lanjut di laboratorium guna mengetahui kandungan karbon (*carbon content*) dan berat isi (*bulk density*). Adapun prosedur pengukuran cadangan karbon pada tanah dibedakan pada tanah mineral, tanah mangrove, dan tanah gambut. Pengukuran bahan organik tanah (umumnya lokasi tanaman buah pada tanah mineral) dilakukan dengan mengikuti prosedur sebagai berikut:

1. Ambil contoh tanah yang berada dibawah tajuk tanaman (dalam survey ini dilakukan 2 x ulangan pada 2 kedalaman yaitu kurang dari 50 cm dan lebih dari 50 cm).
2. Letakkan ring sampler pada masing-masing titik pengambilan sample.
3. Masukkan tanah yang diperoleh dari ring sample untuk dilakukan analisis biomassa dan kandungn bahan organik di laboratorium.

Perhitungan karbon tanah dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Karbon tanah} = \text{kedalaman} \times \text{kerapatan} \times \% \text{ C organik tanah}$$

5.1 Analisis data (c-stock buah tahunan/ha)

Perhitungan cadangan karbon total dalam plot pengukuran dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$C_{\text{plot}} = C_{\text{bap}} + C_{\text{bbp}} + C_{\text{serasah}} + C_{\text{tumbuhan}} + C_{\text{tanah}}$$

Namun demikian karena umumnya tingkat keragaman karbon tanah cukup tinggi, maka dalam survey ini perhitungan total karbon dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Karbon total (Ton/ha)} = C_{\text{bap}} + C_{\text{bbp}} + C_{\text{serasah}} + C_{\text{tumbuhan}}$$

Keterangan :

C_{bap} = karbon atas permukaan (Ton/ha)

C_{bbp} = karbon bawah permukaan (Ton/ha)

C_{serasah} = karbon serasah (Ton/ha)

C_{tumbuhan} = karbon tanaman bawah (Ton/ha)

BAB VI

STUDI KASUS STOK KARBON TANAMAN BUAH TAHUNAN

Sub bab ini menjelaskan tentang studi kasus dalam pengukuran stok karbon untuk tanaman buah tahunan. Komoditas tanaman buah yang dituliskan pada studi kasus ini adalah komoditas mangga. Beberapa hal yang dijelaskan dalam subbab ini adalah penentuan lokasi sample, persiapan pelaksanaan survey, proses pelaksanaan survey, perhitungan dan analisis data serta evaluasi terhadap data yang sudah diperoleh.

Lokasi kajian untuk pengambilan sample dilakukan di wilayah Rokunci D, Kec. Jamesa Oro-oro Ombo Wetan, Kecamatan Rembang, Kab. Pasuruan, Prov. Jawa Timur. Lokasi survey didasarkan atas pertimbangan adanya kawasan atau wilayah yang ada tanaman buah tahunan mangga. Pemilihan lokasi juga mempertimbangkan beberapa aspek diantaranya, kemudahan akses, ketersediaan ragam tanaman dengan ragam umur, jumlah ketersediaan tanaman buah. Ketersediaan ragam tanaman menjadi pertimbangan karena dalam pelaksanaan survey diperlukan tanaman dengan kelompok umur yang berbeda untuk dapat memberikan informasi dan data dari kelompok umur 0-5 tahun, 5-10 tahun dan lebih dari 10 tahun. Sedangkan untuk ketersediaan jumlah tanaman mengingat untuk kawasan biasanya dikembangkan dalam dalam waktu kurang dari 10 tahun sehingga ketersediaan tanaman menjadi salah satu pertimbangan dalam pemilihan lokasi pengambilan sample.

Dalam pelaksanaan survey peralatan yang diperlukan dan digunakan dalam pengambilan sample ini meliputi: GPS, Meteran, Alat ukur kelerengan (klinometer), Ring sampler untuk pengambilan contoh tanah, Peta kerja, Gunting, Plastik untuk penyimpanan dan Kuadran

Pengumpulan data untuk menghitung potensi cadangan karbon tanaman buah tahunan dilakukan dengan metode pengambilan data lapang (survey). Survey dilakukan dalam 2-3 hari atau tergantung dari kemudahan akses, lokasi dan juga ketersebaran tanaman untuk sample. Umumnya perencanaan perjalanan merupakan bagian dari perencanaan pengambilan sample. Merujuk pada literature, maka dalam inventarisasi cadangan karbon tanaman mangga ini, karbon pool yang diperhitungkan setidaknya ada 4 komponen karbon yaitu: biomassa atas permukaan, biomassa bawah permukaan, bahan organik mati (serasah dan tanaman dibawah tajuk) dan karbon tanah. Dalam analisis ini, cadangan karbon dibawah permukaan tidak dilakukan pengukuran namun dihitung berdasarkan nisbah pucuk:akar yang nilainya merujuk pada literatur.

6.1 Hasil survey dan pembahasan

6.1.1 Pendugaan cadangan karbon

Pendugaan cadangan karbon dihitung berdasarkan data survey dari masing-masing komponen. Berdasarkan hasil analisis, cadangan karbon tertinggi terdapat pada biomassa atas permukaan yang memberikan kontribusi cadangan karbon lebih dari 90% dari total cadangan karbon untuk tanaman mangga. Estimasi cadangan karbon untuk masing-masing komponen serta perhitungan cadangan karbon total dijelaskan pada masing-masing sub-bab selanjutnya.

6.1.2 Pendugaan biomassa dan cadangan karbon atas permukaan

Proporsi terbesar cadangan karbon untuk tanaman mangga berdasarkan hasil survey ini adalah pada biomassa atas permukaan. Pada pengambilan data survey mangga ini, pengambilan sample biomassa dilakukan pada tiga kelompok umur yaitu “kurang dari 5 tahun”, “5-10 tahun” dan “lebih besar dari 10 tahun”. Masing-masing kelompok umur dilakukan pengambilan sample sebanyak 2 kali ulangan. Hasil pengamatan terhadap masing masing kelompok umur disajikan dalam Tabel 3. Dalam perhitungan digunakan luasan plot = 100 m². Nilai ini merupakan luasan yang diwakili oleh satu pohon mangga pada lokasi kajian .

Tabel 3. Biomasa dan cadangan karbon atas permukaan tanaman mangga

Nama Plot	Kategori umur	Ulangan	Biomassa per pohon (Kg)	Karbon per pohon (Kg)	Biomassa Kering – BK (Ton/Ha)	Cadangan Karbon (Ton/Ha)
I	kurang dari 5 tahun	1	4.0	1.9	0.4	0.2
		2	13.9	6.5	1.4	0.7
Nilai Rataan			8.9	4.2	0.9	0.4
II	5-10 tahun	1	95.9	45.1	9.6	4.5
		2	90.6	42.6	9.1	4.3
Nilai Rataan			93.3	43.8	9.3	4.4
III	lebih dari 10 tahun	1	540.6	254.1	54.1	25.4
		2	708.6	333.0	70.9	33.3
Nilai Rataan			624.6	293.6	62.5	29.4

6.1.3 Pendugaan cadangan karbon bawah permukaan

Biomassa bawah permukaan umumnya diestimasi dengan menggunakan persamaan alometrik. Namun demikian untuk tujuan praktis estimasi cadangan karbon bawah permukaan untuk tanaman mangga pada survey ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan nisbah akra : pucuk (NAP). Mangga adalah jenis tanaman berkayu yang umumnya tumbuh di lahan kering. Tanaman berkayu yang tumbuh dilahan kering nisbah biomassa antara tajuk dan akar adalah 4:1. Dengan demikian kandungan karbon juga dihitung mengikuti nisbah tersebut. Berdasarkan hasil analisis biomassa atas permukaan maka nilai biomassa dan cadangan karbon bawah permukaan ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Biomassa dan cadangan karbon bawah permukaan tanaman mangga

Nama Plot	Kategori umur	Ulangan	Biomassa Kering – BK (Ton/Ha)	Cadangan Karbon (Ton/Ha)
I	kurang dari 5 tahun	1	0.06	0.03
		2	0.21	0.10
Nilai rata-rata			0.13	0.06
II	5-10 tahun	1	1.36	0.63
		2	8.12	3.73
Nilai Rataan			4.74	2.18
III	lebih dari 10 tahun	1	8.12	3.73
		2	10.64	4.90
Nilai Rataan			9.38	4.32

6.1.4 Pendugaan biomassa dan cadangan karbon serasah

Pendugaan biomassa dan karbon serasah dilakukan dengan mengambil seluruh serasah yang ada pada kuadran sample yang digunakan. Kemudian serasah tersebut dimasukkan kedalam kantong plastik untuk dilakukan analisis di laboratorium. Uji yang dilakukan adalah analisis komposisi karbon pada masing-masing sample serasah. Kemudian hasil kandungan karbon tersebut dikonversi menjadi cadangan karbon untuk lahan per Ha. Serasah yang ada di bawah tajuk mangga umumnya berupa sisa daun mangga serta ranting-ranting yang jatuh dari pohon mangga tersebut. Selain itu juga ada beberapa serasah yang berasal dari tumbuhan bawah yang ada dibawah tajuk tanaman mangga. Hasil analisis berat kering dan cadangan karbon serasah dibawah tajuk pada masing-masing kelompok umur tanaman mangga ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Biomasa kering dan cadangan karbon serasah di bawah tajuk tanaman mangga

Nama Plot	Kategori umur	Ulangan	Biomassa Kering – BK (Ton/Ha)	Cadangan Karbon (Ton/Ha)
I	kurang dari 5 tahun	1	0.003	0.001
		2	0.009	0.004
Nilai rata-rata			0.006	0.003
II	5-10 tahun	1	0.070	0.032
		2	0.066	0.030
Nilai Rataan			0.068	0.031
III	lebih dari 10 tahun	1	0.414	0.191
		2	0.543	0.250
Nilai Rataan			0.479	0.220

6.1.5 Pendugaan biomassa tumbuhan bawah

Tanaman bawah yang berada dibawah tanaman mangga umumnya berupa rumput-rumputan, herba dan semak. Untuk kajian ini, tanaman tersebut diambil dengan menggunakan gunting kemudian dimasukkan kedalam plastik yang kemudian dilakukan analisis di laboratorium. Tumbuhan bawah yang diambil adalah tumbuhan bawah yang masih hidup dari tanaman yang memiliki diameter < 5 cm, herba dan juga berbagai jenis rerumputan yang ada dibawah tajuk.

Hasil analisis laboratorium yang menunjukkan kandungan karbon pada luasan kuardan kemudian dikonversi untuk menghasilkan nilai cadangan karbon tanaman bawah dalam satuan Ton/Ha. Hasil analisis tersebut ditampilkan pada Table 6.

Tabel 6. Hasil analisis biomasa kering dan cadangan karbon tumbuhan bawah tajuk tanaman mangga

Nama Plot	Kategori umur	Ulangan	Biomassa Kering – BK (Ton/Ha)	Cadangan Karbon (Ton/Ha)
I	kurang dari 5 tahun	1	0.001	0.000
		2	0.002	0.001
Nilai rata-rata			0.001	0.001
II	5-10 tahun	1	0.017	0.008
		2	0.016	0.007
Nilai Rataan			0.017	0.008
III	lebih dari 10 tahun	1	0.087	0.038
		2	0.119	0.055
Nilai Rataan			0.103	0.047

6.1.6 Hasil pendugaan cadangan karbon tanah

Komponen terakhir pada kajian ini adalah pengambilan sample tanah untuk menghitung cadangan karbon yang ada pada tanah. Sample diambil pada dua kedalaman yaitu kedalaman kurang dari 10 cm dan lebih dari 10 cm.

Sample tanah diambil dengan menggunakan ring sampler pada dua kedalaman. Hasil sample tersebut kemudian dimasukkan kedalam kantong plastik untuk dilakukan analisis kandungan karbon di laboratoium. Hasil analisis karbon pada dua kedalaman ditampilkan pada Tabel 7.

Table 7. Hasil analisis komposisi karbon tanah

Nama Plot	Kategori umur	Ulangan	Kedalaman	Komposisi C organik (%w/w)
I	Kurang dari 5 tahun	1	0-10 cm	1.76
			10-20 cm	1.22
		2	0-10 cm	4.79
			10-20 cm	0.95
Rataan				2.18
II	5-10 Tahun	1	0-10 cm	4.24
			10-20 cm	1.52
		2	0-10 cm	1.01
			10-20 cm	1.69
Rataan				2.11
III	Lebih dari 10 tahun	1	0-10 cm	2.69
			10-20 cm	1.71
		2	0-10 cm	5.43
			10-20 cm	5.55
Rataan				3.85

Hasil analisis kandungan karbon tanah menunjukkan bahwa ada perubahan pada kandungan karbon di wilayah tanaman mangga yang memiliki umur > 10 tahun yaitu sebesar 3.85% (w/w) dibandingkan dengan kandungan karbon pada tanah dibawah tajuk tanaman mangga umur kurang dari 5 tahun dan umur 5-10 tahun. Kandungan karbon pada kedua kelompok umur tersebut adalah 2.18% dan 2.11% untuk kelompok umur kurang dari 5 tahun dan umur antara 5-10 tahun. Hal ini disebabkan karena ada proses dekomposisi yang terjadi selama periode tersebut yang mampu meningkatkan komposisi karbon bawah tajuk pada tanaman tersebut.

6.2 Cadangan karbon total

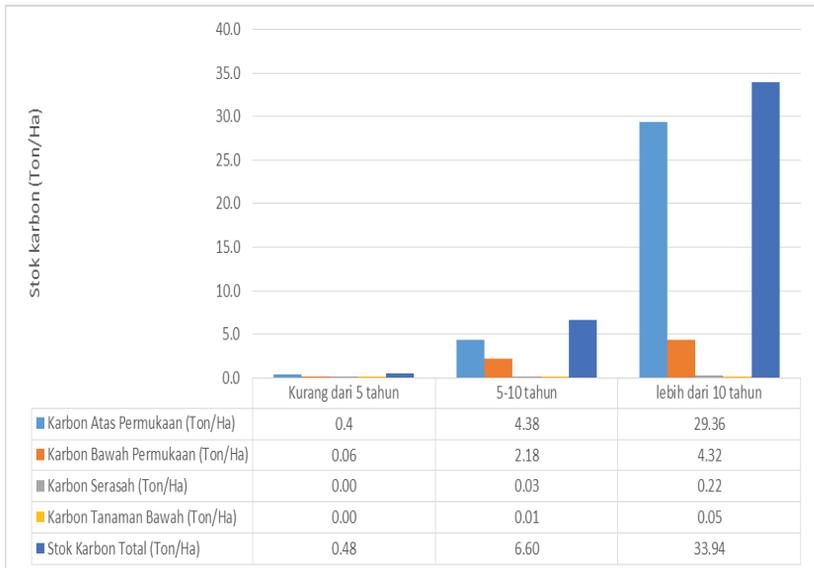
Berdasarkan hasil analisis dan data yang diperoleh dari lapangan, perhitungan karbon untuk tanaman mangga hanya melibatkan kandungan karbon untuk komponen biomasa atas permukaan, biomasa bawah permukaan, serasah, dan tanaman bawah. Komponen karbon tanah tidak disertakan dalam perhitungan berikut.

Tabel 8. Perhitungan karbon total

Kategori umur	Karbon Atas Permukaan (Ton/Ha)	Karbon Bawah Permukaan (Ton/Ha)	Karbon Serasah (Ton/Ha)	Karbon Tanaman Bawah (Ton/Ha)	Stok Karbon Total (Ton/Ha)
Kurang dari 5 tahun	0.4	0.06	0.00	0.00	0.48
5-10 tahun	4.38	2.18	0.03	0.01	6.60
lebih dari 10 tahun	29.36	4.32	0.22	0.05	33.94

Hasil analisis tersebut menunjukkan secara rata-rata berdasarkan sample yang diambil pada wilayah kajian tanaman mangga mampu menyimpan karbon sebesar 33.94 Ton/Ha untuk tanaman mangga yang memiliki umur lebih dari 10 tahun. Namun untuk tanaman mangga dengan umur 5-10 tahun dan kurang dari 5 tahun memiliki cadangan karbon total sebesar 6.60 ton/ha dan 0.48 ton/ha.

Sedangkan untuk masing-masing pohon mangga secara rata-rata pohon mangga yang memiliki umur kurang dari 5 tahun memiliki cadangan karbon sebesar 4.2 kg/pohon, kelompok umur 5-10 tahun memiliki cadangan karbon sebesar 43.8 kg/pohon dan kelompok umur lebih dari 10 tahun memiliki cadangan karbon sebesar 293.6 kg/pohon.



Gambar 12. Grafik total cadangan karbon tanaman mangga pada berbagai kelompok umur

6.3 Evaluasi Hasil Kajian

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari perhitungan bahwa cadangan karbon yang dimiliki oleh tanaman mangga dipengaruhi oleh umur tanaman. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa terjadi peningkatan cadangan karbon dengan bertambahnya umur tanaman. Namun demikian pada umur tanaman tertentu, tanaman mangga akan mencapai nilai maksimum dalam cadangan karbon. Hal ini disebabkan karena tanaman mangga dan tanaman buah lain pada umumnya memiliki usia produktif, dan setelah usia produktif tersebut tercapai maka tahapan selanjutnya adalah penurunan produktivitas dan juga biomassa tanaman. Hal ini menyebabkan terjadi penurunan juga dalam jumlah karbon yang mampu disimpan oleh tanaman. Hal ini sesuai dengan hal penelitian yang menunjukkan bahwa perhitungan cadangan karbon tanaman didasarkan atas nilai biomassa.

Dalam kaitannya dengan kegiatan mitigasi terhadap perubahan iklim, seperti yang tercantum dalam Peraturan Presiden No 98 tahun 2021 tentang tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional, mitigasi terhadap perubahan iklim dapat dilakukan dalam tiga aksi yaitu:

1. Mengurangi Emisi GRK,
2. Meningkatkan serapan karbon dan/atau
3. Penyimpanan/penguatan cadangan karbon

Sehingga perhitungan cadangan karbon untuk tanaman buah tahunan mampu memberikan kontribusi pada aksi mitigasi baik (1-3)

dengan penerapan pola pertanian baik serta rendah emisi. Dengan pola pertanian baik, pertumbuhan tanaman akan efektif dan mampu meningkatkan cadangan karbon. Dengan pola pertanian baik dan rendah emisi juga akan mampu mengurangi emisi sekaligus penguatan serapan karbon.

Secara alami, melalui proses metabolismenya yaitu fotosintesis, tumbuhan diberi kemampuan untuk mengkonsumsi CO₂ di atmosfer dan merubahnya menjadi bentuk energi (gugus gula) yang bermanfaat bagi kehidupan. Sebagian besar energi ini disimpan oleh tumbuhan dalam bentuk biomassa dan sekitar 50% dari biomassa merupakan karbon yang tersimpan pada tumbuhan. Dengan persentase sebesar ini biomassa pada tumbuhan adalah karbon yang tersimpan merupakan salah jenis karbon terestrial (daratan). Hutan merupakan salah satu ekosistem dengan komposisi tumbuhan yang dominan.

Namun demikian adanya degradasi luas hutan mampu mengurangi fungsi hutan sebagai cadangan karbon tinggi. Degradasi hutan ini perlu diimbangi dengan kegiatan lain yang mampu mengembalikan fungsi hutan sebagai resor/penyimpan karbon. Tanaman buah tahunan mampu mensupport fungsi hutan. Reboisasi merupakan salah satu upaya dalam mengembalikan fungsi hutan tersebut. Disisi lain, penanaman tanaman perkebunan mampu memberikan fungsi dan secara bersama-sama mampu berkontribusi sebagai resor karbon dan juga memberikan dampak ekonomi kepada masyarakat

BAB VII

TANTANGAN DALAM PENGUKURAN STOK KARBON

7.1 Penetapan Umur Tanaman

Untuk menganalisa besarnya cadangan karbon yang tersimpan pada tegakan tanaman buah tahunan yang berbeda umur dan peningkatan cadangan karbon sesuai umur, maka ditetapkan klasifikasi umur sebagai kurang dari 5 tahun, 5- 10 tahun dan lebih dari 10 tahun. Pertambahan umur tegakan pohon tanaman buah mempunyai kadar CO₂ yang terserap oleh tegakan tanaman di area/lahan berbeda. Kecenderungan cadangan karbon total meningkat seiring bertambahnya umur tanaman. Informasi umur tanaman untuk sample yang tidak berada dalam kawasan/ kebun tidak *tereregister* tercatat serta terdokumentasi.

Contoh pengukuran biomassa tanaman buah tahunan dilakukan melalui pengukuran diameter pada tegakan umur kurang dari 5 tahun; 5-10 tahun dan lebih dari 10 tahun selanjutnya dikonversikan dengan memakai persamaan alometrik 0,067 (D).

7.2 Penentuan Sampel (jumlah)

Penentuan sample untuk masing-masing klasifikasi umur sebanyak 2 kali ulangan menggunakan pendekatan *purposive sampling*. Lokasi petak bisa ditetapkan berdasarkan tahun tanam dari tegakan tanaman buah tahunan.

Tanaman buah tahunan belum memiliki konstanta dalam penyusunan rumus alometrik untuk estimasi biomassa pada pendekatan *non destructive*, sehingga proses perhitungan menggunakan pendekatan *Ketterings* (2001)

BAB VIII

PENUTUP

8.1 Rekomendasi dan Tindak Lanjut

Nilai stok karbon dipengaruhi oleh umur tanaman, lokasi dan jenis varietas. Sehingga pada tanaman dengan umur yang sama dapat memiliki nilai stok karbon yang berbeda. Selain itu, pengelompokan umur yang digunakan masih memiliki beberapa kelemahan. Misalnya penentuan umur tanaman berdasarkan informasi dari petugas dan petani, sehingga tingkat validitas masih perlu dikaji kembali. Oleh karena itu, diperlukan jumlah sample yang cukup mewakili sehingga didapatkan nilai rata-rata stok karbon yang memadai.

Kegiatan pengukuran yang telah dilakukan oleh Direktorat Jenderal Hortikultura masih terfokus pada beberapa zona wilayah terutama Pulau Jawa. Melihat validitas nilai data stock karbon tanaman buah tahunan pada kawasan Hortikultura di Indonesia masih kurang, diperlukan adanya replikasi dan penambahan sampel, sehingga dapat diambil data rata-rata yang akurat yang dapat mewakili. Oleh karena itu, untuk mewujudkan hal tersebut maka tindak lanjut yang dapat diambil kedepannya adalah :

1. Replikasi inventarisasi data sequestrasi karbon dari pertanaman berbagai komoditas hortikultura di Zona Sumatera, Zona Kalimantan, Zona Sulawesi, Zona Nusa Bali, dan Zona Papua.
2. Menyusun baseline, target dan rencana aksi mitigasi perubahan iklim pada sub sektor hortikultura.

3. Meningkatkan pemahaman dan kapasitas petugas pusat dan daerah, petani serta stakeholder terkait di daerah dalam rangka penanganan mitigasi dampak perubahan iklim

8.2 Implikasi Kebijakan

Berdasarkan Perpres No 98 tahun 2021 tentang penyelenggaraan nilai ekonomi karbon untuk pencapaian target kontribusi secara nasional dan pengendalian emisi gas rumah kaca, bahwa aksi mitigasi perubahan iklim dapat dilakukan dalam bentuk: a) Mengurangi emisi GRK, b) Meningkatkan serapan karbon, c) Penyimpanan/penguatan cadangan karbon. Dalam rangka kebijakan adaptasi dan mitigasi DPI Hortikultura khususnya dalam hal serapan karbon maka implikasi kebijakan oleh pemerintah pusat dan pemangku kepentingan yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Diarapkan pemerintah pusat dapat melakukan pemetaan pengembangan kawasan buah yang berpotensi di daerah dalam sequestrasi karbon.
2. Membentuk sinergi dan kolaborasi antara pemerintah pusat, daerah, akademisi, praktisi dan stakeholder terkait dalam rangka penguatan serapan dan cadangan karbon.
3. Mendorong secara intensif pengembangan kawasan buah tahunan terutama pada daerah dengan potensi sumber daya alam dan sumber daya lahan melalui dana APBN maupun APBD.
4. Melakukan bimbingan teknis bersama untuk meningkatkan kapasitas petugas terkait dalam pengukuran serapan karbon.

5. Diharapkan pemerintah daerah membuat regulasi dan menunjuk perangkat daerah untuk mengawal kegiatan adaptasi dan mitigasi dampak perubahan iklim dengan melibatkan KLHK, Dinas dan UPTP terkait dalam hal ini BTPH.
6. Diharapkan pemerintah daerah mempunyai inisiatif kerjasama dengan praktisi/LSM untuk peningkatan kapasitas maupun TOT sehingga petugas di daerah secara aktif dapat mengukur stok karbon di wilayah mereka.

DAFTAR BACAAN

- Hairiah, K., S. Rahayu. 2007. Pengukuran 'karbon tersimpan' di berbagai macam penggunaan lahan. World Agroforestry Centre- ICRAF SEA Regional Office. Bogor.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI. 2019. Peta Jalan Implementasi Nationally Determined Contribution. Mitigasi
- Ketterings, Q.M; R. Coe; M. Van Noordwijk; Y. Ambagau & C.A. Palm (2001). Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management*, 146, 199—209.
- Rusolono, T., T. Tiryana., J. Purwanto dan H. Sumantri. 2015. Panduan Survei Cadangan Karbon dan Keanekaragaman Flora di Sumatera Selatan. GIZ Biodiversity and Climate Change (BIOCLIME) Palembang.
- Yuliasmara, F., A. Wibawa., dan A. A. Prawoto. 2009. Karbon Tersimpan pada Berbagai Umur dan Sistem Pertanaman Kakao: Pendekatan Allometrik. *Pelita Perkebunan*. 25 (2), 8