



**ESTIMASI STOK KARBON TANAMAN PENEDUH JALAN
PROTOKOL KOTA SEMARANG**

Skripsi

disusun sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

Program Studi Biologi

oleh

Indah Sriwiyati

4411413014

JURUSAN BIOLOGI

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2018

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul “Estimasi Stok Karbon Tanaman Peneduh Jalan Protokol Kota Semarang” disusun berdasarkan hasil penelitian saya dengan arahan dosen pembimbing. Sumber informasi atau kutipan yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka di bagian akhir skripsi ini. Skripsi ini belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar dalam program sejenis di perguruan tinggi manapun.

Semarang, 18 Mei 2018



Indah Sriwiyati

4411413014

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul

Estimasi Stok Karbon Tanaman Peneduh Jalan Protokol Kota Semarang
disusun oleh

Indah Sriwiyati

4411413014

telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Matematika
dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang pada tanggal 18 Mei
2018



Ketua

Prof. Dr. Zaenuri, S.E., M.Si., Akt.
NIP. 196412231988031001

Panitia Ujian

Sekretaris

Dra. Endah Peniati, M.Si.
NIP. 196511161991032001

Ketua Penguji

Prof. Dr. Sri Ngabekti, M.S.
NIP. 195212191978031001

Anggota Penguji/
Pembimbing Utama

Dr. Ir. Nana Kariada Tri Martuti, M.Si.
NIP.196603161993102001

Anggota Penguji/
Pembimbing Pendamping

Drs. F. Putut Martin H.B., M.Si.
NIP. 196103091999031002

ABSTRAK

Sriwiyati, Indah. 2018. Estimasi Stok Karbon Tanaman Peneduh Jalan Protokol Kota Semarang. Skripsi, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Dr. Ir. Nana Kariada Tri Martuti, M.Si. dan Drs. F. Putut Martin Herry Boedijantoro, M.Si.

CO₂ merupakan salah satu gas rumah kaca yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor. Data dari Direktorat Lalu Lintas Kepolisian Daerah Jawa Tengah menunjukkan bahwa, jumlah kendaraan bermotor di Kota Semarang mencapai jumlah 16.879.068 dengan rincian 14.961.233 kendaraan bermotor roda dua dan 1.917.835 berupa kendaraan bermotor roda empat. Untuk mengurangi emisi CO₂ di perkotaan salah satu cara yang dapat dilakukan dengan pemanfaatan jenis-jenis tanaman yang mampu menyerap karbondioksida. Berdasarkan keadaan tersebut, maka estimasi cadangan karbon tanaman peneduh jalan perlu di hitung sebagai upaya mengetahui CO₂ yang dapat diserap tanaman peneduh.

Metode penelitian *Non Destructive Test* (NDT) digunakan dengan catatan jenis tanaman yang diukur sudah diketahui rumus allometriknya. Jika belum diketahui maka digunakan rumus allometrik spesifik untuk pohon bercabang (Kusmana *et al.* 1997). Penentuan stasiun penelitian dilakukan dengan metode *purposive*, yaitu secara sengaja dengan mempertimbangkan serta memperhatikan kondisi daerah penelitian. Penelitian dilakukan di tiga stasiun meliputi : Jalan Dr. Soetomo, Pemuda dan Gajah Mada. Seluruh tanaman peneduh yang berada di lokasi penelitian di jadikan sampel untuk mendapatkan hasil yang representatif.

Berdasarkan hasil perhitungan, Jalan Dr. Soetomo yaitu sebesar 1.971,108 Ton/Ha untuk nilai biomassa, 906,710 Ton/Ha simpanan karbon dan 3.327,624 Ton/Ha nilai serapan CO₂ terbesar dibandingkan 2 lokasi yang lain. Nilai biomassa, simpanan karbon, dan serapan CO₂ di pengaruhi besarnya kerapatan, diameter, dan berat jenis tanaman di lokasi penelitian.

Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa estimasi cadangan karbon tanaman peneduh di jalan protokol kota Semarang dengan serapan sebesar 4.810,165 Ton/Ha mempunyai simpanan karbon sebesar 1.310,672 Ton/Ha.

Kata kunci: biomassa, kerapatan, serapan CO₂, simpanan karbon, tanaman peneduh

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan karunia-Nya, penulis bisa menyelesaikan skripsi yang berjudul “Estimasi Stok Karbon Tanaman Peneduh Jalan Protokol Kota Semarang”. Shalawat serta salam tidak lupa penulis haturkan kepada nabi besar Muhammad SAW, yang telah membawa cahaya iman bagi setiap umatnya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, yang telah memberikan dukungan baik moril maupun materil. Oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terimakasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Rektor Universitas Negeri Semarang, atas kesempatan yang diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan studinya.
2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, atas izin yang diberikan kepada penulis untuk melakukan penelitian.
3. Ketua Jurusan Biologi, atas kemudahan administrasi dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Dr. Ir. Nana Kariada Tri Martuti, M.Si. dan Drs. F. Putut Martin Herry Bodijantoro, M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan dengan penuh kesabaran sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.
5. Prof. Dr. Sri Ngabekti, M.S. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan yang sangat berguna untuk penyempurnaan skripsi ini.
6. Bapak dan ibu Dosen Biologi yang telah memberikan bekal ilmu yang tak ternilai harganya selama saya belajar di Biologi FMIPA UNNES.
7. Seluruh staf administrasi di UNNES termasuk perpustakaan jurusan Biologi dan perpustakaan pusat UNNES, melalui referensi buku-buku yang telah membantu dan memperlancar penyusunan skripsi ini.
8. Dinas Pertamanan Kota Semarang yang telah berkenan membantu dan bekerjasama dalam proses penelitian.

9. Laboratorium Fakultas Pertanian Program Studi Ilmu Tanah Universitas Sebelas Maret yang telah berkenan membantu dan bekerjasama dalam proses penelitian ini.
10. Bapak Sugiyanto, ibu Sanipah Ipul, Galuh Titis Randi Kartika dan Keluarga besar yang telah membantu dan memberikan dukungan selama ini.
11. Sahabatku Sinta Maulana dan teman-temanku Windi, Alfi, Irma, Rahma, Nia, Erik, Zainal, Syarif yang telah membantu penelitian ini.
12. Segenap teman-teman Biogenic Biologi 2013 terima kasih atas bantuan, dukungan dan kerjasamanya selama ini.
13. Segenap pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini.

Semoga segala bantuan, bimbingan, dukungan, dan pengorbanan yang telah diberikan kepada penulis menjadi amal baik dan mendapat imbalan dari Allah SWT. Akhirnya besar harapan penulis, mudah-mudahan skripsi ini bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Semarang, 18 Mei 2018

Penulis

MOTTO

Sungguh, Rabb-mu telah memerintahkan kepada manusia janganlah ia beribadah melainkan hanya kepadaNya dan hendaklah berbuat baik kepada kedua orang tua dengan sebaik-baiknya. Dan jika salah satu dari keduanya atau kedua-duanya telah berusia lanjut disisimu maka janganlah katakan kepada keduanya ‘ah’ dan janganlah kamu membentak keduanya (Al-Isra : 23)

Dan katakanlah kepada keduanya perkataan yang mulia dan rendahkanlah dirimu terhadap keduanya dengan penuh kasih sayang. Dan katakanlah ,”Wahai Rabb-ku sayangilah keduanya sebagaimana keduanya menyayangiku di waktu kecil” (Al-Isra : 24)

Sungguh, mereka bertanya kepadamu (Muhammad) tentang apa yang mereka infakkan. Jawablah,”Harta yang kamu nafkahkan hendaklah diberikan kepada ibu bapakmu, kaum kerabat, anak-anak yatim, orang-orang miskin dan orang-orang yang sedang dalam perjalanan. Dan apa saja kebaikan yang kamu perbuat sesungguhnya Allah Maha Mengetahui” (Al-Baqarah : 215)

PERSEMBAHAN

Untuk Ibu, Bapak, Nenek, dan Calon
Suamiku

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
PENGESAHAN	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Penegasan Istilah	6
1.4 Tujuan Penelitian	7
1.5 Manfaat Penelitian	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Stok Karbon	8
2.2 Emisi CO ₂	9
2.3 Siklus Karbon	11

2.4 Tanaman Peneduh	13
2.5 Karbon Organik Tanah.....	16
2.6 Penyerapan Gas Karbondioksida oleh Tanaman	18
2.7 Faktor Lingkungan.....	19
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	22
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	22
3.2 Populasi dan Sampel	23
3.3 Rancangan Penelitian	23
3.4 Alat dan Bahan Penelitian	24
3.5 Prosedur Penelitian	27
3.6 Analisis Data	31
3.7 Metode Analisis Data	36
BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Estimasi Cadangan Karbon Tanaman Peneduh	37
4.2 Struktur dan Komposisi Jenis	45
4.3 Serapan dan Simpanan Karbon dengan Karbon Organik Tanah	54
BAB 5 SIMPULAN DAN SARAN	59
5.1 Simpulan.....	59
5.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	61
DAFTAR LAMPIRAN	66

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Daftar Tanaman Peneduh Penyerap CO ₂	19
2. Alat Penelitian di Lapangan	25
3. Bahan Penelitian di Lapangan	25
4. Alat Penelitian di Laboratorium	26
5. Bahan Penelitian di Laboratorium	26
6. Persamaan Allometrik Spesifik dan Umum	33

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.Tahapan Siklus Karbon pada Tanaman.....	9
2. Siklus Karbon pada Tanaman.....	12
3.Karbon Organik	17
4.Peta Lokasi Penelitian	22
5.Pengukuran DBH Berbagai Kondisi	29
6.Pengambilan Sampel Tanah	30
7. Hubungan Faktor Lingkungan dan Kerapatan	18
8. Serapan dan Simpanan Karbon dengan Karbon Organik.....	54
9.Hubungan Karbon Organik dan Kerapatan	57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Diameter dan Biomassa Jenis Tanaman Stasiun 1.....	51
2. Diameter dan Biomassa Jenis Tanaman Stasiun 2.....	75
3. Diameter dan Biomassa Jenis Tanaman Stasiun 3.....	84
4. Luas Stasiun Penelitian	94
5. Faktor Lingkungan.....	94
6. Contoh Perhitungan	95
7. Data Berat Jenis Kayu	96
8. Analisis C-Organik	97
9. Dokumentasi Kegiatan	99

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia dengan jumlah penduduk mencapai 255 juta jiwa, merupakan pangsa pasar yang sangat potensial untuk penjualan kendaraan bermotor. Sebagian besar masyarakat Indonesia memanfaatkan kendaraan sebagai sarana transportasi. Hal ini dapat dilihat dari besarnya tingkat pertumbuhan kendaraan bermotor yang menembus angka 18% per tahun (BPS 2014). Tingkat pertumbuhan kendaraan bermotor yang tinggi, di satu sisi dapat mendorong tingkat pertumbuhan ekonomi, akan tetapi di sisi lain dapat menimbulkan dampak lingkungan yang sangat serius seperti penurunan kualitas lingkungan dan efek rumah kaca (Sedjarwan 2014).

Kota Semarang dikenal sebagai salah satu kota metropolitan berpenduduk sekitar 1.634.482 jiwa (Dispendukcapil 2016). Luas wilayah Kota Semarang 373,7 Km². Batas wilayah administratif sebelah barat adalah Kabupaten Kendal, sebelah timur dengan Kabupaten Demak, sebelah selatan Kabupaten Semarang dan sebelah utara dibatasi oleh Laut Jawa. Kota Semarang memiliki posisi astronomi di antara garis 6^o50'–7^o10' Lintang Selatan dan garis 109^o35'–110^o50' Bujur Timur (Perda Semarang 2010). Kota merupakan perwujudan pusat kegiatan manusia meliputi pusat industri, pemerintahan, kesehatan, pendidikan dan lainnya. Perkembangan kota diikuti dengan adanya mengakibatkan penurunan kualitas

lingkungan perkotaan yang ditandai dengan semakin meningkatnya pencemaran udara (Windardi 2014).

Data dari Direktorat Lalu Lintas Kepolisian Daerah Jawa Tengah, jumlah kendaraan bermotor di Kota Semarang pada tahun 2015 jumlah 16.879.068 dengan rincian 14.961.233 kendaraan bermotor roda dua dan 1.917.835 berupa kendaraan bermotor roda empat. Dengan semakin tingginya jumlah kendaraan bermotor di Kota Semarang, maka penggunaan konsumsi bahan bakar minyak mencapai 6.816.377 Kilo Liter (BPS 2015).

Bahan bakar fosil dimanfaatkan kendaraan bermotor sebagai sumber tenaga penggerak. Proses pembakaran bahan bakar menghasilkan gas sisa pembakaran yang disebut emisi seperti NO_x , CO_x , dan SO_x (Amirudin 2008). Gas yang dihasilkan emisi kendaraan bermotor salah satunya adalah karbondioksida (CO_2). Peningkatan penggunaan bahan bakar fosil tersebut akan meningkatkan pula gas karbondioksida (CO_2) yang merupakan gas rumah kaca penyebab utama pemanasan global (Suprihatno 2012).

Pemanasan global merupakan peristiwa meningkatnya temperatur rata-rata di seluruh permukaan bumi, sebagai akibat naiknya konsentrasi gas rumah kaca seperti karbondioksida (CO_2), dinitro-oksida (N_2O), *methane* (CH_4), *Perfluorocarbon* (PFC) dan *hydrofluorocarbon* (HFC) (Efendi *et al.* 2012). Pemanasan global merupakan salah satu permasalahan internasional yang saat ini menjadi perhatian serius masyarakat dunia. Dampak pemanasan global antara lain terjadinya perubahan iklim global, suhu bumi semakin meningkat, peningkatan permukaan air laut, gangguan ekologis dan dampak sosial

politik (IPCC 2009). Salah satu pendekatan penting yang dapat dilakukan dalam mengurangi emisi CO₂ di atmosfer, yaitu pemanfaatan jenis-jenis tanaman peneduh yang mampu menyerap karbondioksida.

Tanaman peneduh adalah jenis tanaman yang mempunyai percabangan dengan tinggi lebih dari 2 meter, digunakan sebagai tanaman penghijauan yang ditanam dipinggir jalan raya (Hairiah&Rahayu 2007). Secara umum syarat tanaman yang dapat digunakan sebagai tanaman peneduh antara lain mempunyai perakaran yang kuat, pertumbuhan tanaman cepat, tidak memerlukan perawatan yang intensif, tanaman berumur panjang, dapat menghasilkan oksigen serta mampu hidup pada lingkungan yang ekstrim (Santoso 2011). Fungsi tanaman peneduh, yaitu: memperbaiki iklim mikro, penjerap polutan, penjerap CO₂, menambah nilai estetika jalan, penahan silau, peredam kebisingan, dan memberi keteduhan pengguna jalan (Sutradharma2011). Jenis tanaman peneduh yang mempunyai kemampuan sebagai penjerap bahan pencemar maupun CO₂, antara lain beringin (*Ficus benjamina*), mahoni (*Swietenia mahagoni*), angsa (*Pterocarpus indicus*), asem jawa (*Tamarindus indica*), flamboyan (*Delonix regia*), ketapang (*Terminalia catappa*), akasia (*Acacia auriculiformis*), glodokan (*Polyalthea longifolia*) (Mukhlison 2013).

Jalan Gadjah Mada, Pemuda dan Dr.Soetomo merupakan jalan protokol di Kota Semarang yang dipilih sebagai lokasi penelitian dikarenakan kepadatan lalu lintasnya tinggi. Data Kepadatan lalu lintas pada jalan protokol rata-rata tahun 2016 pada Jalan Pemuda mencapai 3226.4 per jam, Jalan Dr.Soetomo mencapai 2832.1 per jam dan Jalan Gadjah Mada mencapai 2687.3 per jam (Dishub 2016).

Berbagai jenis tanaman yang terdapat pada jalan-jalan tersebut digunakan sebagai tanaman peneduh yang dapat membantu dalam penyerapan CO₂. Hasil observasi awal diketahui jenis tanaman peneduh yang terdapat di jalan Gadjah mada meliputi angšana (*Pterocarpus Indicus*), akasia (*Acacia auriculiformis*), glodokan (*Polyalthea longifolia*), asamjawa (*Tamarindus indica*), mahoni (*Swettiana mahagoni*). Sedangkan pada jalan Pemuda dan Dr. Soetomo mempunyai jenis tanaman peneduh yang sama antara lain angšana (*Pterocarpus Indicus*), glodokan (*Polyalthea longifolia*), asam jawa (*Tamarindus indica*). Dari hasil studi literatur, jenis-jenis tanaman tersebut mempunyai kemampuan dalam menyerap CO₂ melalui proses fotosintesis. Sehingga tanaman-tanaman tersebut dijadikan sebagai upaya untuk mengurangi emisi CO₂ yang dihasilkan oleh emisi kendaraan bermotor di jalan protokol Kota Semarang (Mukhlison 2013).

Tanaman peneduh pada jalan yang intensitas kendaraanya cukup tinggi memiliki fungsi sebagai penjerap CO₂ yang dihasilkan kendaraan bermotor dan gas buangan CO₂ dari aktivitas lainnya (Martuti 2013). Tanaman mengurangi CO₂, dengan proses fotosintesa yang umumnya terjadi pada semua tumbuhan hijau yang memiliki kloroplast atau pada semua tumbuhan yang memiliki zat warna adanya peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer akan merangsang proses fotosintesis dengan mengikat gas CO₂ di udara dengan bantuan molekul H₂O dan energi foton cahaya tampak (Hwang 2010).

Sekuentrasi (*C-sequestration*) merupakan proses penimbunan C dalam tubuh tanaman hidup. Karbondioksida di atmosfer diserap oleh tanaman melalui

fotosintesis diubah menjadi karbohidrat, selanjutnya disebarkan keseluruh tubuh tanaman dan akhirnya ditimbun diseluruh bagian tubuh tanaman (Alongi 2012). Hairiah dan Rahayu (2014) menyatakan, karbon yang diserap akan diubah menjadi biomassa (*carbon sink*) dan sekaligus akan disimpan dalam sistem sebagai stok karbon (*carbon stock*). Dengan demikian mengukur jumlah C yang disimpan dalam tubuh tanaman hidup (biomassa) pada suatu lahan dapat menggambarkan banyaknya CO₂ di atmosfer yang diserap oleh tanaman (Berenguer *et al.* 2014). Jumlah cadangan karbon tersimpan dalam tanaman perlu diukur untuk mengetahui besarnya cadangan karbon yang mampu diserap tanaman. Adanya pengukuran cadangan karbon pada tanaman dapat diketahui berapa hasil perolehan cadangan karbon yang terserap.

Hingga saat ini data mengenai estimasi stok karbon pada tanaman peneduh jalan, khususnya di jalan protokol Kota Semarang masih belum tersedia. Sehingga adanya data tentang estimasi stok karbon pada tanaman peneduh jalan protokol perlu untuk diteliti, untuk mengetahui kemampuan tanaman tersebut dalam menyimpan karbon.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka rumusan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah:

1. Seberapa besar estimasi cadangan karbon tanaman peneduh di jalan protokol Kota Semarang?
2. Bagaimana struktur dan komposisi jenis tanaman peneduh di jalan protokol Kota Semarang?

3. Bagaimana hubungan struktur dan komposisi jenis dengan faktor lingkungan?
4. Bagaimana hubungan serapan karbon dan simpanan karbon pada tanaman peneduh dengan karbon organik tanah?

1.3 Penegasan Istilah

1. Estimasi stok karbon adalah kegiatan memperkirakan karbon yang tersimpan pada suatu tanaman peneduh (Krisnawati *et al.* 2012). Estimasi stok karbon dalam penelitian ini adalah kemampuan tanaman peneduh jalan protokol Kota Semarang dalam menyerap karbon dari lingkungan. Penelitian estimasi ini dilakukan dengan mengukur *Diameter at Breast Height* (DBH). Untuk mengetahui jumlah kandungan karbon dihitung menggunakan menurut rumus persamaan allometrik (Krisnawati *et al.* 2012).
2. Tanaman peneduh merupakan tanaman yang ditanam sebagai tanaman penghijauan yang ditanam di pinggir jalan raya dan jalan-jalan padat transportasi Kota Semarang, yaitu Jalan Gadjah Mada, Pemuda, dan Dr. Soetomo. Tanaman peneduh yang akan diteliti semua jenis tanaman peneduh seperti Asam jawa (*Tamarindus indica*), glodokan (*Polyalthea longifolia*), Angsana (*Pterocarpus indicus*).
3. Jalan Protokol yang dimaksudkan dalam penelitian ini jalan protokol di kota Semarang, yaitu Jalan Gadjah Mada, Jalan Pemuda dan Jalan Dr. Soetomo. Sepanjang jalan tersebut terdapat tanaman peneduh dan intensitas transportasi lalu lintas cukup tinggi.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menghitung besarnya cadangan karbon yang tersimpan dalam biomassa tanaman peneduh jalan protokol Kota Semarang.
2. Mengetahui struktur dan komposisi jenis tanaman peneduh di jalan protokol Kota Semarang.
3. Mengetahui hubungan serapan karbon dan simpanan karbon pada tanaman peneduh dengan karbon organik tanah di jalan protokol Kota Semarang.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Manfaat teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi landasan untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan estimasi cadangan karbon pada tanaman peneduh jalan pada jalan-jalan protokol.

2. Manfaat praktis

Memberi informasi kepada pelaku Badan Lingkungan Hidup, Dinas Tata Ruang Kota Semarang dan Dinas Pertamanan pada khususnya dan masyarakat luas pada umumnya terkait estimasi stok karbon tanaman peneduh jalan sebagai penyimpan carbon (*carbon sink*) yang dapat dijadikan sebagai rekomendasi menentukan kebijakan tata ruang kota.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Stok Karbon

Cadangan karbon atau stok karbon adalah kandungan karbon tersimpan baik itu pada permukaan tanah sebagai biomasa tanaman, sisa tanaman yang sudah mati (nekromasa), maupun dalam tanah sebagai bahan organik tanah (Hwang 2010). Adanya stok karbon menggambarkan seberapa besar tumbuhan tersebut dapat mengikat CO₂ di udara. Oleh karena itu, sebagian karbon akan menjadi energi untuk proses fisiologi tanaman dan sebagian masuk kedalam struktur tumbuhan dan menjadi bagian dari tumbuhan, misalnya selulosa yang tersimpan pada batang, akar, ranting dan daun (Heriyanto & Subiandono 2012).

Larasati (2012) menjelaskan, proses penimbunan karbon (C) dalam tubuh tumbuhan hidup dinamakan proses sekuestrasi (*C-Sequestration*). Pengukuran jumlah C yang tersimpan dalam tubuh tanaman hidup biomassa pada suatu lahan dapat menggambarkan banyaknya CO₂ di atmosfer yang diserap oleh tanaman. Oleh karena itu, ukuran volume tanaman kemudian menjadi ukuran jumlah karbon yang tersimpan sebagai biomassa (cadangan karbon).

Siklus karbon dibagi menjadi 3 tahapan proses yaitu proses penyerapan, penyimpanan, dan pengeluaran (Lugina *et al.* 2011). Proses penyerapan yaitu tumbuhan menyerap CO₂ di atmosfer untuk membentuk daun, batang, dan akar melalui proses yang dikenal sebagai proses fotosintesis. Pada proses penyimpanan karbon yang diserap akan disimpan pada bagian daun, batang, dan akar. Tumbuhan menyimpan karbon terbanyak pada bagian batangnya. Proses

pengeluaran karbon pada tumbuhan disebabkan oleh beberapa hal seperti penebangan pohon, pembukaan lahan dan pembakaran hutan (Alongi 2012).



Gambar1. Tahapan siklus karbon pada tanaman (Alongi 2012)

Perubahan wujud karbon kemudian menjadi dasar untuk menghitung emisi, dimana sebagian besar unsur C yang terurai ke udara biasanya terikat dengan O_2 dan menjadi CO_2 . Sebagai akibatnya ketika satu hektar hutan menghilang, maka biomassa pohon-pohon tersebut cepat atau lambat akan terurai dan unsur karbonnya terikat ke udara menjadi emisi. Ketika satu lahan kosong ditanami tumbuhan, maka akan terjadi proses pengikatan unsure C dari udara kembali menjadi biomassa tumbuhan secara bertahap ketika tanaman tersebut tumbuh besar (sekuestrasi) (Harja *et al.*2012).

2.2 Emisi CO_2

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 4 Tahun 2014 pasal 1 ayat 4, emisi adalah zat, energi dan/atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk dan/atau dimasukkannya ke dalam udara ambien yang mempunyai dan/atau tidak mempunyai potensi sebagai unsur pencemar. Emisi karbon merupakan salah satu penyebab terjadinya pemanasan global (Brown 2008). Seperti diketahui, pemanasan global merupakan kejadian terperangkapnya

radiasi gelombang panjang matahari (gelombang panas), panas yang dilepaskan dari bumi diserap oleh karbon dioksida di udara dan dipancarkan kembali ke permukaan bumi, sehingga proses tersebut akan memanaskan bumi (Parish *et al.* 2009).

Channan (2011) menjelaskan, emisi biasanya dinyatakan dengan setara ton CO₂ dan sumber-sumber emisi karbondioksida dapat dikategorikan menjadi 4 macam.

1. Sumber bergerak yaitu sumber emisi yang bergerak atau tidak tetap pada suatu tempat yang berasal dari kendaraan bermotor
2. Sumber tidak bergerak yaitu sumber emisi yang tetap pada suatu tempat, misalnya konsumsi energi listrik diperumahan
3. Proses industri antara lain proses penambangan minyak, proses kimiawi dan lainnya
4. Hasil buangan (pembuangan sampah) antara lain buangan rumah tangga, buangan hasil industri dan lainnya.

Aliran karbon agar terdegradasi dibagi dalam dua arah, yaitu pengikatan CO₂ oleh atmosfer kemudian hilang akibat proses dekomposisi dan adanya penyerapan oleh tanaman. Secara alami karbondioksida yang ada di udara berasal dari emisi gunung berapi dan aktivitas mikroba dalam tanah (perombakan bahan organik), dan respirasi tumbuhan serta hasil pernapasan manusia. Karbondioksida yang dihasilkan secara tidak alami berasal dari adanya aktivitas manusia dalam penggunaan bahan bakar fosil (Hairiyah & Rahayu 2014).

Penyumbang emisi terbesar CO₂ perkotaan adalah bahan bakar fosil yang berasal dari kendaraan bermotor dan pembangkit listrik. Berdasarkan data Puslitbangkim (2010), menunjukkan sekitar 71%-89% dari keseluruhan perkiraan emisi CO₂ sebesar 5,8 juta ton sampai 8,7 juta ton berasal dari pembakaran bahan bakar fosil, sementara antara 10%-28% bersumber dari pembakaran hutan.

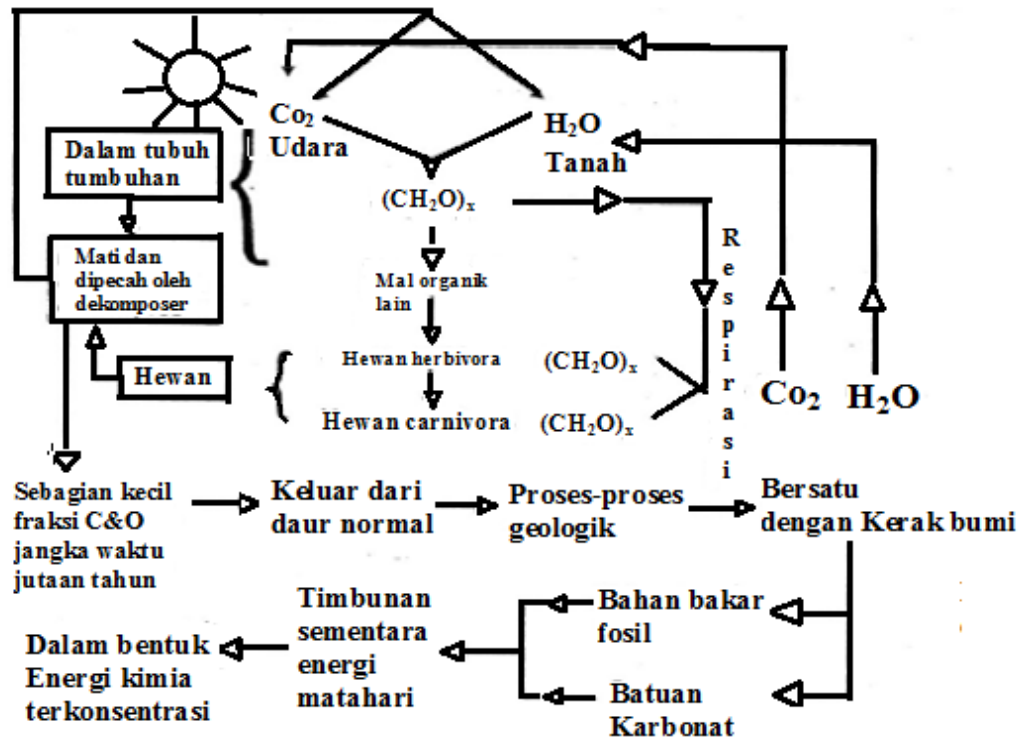
Manusia sebagai makhluk hidup juga menghasilkan gas CO₂ secara alami, rata-rata manusia bernapas dalam keadaan sehat yang hanyamelakukan pergerakan sekitar 12-18 kali per menit, banyaknya berkisar 500 ml udara dalam 1 menit atau 360-540 liter dalam 1 jam sehingga, jumlah gas CO₂ yang dihasilkan dari pernapasan manusia dalam 1 jam sebanyak 39,6 gr CO₂ (Dahlan 2011).

2.3 Siklus Karbon

Siklus karbon merupakan siklus biogeokimiawi yang mencakup proses dan reaksi kimia, fisika, geologi dan biologi yang membentuk komposisi lingkungan alam (termasuk biosfer, hidrosfer, pedosfer, atmosfer, dan litosfer), serta siklus zat dan energi yang membawa komponen kimiawi bumi dalam ruang dan waktu (Sutradharma 2011).

Karbon adalah bahan penyusun dasar semua senyawa organik, pergerakannya melalui suatu ekosistem berbarengan dengan pergerakan energi, melebihi zat kimia lain, C selalu berikatan dengan O membentuk CO₂ pada saat proses respirasi dan fotosintesis berlangsung. Dalam peristiwa ini cahaya matahari menjadi motor penggerak daur C dan O. Dengan adanya energi cahaya matahari maka CO₂ dan H₂O diubah menjadi karbohidrat di dalam tubuh tanaman hijau melalui proses fotosintesis. Melalui rantai makanan, karbohidrat ditransfer ke

tubuh hewan, dan dengan proses respirasi terjadi CO_2 (di udara maupun di air) dan H_2O (dalam tanah). Pada saat tanaman dan hewan mati oleh dekomposer melalui proses pembusukan dihasilkan pula CO_2 , dan ini akan dipakai kembali untuk kelangsungan fotosintesis (Gambar 2).



Gambar2. Siklus karbon pada tanaman (Sutradharma 2011)

Meskipun CO_2 terdapat di atmosfer dengan konsentrasi yang relatif rendah (sekitar 0,03%), karbon bersiklus ulang dengan laju yang relatif cepat. Oleh karena itu tumbuhan mempunyai kebutuhan yang tinggi akan gas ini. Setiap tahun tumbuhan mengeluarkan sekitar sepertujuh dari keseluruhan CO_2 yang terdapat di atmosfer jumlah ini kira-kira diseimbangkan melalui respirasi (Moore *et al.* 2000).

Gangguan terhadap daur CO_2 dapat terjadi karena adanya peningkatan penggunaan bahan bakar pada kendaraan bermotor dan berkembangnya industri.

Bila kadar CO₂ melampaui kadar normal CO₂ di atmosfer maka akan terjadi *greenhouse effect*. *Greenhouse effect* ialah terbentuknya lapisan CO₂ yang berperan menghambat pemancaran kembali panas cahaya matahari ke atmosfer.

2.4 Tanaman Peneduh

Tanaman peneduh adalah jenis tanaman berbentuk pohon dengan percabangan yang tingginya lebih dari dua meter dan dapat memberikan manfaat, keteduhan dan penahan silau cahaya matahari bagi pengguna jalan, penyerap polutan-polutan diudara. Tanaman peneduh juga berfungsi dalam menambah nilai estetika jalan (Mukhlison 2013). Santoso (2011) menyampaikan, secara umum tanaman yang dapat dijadikan sebagai tanaman peneduh mempunyai syarat sebagai berikut.

1. Mempunyai perakaran yang dalam, kuat, tidak mudah tumbang, dan tidak mudah menggurkan ranting dan daun.
2. Pertumbuhan tanaman cepat.
3. Tidak memerlukan perawatan yang intensif.
4. Tanaman berumur panjang.
5. Dapat menghasilkan oksigen dan meningkatkan kualitas lingkungan kota dalam menyerap polutan di udara serta mampu hidup pada lingkungan yang ekstrim (tanah tidak subur, udara dan air tercemar).

Jenis-jenis tanaman yang umumnya digunakan untuk tanaman peneduh jalan antara lain Mahoni (*Swettiana mahagoni*), Asam jawa (*Tamarindus indica*), Trembesi (*Samanea saman*), Angsana (*Pterocarpus indicus*), Glodokan (*Polyalthea longifolia*), flamboyan (*Delonix regia*), ketapang (*Terminalia*

catappa), akasia (*Acacia auriculiformis*), beringin (*Ficus benjamina*) (Purwanti 2008). Jenis tanaman tersebut efektif dalam pengendalian pencemaran udara di perkotaan khususnya bahan pencemar seperti nitrogen dioksida (NO₂), karbon monoksida (CO), timbal (Pb) bahkan memiliki kemampuan daya serap terhadap CO₂. Selain memiliki daya tahan yang tinggi terhadap paparan polutan jenis tanaman tersebut memenuhi atas persyaratan silvikultural, manajemen dan estetika (Mukhlison 2013).

Vegetasi merupakan komponen alam yang mampu mengendalikan iklim melalui pengendalian fluktuasi atau perubahan unsur-unsur iklim yang ada di sekitarnya misalnya suhu, kelembapan, intensitas cahaya dan curah hujan, serta menentukan kondisi iklim setempat dan iklim mikro (Indriyanto 2006). Iklim mikro terbentuk di dalam suatu tegakan hutan kota. Elemen iklim mikro dalam hal ini adalah suhu, kelembapan relatif, intensitas cahaya serta arah dan kecepatan angin. Proses metabolisme atau fisiologis tumbuhan memiliki efek terhadap suhu udara lingkungan sekitarnya. Proses ekofisiologi yang menyebabkan terbentuknya iklim mikro adalah proses transpirasi dan evaporasi (Fandeli 2004).

Evaporasi merupakan pertukaran antara panas laten dan panas yang terasa (sensibel). Udara sekitar akan kehilangan panas karena terjadinya evaporasi yang menyebabkan suhu di sekitar tanaman menjadi lebih sejuk (Zoer'aini 2005). Proses evaporasi (proses fisis perubahan cairan menjadi uap) dari permukaan tanaman disebut transpirasi. Lakitan (1997) menjelaskan, bahwa penyerapan energi radiasi matahari oleh sistem tajuk tanaman akan memacu tumbuhan untuk

meningkatkan laju transpirasinya (terutama untuk menjaga stabilitas suhu tumbuhan).

Transpirasi akan menggunakan sebagian besar air yang berhasil diserap tumbuhan dari tanah. Setiap gram air yang diuapkan akan menggunakan energi sebesar 580 kalori. Karena besarnya energi yang digunakan untuk menguapkan air pada proses transpirasi ini, maka hanya sedikit panas yang tersisa yang akan dipancarkan ke udara sekitarnya. Hal ini yang menyebabkan suhu udara di sekitar tanaman tidak meningkat secara drastis pada siang hari. Pada kondisi kecukupan air, kehadiran pohon diperkirakan dapat menurunkan suhu udara di bawahnya kira-kira $3,5^{\circ}\text{C}$ pada siang hari yang terik. Proses fisiologis yang ikut berperan menciptakan iklim mikro dan berjalan secara simultan dengan transpirasi adalah proses fotosintesis (Lakitan 1997).

Berkaitan fungsi ekologis vegetasi sebagai ameliorasi iklim mikro, vegetasi mampu menciptakan lingkungan yang nyaman melalui pengendalian kenaikan suhu udara. Berkaitan proses fisiologis dalam tubuh tumbuhan sehingga mampu menekan kenaikan suhu udara. Intensitas penyinaran matahari pada jam-jam tersebut memicu proses fotosintesis dan transpirasi (Duarsa 2008). Dua proses fisiologis yang berperan mendinginkan suhu udara sekitar vegetasi, vegetasi berfungsi sebagai pengendali iklim untuk kenyamanan manusia.

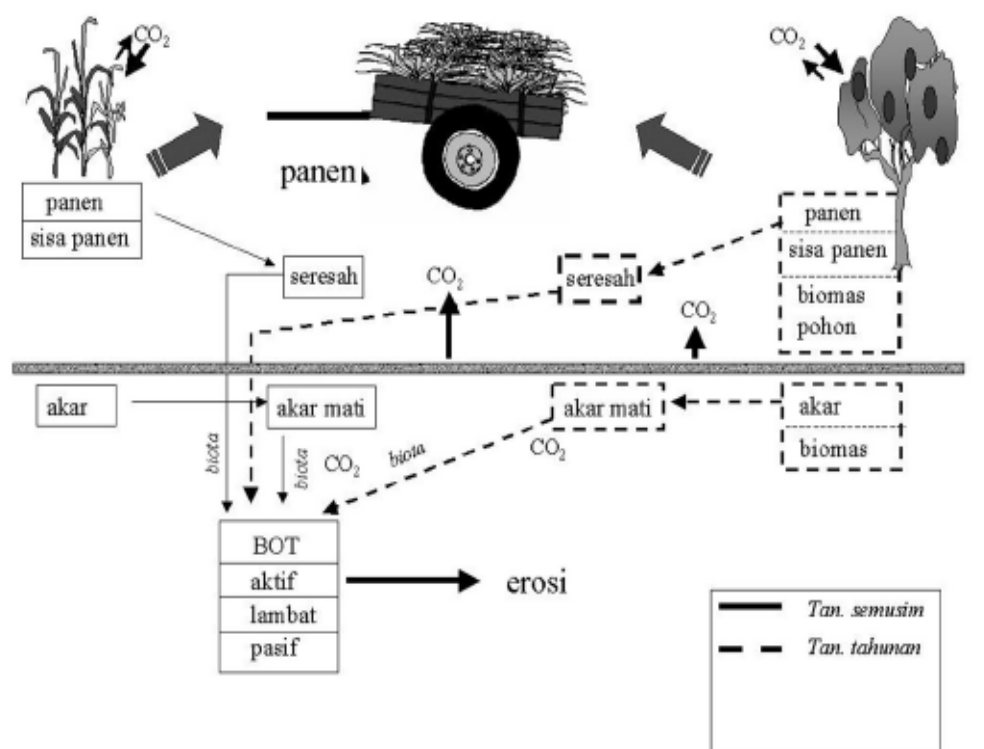
Proses transpirasi adalah rangkaian metabolisme fisiologis yang dengannya daun tumbuhan dapat tetap segar dan berfotosintesis. Apabila air tanah tersedia dalam jumlah cukup, transpirasi akan terus berlangsung. Laju transpirasi akan terus meningkat seiring peningkatan intensitas cahaya matahari. Uap air yang

dilepaskan vegetasi melalui transpirasi berperan dalam mendinginkan udara sekitarnya (Indriyanto 2006). Proses transpirasi berjalan secara simultan dengan proses fotosintesis sebagai mekanisme lain pendinginan suhu udara. Proses fisiologis dalam tubuh tumbuhan memiliki hubungan timbal balik dengan iklim mikro. Fotosintesis adalah proses fisiologis yang ditentukan oleh energi radiasi matahari. Karena itu, reaksinya acap kali disebut reaksi fotokimia. Kelangsungan proses tersebut memerlukan dukungan radiasi matahari sebagai sumber energi (Lakitan, 1997).

Pancaran langsung radiasi matahari dan pantulan panas dari berbagai permukaan adalah penyebab hangatnya suhu bumi. Radiasi matahari yang diterima berbagai permukaan secara keseluruhan dipantulkan kembali ke luar angkasa. Jumlah radiasi matahari yang dipantulkan dapat direduksi oleh vegetasi. Keberadaan vegetasi sebagai komponen lingkungan biotik mampu menyerap radiasi matahari. Radiasi matahari diserap oleh vegetasi dalam suatu mekanisme fisiologis untuk kelangsungan hidupnya.

2.5 Karbon Organik Tanah

Kebanyakan CO₂ di udara dipergunakan oleh tanaman selama fotosintesis dan memasuki ekosistem melalui serasah tanaman yang jatuh dan akumulasi C dalam biomasa (tajuk) tanaman. Separuh dari jumlah C yang diserap dari udara bebas tersebut diangkut ke bagian akar berupa karbohidrat dan masuk ke dalam tanah melalui akar-akar yang mati (Gambar 3).



Gambar3. Karbon Organik

Ada 3 *pool* utama pemasok C ke dalam tanah adalah: (a) tajuk tanaman pohon dan tanaman semusim yang masuk sebagai serasah dan sisa panen; (b) akar tanaman, melalui akar-akar yang mati, ujung-ujung akar, eksudasi akar dan respirasi akar; (c) biota. Serasah dan akar-akar mati yang masuk ke dalam tanah akan segera dirombak oleh biota heterotrop, dan selanjutnya memasuki *pool* bahan organik tanah. Sedangkan kehilangan C dari dalam tanah dapat melalui: a) respirasi tanah, b) respirasi tanaman, c) terangkut panen, d) dipergunakan oleh biota, e) erosi.

2.6 Penyerapan Gas Karbondioksida oleh Tanaman

Tumbuh-tumbuhan dapat mengurangi kadar CO₂ di atmosfer dengan melakukan proses fotosintesis, sehingga mempunyai kemampuan besar untuk menyerap CO₂. Tumbuhan melakukan proses fotosintesis untuk membentuk zat

makanan atau energi yang dibutuhkan tanaman untuk pertumbuhannya (Widiatmaka 2013).

Proses fotosintesis umumnya terjadi pada semua tumbuhan hijau yang memiliki kloroplast atau pada semua tumbuhan yang memiliki zat warna. Menurut Alamaendah (2010), secara umum proses fotosintesis adalah pengikatan gas CO₂ dari udara dengan bantuan molekul H₂O dari tanah dan energi foton cahaya tampak, akan membentuk gula heksosa (C₆H₁₂O₆) dan gas oksigen (O₂), proses reaksinya sebagai berikut.



Tanaman memiliki kemampuan yang berbeda-beda sebagai penyerap karbondioksida. Banyak faktor yang mempengaruhi daya serap karbon dioksida salah satunya mutu klorofil yang ditentukan berdasarkan banyak sedikitnya magnesium yang menjadi inti klorofil sehingga semakin besar tingkat magnesium maka, daun akan berwarna hijau gelap (Combalicer 2011). Selain mutu klorofil pada daun, penyerapan karbondioksida juga dipengaruhi morfologi daun, luas keseluruhan daun, umur daun dan fase pertumbuhan tanaman. Umumnya jenis tanaman yang mempunyai bentuk daun tipis melebar dengan posisi daun pada cabang atau ranting menghadap keatas yang berperan penting saat proses fotosintesis (Dahlan 2008).

Berdasarkan hasil penelitian Dahlan (2007), daftar tanaman yang mempunyai kemampuan penyerapan CO₂ hingga mencapai ribuan kg/tahun (Tabel 1).

Tabel.1 Daftar Tanaman Peneduh Penyerap CO₂

No	Nama Lokal	Nama Ilmiah	Daya Serap CO ₂ (Kg/pohon/tahun)
1	Trembesi	<i>Samanea saman</i>	28.448,39
2	Cassia	<i>Cassia sp</i>	5.295,47
3	Kenanga	<i>Canangium odoratum</i>	756,59
4	Pingku	<i>Dysoxylum excelsum</i>	720,49
5	Beringin	<i>Ficus benyamina</i>	535,90
6	Krey payung	<i>Fellicium decipiens</i>	404,83
7	Matoa	<i>Pornetia pinnata</i>	329,76
8	Mahoni	<i>Swettiana mahagoni</i>	295,73
9	Saga	<i>Adenantha pavoniana</i>	221,18
10	Bungkur	<i>Lagerstroema speciosa</i>	160,14
11	Jati	<i>Tectona grandis</i>	135,27
12	Nangka	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	126,51
13	Johar	<i>Cassia grandis</i>	116,25
14	Sirsak	<i>Annona muricata</i>	75,29
15	Puspa	<i>Schima wallichii</i>	63,31
16	Akasia	<i>Acacia auriculiformis</i>	48,68
17	Flamboyan	<i>Delonix regia</i>	42,20
18	Sawo kecil	<i>Manilkara kauki</i>	36,19
19	Tanjung	<i>Mimusops elengi</i>	34,29
20	Bunga merak	<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	30,95
21	Sempur	<i>Dilena retusa</i>	24,24
22	Khaya	<i>Khaya anthotheca</i>	21,90
23	Merbau pantai	<i>Intsia bijuga</i>	19,25
24	Akasia	<i>Acacia mangium</i>	15,19
25	Angsana	<i>Pterocarpus indicus</i>	11,12
26	Asam kranji	<i>Pithecelobium dulce</i>	8,48
27	Saputangan	<i>Maniltoa grandiflora</i>	8,26
28	Dadap merah	<i>Erythrina cristagalli</i>	4,55
29	Rambutan	<i>Nephelium lappaceum</i>	2,19
30	Asam Jawa	<i>Tamarindus indica</i>	1,49

Sumber: Dahlan2007.

2.7 Faktor Lingkungan

Lingkungan adalah suatu sistem yang sangat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan organisme. Dalam hal ini, faktor lingkungan memegang peranan penting dalam kelangsungan hidup organism, organisme dapat

melangsungkan hidupnya jika makhluk hidup tersebut mampu beradaptasi dengan lingkungannya. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi lingkungan dapat berupa:

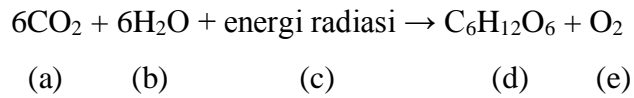
a) Suhu

Laju proses kimia sangat ditentukan oleh keadaan suhu yang mana laju akan maksimal pada temperature optimum antara 15°C-33°C. Suhu secara langsung berpengaruh pada produktivitas yaitu berperan dalam mengontrol reaksi enzimatik. Sehingga tingginya suhu dapat meningkatkan laju maksimum fotosintesis.

b) Intensitas Cahaya

Cahaya merupakan sumber energi primer bagi ekosistem. Cahaya memiliki peran yang sangat vital dalam produktivitas primer. Karena hanya dengan energi cahaya tumbuhan dapat melakukan fotosintesis. Panjang gelombang dan intensitas cahaya sangat berperan terhadap proses fotosintesis. pada tumbuhan berklorofil, gelombang cahaya merah dan biru diserap sedangkan gelombang cahaya hijau dipantulkan. Menurut Taiz (2008), panjang gelombang yang dapat digunakan untuk fotosintesis kisar anatar 400-700 nm, gelombang cahaya inidisebut sebagai radiasi aktif untuk fotosintesis (*Photocyntetic Active Radiation / PAR*).Proses ini hanya sebagian kecil energi cahaya yang dimanfaatkan. Diperkirakan dari sejumlah energi cahaya yang sampai pada tumbuhan, hanya 1-5% dapat diubah menjadi energi kimia. Pemanfaatan energi cahaya untuk awalnya menghasilkan glukosa, kemudian karbohidrat, protein, vitamin dan lainnya. Fotosintesis meliputi beberapa

proses kimia yang sangat kompleks. Secara kimiawi reaksi fotosintesis dapat dituliskan sebagai berikut.



keterangan :

- a. dari udara atau hasil respirasi
- b. dari tanah
- c. diabsorpsi oleh pigmen dalam dalam daun (klorofil)
- d. gula dalam sel tumbuhan
- e. dilepas keudara atau dipakai dalam respirasi

Gula yang dihasilkan dalam fotosintesis mempunyai berbagai kemungkinan yaitu, dimanfaatkan kembali dalam proses respirasi untuk menghasilkan ATP, dikonversi menjadi bentuk senyawa organik lain, dan dikombinasi dengan gugus tertentu menjadi asam amino dan selanjutnya diubah menjadi protein.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang estimasi stok karbon tanaman peneduh jalan protokol Kota Semarang yang telah dilakukan di 3 jalan protokol Kota Semarang,

1. Estimasi cadangan karbon tanaman peneduh di jalan protokol kota Semarang sebesar 1.310,672 Ton/Ha.
2. Struktur tanaman peneduh di jalan protokol kota Semarang terdiri dari 10 jenis tanaman. Komposisi jenis tanaman peneduh di Jalan protokol kota Semarang termasuk rendah atau sedikit.
3. Hubungan serapan, simpanan karbon dan karbon organik setiap stasiun dipengaruhi jenis tanaman, kerapatan tanaman, berat jenis kayu dan diameter tanaman di setiap stasiun penelitian.

Pada penelitian estimasi cadangan karbon ada beberapa hal yang perlu diperhatikan .

1. Penghitungan biomassa dalam penelitian ini hanya menghitung pada 3 stasiun penelitian meliputi jalan Dr.Soetomo, Pemuda dan Gajah Mada, sehingga untuk mendapatkan nilai biomassa tanaman secara lebih mendetail dapat dilakukan penelitian lanjutan dengan lokasi penelitian yang mencakup keseluruhan jalan protokol yang ada di Kota Semarang.

2. Perlu dilakukan penghitungan kepadatan kendaraan dan emisi karbon di udara untuk mengetahui jumlah tanaman peneduh yang harus ditanam. sehingga emisi karbon di udara dapat diserap tanaman secara seimbang.
3. Tanaman peneduh yang ditanam pada jalan-jalan protokol Kota Semarang alangkah baiknya jenis tanaman yang memiliki fungsi kemampuan menyerap karbon dan mampu menyimpan karbon yang tinggi yaitu, trembesi, kasia, beringin, kerai payung.

DAFTAR PUSTAKA

- Adinugroho C.W., Sidiyasa K., Rostiwati T. 2011. Ecological Conditions and Distribution of Gemor Tree Species in Central and East Kalimantan. *Forestry* 8 (1).
- Alongi D.M. 2012. Carbon sequestration in mangroves forest. *Carbon Management* 3: 313-322.
- Ambarsari N. & Tedjakusuma S.B. 2011. Kajian Perkembangan Teknologi Sounding Untuk Mengukur Konsentrasi CO₂ di Atmosfer. *Berita Dirgantara* 12: 28-37.
- Aminudin S. 2008. Kajian Potensi Cadangan Karbon pada Pengusahaan Hutan Rakyat (Studi Kasus Hutan Tanaman Rakyat Desa Dengik, Kecamatan Playen, Kabupaten Gunung Kidul). Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Arifin H.S. & Nakagosaki N. 2011. Landscape Ecology and Urban Biodiversity in Tropical Indonesia Cities. *Landscape Ecology* 7: 33-43.
- Barbour, M.G., J.H. Burk., & W.P. Pits. 1987. *Terrestrial Plant Ecology*. California: The Benjamin/Cumming Publishing Company Ins.
- BBPT. 2016. *Outlook Energy Indonesia Pengembangan Energi untuk Mendukung Industri Hijau*. Tangerang: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- Berenguer E., Ferreira J., Gardner A.B., & Durigan M. 2014. A Large-Scale Field Assesment of Carbon Stock In Human-Modified Tropical Forest. *Global Change Biology* 10: 1-14.
- Brown S. 2008. *Guardiance for Agriculture Forestry and Other Land Use Projects*. USA: Voluntary Carbon Standard.
- [BSN] Badan Standarisasi Nasional. 2011. Pengukuran dan Perhitungan Cadangan Karbon untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan (Ground Based Forest Karbon Accounting) [Diakses tanggal 17 Januari 2018].
- Campbell N.A., Reece J.B., & Mitchell L.G. 2008. *Biologi. Edisi ke Delapan Jilid I*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Chanan M. 2011. Potensi Karbon Di Atas Permukaan Tanah Di Blok Perlindungan Taman Wisata Alam Gunung Baung Pasuruan-Jawa Timur. *Jurnal Gamma* 6: 101-112.
- Chanan M. 2012. Pendugaan cadangan karbon (C) tersimpan di atas permukaan tanah pada vegetasi hutan tanaman jati (*Tectona grandis* Linn.F) (Di RPH Sengguruh BKPH Sengguruh KPH Malang Perum Perhutani II Jawa Timur). *Jurnal Gamma* 7: 61-73.

- Chave J., Andalo C., Brown S., Chamber J.Q., & Yamakura T. 2005. Tree Allometry And Improved Estimation In Carbon Stocks In Balanced In Tropical Forest. *Oecologia* 145: 87-99.
- Chave J.C., Brown S., Cairns M.A., Chambers D., Eamus H., Folster F., Fromard N., Higuchi T., Kira J.P., & Yamakura T. 2005. Tree Allometry and Improved Estimation of Carbon Stock and Balance in Tropical Forests. *Oecologia* 145:87-99.
- CIFOR, 2009. REDD: *Apakah Itu? Pedoman CIFOR Tentang Hutan, Perubahan Iklim dan REDD*. Bogor: CIFOR
- Duarsa, Artha Budi Susila. 2008. *Dampak Pemanasan Global Terhadap Risiko Terjadinya Malaria*. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, Fakultas Kedokteran Universitas Andalas. 2: 181-185.
- Fadly M. 2014. *Penetapan Kadar Bahan Organik Tanah (C-Organik Metode Walkway And Black)*. Makassar: Universitas Hasanudin:
- Fandeli C., Kaharuddin dan Mukhlison. 2004. *Perhutanan Kota*. Cet. I. Yogyakarta: Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada.
- Gardner T.A., Gibson L., Brook B.W. 2000. Primary Forest are Irreplaceable for Sustaining Tropical Biodiversity. *Nature* 478:378-381.
- Hairiah K., Ekadinata A., Sari R.R., & Rahayu S. 2011. *Pengukuran Cadangan Karbon Dari Tingkat Lahan Ke Bentang Lahan Edisi Kedua*. Bogor: World Agroforestry Center.
- Hairiah K., Sitompul S.M., Noordwijk M.V., & Palm C. 2011. *Methods for Sampling Carbon Stocks Above and Below Ground*. Bogor: ICRAF.
- Hairiah K., Subekti R. 2007. *Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan*. Bogor: ICRAF.
- Indriyanto. 2006. *Ekologi Hutan*. Cetakan I. Jakarta: Bumi Aksara.
- Jalaludin, Gani A., & Darmadi. 2013. Analisis Karakteristik Emisi Gas Buang Pada Sarana Transportasi Roda Dua Kota Banda Aceh. *Jurnal Teknik Mesin Unsyiah* 1: 152-156.
- KEMENHUT. 2012. *Pedoman Penggunaan Model Alometrik Untuk Pendugaan Biomassa Dan Stok Karbon Hutan di Indonesia*. Bogor: Badan Penelitian Dan Pengembangan Kehutanan Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi Dan Rehabilitasi.
- Krisnawati H., Adinugroho W.C., & Imanuddin R. 2012. *Model-Model Allometrik untuk Pendugaan Biomassa Pohon pada Berbagai Tipe Ekosistem Hutan di Indonesia*. Bogor: Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan.
- Kusminingrum N. 2008. Potensi Tanaman Dalam Menyerap CO₂ dan CO Untuk Mengurangi Dampak Pemanasan Global. *Jurnal Pemukiman* 3: 96-105

- Laengge I., Langi A.M., Saroinsong B.F., & Singgano J. 2012. Pendugaan Biomassa Tanaman Penghijauan Angsana (*Pterocarpus indicus*) di Jalan Sam Ratulangi dan Jalan Toar Kota Manado. *Jurnal Kehutanan* 1: 1-19.
- Lakitan B. 1997. *Dasar-dasar Klimatologi*, Cet. II. Jakarta: Raja Grafindo Persada.
- Latifah S., Patana P., & Rahmawaty. 2016. Potensi Biomassa Permukaan Tanah pada Jalur Hijau di Kota Medan. *Abdimas Talenta* 1: 70-75.
- Lubis H.S., Arifin S.H., & Samsuodun I. 2013. Analisis Cadangan Karbon Pohon pada Lanskap Hutan Kota di DKI Jakarta. *Jurnal Sosial Ekonomi dan Kehutanan* 10: 1-10.
- Lugina M., Ginoga K.L., Wibowo A., Bainnura A., dan Partiani T. (2011). *Prosedur Operasi Standar (SOP) untuk pengukuran stok karbon di kawasan konservasi*. Bogor: Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan Kementerian Kehutanan Indonesia.
- Mabberly D.J. 1983. *Tropical Forest Ecology*. New York: MacMillan Publishing Company.
- Manik E., Latifah S., & Patana P. 2015. Pendugaan Karbon Tersimpan di Berbagai Jalur Hijau Jalan Arteri Sekunder Kota Medan Bagian Tengah. Medan: Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara.
- Manuri S., Putra C.A.S., & Saputra A.D. 2011. Tehnik Pendugaan Cadangan Karbon Hutan. Palembang: Merang REDD Pilot Project, German International Cooperation-GIZ.
- Martuti N.K.T. 2013. Peranan Tanaman terhadap Pencemaran Udara di Jalan Protokol Kota Semarang. *Biosaintifika* 5: 36-42.
- Monde A. 2009. Degradasi Stok Karbon Akibat Alih Guna Lahan Hutan Menjadi Lahan Kakao di Das Nopu Sulawesi Tengah. *Journal Agroland* 16: 110-117.
- Moore T.R., Bubier J.L., Frohking S.E., Lafleur P.M., & Roulet N.T. 2002. Plant biomass and CO₂ exchange in an ombrotrophic. *Journal Ecology*. 90: 25-36.
- Mukhlison. 2013. Pemilihan Jenis Pohon Untuk Pengembangan Hutan Kota di Kawasan Perkotaan Yogyakarta. *Jurnal Ilmu Kehutanan* 7: 37-47.
- Ningsih D.H.U. 2010. Analisa Optimasi Jaringan Jalan Berdasar Kepadatan Lalu Lintas di Wilayah Semarang dengan Berbantuan Sistem Informasi Geografi (Studi Kasus Wilayah Dati II Semarang). *Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK* 15: 121-135.
- Noraduola R.D., 2010. Kontribusi Arsitektur Kota dalam Mengurangi Emisi Pemanasan Global. *Unity Jurnal Arsitektur* 1: 28-33.

- Nova J.S., Widyastuti A., Yani E. 2011. Keanekaragaman Jenis Pohon Pelindung dan Estimasi Penyimpanan Karbon Kota Purwokerto. Jakarta. 1: 176-222.
- Nursanti & Swari I.E. 2013. Potensi Keanekaragaman Hayati Iklim Mikro dan Serapan Karbon pada Ruang Terbuka Hijau Kampus Mendalo Universitas Jambi. *Jurnal Biodiversity* 2: 101-112.
- Nursanti S.E. 2013. Potensi Keanekaragaman Hayati Iklim Mikro dan Serapan Karbon Pada Ruang Terbuka Hijau Kampus Mendalo Universitas Jambi. *Jurnal Unjam* 2: 33-39.
- Parish F., Sirin A., Charman D., Joosten H., Minayeva T., Silvius M., & Stringer L. 2011. *Assessment on Peatlands Biodiversity and Climate Change*. Kuala Lumpur: Global Environment Centre Wetlands International.
- Primack, R.B., Indrawan M., Supriatna J. 2007. Biologi Konservasi. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.
- Rahayu S.B., Lusiana B., and Noordwijk M.V. 2007. *Pendugaan Cadangan Karbon di Atas Permukaan Tanah pada Berbagai Sistem Penggunaan Lahan di Kabupaten Nunukan Kalimantan Timur*. Bogor: ICRAF.
- Ravindranath., Ostwald, H.H., Ostwald M. 2008. Carbon Inventore Methode. Springer Science-Business Media BV.
- Samiaji T. 2011. Gas CO₂ di Wilayah Indonesia. *Berita Dirgantara* 12: 68-75.
- Sanches P.A. 1992. Properties and Management of Soils in The Tropics. New York: Wiley.
- Sedjarwan W., Akhbar., & Arianingsih I. 2014. Biomassa dan Karbon Pohon di Atas Permukaan Tanah di Tepi Jalan Taman Nasional Lore Rindu. *Warta Rimba* 2: 105-111.
- Setiawan B. 2014. Inventarisasi Pohon Pelindung dan Potensinya sebagai Penyerap Karbon Dioksida (CO₂) dan Penyimpan Karbon di Jalan Raya Kota Malang. Tesis. Malang: UIN Malang.
- Setyowati D.L. 2008. Iklim Mikro dan Kebutuhan Ruang Terbuka Hijau di Kota Semarang. *Jurnal Manusia dan Lingkungan* 3: 125-140.
- Setyowati D.L., Martuti N.K.T., Amin M. 2016. Green City Park Model to Reduce Air Pollution as Anticipation to the Climate Change. *Modern Environmental Science and Engineering* 1: 37-43.
- Simmonds J.O. 1961. *Landscape Architecture an Ecological Approach to Environmental Planning*. New York: Mc Graw Hill Book Company.
- Simon H. 2007. Metode Inventore Hutan. Yogyakarta: Pustaka Belajar.

- Siringoringo. 2014. Perbedaan Simpanan Karbon Organik pada Hutan Tanaman *Accasia mangium* Wild dan Hutan Sekunder Muda. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* 11: 13-39
- [SNI] Standar Nasional Indonesia. 2011. Pengukuran dan Perhitungan Cadangan Karbon. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Suprihatno B., Hamidy R., & Amin B. 2012. Analisis Biomassa dan Cadangan Karbon Tanaman Bambu Belangke. *Journal of Environmental Science* 6: 82-92.
- Sutaryo D. 2009. *Penghitungan Biomassa Sebuah Pengantar Untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon*. Bogor: Wetland International Indonesian Programme.
- Sutradharma S. 2011. *Pemanasan Global dan Peluang Bisnis*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Suwarna U., Elias, Darusman D. 2012. Estimation of Total Carbon Stocks in Soil and Vegetation of Tropical Peat Forest in Indonesia. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika* 18: 118-128.
- Syam'ani, Arfa A., Susilawati, Yusanto, N. 2012. *Cadangan Karbon di Atas Permukaan Tanah pada Berbagai Sistem Penutupan Lahan di Sub-sub DAS Amandit*. Banjarbaru: Fakultas Kehutanan, Universitas Lambung Mangkurat.
- Walcoot J. 2009. *Soil carbon for carbon sequestration and trading: A review of issues for agriculture and forestry*. Canberra: Bureau of Rural Sciences, Department of Agriculture, Fisheries & Forestry.
- Walter H. 1981. *Ecology of Tropical and Sub Tropical Ecology*. New York: Van Nonstrand Reinhold Co.
- Wardianto G., Budihardjo S., Soetomo S., & Prianto E. 2009. Penempatan Pohon Pada Pejalur Jalan Kaki Berbasis Panas Matahari Kota Semarang. *Riptek* 3: 1-10.
- World Watch Institute. 2009. *Climate Change Refrence Guide*. Washington: World Watch Institute.
- Zhang L., Lei X.D., Xiang W. 2012. Determining stem biomass of *Pinus massoniana* L. through variation in basic density. *Forestry*. 85:601-609.
- Zoer'aini. 2005. *Tantangan Lingkungan dan Lansekap Hutan Kota*. Jakarta: Bumi Aksara.