

CADANGAN KARBON PESISIR

RITA DIANA



Mulawarman
University PRESS

Cadangan Karbon Pesisir

UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. Penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. Penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Cadangan Karbon Pesisir

Rita Diana



CADANGAN KARBON PESISIR

Penulis : Rita Diana
Desain Cover : Tim MUP
Tata Letak : Tim MUP dan Zulita Andan Sari
Proofreader : Mira Muarifah

ISBN : 978-623-7480-79-2
Copyright © 2021. Mulawarman University Press
All Right Reserved

Cetakan Pertama : 2021

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini
dalam bentuk apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

Isi di luar tanggung jawab percetakan.

Rita Diana. 2021. Cadangan Karbon Pesisir. Mulawarman University Press,
Samarinda.



**Mulawarman
University PRESS**
Member of IKAPI & APPTI

Penerbit
Mulawarman University PRESS
Gedung LP2M Universitas Mulawarman
Jl. Krayan, Kampus Gunung Kelua
Samarinda - Kalimantan Timur - Indonesia 75123
Telp/Fax (0541) 747432, Email : mup@lppm.unmul.ac.id

Dicetak oleh:

PENERBIT DEEPUBLISH

(Grup Penerbitan CV BUDI UTAMA) Anggota IKAPI (076/DIY/2012)
Jl. Rajawali, G. Elang 6, No 3, Drono, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman
Jl. Kaliurang Km.9,3 – Yogyakarta 55581
Telp/Faks: (0274) 4533427
Website: www.deepublish.co.id / www.penerbitdeepublish.com
E-mail: cs@deepublish.co.id



KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah Swt. atas segala limpahan hidayah dan rahmat-Nya karena dengan kebesaran-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan buku monograf dengan judul ***Cadangan Karbon Pesisir***. Penulisan buku monograf ini didasarkan dari hasil penelitian penulis dan dengan judul “Serapan Karbon pada Kawasan *Mangrove* dan Pesisir Bontang” serta “Estimasi Kandungan Karbon pada Kawasan Mangrove di Sekitar Areal Industri”.

Buku monograf ini diharapkan bisa menjadi tambahan referensi bagi para akademisi dan masyarakat pada umumnya dalam rangka menambah khazanah pengetahuan terkait serapan karbon pada kawasan pesisir khususnya ekosistem *mangrove*.

Penulis tentunya menyadari bahwa dalam penulisan buku monograf ini masih banyak kekurangan sehingga saran dan kritik diterima dengan lapang. Terakhir, semoga buku monograf ini memberikan manfaat bagi semua. *Aamiin*.

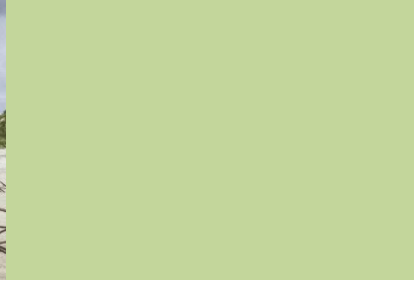
Samarinda, Juli 2021

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
I. PENDAHULUAN	1
II. KAWASAN PESISIR	7
A. Tinjauan <i>Mangrove</i> secara Umum.....	7
B. Klasifikasi Vegetasi Penyusun <i>Mangrove</i>	13
C. Zonasi <i>Mangrove</i>	15
D. Sistem Akar dan Tajuk	16
E. Fungsi Hutan Kawasan Pesisir.....	17
F. Peranan Hutan dalam Penyerapan Emisi.....	19
G. Biomassa Pohon.....	20
H. Karbon Biru	21
III. METODE PENGUKURAN KARBON	25
A. Teknik Pengambilan Sampel	26
B. Teknik Penghitungan Karbon	33
IV. KAWASAN PESISIR	38
A. Kawasan Pesisir Bontang.....	38
B. Vegetasi Pesisir Bontang.....	40
C. Potensi Serapan Karbon	47
D. Potensi Penyerapan CO ₂ dan Produksi O ₂	56
V. PENUTUP	58
DAFTAR PUSTAKA.....	60



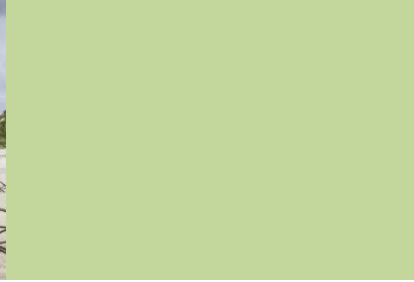
DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Persamaan Alometrik untuk Menghitung Biomassa Semai	35
Tabel 2.	Berat jenis Spesies <i>Mangrove</i>	35
Tabel 3.	Vegetasi Tingkat Pohon pada Plot Pengamatan	40
Tabel 4.	Biomassa dan Karbon Vegetasi Tingkat Pohon	41
Tabel 5.	Biomassa dan Karbon Vegetasi Pohon pada 3 Plot Pengamatan	42
Tabel 6.	Biomassa dan Karbon pada Tumbuhan Bawah	42
Tabel 7.	Serapan Karbon di Bawah Permukaan Tanah.....	43
Tabel 8.	Jenis-Jenis Vegetasi Pohon Mati Berdiri.....	44
Tabel 9.	Serapan Biomassa dan Karbon Pohon Mati Berdiri.....	45
Tabel 10.	Serapan Karbon pada Pohon Rebah	45
Tabel 11.	Serapan Karbon pada Serasah	46
Tabel 12.	Total Serapan Karbon pada Masing-Masing Lokasi	46



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Peta Penyebaran <i>Mangrove</i> di Indonesia (Noor <i>et al.</i> , 2006)	9
Gambar 2.	Kondisi Tegakan Vegetasi <i>Mangrove</i>	10
Gambar 3.	Kondisi Lantai Hutan <i>Mangrove</i>	11
Gambar 4.	Pohon <i>R. apiculata</i> dengan Diameter Besar	12
Gambar 5.	Kondisi Vegetasi Nipah di Areal PKT	13
Gambar 6.	Zonasi pada <i>Mangrove</i> (Bengen, 2002).....	15
Gambar 7.	Mekanisme Keluar Masuknya Karbon pada Ekosistem <i>Mangrove</i> (Fourqurean <i>et al.</i> 2014)	22
Gambar 8.	<i>Carbon Pool</i> pada Ekosistem <i>Mangrove</i> (diadopsi dari Fourqurean <i>et al.</i> 2014)	24
Gambar 9.	Peta Lokasi Pengambilan Data.....	25
Gambar 10.	Bagan Plot Sampel (Donato <i>et al.</i> , 2012)	27
Gambar 11.	Pengukuran Diameter di Atas Akar Tunjang	28
Gambar 12.	Pengukuran Diameter Setinggi Dada pada Berbagai Kondisi Pohon di Lapangan. (Sumber SNI 7724:2011)	30
Gambar 13.	(a) Pengambilan Data Tinggi Semai, (b) Pengambilan Data Diameter Semai, (c) Penimbangan Sampel Semai per Bagian.....	31
Gambar 14.	Kriteria Keutuhan Pohon Mati Berdiri (Sumber SNI 7724:2011)	32
Gambar 15.	Pengambilan Data Serasah pada Radius 7–10m (a), Pengambilan Sampel Serasah (b).....	32
Gambar 16.	Grafik Pendugaan Serapan Karbon di Atas Permukaan pada Masing-Masing Lokasi	48
Gambar 17.	Potensi Serapan Karbon di Bawah Permukaan	49



Gambar 18. Grafik Pendugaan Serapan Karbon pada	51
Gambar 19. Grafik Pendugaan Serapan Karbon Pohon Mati Rebah.....	52
Gambar 20. Grafik Pendugaan Serapan Karbon pada Serasah (<i>Litter</i>).....	53
Gambar 21. Kondisi Lantai Hutan <i>Mangrove</i> di Bontang.....	54
Gambar 22. Grafik Biomassa dan Karbon per Lokasi Sampel	55
Gambar 23. Akumulasi Serapan Karbon pada Ketiga Plot Pengamatan	56
Gambar 24. Potensi Penyerapan CO ₂ dan Produksi O ₂	57





I. PENDAHULUAN

Pemanasan global menyebabkan berubahnya kondisi fisik atmosfer bumi antara lain suhu dan distribusi curah hujan yang membawa dampak luas terhadap berbagai sektor kehidupan manusia yang diakibatkan berbagai aktivitas manusia seperti penggunaan bahan bakar fosil, perubahan tata guna lahan dan hutan meliputi perubahan kawasan pesisir untuk keperluan pembangunan infrastruktur maupun industri.

Berkurangnya luasan hutan yang berfungsi sebagai penyerap karbon dioksida di atmosfer maka meningkatkan konsentrasi karbondioksida di atmosfer dan menyebabkan meningkatnya gas rumah kaca secara terus-menerus yang mengakibatkan peningkatan temperatur di bumi. Menurut Dharmawan (2010) bahwa tingginya kandungan karbondioksida di atmosfer merupakan salah satu penyebab terjadinya perubahan iklim yang berdampak pada temperatur bumi yang secara terus menerus meningkat.

Perubahan iklim global yang terjadi dewasa ini disebabkan karena terganggunya keseimbangan energi antara bumi dan atmosfer. Keseimbangan tersebut dipengaruhi antara lain oleh adanya peningkatan gas-gas CO₂ (karbondioksida), CH₄ (metana), N₂O (nitrogen oksida), CFC (chloro fluoro karbon), HFC (hidro fluoro karbon), PFC (perfluoro karbon) dan SF₆ (sulphur heksafluoro) di atmosfer yang lebih dikenal dengan gas rumah kaca (GRK). Terutama peningkatan CO₂ di atmosfer yang menyebabkan terjadinya *global warming* (peningkatan suhu secara global) yang memicu terjadinya *global climate change* (perubahan iklim secara global). Konsentrasi



gas rumah kaca ini diakibatkan oleh proses pembangunan dan industri berbahan bakar fosil yang semakin meningkat serta adanya kegiatan penggunaan lahan dan alih guna lahan dengan cara melakukan pembakaran vegetasi hutan dan penebangan hutan dalam skala luas (Hairiah dan Rahayu, 2007; Lugina *et al.*, 2011; Purnobasuki, 2012; Wardhana, 2010).

Perubahan iklim global sebagai implikasi dari pemanasan global telah mengakibatkan ketidakstabilan atmosfer di lapisan bawah terutama yang dekat dengan permukaan bumi. Pemanasan global ini disebabkan oleh meningkatnya gas-gas rumah kaca yang dominan ditimbulkan oleh industri-industri, khususnya yang menggunakan bahan bakar fosil. Gas-gas rumah kaca yang meningkat ini menimbulkan efek pemantulan dan penyerapan terhadap gelombang panjang yang bersifat panas (inframerah) yang diemisikan oleh permukaan bumi kembali ke permukaan bumi sehingga mengakibatkan efek rumah kaca (Purnobasuki, 2012).

Fenomena perubahan iklim ini mengakibatkan berbagai dampak yang berpengaruh penting terhadap keberlanjutan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya di bumi ini, di antaranya adalah pergeseran musim dan perubahan pola/distribusi hujan yang memicu terjadinya banjir dan tanah longsor pada musim penghujan dan kekeringan pada musim kemarau, naiknya muka air laut yang berpotensi menenggelamkan pulau-pulau kecil dan banjir rob dan bencana badai/gelombang yang sering meluluhlantakkan sarana-prasarana penopang kehidupan di kawasan pesisir (Purnobasuki, 2012). Sedangkan menurut Kementerian Negara Lingkungan Hidup (2007) dampak dari perubahan iklim yang terjadi di dunia di antaranya yaitu: lebih banyak air tetapi penyebarannya tidak merata, kenaikan permukaan laut, pengurangan tutupan salju, gletser yang mencair dan benua artik menghangat.

Solusi untuk permasalahan pemanasan global yaitu dengan adanya keberadaan hutan. Kemampuan hutan dalam menyerap



karbon dioksida yang mengudara memiliki peranan penting dalam pengendalian karbon yang ada di atmosfer. Hutan dapat menyerap karbon berasal dari vegetasi yang melakukan proses fotosintesis. Proses metabolisme pohon berupa fotosintesis yaitu kemampuan untuk mengkonsumsi karbon dioksida di atmosfer dan mengubahnya menjadi bentuk energi (gugus gula) yang bermanfaat bagi kehidupan.

Sebagian besar energi ini disimpan oleh tumbuhan dalam bentuk biomassa. Hutan dengan kemampuannya menyerap karbon dioksida melalui proses fotosintesis merupakan upaya alternatif mengatasi permasalahan pemanasan global. Upaya tersebut antara lain dapat dilakukan melalui kegiatan rehabilitasi hutan. Kegiatan tersebut perlu didukung dengan kegiatan untuk memperoleh data dan informasi mengenai tingkat, status dan kecenderungan perubahan emisi gas rumah kaca secara berkala dari berbagai sumber emisi (*source*) dan penyerapnya (*sink*), termasuk simpanan karbon atau cadangan karbon (*carbon stock*) (Prasetyo, *et al.*, 2012).

Salah satu tipe ekosistem hutan yang berada di kawasan pesisir yaitu ekosistem hutan *mangrove*. Hutan *mangrove* adalah hutan yang tumbuh di muara sungai atau daerah pasang surut air laut. Tumbuhan *mangrove* bersifat unik karena merupakan gabungan dari ciri-ciri tumbuhan yang hidup di darat dan di laut (Mulyani dan Fitriani, 2013). Beberapa hutan yang ada di Indonesia dari hutan dataran, hutan gambut dan hutan *mangrove* memiliki kemampuan untuk menyerap emisi karbon. Hasil pengamatan terbaru menunjukkan bahwa hutan *mangrove* memberikan sumbangan potensial untuk mengurangi emisi.

Ekosistem hutan *mangrove* memiliki kemampuan mengikat karbon jauh lebih tinggi dibandingkan dengan hutan terestrial dan hutan hujan tropis. Khusus di wilayah Indo-Pasifik, stok karbon yang tersimpan dalam ekosistem *mangrove* lebih dari dua kali lipat dibandingkan dengan hutan terestrial (Donato, *et al.*, 2011). Ekosistem *mangrove* Indonesia mampu menyerap karbon di udara sebanyak 67,7



MtCO₂ per tahun (Sadeli, *et al.*, 2012). Kusmana (2002) menyatakan nilai produksi bersih yang dapat dihasilkan hutan *mangrove* pada biomassa 62,9-398,8 ton/ha sedangkan guguran serasah 5,8-25,8 ton/ha/tahun.

Hutan *mangrove* terdapat di sepanjang garis pantai di kawasan tropis, dan menjadi pendukung berbagai jasa ekosistem, termasuk produksi perikanan dan siklus unsur hara. Namun luas hutan *mangrove* telah mengalami penurunan sampai 30–50% dalam setengah abad terakhir ini karena pembangunan daerah pesisir, perluasan pembangunan tambak dan penebangan yang berlebihan. Besarnya emisi karbon akibat hilangnya *mangrove* masih belum diketahui dengan jelas, sebagian karena kurangnya data berskala besar tentang jumlah karbon yang di dalam ekosistem ini, khususnya di bawah permukaan.

Indonesia memiliki luas *mangrove* yang paling tinggi, yaitu 3.112.989 ha atau 22,6% total luas *mangrove* dunia (Mudiyarso, 2016) dan hutan *mangrove* Kota Bontang ±124,26 ha (RTRW Bontang 2012). Keberadaan *mangrove* di Kota Bontang saat ini banyak di konversi oleh aktivitas manusia sehingga potensi *mangrove* sebagai penyerap emisi akan berkurang bahkan dapat berubah fungsi menjadi penyumbang emisi CO₂. Sebagai ekosistem peralihan antara lautan dengan daratan keberadaan hutan *mangrove* di muka bumi ini tidak dapat diabaikan begitu saja, mengingat manfaat yang diperoleh baik secara langsung maupun tidak langsung turut mendukung kelangsungan kehidupan makhluk hidup lainnya.

Hutan *mangrove* mampu menyimpan karbon lebih dari empat (4) kali dibanding hutan daratan (Donato *et al.*, 2012) dan penyerapan karbon hutan *mangrove* di bawah permukaan dan tanahnya bisa mencapai 20 kali (Mudiyarso, 2016) sehingga degradasi hutan *mangrove* berkontribusi secara tidak proporsional dengan emisi karbon, hilangnya keanekaragaman hayati, dan meningkatkan kerentanan masyarakat sekitar pesisir. Karena itu konservasi



ekosistem ini adalah kunci untuk melawan perubahan iklim. Degradasi berdampak terhadap kondisi lingkungan serta akan terlepasnya CO₂ yang akan mempengaruhi konsentrasi Gas Rumah Kaca (GRK). Dalam hal ini PKT melakukan kegiatan penanaman *mangrove* dan berperan aktif dalam menjaga kelestarian padang lamun sebagai upaya untuk mengendalikan emisi GRK tersebut.

Pada beberapa tipe ekologi wilayah pantai, hutan *mangrove* sangat berperan penting bagi perlindungan wilayah dari abrasi pantai, pencegah intrusi air laut, serta sebagai penyangga terhadap sedimentasi dari daratan ke lautan. Selain itu keanekaragaman jenis flora dan fauna serta keunikan ekosistem *mangrove*, dapat dikembangkan dan dilestarikan untuk ekowisata atau bahkan taman nasional di beberapa wilayah pantai. Selain itu hutan *mangrove* memainkan peranan penting dalam strategi mitigasi terhadap perubahan iklim, yaitu kemampuannya menyimpan lima kali lebih banyak karbon dibandingkan tipe hutan lainnya yaitu sekitar 1,023 ton karbon atau setara 3,750 ton CO₂/ha (sekitar 60% berada di dalam tanah/lumpur) di hutan *mangrove* yang masih utuh di kawasan Indo-Pacific (Departemen Kehutanan, 2005; Donato *et al.*, 2011).

Kondisi hutan *mangrove* sampai saat ini masih mengalami tekanan-tekanan akibat pemanfaatan dan pengelolaannya yang kurang memperhatikan aspek kelestarian. Tuntutan pembangunan yang lebih menekankan pada tujuan ekonomi dengan mengutamakan pembangunan infrastruktur fisik, salah satunya seperti konversi hutan *mangrove* untuk perluasan tambak menjadi salah satu faktor penyebab kerusakan ekosistem hutan *mangrove* dan degradasi lingkungan pantai.

Terkait dengan hal tersebut, maka sangat diperlukan adanya informasi terkait penghitungan penyerapan karbon di kawasan pesisir. Sebagaimana yang disampaikan dalam uraian awal pada buku ini adalah berisikan data-data yang mencakup beberapa wilayah di Kota Bontang. Meliputi hutan sebelah selatan Pabrik Kaltim 5 dan



Lahan Industri Utara dan Padang Lamun di kawasan pesisir PKT. Hal ini penting dilakukan untuk mengetahui jumlah CO₂ yang diserap sebagai tolak ukur keberhasilan upaya penurunan emisi GRK. Sebagaimana diketahui bahwa area *mangrove* di sekitar kawasan pesisir tersebut berperan penting dalam pengendalian perubahan iklim karena berfungsi sebagai penghasil O₂ sekaligus sebagai agen penyerap CO₂.



II. KAWASAN PESISIR

A. Tinjauan *Mangrove* secara Umum

Beberapa ahli mendefinisikan “*mangrove*” secara berbeda-beda, namun pada dasarnya merujuk padahal yang sama. Tomlinson (1986) dan Wightman (1989) mendefinisikan *mangrove* baik sebagai tumbuhan yang terdapat di daerah pasang surut maupun sebagai komunitas. *Mangrove* juga didefinisikan sebagai formasi tumbuhan daerah litoral yang khas di pantai daerah tropis dan sub tropis yang terlindung (Saenger *et al.*, 1983). Sementara itu Soerianegara (1987) mendefinisikan hutan *mangrove* sebagai hutan yang terutama tumbuh pada tanah lumpur aluvial di daerah pantai dan muara sungai yang dipengaruhi pasang surut air laut dan terdiri atas jenis-jenis pohon *Avicennia*, *Sonneratia*, *Rhizophora*, *Bruguiera*, *Ceriops*, *Lumnitzera*, *Excoecaria*, *Xylocarpus*, *Aegiceras*, *Scyphyphora* dan *Nypa* (Noor *et al.*, 2006).

Mangrove merupakan vegetasi yang umum didapati di wilayah estuaria dan pantai berdelta. Ekosistem *mangrove* terdiri dari hutan atau vegetasi *mangrove* yang merupakan komunitas pantai tropis. Secara umum, karakteristik habitat hutan *mangrove* tumbuh pada daerah intertidal yang jenis tanahnya berlumpur, berlempung dan atau berpasir. Daerah habitat *mangrove* tergenang air laut secara berkala, setiap hari atau pada saat pasang purnama. Frekuensi genangan menentukan komposisi vegetasi hutan *mangrove*. Hutan *mangrove* menerima pasokan air tawar yang cukup dari darat serta terlindung dari gelombang besar dan arus pasang surut yang kuat. Habitat hutan *mangrove* memiliki air bersalinitas payau (2-22 bagian



per mil) hingga asin (mencapai 38 bagian per mil). Hutan *mangrove* banyak ditemukan di pantai-pantai teluk yang dangkal, estuaria dan daerah pantai yang terlindung (Bengen, 1999).

Mangrove sanggup beradaptasi terhadap kadar oksigen yang rendah, terhadap kadar garam yang tinggi serta terhadap tanah yang kurang stabil dan pengaruh pasang surut. Tumbuhan *mangrove* merupakan sumber makanan potensial bagi semua biota yang hidup di ekosistem *mangrove*. Komponen dasar rantai makanan di ekosistem *mangrove* adalah detritus yang berasal dari daun ranting, buah dan batang *mangrove*. Detritus ini sebagian besar didekomposisi oleh bakteri dan fungi menjadi nutrisi terlarut yang dapat dimanfaatkan langsung oleh fitoplankton, algae maupun *mangrove* itu sendiri dalam proses fotosintesis. Sebagian detritus dimanfaatkan oleh udang, ikan dan biota lainnya sebagai makanan (dalam bentuk partikel-detritus) (Bengen, 2000).

Hutan *mangrove* merupakan ekosistem yang unik dan berfungsi ganda dalam lingkungan hidup. Hal ini disebabkan oleh adanya pengaruh lautan dan daratan, sehingga terjadi interaksi kompleks antara sifat fisika, sifat kimia dan sifat biologi. Sebagai salah satu ekosistem yang unik, hutan *mangrove* merupakan sumber daya alam yang potensial, karena mempunyai tiga fungsi pokok, yaitu fungsi ekologis, fungsi ekonomi dan fungsi lain (pariwisata, penelitian dan pendidikan). Meskipun demikian, hutan *mangrove* merupakan ekosistem yang sangat mudah rusak jika terjadi perubahan pada salah satu unsur pembentuknya, sehingga dikenal sebagai *fragile ecosystem* (Arief, 2003).

Ekosistem *mangrove* juga merupakan suatu kawasan ekosistem yang rumit karena terkait dengan ekosistem darat dan ekosistem lepas pantai di luarnya. Oleh karena itu, hutan *mangrove* dapat dikatakan sebagai *interface ecosystem*, yang menghubungkan daratan ke arah pedalaman serta daerah pesisir muara. banyak jenis hewan dan jasad renik yang berasosiasi dengan hutan *mangrove*. Di antara



berbagai jenis hewan dan jasad renik, baik yang terdapat pada lantai hutan maupun yang menempel pada tanaman, sebagian dari daur hidupnya membutuhkan lingkungan *mangrove* (Arief, 2003).



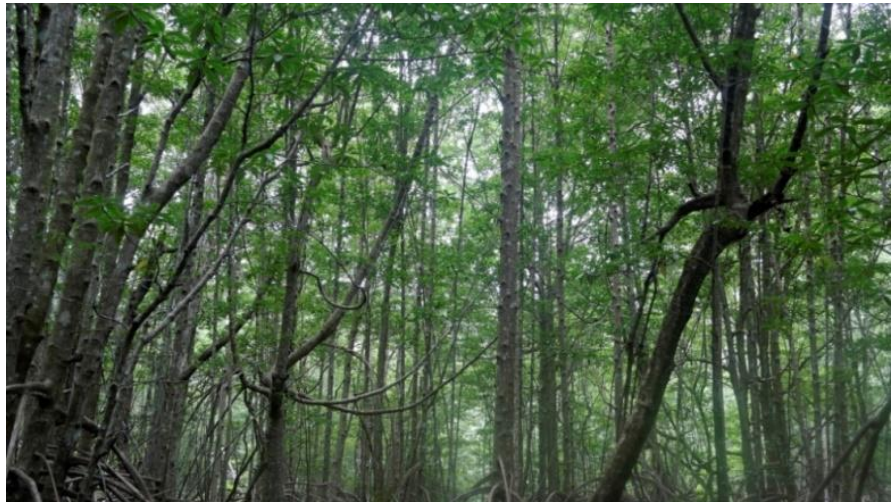
Gambar 1. Peta Penyebaran *Mangrove* di Indonesia (Noor *et al.*, 2006)

Perkiraan luas *mangrove* di seluruh dunia sangat beragam. Beberapa ahli seperti Lanly (dalam Ogino & Chihara, 1988) menyebutkan bahwa luas *mangrove* di seluruh dunia adalah sekitar 15 juta hektare, sedangkan Spalding *et al.* (1997) menyebutkan 18,1 juta hektare, bahkan Groombridge (1992) menyebutkan 19,9 juta hektare. Untuk kawasan Asia, luas *mangrove* diperkirakan antara 32 % (Thurairaja, 1994) sampai 41,5 % (Spalding *et al.*, 1997) *mangrove* dunia (Noor *et al.*, 2006).

Hutan *mangrove* adalah komunitas vegetasi pantai tropis, dan merupakan komunitas yang hidup di dalam kawasan yang lembap dan berlumpur serta dipengaruhi oleh pasang surut air laut. *Mangrove* disebut juga hutan pantai, hutan payau, hutan bakau. Pengertian *mangrove* sebagai hutan pantai adalah pohon-pohonan yang tumbuh di daerah pantai (pesisir), baik daerah yang dipengaruhi pasang surut



air laut maupun wilayah daratan pantai yang dipengaruhi oleh ekosistem pesisir. Sedangkan pengertian *mangrove* sebagai hutan payau atau hutan bakau adalah pohon-pohonan yang tumbuh di daerah payau pada tanah aluvial atau pertemuan air laut dan air tawar di sekitar muara sungai.



Gambar 2. Kondisi Tegakan Vegetasi *Mangrove*

Pada umumnya formasi tanaman didominasi oleh jenis-jenis bakau. Oleh karena itu istilah bakau digunakan hanya untuk jenis-jenis tumbuhan dari genus *Rhizophora*. Sedangkan istilah *mangrove* digunakan untuk segala untuk segala tumbuhan yang hidup di sepanjang pantai atau muara sungai yang dipengaruhi pasang surut air laut. Dengan demikian pada suatu kawasan hutan yang terdiri dari berbagai ragam tumbuhan atau hutan tersebut bukan hanya jenis bakau yang ada, maka istilah hutan *mangrove* lebih tepat digunakan (Harahab *et al.*, 2010).



Gambar 3. Kondisi Lantai Hutan *Mangrove*

Ada hubungan erat antara kondisi air dengan vegetasi air dan vegetasi hutan *mangrove*. Di beberapa tempat, *mangrove* menunjukkan tingkat zonasi yang nyata yang cenderung berubah dari tepi air menuju daratan. Namun kadang-kadang juga tergantung pada undulasi/tinggi rendahnya lantai hutan atau anak sungai di dalam area, skemanya khusus dan menggambarkan keadaan umum dari daratan pasang surut. Sedangkan berdasarkan komposisi flora serta struktur dan penampakan umum hutan, Sukardjo (1984) membagi komunitas *mangrove* Indonesia berdasarkan komposisi flora serta struktur dan penampakan umum hutan (Kustanti, *et al.* 2011).

1. Komunitas Semak

Dibentuk oleh jenis-jenis pioner dan terdapat di tepi-tepi laut atau delta baru yang berlumpur lunak. Flora didominasi oleh *Avecennia marina*, *A. alba* dan *Sonneratia caseolaris* kadang-kadang komunitas ini bercampur dengan tumbuhan non-*mangrove*, seperti *Phragmites karka*, *Pandanus spp.* dan *Glochidion littorale*.



2. Komunitas Bakau Muda

Komunitas ini mempunyai satu lapis tajuk hutan yang seragam tingginya dan tersusun terutama dari jenis *Rhizophora spp.* pada tempat yang terlindung dari hempasan, *Rhizophora spp.* berperan juga sebagai pionir. Jenis-jenis akan berkembang pula, seperti kolonisasi jenis *Avecennia* dan *Sonneratia* pada habitat yang tidak baik untuk pertumbuhan *Rhizophora*. Salah satu jenis-jenis tersebut *Alvicennia alba* yang mampu bertahan terus dan dapat tumbuh sampai melampaui tinggi tajuk *Rhizophora*. Pada tingkat perkembangan lebih lanjut, terjadi percampuran antara jenis-jenis *Rhizophora* dan berbagai jenis *mangrove* lainnya seperti *Bruguiera*, *Xylocarpus*, dan bagian yang jauh dari tepi laut bercampur dengan *Excoecaria agallocha*.

3. Komunitas *Mangrove* Tua

Tepi ini merupakan tipe yang sudah mencapai puncak perkembangannya (klimaks), sering didominasi oleh *Rhizophora* dan *Bruguiera* yang pohonnya besar dan tinggi. *R. mucronata* dan *R. apiculata* mendominasi habitat lumpur lunak seperti *R. stylosa*.



Gambar 4. Pohon *R. apiculata* dengan Diameter Besar



Kondisi pohon pada hutan *mangrove* tua cocok di habitat berpasir dan *Bruguiera spp.* pada lumpur padat. Pada keadaan klimaks ini keseimbangan telah tercatat, tetapi tidak stabil, dinamis dan perubahan yang terjadi bersifat internal serta perubahan komposisi jenis terjadi pada rumpang. Komposisi jenis relatif konstan. Pohon-pohon *mangrove* penyusun tipe ini dapat mencapai diameter 50 cm.

4. Komunitas Nipah

Pada komunitas ini, tumbuhan nipah tumbuhan melimpah dan merupakan jenis utama, bahkan sering pula nipah berkembang menjadi komunitas murni yang luas. Dalam komunitas ini, juga terdapat beberapa jenis pohon *mangrove* yang tumbuh dan menyebar tidak merata.



Gambar 5. Kondisi Vegetasi Nipah di Areal PKT

B. Klasifikasi Vegetasi Penyusun *Mangrove*

Mangrove diklasifikasikan menjadi tiga kelompok, yaitu kelompok mayor, kelompok minor dan kelompok minor dan



kelompok asosiasi *mangrove*. Pengertian masing-masing kelompok tersebut adalah berikut (Kustanti, *et al.* 2011).

1. Kelompok mayor (vegetasi dominan)

Kelompok ini merupakan komponen yang memperlihatkan karakter morfologi, seperti *mangrove* yang memiliki sistem perakaran udara mekanisme fisiologi khusus untuk mengeluarkan garam agar dapat menyesuaikan diri dengan lingkungan. Komponen penyusunannya berbeda taksonomi dengan tumbuhan daratan, hanya menjadi di hutan *mangrove* serta membentuk tegakan murni, tetapi tidak pernah meluas sampai ke dalam komunitas daratan. Di Indonesia, *mangrove* yang termasuk ke dalam kelompok ini adalah *Rhizophora apiculata*, *R. mucronata*, *Sonneratia alba*, *Avecennia marina*, *A. Officinalis*, *Bruguiera gymnorhiza*, *B. Cylinrica*, *B. Parvifolia*, *B. Sexangula*, *Ceriops tagal*, *Kandelia candel*, *Xylocarpus granatum* dan *X. Moluccensis*.

2. Kelompok minor (vegetasi marginal)

Kelompok ini merupakan komponen yang tidak termasuk elemen yang menyolok dari tumbuh-tumbuhan yang mungkin terdapat sekeliling habitatnya dan jarang berbentuk tegakan murni. Jenis-jenis ini biasanya bersekutu dengan *mangrove* yang tumbuh pada pinggiran yang mengarah ke darat dan terdapat secara musiman pada rawa air tawar, pantai, dan dataran landai dan kawasan *mangrove* lain yang marginal.

3. Asosiasi *mangrove*

Kelompok ini merupakan komponen yang jarang ditemukan spesies yang tumbuh di dalam komunitas *mangrove* yang sebenarnya dan kebanyakan sering ditemukan dalam tumbuh-tumbuhan darat.



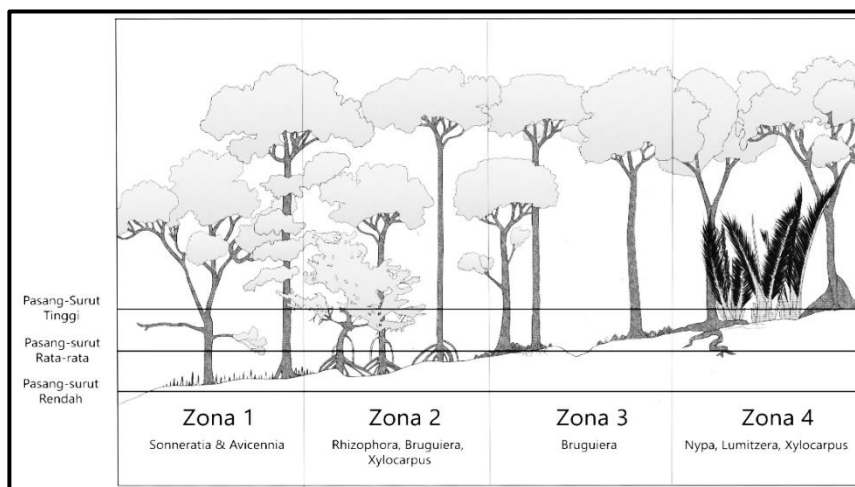
4. Kawasan ekoton

Kelompok ini merupakan zona transisi antara dua sistem daratan yang berada, atau dua sistem akuatik yang berbeda, tetapi dapat pula antara sistem akuatik dengan sistem daratan. (Arifin, *et al.*, 2006).

Flora *mangrove*, baik komponen mayor maupun minor *mangrove* akan tumbuh dengan baik tanpa dipengaruhi oleh kadar garam air namun, jika air terlalu asin maka *mangrove* tidak dapat tumbuh terlalu tinggi. Hal yang harus diperhatikan bahwa spesies *mangrove* dapat tumbuh lebih cepat pada air tawar dibandingkan dengan di air yang mengandung garam/asin.

C. Zonasi Mangrove

Secara umum *mangrove* umumnya mempunyai 4 zona, yaitu daerah terbuka, daerah tengah, daerah yang memiliki sungai berair payau sampai hampir tawar, serta daerah ke arah daratan yang memiliki air tawar. Salah satu zonasi *mangrove* di Indonesia (Kustanti, *et al.* 2011).



Gambar 6. Zonasi pada *Mangrove* (Bengen, 2002)



Daerah yang paling dekat dengan laut, dengan substrat yang agak berpasir, sering ditumbuhi *Avicennia spp.* pada zona ini biasanya ditandai dengan kehadiran asosiasi *Sonneratia spp.* yang dominan tumbuh pada lumpur dalam yang kaya bahan organik. Lebih ke arah darat, hutan *mangrove* umumnya didominasi oleh *Rhizophora spp.* zona ini dijumpai *Bruguiera spp.* dan *Xylocarpus spp.* Zona berikutnya didominasi oleh *Bruguiera spp.* Sedangkan zona transisi antara hutan *mangrove* dengan hutan dataran rendah biasa ditumbuhi oleh *Nypa fruticans*, dan beberapa spesies palem dan jenis lainnya.

D. Sistem Akar dan Tajuk

Ciri penting penampakan hutan *mangrove* adalah dari penyusunan formasinya. Keanekaragaman pada hutan *mangrove* adalah rendah, mempunyai perakaran yang khas yang merupakan adaptasi terhadap kondisi yang kadang-kadang terendam air laut. Pada setiap jenis menunjukkan penampakan perakaran yang berbeda. Mengembangkan struktur akar yang sangat ekstensif dan membentuk jaringan horizontal yang lebar, berguna untuk memperkokoh dan berfungsi untuk mengambil unsur hara dan menahan sedimen. Pada genus *Rhizophoraceae* mempunyai akar tongkat/penyangga yang mempunyai lentisel. Pada suku *Avicenniaceae* mempunyai akar bertipe cakar ayam yang mempunyai pneumatofora, dan lain sebagainya. Selain itu perakaran yang khas, penampakan tajuknya juga selalu hijau sepanjang tahun. Pohon-pohon *mangrove* juga mempunyai adaptasi terhadap kadar garam yang tinggi, hal itu dapat dilihat dari struktur daunnya yaitu memiliki sel-sel khusus dalam daun yang berfungsi untuk menyimpan garam, berdaun tebal dan kuat yang banyak mengandung air untuk mengatur keseimbangan garam dan daunnya memiliki struktur stomata khusus untuk mengurangi penguapan (Kustanti, *et al.* 2011).



E. Fungsi Hutan Kawasan Pesisir

Pada kawasan pesisir yang berhutan *mangrove*, hutan rawa payau dan padang lamun memainkan peranan penting dalam menjaga kestabilan kondisi daratan dan lautan. Lautan adalah ekosistem perairan asin yang maha luas. Karakteristiknya selalu berubah-ubah dipengaruhi oleh iklim. Fungsi secara umum dikategorikan menjadi tiga, yaitu fungsi biologis/ekologis, fungsi fisik dan fungsi sosial ekonomi.

1. Fungsi Ekologis

Hutan *mangrove* sebagai ekosistem terdiri dari komponen biotik dan abiotik. Komponen biotik terdiri dari vegetasi *mangrove* yang meliputi pepohonan, semak dan fauna. Sedangkan komponen abiotik yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan hutan *mangrove* adalah pasang surut air laut, lumpur berpasir, ombak laut, pantai yang landai, salinitas laut, dan lain sebagainya.

Fungsi Ekologis meliputi pula fungsi secara kimia. Kawasan pesisir terutama *mangrove* menjadi tempat terjadinya proses daur ulang yang menghasilkan oksigen, penyerap karbon dioksida, pengelola bahan-bahan limbah hasil pencemaran industri dan kapal-kapal di lautan. Secara biologi Kawasan *mangrove* berfungsi sebagai penghasil bahan pelapukan yang merupakan sumber makanan penting bagi invertebrata kecil pemakan bahan pelapukan (*detritus*), yang kemudian berperan sebagai sumber makanan bagi hewan yang lebih besar. Kawasan ini merupakan Kawasan pemijahan (*spawning ground*), tempat asuh (*nursery ground*) dan tempat mencari makanan (*feeding ground*) bagi udang, ikan, kepiting, kerang dan sebagainya, yang setelah dewasa akan kembali ke lepas pantai. Selain itu juga sebagai kawasan untuk berlindung, bersarang, serta berkembang biak bagi burung dan satwa lain. Kawasan ini juga sebagai sumber plasma nutfah dan sumber genetika, habitat alami bagi berbagai jenis biota darat dan laut lainnya.



2. Fungsi Sosial dan Ekonomi

Upaya pengelolaan sumber daya hutan *mangrove* dan hutan rawa payau secara lestari hendaknya sudah diperhatikan inisiatif lokal masyarakat sekitar. Keberadaan kawasan ini bagi masyarakat dapat dimanfaatkan baik hasil kayu dan non-kayunya sebagai bahan konstruksi, kayu bakar, bahan baku kertas, bahan makanan, kerajinan, bahan obat-obatan, pariwisata dan masih banyak lagi. Hal ini tentu saja akan memberikan manfaat ekonomi bagi masyarakat. Pemenuhan kebutuhan-kebutuhan akan hasil hutan dan jasa *mangrove* memberikan kontribusi dalam upaya peningkatan kondisi ekonomi dan sosial masyarakat di sekitar hutan. Pembangunan ekowisata *mangrove* dapat pula menciptakan lapangan pekerjaan baru bagi masyarakat sekitar hutan.

3. Fungsi Fisik

Hutan *mangrove* dan hutan rawa payau memiliki peranan penting dalam melindungi pantai dari gelombang besar, angin kencang dan badai. *Mangrove* juga dapat melindungi pantai dari abrasi, menahan lumpur, mencegah intrusi air laut dan juga merangkap sedimen. Menurut Kusmana, *et al.* (2003) fungsi fisik keberadaan hutan *mangrove* adalah 1) menjaga garis pantai dan tebing sungai dari erosi/abrasi agar tetap stabil, 2) mempercepat perluasan lahan, 3) mengendalikan intrusi air laut, 4) melindungi daerah di belakang hutan *mangrove* dari hempasan gelombang dan angin kencang, dan 5) mengelola limbah organik.

4. Fungsi Ekowisata Kawasan pesisir khususnya *mangrove*

Kawasan ini dapat menjadi wisata alam pantai dengan keindahan vegetasi dan satwa, serta berperahu di sekitar *mangrove*. Selanjutnya juga dapat berfungsi sebagai tempat pendidikan, konservasi dan penelitian. Salah satu fungsinya secara kimia yaitu sebagai penyerap karbon merupakan salah satu bagian penting dari



keberadaan hutan *mangrove*. Potensi penyimpanan karbon pada substrat lumpur *mangrove* sangatlah besar. Oleh karena itu estimasi penyimpanan karbon pada substrat lumpur *mangrove* dapat dijadikan acuan dasar dalam penilaian manfaat dalam bentuk komoditas jasa lingkungan *C-Sequestration*. Selain melindungi daerah pesisir dari abrasi, tanaman *mangrove* mampu menyerap emisi yang terlepas dari lautan dan udara. Penyerapan emisi gas buang menjadi maksimal karena *mangrove* memiliki sistem akar napas dan keunikan struktur tumbuhan pantai (Purnobasuki, 2012).

F. Peranan Hutan dalam Penyerapan Emisi

Mitigasi perubahan iklim merupakan pengendalian untuk mencegah terjadi perubahan iklim melalui kegiatan yang dapat menurunkan emisi atau meningkatkan penyerapan gas rumah kaca dari berbagai sumber (Perper RI No 46/2008). Secara sederhana, peran hutan *mangrove* dalam mitigasi perubahan iklim adalah mengurangi emisi dan meningkatkan penyerapan gas rumah kaca melalui proses fotosintesis (penyerapan CO₂) vegetasi hutan, atau dengan kata lain mitigasi perubahan iklim oleh hutan melalui fungsi ekologis hutan untuk menstabilkan iklim. Hasil fotosintesis dalam bentuk biomassa saat pertumbuhan vegetasi berlangsung. Penyerapan CO₂ lebih banyak terjadi pada hutan yang sedang berada dalam fase pertumbuhan. Sehingga kegiatan penanaman vegetasi pada lahan yang kosong atau merehabilitasi hutan yang rusak akan membantu menyerap kelebihan CO₂ di atmosfer.

Selain sebagai penyerap, hutan dapat dikategorikan sebagai penghasil emisi akibat konversi hutan atau deforestasi. Deforestasi dapat didefinisikan sebagai perubahan penutupan lahan dari hutan menjadi bukan hutan. Asumsi yang digunakan adalah berkurangnya luasan hutan akan mengurangi potensi penyerapan CO₂ dari atmosfer.

Hasil pengamatan terbaru menunjukkan bahwa *mangrove* dan hutan rawa payau memberi sumbangan sangat potensial untuk



mengurangi emisi karbon dibanding hutan hujan tropis. Hutan *mangrove* mempunyai peranan kunci dalam strategi mitigasi perubahan iklim. Hutan ini memiliki kemampuan menyimpan karbon lebih banyak. Karbon lebih banyak di bawah hutan daripada di atas permukaan tanah dan air. Pelepasan emisi ke udara pada hutan ini lebih kecil daripada hutan di daratan, hal ini karena pembusukan serasah tanaman akuatik tidak melepaskan karbon ke udara.

G. Biomassa Pohon

Biomassa adalah jumlah bahan hidup yang berada di dalam satu atau beberapa jenis organisme yang berada dalam habitat tertentu, biasanya dinyatakan dalam berat organisme per satuan luas habitat. Tanaman atau pohon di hutan dianggap berfungsi sebagai tempat penimbunan atau pengendapan karbon (rosot karbon atau *carbon sink*). Besarnya kandungan karbon dan biomassa pohon bervariasi berdasarkan bagian tumbuhan yang diukur, *growth stage*, tingkatan tumbuhan dan kondisi lingkungannya (Hairiah dan Rahayu, 2007).

Tumbuhan melalui proses fotosintesis menyerap CO₂ dari atmosfer dan mengubahnya menjadi karbon organik dan penyimpanan dalam biomassa tubuhnya seperti dalam batang, daun, akar, umbi, buah, dan lain-lainnya. Keseluruhan hasil dari fotosintesis ini sering disebut juga dengan produktivitas primer. Dalam aktivitas respirasi sebagian CO₂ yang sudah terikat dan dilepaskan kembali dalam bentuk CO₂ ke atmosfer. Selain melalui respirasi, sebagian dari produktivitas primer akan hilang melalui berbagai proses misalnya *herbivory* dan dekomposisi. Sebagian dari biomassa mungkin akan berpindah atau keluar dari ekosistem karena terbawa aliran air atau agen berpindah lainnya. Kualitas biomassa dalam hutan merupakan selisih antara produksi melalui fotosintesis dan konsumsi. Perubahan kualitas biomassa ini dapat terjadi karena suksesi alami dan oleh aktivitas manusia seperti silvikultur, pemanenan dan degradasi.

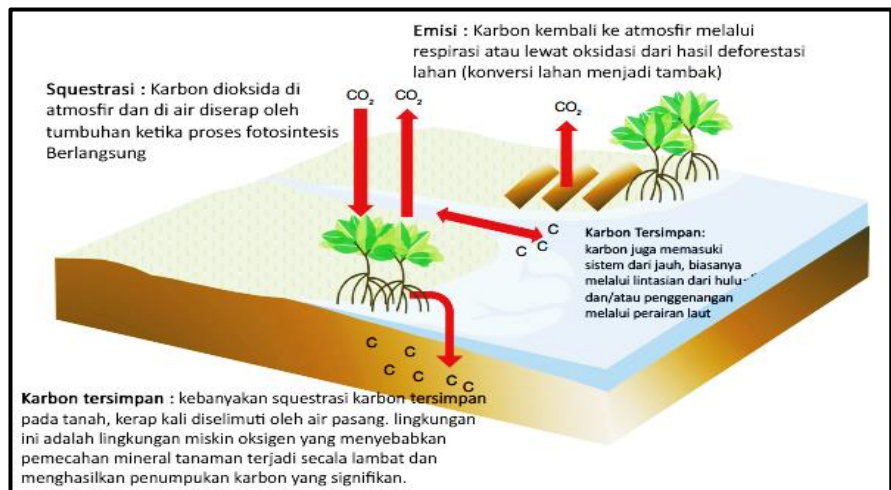


Perubahan juga dapat terjadi karena adanya bencana alam (Sutaryo, 2009).

H. Karbon Biru

Karbon biru (*blue carbon*) adalah karbon yang di dalam hutan *mangrove*, rawa air asin, dan padang lamun. Karbon tersebut di dalam tanah, biomassa bagian atas, biomassa bagian bawah, nekromassa, dan serasah (Mcleod *et al.* 2011). Sama seperti karbon yang di ekosistem daratan, *blue carbon* di dalam tumbuhan tanaman untuk skala waktu yang relatif singkat (tahunan sampai dekade). Tetapi berbeda di saat tumbuhan telah mati, karbon yang dalam tanah pesisir dan hutan *mangrove* akan tetap terjebak untuk waktu yang sangat lama (abad bahkan ribuan tahun) menghasilkan serapan karbon yang sangat besar (Duarte *et al.* 2005; Iacono *et al.* 2008). Gambar 7. Mekanisme Keluar Masuknya Karbon pada Ekosistem *Mangrove* (Fourqurean *et al.* 2014)

Penyimpanan karbon di lahan kering ditunjang ketersediaan tinggi oksigen, yang memungkinkan untuk oksidasi karbon oleh mikroba aerobik dan melepaskan kembali ke atmosfer (Schlesinger & Lichter 2001). Dalam sistem *blue carbon*, tanahnya yang jenuh serta air menjaganya agar tetap dalam keadaan anaerobik (rendah sampai tanpa adanya oksigen), dan itu terus terakumulasi vertikal pada tingkat tinggi mengakibatkan karbon terus menerus menumpuk dari waktu ke waktu (Chmura *et al.* 2003).



Gambar 7. Mekanisme Keluar Masuknya Karbon pada Ekosistem *Mangrove* (Fourqurean *et al.* 2014)

Serapan karbon adalah kandungan karbon baik itu pada permukaan tanah sebagai biomasa tanaman, sisa tanaman yang sudah mati (nekromassa), maupun dalam tanah sebagai bahan organik tanah. Perubahan wujud karbon ini kemudian menjadi dasar untuk menghitung emisi, di mana sebagian besar unsur karbon (C) yang terurai ke udara biasanya terikat dengan O₂ (oksigen) dan menjadi CO₂ (karbon dioksida). Itulah sebabnya ketika satu hektare hutan menghilang (pohon-pohonnya mati), maka biomasa pohon-pohon tersebut cepat atau lambat akan terurai dan unsur karbonnya terikat ke udara menjadi emisi. Dan ketika satu lahan kosong ditanami tumbuhan, maka akan terjadi proses pengikatan unsur C dari udara kembali menjadi biomasa tanaman secara bertahap ketika tanaman tersebut tumbuh besar (sequestrasi). Ukuran volume tanaman penyusun lahan tersebut kemudian menjadi ukuran jumlah karbon yang sebagai biomasa (serapan karbon). Sehingga efek rumah kaca karena pengaruh unsur CO₂ dapat dikurangi, karena kandungan CO₂



di udara otomatis menjadi berkurang. Namun sebaliknya, efek rumah kaca akan bertambah jika tanaman-tanaman tersebut mati (Kauffman and Donato, 2012). Tumbuhan akan mengurangi karbon di atmosfer dan menyimpannya dalam jaringan tumbuhan melalui proses fotosintesis.

Ada lima sumber karbon (*carbon pool*) yang disepakati dalam perhitungan emisi, adalah (1) biomassa di atas permukaan tanah (*above ground biomass*), (2) biomassa di bawah tanah (*below ground biomass*), (3) Sisa-sisa kayu mati (*necromass*), (4) serasah (*litter*), bahan organik tanah (Eggleston *et al.*, 2006).

1. Karbon di Atas Permukaan Tanah

Biomassa karbon pohon merupakan salah satu sumber karbon yang sangat penting pada ekosistem hutan, karena sebagian besar karbon hutan berasal dari biomassa pohon. Pohon merupakan proporsi terbesar penyimpanan karbon di dataran. Pengukuran biomassa pohon dapat dilakukan dengan cara pengukuran langsung hasil penimbangan (*destruktif sampling*) dan cara tidak langsung dengan persamaan alometrik yang berdasarkan pada pengukuran diameter batang.

2. Karbon di Bawah Tanah

Tumbuhan bawah adalah vegetasi yang tumbuh dilantai hutan, dapat berupa herba, semak atau liana (Anonim, 2011). Biomassa akar mentransfer karbon dalam jumlah besar langsung ke dalam tanah dan keberadaannya dalam tanah bisa cukup lama. Pada tanah hutan, biomassa akar lebih didominasi oleh akar-akar besar, sedangkan pada tanah pertanian lebih didominasi oleh akar-akar halus yang lebih pendek daur hidupnya. Biomassa akar dapat pula diestimasi berdasarkan diameter akar proksimal, sama dengan cara untuk mengestimasi biomassa pohon yang didasarkan diameter batang ataupun menggunakan perhitungan nisbi akar pucuk (Eggleston *et al.*, 2006).

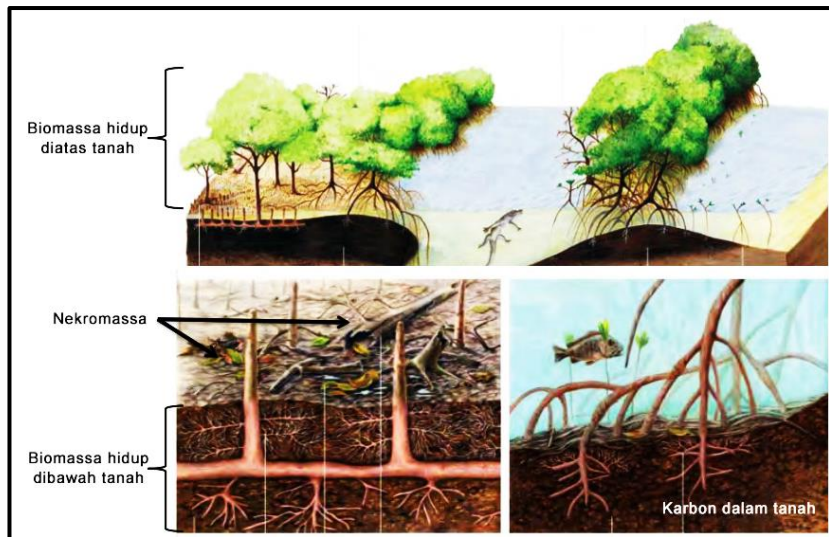


3. Sisa-Sisa Kayu Mati (*Necromass*)

Merupakan batang pohon mati baik yang masih tegak atau telah tumbang dan tergeletak di permukaan tanah, yang merupakan komponen penting dari karbon. Dilakukan pengukuran agar diperoleh estimasi penyimpanan karbon yang akurat (Eggleston *et al.*, 2006).

4. Serasah (*Litter*)

Meliputi bagian tanaman yang telah gugur berupa daun dan ranting-ranting yang terletak di permukaan tanah (Eggleston *et al.*, 2006).



Gambar 8. *Carbon Pool* pada Ekosistem *Mangrove* (diadopsi dari Fourqurean *et al.* 2014)

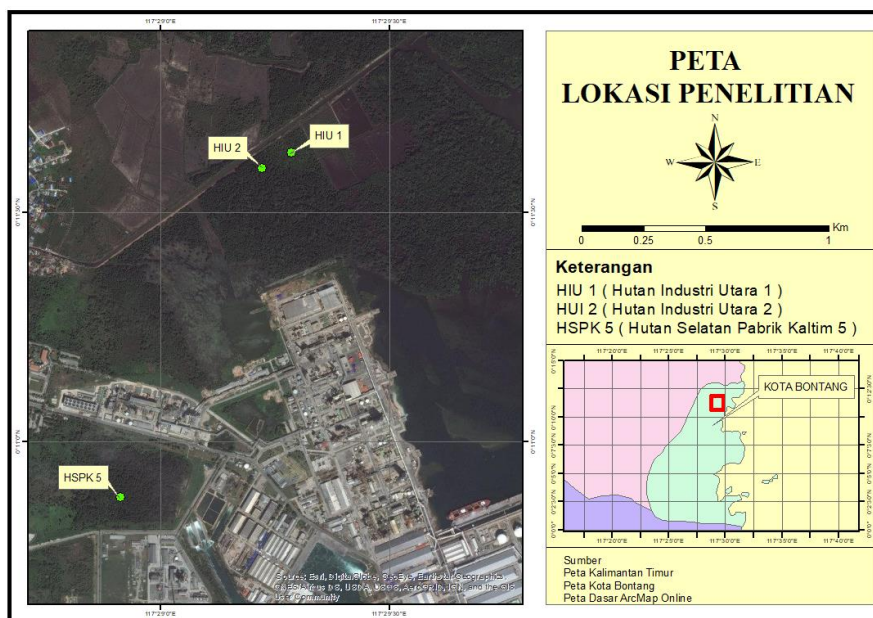
5. Bahan Organik

Bahan organik adalah sisa tumbuhan dan hewan yang berada di permukaan dan di dalam tanah, di mana sebagian atau seluruhnya dirombak oleh organisme tanah sehingga melapuk dan menyatu dengan tanah, dinamakan bahan organik tanah (Eggleston *et al.*, 2006).



III. METODE PENGUKURAN KARBON

Kajian Serapan Karbon Pesisir ini dilaksanakan pada areal *Mangrove* di kawasan Industri PT Pupuk Kaltim Kotamadya Bontang Provinsi Kalimantan Timur. Secara detail lokasi pengambilan sampel data tertera pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9. Peta Lokasi Pengambilan Data

Plot pengambilan data dibuat di 2 lokasi berbeda. Lokasi pertama berada di Hutan Selatan Pabrik Kaltim 5 (HSPK5) dengan



titik koordinat $0^{\circ} 10'52.625''$ LS dan $117^{\circ} 28'54.197''$ BT pada lokasi ini dibuat 1 plot pengamatan. Lokasi kedua berada di Hutan Industri Utara (HUI) dengan membuat 2 plot pengamatan. Plot pertama dengan nama HIU 1 berada pada koordinat $0^{\circ} 11'39.448''$ LS dan $117^{\circ} 29'17.774''$ BT dan plot kedua dengan nama HIU 2 berada pada koordinat $0^{\circ} 11'36.4''$ LS dan $117^{\circ} 29'12.696''$ BT. Kawasan Lahan Industri Utara masuk ke dalam wilayah Desa Guntung di mana lokasi pengamatan dekat dengan pemukiman masyarakat dan berbatasan dengan Taman Nasional Kutai (TNK).

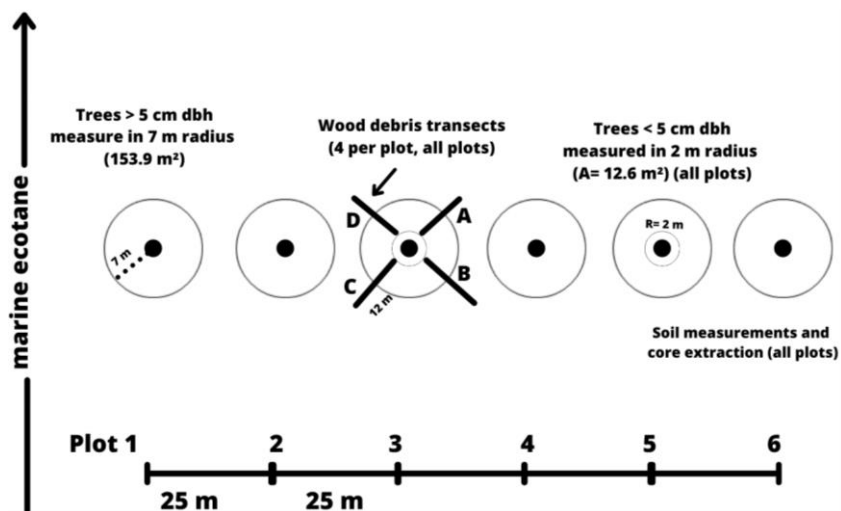
Pada pengambilan data ini menggunakan alat dan bahan sebagai berikut: kompas, GPS, kamera, phiband, kaliper, tali rafia, meteran, patok, haga, *tally sheet* dan alat tulis. Sedangkan teknis pembuatan sampel plot, cara pengambilan sampel, analisis data diuraikan pada bagian berikut.

A. Teknik Pengambilan Sampel

Metode pembuatan plot sampel dilakukan sesuai panduan Kauffman dan Donato (2012) yakni dengan membuat jalur/transek berukuran 125 m pada setiap lokasi pengambilan sampling. Selanjutnya pada setiap 25 m dibuat plot kuadran dan ditandai menggunakan patok P1 yang artinya adalah plot 1, begitu selanjutnya sehingga terdapat 6 plot kuadran pada transek 125 m. Pada setiap plot dibuat sub plotheksagonal sehingga terbentuk 4 transek yaitu transek A, B, C dan D, setiap transek ditarik dengan menggunakan tali rafia masing-masing dengan radius 12 m. Pengambilan sampling dibagi menjadi 2 bagian besar yang pertama pengambilan sampel untuk pohon hidup dan mati yang masih berdiri tegak dan yang kedua pengambilan sampel untuk pohon mati rebah. Bagian pertama yaitu untuk pengukuran pohon hidup yang terdiri dari semai dan pohon, semai yaitu tanaman yang memiliki tinggi $<1,37\text{m}$ dan sampling dilakukan pada radius 2 m dalam plot lingkaran, kedua pengukuran pohon hidup dan mati yang masih berdiri tegak dengan radius 7 m



dengan syarat pohon berdiameter >5 cm dalam plot lingkaran. Bagian kedua yaitu pengukuran pohon atau cabang dan ranting mati yang rebah dan patah yang berada tepat di bawah transek (transek A, B, C dan D), ada 4 kriteria pengambilan sampling yaitu yang pertama radius 2-7 m dengan syarat diameter 2,5-7,5 cm, kedua radius 2-7 m dengan syarat diameter $>7,5$ cm yang dibedakan menjadi kayu yang masih baik dan yang sudah busuk atau rapuh, ketiga radius 7-10 m dengan syarat diameter 0,6-2,4 cm dan keempat radius 10-12 m dengan syarat diameter $<0,6$ cm. Adapun contoh dari pemasangan plot sampling adalah sebagai berikut:



Gambar 10. Bagan Plot Sampel (Donato *et al.*, 2012)

1. Pengambilan Sampel Tumbuhan Hidup

Pengukuran biomassa semai dilakukan di dalam radius 0-2 meter dengan ukuran $\leq 1,37$ meter yang meliputi pengambilan data diameter dan tinggi semai pada seluruh plot kuadran sedangkan untuk pengambilan sampel semai hanya diambil pada satu plot, yang lalu ditimbang setiap bagian ranting dan daun yang selebihnya akan di



oven bersamaan dengan sampel serasah menggunakan oven dengan suhu 75°C selama berat sampel menjadi konstan (tidak ada penurunan berat lagi).



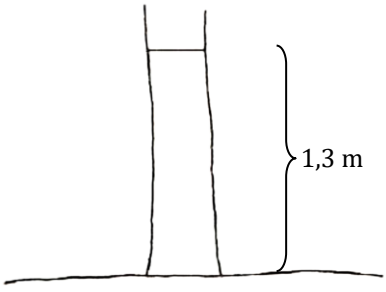
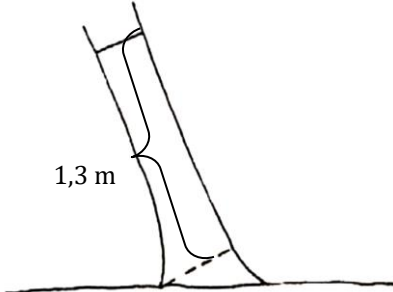
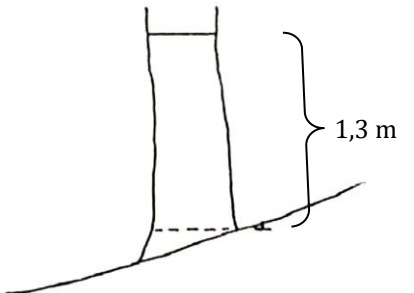
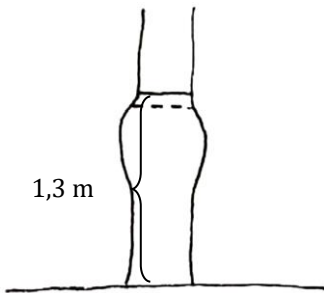
Gambar 11. Pengukuran Diameter di Atas Akar Tunjang

2. Pengambilan Sampel Pohon

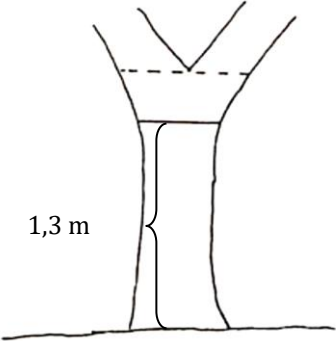
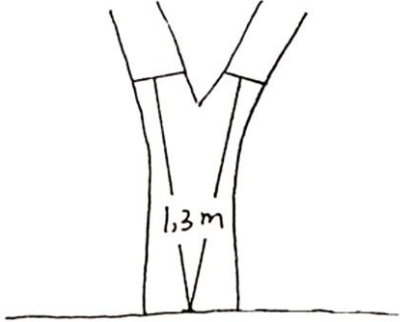
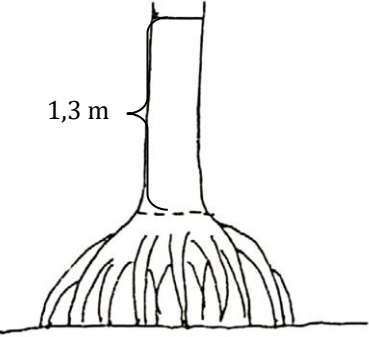
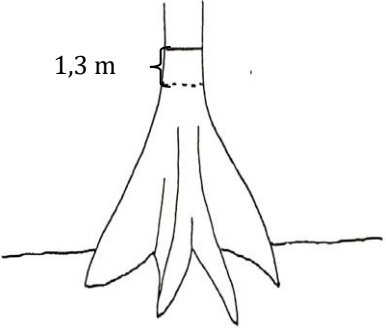
Pengukuran biomassa pohon dilaksanakan di dalam radius 7 meter Tahapan yang dilakukan adalah mengidentifikasi jenis pohon, memori pohon, tinggi dan untuk pengukuran diameter dilakukan pada ketinggian tetap yaitu 1,3 m dari permukaan tanah dan diameter $\geq 5\text{ cm}$, sedangkan pada pohon yang tidak normal, pengukuran dilakukan pada tempat yang ditentukan berdasarkan kaidah



penentuan lokasi pengukuran DBH (*Diameter at Breast Height*) berdasarkan SNI 7724:2011. Pengukuran diameter setinggi dada pada berbagai kondisi pohon di lapangan dapat mengacu pada gambar berikut.

 a. Pohon normal: DBH diukur 1,3 m dari permukaan tanah	 b. Pohon miring: DBH diukur 1,3 m dari permukaan tanah terdekat, atau searah kemiringan pohon
 c. Pohon normal pada tanah miring: DBH diukur 1,3 meter dari permukaan tanah tertinggi	 d. Pohon cacat: Jika 1,3 meter tepat berada pada batang cacat, DBH diukur pada batas bagian yang mulai normal, di atas atau bawah



 e. Pohon cabang: Jika 1,3 m tepat berada pada awal percabangan, DBH diukur di bagian bawah cabang yang masih normal	 f. Pohon cabang: Jika 1,3 meter berada di atas cabang, ukur DBH di kedua cabang dan dianggap 2 batang
 g. Pohon berakar penunjang: DBH diukur 1,3 meter dari batas atas akar tunjang	 h. Pohon berbanir: DBH diukur 20 cm dari batas banir

Gambar 12. Pengukuran Diameter Setinggi Dada pada Berbagai Kondisi Pohon di Lapangan. (Sumber SNI 7724:2011)

3. Pengambilan Sampel Semai

Pengambilan sampel untuk semai dilakukan pada radius 2 m pada setiap plot kuadran dengan syarat pohon berdiameter <5 cm,



untuk pengukuran diameter dilakukan pada ketinggian 30 cm dari permukaan tanah, selain diukur diameter diukur pula tinggi semai.



(a)

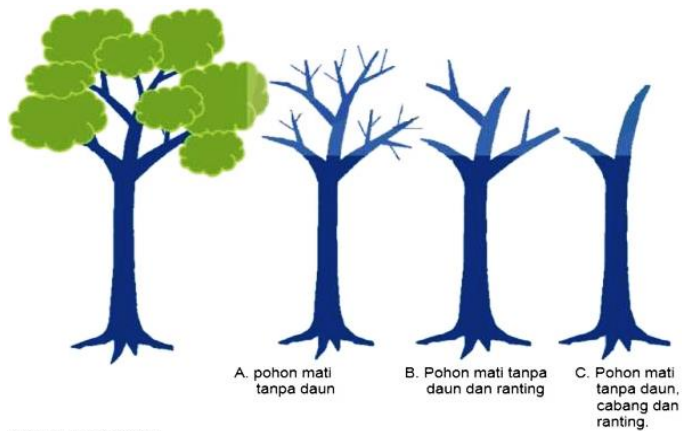
(b)

(c)

Gambar 13. (a) Pengambilan Data Tinggi Semai, (b) Pengambilan Data Diameter Semai, (c) Penimbangan Sampel Semai per Bagian

4. Pengambilan Sampel Biomassa Pohon Mati Berdiri dan Mati Rebah

Pengukuran biomassa pohon mati berdiri dilakukan di dalam radius 2-7 meter. Tahapan pengukuran biomassa pohon mati berdiri yaitu pengukuran diameter $\varnothing \geq 5$ cm dan pengukuran tinggi lalu tentukan tingkat keutuhan pohon mati. bentuk tingkat keutuhan pohon mati dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah. Sedangkan untuk pengukuran biomassa pohon mati rebah dilakukan dengan mengukur diameter ujung dan pangkal dan panjang pohon rebah. Pada pohon mati berdiri dan rebah diameter terpisah menjadi dua pengukuran yaitu 2,5-7,5 dan $\geq 7,5$.



Keterangan gambar:
 A : tingkat keutuhan dengan faktor koreksi 0,9
 B : tingkat keutuhan dengan faktor koreksi 0,8
 C : tingkat keutuhan dengan faktor koreksi 0,7

Gambar 14. Kriteria Keutuhan Pohon Mati Berdiri (Sumber SNI 7724:2011)

5. Pengambilan Sampel Biomassa Serasah

Pengukuran biomassa serasah dilakukan pada radius di setiap kuadran 7-10 meter dengan diameter 0,6–2,4 cm, sedangkan di radius 10–12 meter dengan diameter <0,6 cm.



(a)

(b)

Gambar 15. Pengambilan Data Serasah pada Radius 7–10m (a), Pengambilan Sampel Serasah (b)



6. Pengambilan Sampel Pohon Mati Rebah

Pengambilan sampel untuk kategori pohon mati rebah dilakukan pada 3 radius yaitu radius 2-7 m, 7-10 m dan 10-14 m dalam 4 kriteria pengambilan sampling pada setiap plot kuadran. Pengambilan sampling yang pertama yaitu pada radius 2-7 m dengan syarat pohon atau cabang dan ranting yang mati berdiameter 2,5-7,5 cm, kedua radius 2-7 m dengan syarat pohon atau cabang dan ranting yang mati berdiameter >7,5 cm yang dibedakan menjadi kayu yang masih baik dan yang sudah busuk atau rapuh, ketiga radius 7-10 m dengan syarat cabang atau ranting kayu mati berdiameter 0,6-2,4 cm dan keempat radius 10-14 m dengan syarat cabang atau ranting kayu mati berdiameter <0,6 cm.

B. Teknik Penghitungan Karbon

Data yang diperoleh akan dianalisis dengan perhitungan karbon menggunakan persamaan alometrik berdasarkan jenis vegetasi yang diperoleh dengan menggunakan beberapa persamaan.

1. Perhitungan Biomassa Pohon

Pendugaan biomassa jenis pohon pada hutan *mangrove* di atas permukaan tanah dapat dilakukan dengan mengestimasi berat kering mengikuti fungsi alometrik dan berdasarkan standar SNI 7724:2011 tentang pengukuran dan penghitungan Stok Karbon.

Pada penafsiran berat kering jenis *Bruguiera gymnorrhiza* menggunakan persamaan alometrik berikut (Krisnawati, *et al.*, 2012).

$$\log(\text{BBA}) = -0,552 + 2,244 \log D (\text{DBH})$$

Adapun penafsiran biomassa jenis *Rhizophora apiculata* menggunakan fungsi alometrik (Amira, 2008)

$$\log(\text{BBA}) = -1,315 + 2,614 \log D (\text{DBH})$$

dan untuk menghitung akar Tunjang menggunakan fungsi alometrik (Ong *et al.*, 2004)



$$\log(\text{SRB}) = -2,945 + 2,546 \log D (\text{DBH})$$

Sedangkan untuk penafsiran berat kering jenis pohon *Xylocarpus granatum* dapat menggunakan fungsi alometrik (Talan 2008)

$$\log(\text{BBA}) = -0,763 + 2,23 \log D (\text{DBH}).$$

Keterangan:

BBA : Biomassa Bagian Atas

SRB : *Stilt Root Biomass*

D : Diameter

DBH : *Diameter at Breast Height*

Perhitungan Biomassa Tumbuhan Bawah

Penghitungan biomassa tumbuhan bawah dan serasah (SNI 7724:2011)

$$\text{BO} = \frac{\text{BKs} \times \text{BBt}}{\text{BBs}}$$

Keterangan:

BO : Berat Bahan Organik (kg)

BKs : Berat Kering Sampel (kg)

BBt : Berat Basah Total (kg)

BBs : Berat basah sampel (kg)

2. Perhitungan Biomassa Semai

Perhitungan biomassa dan karbon tersimpan pada semai dilakukan dengan menghitung biomassa semai menggunakan persamaan alometrik sesuai dengan jenis vegetasi dan diameternya. Untuk menghitung biomassa semai digunakan persamaan alometrik seperti pada tabel di bawah ini.



Tabel 1. Persamaan Alometrik untuk Menghitung Biomassa Semai

Spesies	Rumus	Diameter (cm)
<i>Avicennia alba</i>	$B = (114,6x-38,65) \times \rho$	0,3-1,2
<i>Avicennia marina</i>	$B = (216,6x-79,15) \times \rho$	0,3-1,2
<i>Rizophora apiculata</i>	$B = (159,33x-63,9) \times \rho$	0,3-1,2

(Sumber: Diana *et al.*, 2021)

Berat jenis spesies dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Berat jenis Spesies *Mangrove*

Berat Jenis	(g/cm ³)
<i>Avicennia alba</i>	0,6987
<i>Avicennia marina</i>	0,7316
<i>Rhizophora apiculata</i>	0,8814

(Sumber: db.worldagroforestry.org/wd)

3. Perhitungan Biomassa Pohon Mati Berdiri

Setelah diukur DBH pohon mati maka ditentukan tingkat keutuhan pohon mati. Bentuk tingkat keutuhan pohon mati yang dapat dilihat. Kemudian hitung biomassa pohon mati-dengan persamaan alometrik dikalikan faktor koreksi dari tingkat keutuhan pohon mati pada gambar 7.

4. Perhitungan Biomassa Pohon Mati Rebah

$$B = \frac{1}{4} \times \pi \times \left(\frac{d_u + d_p}{2} \right)^2 \times p \times B_{jm}$$

(SNI 7724:2011)

Keterangan:

d_u : diameter ujung
 d_p : diameter pangkal
 p : panjang



Bjm : Berat Jenis

Kemudian setelah diperoleh biomassa pohon maka dihitung stok karbon dengan menggunakan rumus:

$$\text{Stok Karbon} = \text{Biomassa} \times \text{Fraksi Karbon}$$

Dengan nilai Fraksi Karbon sesuai jenisnya dan jika suatu jenis vegetasi belum diketahui fraksi karbonnya maka digunakan fraksi karbon *default* IPCC sebesar 0,47.

5. Penghitungan Karbon per Hektare

Hasil perhitungan total karbon dalam suatu Kawasan atau ekosistem dibagi dengan luasan plot sehingga dapat dikonversi ke dalam Ton/hektare, maka diperoleh nilai karbon pada setiap lokasi pengamatan dalam satuan Ton/ha.

$$C_n = \frac{C_x}{1000} \times \frac{10000}{l_{\text{plot}}}$$

(SNI 7724:2011)

Keterangan:

Cn : kandungan karbon per hektare pada masing-masing *carbon pool* pada tiap plot (ton C/ha)

Cx : kandungan karbon pada masing-masing *carbon pool* pada tiap plot, (kg)

Lplot : luas plot pada masing-masing *pool* (m²)

6. Penghitungan Biomassa di Bawah Permukaan Tanah

Pengukuran biomassa di bawah permukaan tanah dihitung rumus sebagai berikut: (SNI 7724:2011)

$$B_{bp} = NAP \times B_{ap}$$

Keterangan:

Bbp : biomassa di bawah permukaan tanah (kg);



NAP : nilai nisbah akar pucuk;

Bap : nilai biomassa atas permukaan (kg)

*NAP sebesar 0,37 (berdasarkan *IPCC Guidelines* 2006)

7. Penghitungan Karbon di Bawah Permukaan Tanah

Nilai biomassa di bawah permukaan tanah selanjutnya dikali dengan persentase karbon organik.

$$Cb = B \times \% C \text{ organik}$$

(SNI 7724:2011)

Keterangan:

Cb : Karbon bawah (ton/ha)

B : Biomassa Bawah (kg)

% C organik : nilai persentase kandungan karbon, sebesar 0,47

8. Penghitungan Potensi Vegetasi Menyerap Emisi CO₂

Untuk mengetahui seberapa besarnya emisi CO₂ yang diserap oleh vegetasi digunakan perbandingan massa atom relatif C (12) dengan massa molekul CO₂ (44), dirumuskan *JIFPRO* dan *JOPP* (2001); Morikawa, *et al.*, (2003):

$$CO_2\text{-ekuivalen} = (44/12) \times \text{Stok karbon}$$

9. Penghitungan Potensi Vegetasi Memproduksi O₂

Kemampuan memproduksi O₂ ke udara oleh vegetasi diperoleh dengan mengonversi massa atom relatif O₂ dan membagi dengan massa molekul CO₂ dengan rumus *JIFPRO* & *JOPP* (2001); Morikawa, *et al.*, (2003).

$$O_2\text{-ekuivalen} = (32/44) \times CO_2\text{-ekuivalen}$$



IV. KAWASAN PESISIR

A. Kawasan Pesisir Bontang

Lokasi pengamatan ini berada di hutan *mangrove* PKT Desa Guntung, wilayah sekitar kawasan industri PT Pupuk Kaltim (PKT). Lokasi ini termasuk dalam kecamatan Kota Bontang. Secara geografis terletak antara 117°23' Bujur Timur-117°38' Bujur Timur serta di antara 0°01' Lintang Utara-0°012' Lintang Utara. Morfologi Kota Bontang Berupa permukaan tanah datar, landai, berbukit dan bergelombang. Secara topografi, kawasan ini memiliki ketinggian antara 0-120 mdpl dan kemiringan lereng yang bervariasi dari pantai timur dan selatan hingga bagian barat Kota Bontang.

Secara administrasi semula Kota Bontang merupakan administratif dari Kabupaten Kutai dan menjadi daerah otonomi berdasarkan Undang-undang No. 47 tahun 1999 tentang pemekaran Provinsi dan Kabupaten, bersama-sama dengan Kabupaten Kutai Timur dan Kabupaten Kutai Kartanegara.

Berdasarkan data terakhir yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS), Kota Bontang dibagi atas 3 kecamatan yaitu Bontang Selatan, Bontang Barat dan Bontang Utara, yang terdiri dari beberapa desa. Pada Kecamatan Bontang selatan terdapat 6 desa yaitu Desa Bontang Lestari, Satimpo, Berbas Pantai, Berbas Tengah, Tanjung Laut dan Tanjung Laut Indah, pada Kecamatan Bontang Barat terdapat 3 desa yaitu Desa Kanaan, Gunung Telihan dan Belimbing, sedangkan pada Kecamatan Bontang Utara terdapat 6 desa yaitu Bontang Utara, Bontang Baru, Api-API, Gunung Elai, Lok Tuan dan Guntung.



1. Iklim dan Geologi Kawasan Pesisir

Wilayah Kalimantan Timur yang beriklim tropis hampir sama dengan wilayah Indonesia pada umumnya, yaitu adanya musim kemarau dan musim penghujan, di mana setiap tahunnya juga diselingi dengan musim peralihan pada bulan-bulan tertentu. Arena letaknya di wilayah Khatulistiwa masa iklim di wilayah Bontang juga dipengaruhi oleh angin Muson Barat pada Bulan November-April dan Angin Muson Timur pada bulan Mei-Oktober.

Pada zona pengamatan berdasarkan data yang diperoleh dari Dinas Perhubungan Komunikasi dan Informatika Kota Bontang 2016, air pasang dan surut terjadi dua kali setiap hari dengan pasang surut yang beragam. Pasang surut tertinggi terjadi pada bulan Desember, sebesar terendah 0,3 meter dan tinggi 2,6 meter

Rata-rata curah hujan setiap tahunnya setiap tahunnya sangat beragam. Urah hujan tertinggi terjadi pada bulan Januari, sebesar 324,5 mm dengan 11 hari hujan dan curah hujan terendah terjadi pada bulan September 1,5mm dengan 28 hari hujan.

2. Deskripsi Kawasan

Plot Sampel berada di 2 lokasi yaitu Hutan Sebelah Selatan Pabrik Kaltim 5 (HSPK 5) dan Lahan Industri Utara. Hutan Sebelah Selatan Pabrik Kaltim 5 berada di tengah-tengah bangunan industri PT Pupuk Kaltim sebagai Ruang Terbuka Hijau (RTH). Lahan Industri Utara masuk dalam kawasan Desa Guntung di mana lokasi ini dekat dengan pemukiman masyarakat. Pada lokasi ini pernah terjadi kerusakan hutan akibat aktivitas manusia dan sebagian telah beralih fungsi sebagai tambak dan pemukiman. Lahan Industri Utara dibuat 2 plot pengamatan yaitu Hutan di Lahan Industri Utara1(HIU 1) dan Hutan di Lahan Industri Utara 2 (HIU 2) yang berbatasan dengan Taman Nasional Kutai (TNK).



B. Vegetasi Pesisir Bontang

1. Jenis Vegetasi Tingkat Pohon

Pada vegetasi pohon di lokasi pengamatan ditemukan 3 jenis vegetasi yang tergolong dalam 2 famili. Dilihat dari jenis vegetasi tingkat pohon yang ditemukan pada plot pengamatan didominasi oleh jenis *Rhizophora apiculata* Blume. Dengan jumlah individu sebanyak 140 individu, *Bruguiera gymnorhiza* (L.) Lam. dengan jumlah individu sebanyak 67 individu dan *Xylocarpus granatum* J.Koenig dengan jumlah individu sebanyak 43 individu untuk lebih jelas jenis vegetasi pohon yang di jumpai pada plot pengamatan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3. Vegetasi Tingkat Pohon pada Plot Pengamatan

Jenis	Lokasi			Total Individu Jenis
	HSPK 5	HIU 1	HIU 2	
<i>Bruguiera gymnorhiza</i> (L.) Lam.	-	46	21	67
<i>Xylocarpus granatum</i> J.Koenig	-	24	19	43
<i>Rhizophora apiculata</i> Blume	29	37	74	140
Total	29	107	114	250

2. Serapan Biomassa dan Karbon di Atas Permukaan

Serapan karbon di atas permukaan meliputi vegetasi yang hidup dan tumbuh di atas tanah seperti pohon, pancang, dan tumbuhan bawah (Eggleston *et al.*, 2006). Pada pengamatan ini untuk menghitung karbon pada setiap tingkatan vegetasi menggunakan persamaan-persamaan atau pendekatan alometrik yang telah ada dari pengamatan-pengamatan sebelumnya.

Secara lebih rinci cadangan karbon di atas permukaan tanah pada lokasi pengamatan dari masing-masing tingkatan vegetasi, diuraikan sebagai berikut.

a. Biomassa dan Karbon Vegetasi Tingkat Pohon

Hasil pengukuran di lapangan memiliki pendugaan biomassa pada vegetasi tingkat pohon sebesar 35,856 ton/ha dan



kandungan karbon dengan asumsi 50% dari biomassa yang sebesar 16,492 ton/ha. Kandungan biomassa termasuk dalam kategori baik walau bukan kategori tinggi. Hal ini dikarenakan vegetasi *mangrove* di areal PKT ada banyak kawasan yang terfragmentasi (tidak ditumbuhi vegetasi). Biomassa dan kandungan karbon terbanyak, terdapat pada jenis *Rhizophora apiculata* Blume dengan total biomassa sebesar 15,856 ton/ha dan total karbon yang sebesar 7,452 ton/ha, pada jenis *Bruguiera gymnorhiza* (L.) total biomassa sebesar 10,069 ton/ha dan total karbon yang sebesar 4,733 ton/ha sedangkan jenis *Xylocarpus granatum* J.Koenig. Total biomassa sebesar 9,165 ton/ha dan total karbon yang sebesar 4,307 ton/ha. Untuk rekapitulasi hasil perhitungan biomassa dan kandungan karbon yang berjenis tersaji pada tabel berikut.

Tabel 4. Biomassa dan Karbon Vegetasi Tingkat Pohon

Jenis	Jumlah Pohon	Biomassa (ton/ha)	Karbon (ton/ha)
<i>Bruguiera gymnorhiza</i> (L.) Lam.	67	10,069	4,733
<i>Xylocarpus granatum</i> J.Koenig	43	9,165	4,307
<i>Rhizophora apiculata</i> Blume	140	15,856	7,452
Total	250	35,090	16,492

Pada 3 (tiga) plot sampel didapatkan biomassa dan karbon yang beragam pada masing-masing lokasi, biomasa dan karbon terbesar terdapat pada lokasi HIU 2 dengan biomassa sebesar 19,985 ton/ha dan karbon sebesar 9,393 ton/ha, lokasi HIU 1 biomassa sebesar 9,266 ton/ha dan karbon sebesar 4,355 ton/ha, sedangkan lokasi HSPK 5 biomassa sebesar 5,840 ton/ha dan karbon sebesar 2,745 ton/ha. Untuk rekapitulasi hasil perhitungan biomassa dan kandungan karbon yang pada 3 lokasi tersaji pada tabel berikut.



Tabel 5. Biomassa dan Karbon Vegetasi Pohon pada 3 Plot Pengamatan

No	Lokasi	Rerata Diameter (cm)	Biomassa (ton/ha)	Karbon (ton/ha)
1	HIU 2	11,74	19,985	9,393
2	HIU 1	9,83	9,266	4,355
3	HSPK 5	8	5,840	2,745
Total			35,092	16,493

b. Biomassa dan Karbon Vegetasi Tumbuhan Bawah

Hasil pengukuran pada tingkat tumbuhan bawah ini memiliki pendugaan biomassa dan karbon yang beragam pada 3 lokasi plot sampel. Biomassa dan karbon terbesar terdapat pada lokasi HIU 1 dengan biomassa sebesar 0,340 ton/ha dan karbon sebesar 0,160 ton/ha, pada lokasi HSPK 5 biomassa sebesar 0,033 ton/ha dan karbon sebesar 0,015 ton/ha, sedangkan pada lokasi HIU 2 tidak di temukan tumbuhan bawah. Untuk hasil perhitungan biomassa dan karbon pada tumbuhan bawah di 3 lokasi dapat di lihat pada tabel berikut.

Tabel 6. Biomassa dan Karbon pada Tumbuhan Bawah

No	Lokasi	Biomassa(ton/ha)	Karbon (ton/ha)
1	HIU 1	0,340	0,160
2	HSPK 5	0,033	0,015
3	HIU 2	-	-
Total		0,340	0,160

c. Serapan Biomassa dan Karbon di Bawah Permukaan

Serapan karbon di bawah permukaan adalah semua biomassa yang berada di bawah tanah berupa akar vegetasi yang hidup pada permukaan tanah (Eggleston *et al.*,2006). Dari hasil perhitungan biomassa di atas permukaan dari setiap tingkatan vegetasi pada 2 lokasi dari 3 plot memiliki nilai yang bervariasi. Berdasarkan hasil perhitungan karbon di bawah



permukaan di dapatkan total serapan biomassa dan karbon pada tingkat vegetasi pohon terbesar berada pada HIU 2 dengan biomassa sebesar 7,398 ton/ha dan karbon 3,484 ton/ha, untuk biomassa dan karbon tingkat vegetasi tumbuhan bawah di dapatkan biomassa dan karbon 0 ton/ha, Pada HIU 1 didapatkan biomassa dan karbon tingkat vegetasi pohon dengan biomassa sebesar 3,430 ton/ha dan karbon sebesar 1,612 ton/ha, untuk biomassa tingkat vegetasi tumbuhan bawah didapatkan biomassa sebesar 0,126 ton/ha dan karbon sebesar 0,059 ton/ha. Sedangkan HSPK 5 didapatkan nilai biomassa dan karbon vegetasi pohon paling terkecil dengan biomassa sebesar 2,162 ton/ha dan karbon sebesar 1,016 ton/ha, untuk vegetasi tingkat bawah di dapatkan biomassa sebesar 0,012 ton/ha dan karbon sebesar 0,006 ton/ha. Rekapitulasi data dapat dilihat pada berikut.

Tabel 7. Serapan Karbon di Bawah Permukaan Tanah

Lokasi	Akar	Bap	Nap	Bbp	Stok Karbon (kg)	Biomassa (Ton/Ha)	Karbon (Ton/ha)
HIU 2	Phn. Hidup	941,70	0,37	348,4	163,761	7,398	3,484
	T. Bawah	0	0,37	0	0	0	0
HIU 1	Phn. Hidup	436,67	0,37	161,6	75,937	3,430	1,612
	T. Bawah	0,43	0,37	0,2	0,074	0,126	0,059
HSPK 5	Phn. Hidup	275,21	0,37	101,8	47,858	2,162	0,016
	T. Bawah	0,04	0,37	0,02	0,007	0,012	0,006
Total					287,638		
Total Ton/Ha						13,128	6,177

d. Serapan Karbon Kayu Mati (*Necromass*)

Serapan karbon pada kayu mati (*necromass*), merupakan batang pohon mati baik yang masih tegakan atau yang telah tumbang dan tergeletak di permukaan tanah.



e. Serapan Biomassa dan Karbon Pohon Mati Berdiri

Pohon mati berdiri merupakan bagian dari komponen serapan karbon pada bagian *necromass*. Pada serapan karbon pohon mati berdiri memiliki 3 jenis vegetasi dengan jumlah individu yang berbeda pada masing-masing plot sampel. Pada plot HSPK 5 di dapatkan 1 jenis yaitu *Rhizophora apiculata* Blume dengan 28 individu, HIU1 didapatkan jenis yang sama dengan 34 individu, sedangkan pada HIU2 di dapatkan 3 jenis yaitu *Rhizophora apiculata* Blume berjumlah 40 individu, *Bruguiera gymnorhiza* (L.) Lam. berjumlah 12 individu, *Xylocarpus granatum* J.Koenig berjumlah 2 individu dengan total 116 individu seperti tertera pada tabel berikut.

Tabel 8. Jenis-Jenis Vegetasi Pohon Mati Berdiri

Jenis	Lokasi			Total
	HSPK 5	HIU 1	HIU 2	
<i>Rhizophora apiculata</i> Blume	28	34	40	102
<i>Bruguiera gymnorhiza</i> (L.) Lam.	0	0	12	12
<i>Xylocarpus granatum</i> J.Koenig	0	0	2	2
Total Individu				116

Sedangkan biomassa dan karbon di dapatkan nilai yang bervariasi pada masing-masing plot pengamatan. HIU 2 memiliki biomassa dan karbon terbesar didapatkan biomassa sebesar 3,108 ton/ha dan karbon sebesar 1,461 ton/ha, HIU 1 biomassa sebesar 1,452 ton/ha dan karbon 0,683 ton/ha dan HSPK 5 di dapatkan biomassa dan karbon terkecil dengan nilai biomassa sebesar 0,926 ton/ha dan karbon sebesar 0,435 ton/ha.



Rekapitulasi data dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 9. Serapan Biomassa dan Karbon Pohon Mati Berdiri

No	Lokasi	Biomassa (ton/ha)	Karbon (ton/ha)
1	HIU 2	3,108	1,461
2	HIU 1	1,452	0,683
3	HSPK 5	0,926	0,435
Total		5,487	2,579

f. Serapan Biomassa dan Karbon Kayu Mati Rebah

Kayu Mati atau batang rebah adalah salah satu atau bagian pohon mati yang sudah rendah dengan diameter 2,5 cm. Semua batang rebah yang masu pada radius 2-7 meter. Dari hasil pengukuran di lapangan pada 3 lokasi berbeda di dapatkan nilai yang bervariasi masing-masing lokasi, yang terbesar terdapat pada lokasi HIU 1 dengan Biomassa sebesar 0,054ton/ha dan karbon 0,025 ton/ha, diikuti lokasi HIU dengan biomassa 0,036 ton/ha dan karbon 0,017 ton/ha. Dan terkecil pada lokasi HSPK 5 dengan nilai biomassa sebesar 0,030 dan karbon sebesar 0,014. Untuk rekapitulasi data dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 10. Serapan Karbon pada Pohon Rebah

No	Lokasi	Rerata diameter (cm)	Banyak sampel	Biomassa (ton/ha)	Karbon (ton/ha)
1	HIU 1	11,52	62	0,054	0,025
2	HIU 2	8,13	81	0,036	0,017
3	HSPK 5	6,12	61	0,030	0,014
Total			143	0,0907	0,0426

g. Serapan Biomassa dan Karbon pada Serasah

Serasah merupakan biomassa yang telah mati meliputi bagian tumbuhan yang telah gugur berupa daun, ranting-ranting, dan lainnya yang terletak di permukaan tanah (Eggleton



et al., 2006) dari hasil penimbangan di lapangan setiap bagian pada serasah seperti daun mati, buah dan ranting memiliki berat yang berbeda pada 3 plot pengamatan. Total biomassa yang sebesar 1,958 ton/ha dan karbon sebesar 0,920 ton/ha.

Tabel 11. Serapan Karbon pada Serasah

Lokasi	Bagian Sampel	Biomassa (ton/ha)	Karbon (ton/ha)	Biomassa	Karbon
HIU 1	Daun	0,581	0,273	0,917	0,431
	Ranting	0,336	0,158		
HSPK 5	Daun	0,211	0,099	0,740	0,348
	Ranting	0,529	0,249		
HIU 2	Daun	0,086	0,041	0,301	0,142
	Ranting	0,215	0,101		
Total		1,958	0,920	1,958	0,920

h. Total Serapan Karbon pada Masing-Masing Lokasi

Pada hasil pengamatan yang dilakukan di 2 lokasi yang berbeda di dapatkan hasil nilai perhitungan bervariasi yang dapat dilihat dari tabel sebelumnya pada masing-masing komponen penyimpanan karbon. Total biomassa dan karbon yang didapatkan pada seluruh lokasi dengan nilai biomassa sebesar 46,112 ton/ha dan karbon sebesar 21,685 ton/ha.

Tabel 12. Total Serapan Karbon pada Masing-Masing Lokasi

No	Lokasi	Biomassa (ton/ha)	Karbon (ton/ha)
1	HIU 2	28,380	13,338
2	HIU 1	14,465	6,799
3	HSPK 5	8,800	4,136
Total		51,645	24,273

Pada tabel di atas dapat dilihat nilai terbesar pada lokasi HIU 2 dengan nilai biomassa sebesar 28,380 ton/ha dan karbon

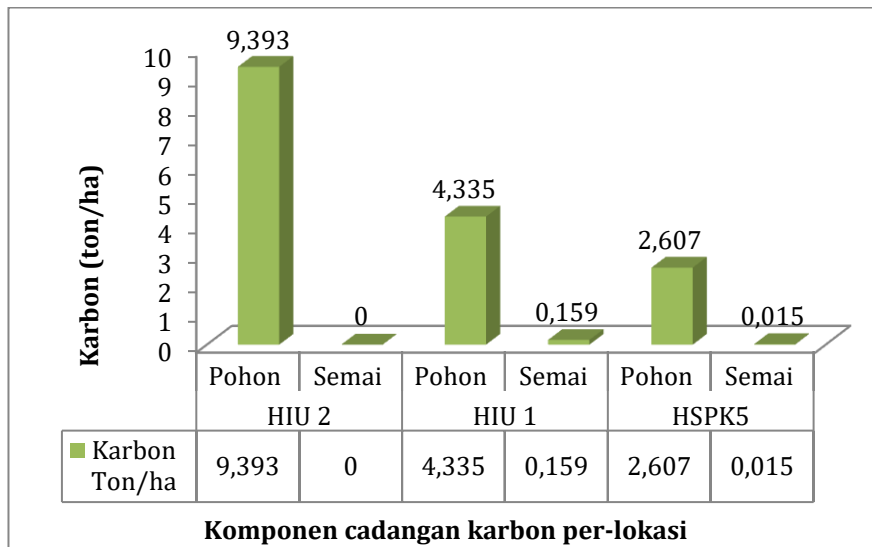


sebesar 13,338 ton/ha, diikuti oleh HIU 1 dengan nilai biomassa sebesar 14,465 ton/ha dan karbon sebesar 6,799 ton/ha, dan HSPK 5 yang terkecil dengan nilai biomassa sebesar 8,800 ton/ha dan karbon sebesar 4,136 ton/ha.

C. Potensi Serapan Karbon

1. Serapan Karbon di Atas Permukaan

Potensi Serapan karbon vegetasi *mangrove* baik yang dihitung pada pengamatan ini adalah cadangan karbon yang pada semua vegetasi yang masih hidup atau telah mati. Hasil pengukuran yang telah dilakukan terlihat bahwa dari setiap pengukuran tingkat vegetasi di 2 lokasi berbeda yaitu Hutan Selatan Pabrik Kaltim 5 dan Lahan Industri Utara yang dibuat 3 plot pengukuran diperoleh serapan karbon di atas permukaan tanah vegetasi tingkat pohon memiliki serapan karbon terbesar dibandingkan dengan vegetasi tumbuhan bawah pada setiap masing-masing plot. Hal ini dikarenakan diameter yang besar dan jumlah individu yang banyak pada plot pengamatan sehingga mempengaruhi biomassa dan karbon dibanding dengan tingkatan vegetasi lainnya. Adanya proses fotosintesis yang mempengaruhi pertumbuhan vegetasi baik secara horizontal maupun secara vertikal pada jumlah serapan karbon di setiap tingkatan vegetasinya. Semakin besarnya diameter disebabkan oleh penyimpanan biomassa hasil konversi karbon yang semakin bertambah besar seiring dengan banyaknya karbon yang diserap pohon tersebut (Ati *et al.*, 2014). Cahaya matahari sebagai sumber energi tunggal untuk proses fotosintesis terdistribusi secara tidak merata. Pada vegetasi tingkat pohon memperoleh sinar matahari lebih banyak dibanding pada tingkatan di bawahnya seperti pancang dan semai.



Gambar 16. Grafik Pendugaan Serapan Karbon di Atas Permukaan pada Masing-Masing Lokasi

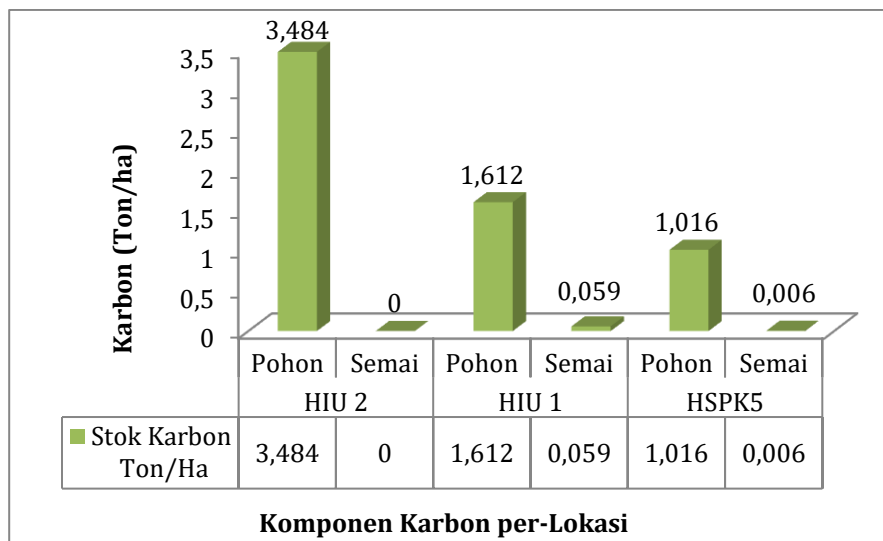
Adapun serapan karbon terbesar pada 2 lokasi yaitu Hutan Sebelah Selatan Kaltim 5 dan Lahan Industri Utara yang dibuat 3 plot bahwasanya nilai karbon terbesar vegetasi tingkat pohon didapatkan pada plot HUI 2 sebesar 9,393 ton/ha, ini dikarenakan jumlah individu yang banyak pada plot tersebut sebanyak 114 individu dari 3 jenis vegetasi yaitu *Bruguiera gymnorhiza* (L.) Lam., *Xylocarpus granatum* J.Koenig. dan *Rhizophora apiculata* Blume dengan rata-rata diameter 11,74 cm. Sedangkan untuk karbon vegetasi tingkat semai lebih kecil dikarenakan pada plot tersebut tidak didapatkan individu pada tingkat tersebut. Pada plot HUI 1 didapatkan nilai karbon sebesar 4,335 ton/ha dengan jumlah individu 107 individu dari 3 jenis vegetasi yang sama pada plot HUI 2 dengan rata-rata diameter 9,83 cm. Sedangkan karbon vegetasi tumbuhan bawah sebesar 0,159 ton/ha. Sedangkan karbon terkecil terdapat pada plot HSPK5. Karbon pada vegetasi pohon didapatkan sebesar 2,607 ton/ha. Pada plot ini didapatkan 29 individu



dan terdapat hanya satu jenis vegetasi yaitu *Rhizophora apiculata* Blume, pada lokasi tersebut dengan rata-rata diameter 8 cm.

2. Serapan Karbon di Bawah Permukaan

Serapan karbon di bawah permukaan adalah karbon yang pada setiap tingkatan vegetasi yang terdapat bagian akar yang masih hidup dan berada di dalam tanah. Pohon memiliki jumlah biomassa dan serapan karbon terbesar dibandingkan dengan bagian lainnya dengan nilai biomassa dan karbon yang bervariasi jumlah karbon terbesar terdapat pada HIU 2 dengan karbon sebesar 2,336 ton/ha diikuti HUI 1 karbon sebesar 1,100 ton/ha dan terkecil HSPK5 karbon sebesar 0,575 ton/ha. Sedangkan karbon vegetasi tumbuhan bawah terbesarnya ada pada HUI 1 dengan karbon sebesar 0,045 ton/ha, diikuti HSPK5 0,004 ton/ha dan terkecil pada HIU 2 dengan 0 ton/ha dikarenakan pada plot tersebut tidak didapatkan vegetasi tumbuhan bawah. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar berikut.



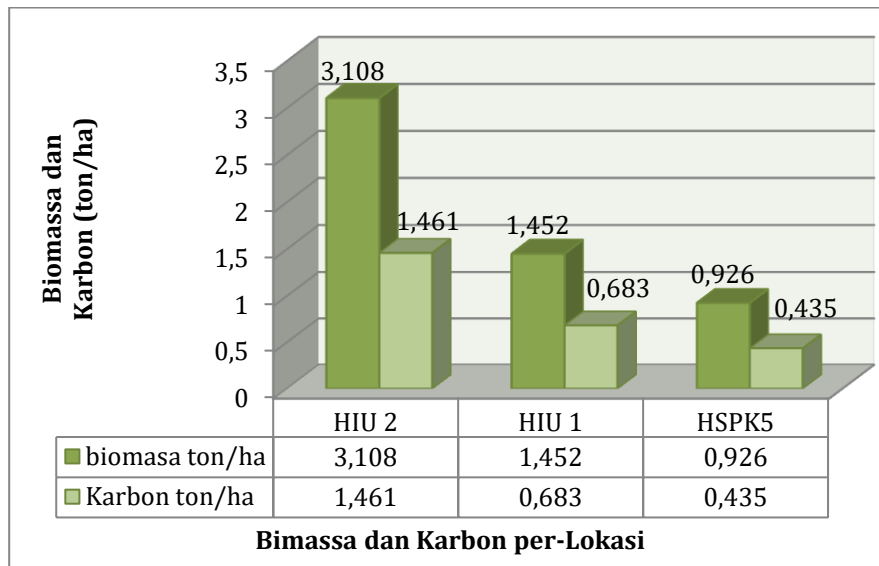
Gambar 17. Potensi Serapan Karbon di Bawah Permukaan



Dari gambar di atas, terlihat bahwasanya biomassa dan serapan karbon di bawah permukaan mengikuti pertambahan biomassa yang terjadi pada biomassa dan serapan karbon di atas permukaan, semakin besar biomassa dan serapan karbon di atas permukaan maka semakin besar pula biomassa dan serapan karbon di bawah permukaan. Seperti yang dijelaskan (Diana 2015), dalam pengamatannya biomassa dan serapan karbon di bawah permukaan (*below ground*) mengikuti perkembangan pada biomassa dan serapan karbon di atas permukaan tanah.

3. Serapan Karbon pada Sisa-Sisa Kayu Mati (*Necromass*)

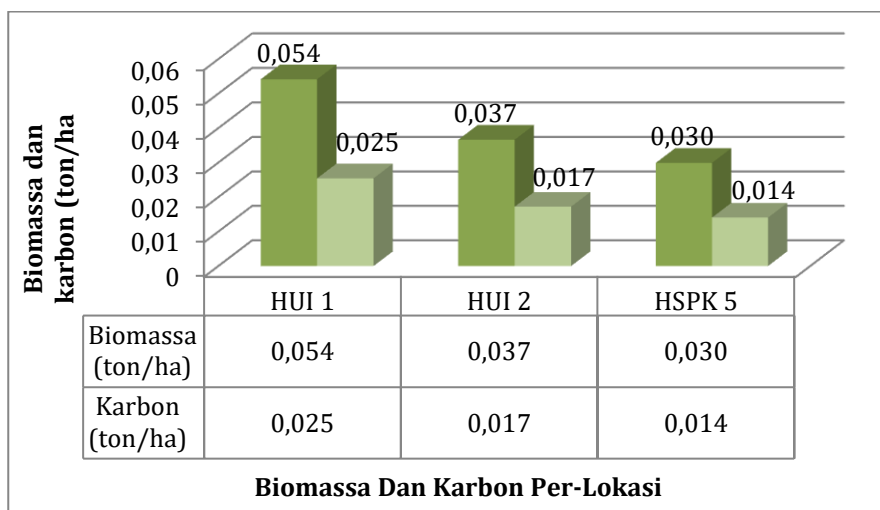
Perhitungan kemampuan vegetasi menyerap karbon dalam kurun waktu tertentu berasal dari seluruh tumbuhan yang mempunyai kemampuan melakukan fotosintesis yang pada vegetasi yang masih hidup dan yang telah menjadi nekromassa. Dari hasil pengamatan yang dilakukan di lokasi yang berbeda didapatkan nilai biomassa dan karbon yang bervariasi pada masing-masing plot yang dibuat. Biomassa dan cadang karbon pada sisa-sisa kayu mati yaitu kayu mati berdiri dan kayu mati rebah. Pada kayu mati berdiri didapatkan biomassa dan karbon terbesar di plot HIU 2 dengan biomassa sebesar 3,108 ton/ha dan karbon sebesar 1,461 ton/ha, diikuti dengan HIU 1 dengan biomassa sebesar 1,452 ton/ha dan karbon sebesar 0,683 ton/ha sedangkan pada HSPK5 biomassa didapatkan sebesar 0,926 ton/ha dan karbon 0,435 ton/ha. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 18. Grafik Pendugaan Serapan Karbon pada

Pohon Mati Berdiri

Hasil pengukuran dan analisis data kayu mati rebah juga memiliki nilai biomassa dan karbon yang bervariasi pada masing-masing plot pengamatan. Pada HIU 1 memiliki biomassa dan karbon terbesar dengan nilai biomassa sebesar 0,054 ton/ha dan karbon 0,025 ton/ha, HIU 2 biomassa sebesar 0,037 ton/ha dan karbon sebesar 0,017 ton/ha sedangkan yang terkecil HSPK 5 dengan biomassa sebesar 0,030ton/ha dan karbon sebesar 0,014 ton/ha.



Gambar 19. Grafik Pendugaan Serapan Karbon Pohon Mati Rebah

Dari kedua grafik di atas dapat dilihat perbedaan karbon pada sisa-sisa kayu mati (*necromass*) pada setiap lokasi dan tempat penyimpanan karbon itu sendiri. Besar dan kecilnya kandungan karbon yang dipengaruhi dengan tidak bertumbuhnya lagi vegetasi tersebut baik horizontal maupun vertikal atau telah mati. Selain itu juga yang mempengaruhi besarnya serapan karbon pada *necromass* yaitu jumlah kehadiran individu pada lokasi tersebut dan pertumbuhan vegetasi itu sendiri sebelum vegetasi itu berhenti tumbuh atau mati. Pada serapan karbon di sisa-sisa kayu mati (*necromass*) tidak lagi bisa menyerap CO_2 bahkan sebaliknya *necromass* ini dengan perlahan akan melepaskan CO_2 ke udara.

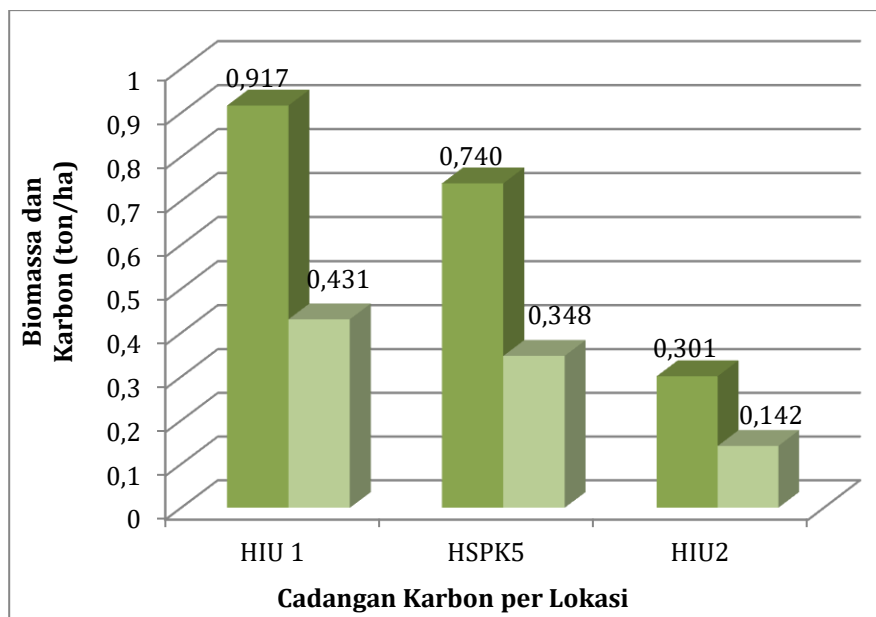
4. Serapan Karbon Tersimpan pada Serasah (*Litter*)

Dari hasil pengamatan yang sudah dilakukan pada hutan *mangrove* di kawasan PT Pupuk Kaltim biomassa dan serapan karbon pada serasah (*litter*) nilai yang didapatkan bervariasi pada lokasi masing-masing lokasi, untuk nilai karbon tertinggi di tempati pada HUI 1 dengan nilai



biomassa sebesar 0,917 ton/ha dan karbon sebesar 0,431 ton/ha, di ikuti HSPK 5 nilai biomassa sebesar 0,740 ton/ha dan karbon sebesar 0,348 ton/ha sedangkan nilai terkecil pada HUI 2 dengan nilai biomassa sebesar 0,281 ton/ha dan karbon sebesar 0,132 ton/ha.

Terlihat perbedaan nilai yang dapat dilihat pada gambar di bawah, di mana nilai tersebut dipengaruhi banyaknya jumlah serasah yang di jatuhkan oleh vegetasi seperti daun, ranting, dan buah, sikap ini merupakan salah satu teknik pertahanan hidup dari vegetasi untuk mengurangi aktivitas respirasi dalam proses pertumbuhan. Serapan karbon pada serasah hutan *mangrove* tidaklah begitu besar jika dibanding dengan hutan daratan.



Gambar 20. Grafik Pendugaan Serapan Karbon pada Serasah (*Litter*)

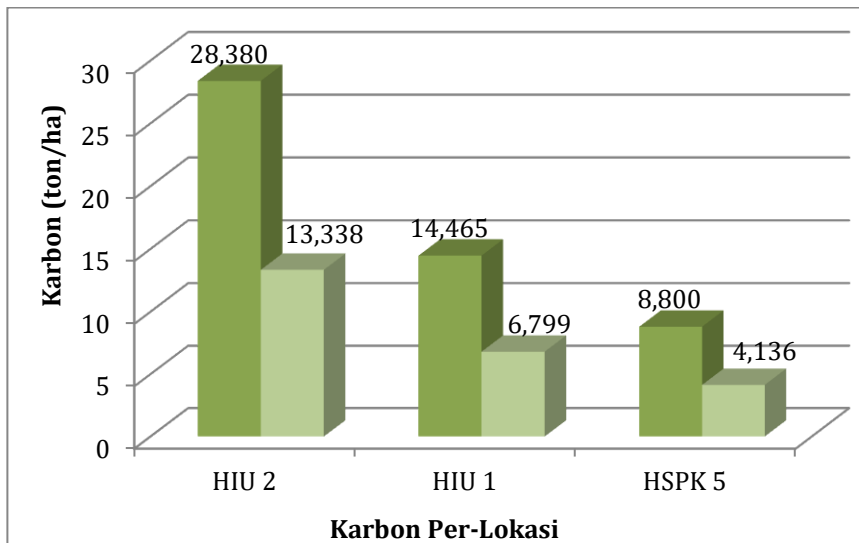
Hal ini disebabkan karena hutan *mangrove* dipengaruhi pasang surut yang mengakibatkan serasah tersebut terbawa air pada waktu surut.



Gambar 21. Kondisi Lantai Hutan *Mangrove* di Bontang

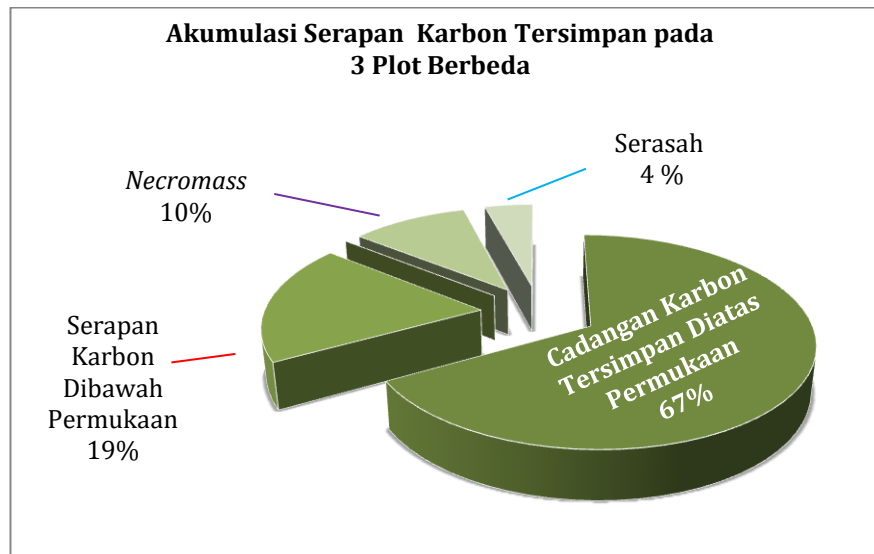
5. Potensi Serapan Karbon pada Masing-Masing Plot Pengamatan

Dari hasil perhitungan data yang dilakukan di dua lokasi yaitu Hutan Sebelah Selatan Kaltim 5 dan Hutan Industri Utara di kawasan areal PT Pupuk Kaltim yang dibuat 3 plot pengamatan. Dari masing-masing lokasi memiliki nilai biomassa dan karbon yang bervariasi yang tertinggi pada HIU 2 dengan nilai biomassa sebesar 28,380 ton/ha dan karbon sebesar 13,338 ton/ha, diikuti HIU 1 dengan nilai biomassa sebesar 14,465 ton/ha dan karbon sebesar 6,799 ton/ha, sedangkan yang terendah lokasi HSPK 5 dengan biomassa sebesar 8,800 ton/ha dan karbon 4,136 ton/ha.



Gambar 22. Grafik Biomassa dan Karbon per Lokasi Sampel

Potensi serapan karbon terbesar terdapat pada lokasi HIU 2 dikarenakan pada lokasi ini memiliki komposisi vegetasi tingkat pohon paling terbanyak dibandingkan pada lokasi lainnya sebanyak 114 individu, hal ini berpengaruh terhadap besar kecilnya serapan karbon. Setiap komponen serapan karbon pada setiap lokasi didapatkan total biomassa sebesar 51,645 ton/ha dan karbon sebesar 24,273 ton/ha. Dari semua komponen serapan karbon bahwasanya karbon di atas permukaan memiliki presentase terbesar dari seluruh komponen serapan karbon lainnya dengan nilai presentase sebesar 67%, sedangkan yang terkecil dimiliki oleh komponen serapan karbon pada serasah dengan sebesar 4% dari seluruh komponen serapan karbon dalam plot pengamatan.



Gambar 23. Akumulasi Serapan Karbon pada Ketiga Plot Pengamatan

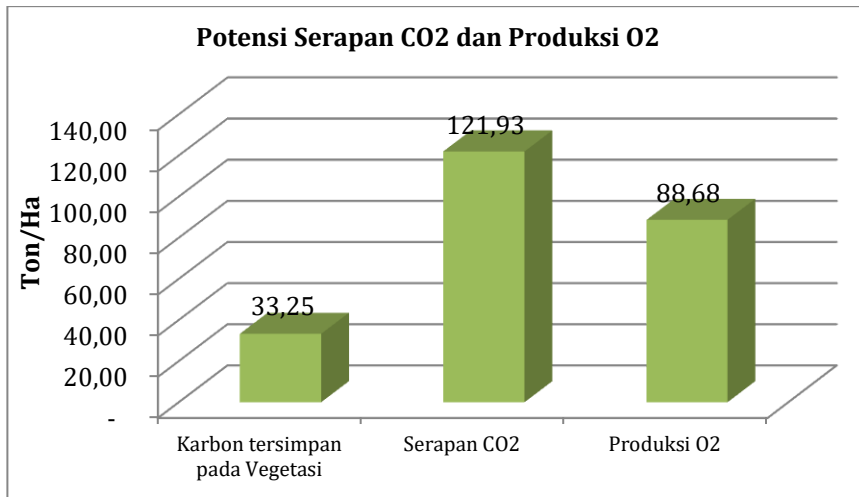
Dapat dilihat pada gambar di atas, perbedaan ini dipengaruhi oleh jumlah biomassa yang terkandung dalam setiap komponen serapan karbon. Seperti yang dijelaskan (Brown, 1997), nilai biomassa yang telah diperoleh dapat menunjukkan berapa banyak kandungan karbon yang tersedia atau pada suatu tegakan. Dikarenakan hampir 50% dari biomassa suatu tumbuhan tersusun oleh unsur karbon. Dan komposisi komponen serapan karbon pada lokasi pengamatan itu juga cukup berperan besar mempengaruhi besar kecilnya biomassa dan karbon yang dimiliki pada lokasi pengamatan.

D. Potensi Penyerapan CO₂ dan Produksi O₂

Dari hasil perhitungan kandungan karbon yang tersimpan maka dapat diestimasi kemampuan hutan tersebut menyerap karbondioksida dari udara dan kemampuan produksi oksigen selama vegetasi tersebut tumbuh dalam kurun waktu tertentu. Kemampuan



penyerapan karbon dioksida pada lokasi pengamatan ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 24. Potensi Penyerapan CO₂ dan Produksi O₂

Penaksiran seberapa besarnya konversi stok karbon ke CO₂ atau emisi CO₂ yang diserap oleh vegetasi pesisir pada saat kegiatan berlangsung adalah dengan penjumlahan total stok karbon di atas permukaan tanah ditambah dengan stok karbon di bawah permukaan tanahnya dikalikan dengan 3,667 maka didapat besaran akumulasi karbondioksida yang diserap vegetasi setara dengan 121,93 ton CO₂ per hektare. Sedangkan kemampuan memproduksi O₂ ke udara oleh vegetasi diperoleh dengan mengonversi massa atom relatif O₂ dan membagi dengan massa molekul CO₂ dengan rumus *JIFPRO & JOPP* (2001); Morikawa, *et al.*, (2003) yaitu sebesar 88,68 ton O₂ per hektare. Kemampuan penyerapan karbondioksida dan produksi oksigen pada kawasan pengamatan adalah tergolong baik karena berada pada kisaran menengah (Kusmana 2002, Donato *et al.*, 2011) jika dibanding hutan kawasan pesisir lain.



V. PENUTUP

Buku ini disusun berdasarkan hasil penelitian pada Kawasan pesisir Kota Bontang. Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat ditarik beberapa rangkuman sebagai berikut.

Pendugaan serapan karbon yang pada hutan *mangrove* di PT Pupuk Kaltim Kota Bontang, di masing-masing lokasi memiliki nilai Biomassa dan Karbon yang berbeda di setiap lokasinya. Nilai karbon terbesar terdapat pada lokasi HIU 2 dengan nilai biomassa sebesar 28,380 ton per hektare, dan karbon 13,338 ton C per hektare lalu diikuti dengan lokasi HIU 1 dengan nilai biomassa sebesar 14,465 ton per hektare, dan 6,799 ton C per hektare dan terakhir pada lokasi HSPK 5 dengan nilai biomassa sebesar 8,800 ton/ha dan nilai karbon 4,136 ton C per hektare.

Selanjutnya besar dan kecilnya kandungan biomassa dan karbon pada masing-masing lokasi dapat dipengaruhi oleh banyaknya komponen karbon pada lokasi dan juga jumlah individu serta jenis vegetasi tingkat pohon hidup yang berada pada lokasi tersebut. Persentase simpanan serapan karbon terbesar pada komponen karbon di atas permukaan dengan nilai presentase 67%, diikuti komponen serapan karbon di bawah permukaan sebesar 19%, *necromass* sebesar 10 % dan terkecil serapan karbon pada serasah sebesar 4%. Potensi Penyerapan CO₂ dan produksi O₂ tergolong baik/sedang untuk hutan *mangrove*, berturut-turut sebesar 121,93 ton CO₂ per hektare dan 88,68 ton O₂ per hektare.

Selain itu dianggap penting pula untuk melakukan untuk melakukan pengukuran karbon hutan *mangrove* secara berkala pada



lokasi Hutan Selatan Pabrik Kaltim 5 dan Hutan Industri Utara sehingga didapatkan data laju kemampuan ekosistem *mangrove* menyerap karbon dioksida dalam satuan waktu.



DAFTAR PUSTAKA

- Amira, S. 2008. Pendugaan Biomassa jenis *Rhizophora apiculata* Bl. di Hutan Mangrove, Batu Ampar, Kabupaten Kubu Raya, Kalimantan Barat.
- Badan Standar Nasional. 2011. SNI 7725:2011. Penyusunan Persamaan Alometrik untuk Penaksiran Serapan Karbon Hutan Berdasar Pengukuran Lapangan (*Ground Based Forest Carbon Accounting*).
- Bengen D.G. 2000. Pedoman Teknis Pengenalan dan Pengelolaan secara Terpadu dan Berkelanjutan. Pusat Kajian Sumber Daya Pesisir dan Lautan. IPB.
- Diana, R., 2015. Potensi Serapan Karbon Jenis Primer di Taman Penghijauan Wanatirta PT Pupuk Kaltim. Pusat Pengkajian Perubahan Iklim Universitas Mulawarman (P3I-UM). Samarinda.
- Diana, R., Rustam., Mayangsari, A., Kusumastuti, A., Suwasono, R.A., Prasetya, A. 2016. Studi Keanekaragaman Hayati di Area Industri Utara PT Pupuk Kaltim. Pusat Pengkajian Perubahan Iklim. Universitas Mulawarman. Samarinda.
- Donato D.C., Kauffman J.B., Murdiyarso Daniel, Kurnianto S., Stidham M., & Kanninen M., 2012. *Mangrove Adalah Salah Satu Hutan Terkaya Karbon di Kawasan Tropis*. CIFOR.
- Donato, D.C., Kauffman, J.B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., Kanninen, M., 2011. Mangroves among the Most Carbon-rich Forests in the Tropics. *Nature Geosciences* 4: 293-297.



- Duarte C.M., Middelburg J.J., & Caraco N., 2005. Major Role of Marine Vegetation on the Oceanic Carbon Cycle. *Biogeosciences*, 2, Page 1–8.
- Eggleston, H., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. and Tanabe, 2006. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*, (eds). Published: IGES, Jepang.
- Fourqurean J., Johnson B., Kauffman B.J., Kennedy H., Lovelock C., Magonigal P.J., Rahman F.A., Saintilan N., & Simard M., 2014. *Coastal Blue Carbon*. Conservation International.
- Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L. L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., Duke, N., 2011. Status and Distribution of Mangrove Forests of the World Using Earth Observation Satellite Data. *Global Ecology and Biogeography*, 20: 154-159.
- Göltenboth F., Timotius K.H., Milan P.P., & Margraf J., 2012. *Ekologi Asia Tenggara*. Salemba Teknika. Jakarta.
- Harahab, N., 2010. *Penilaian Ekonomi Ekosistem Hutan Mangrove dan Aplikasinya dalam Perencanaan Wilayah Pesisir*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- IPCC., 2006. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Volume 4. Chapter 1. UNEP.
- IPCC., 2013. *Coastal Wetlands*. In: *2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (eds. Alongi D, Karim A, Kennedy H., Chen G., Chmura G., Crooks S. Kairo J.G. Liao B. & Lin G.G.).
- Kauffman, J. B. dan Donato, D. C, 2012. Protocols for the Measurement, Monitoring Andreporting of Structure, Biomass and Carbon



Stocks in Mangrove Forests. *WorkingPaper 86*. CIFOR, Bogor, Indonesia.

- Krisnawati, H., 2012. Adinugroho, W.G, Dharmawan, I, W.S. and Imanuddin, R, 2012. Allometric Models for Estimating above Ground Biomass of *Brugurera gymnorhiza* L. (Lamk) at Kubu Raya Mangrove Forest, Indonesia (Manuscript)
- Kusmana, C., 2002. "Pengelolaan Ekosistem *Mangrove* secara Berkelanjutan dan Berbasis Masyarakat". Makalah disampaikan pada Lokakarya Nasional Pengelolaan Ekosistem *Mangrove* di Jakarta, 6-7 Agustus 2002.
- Kustanti, A. 2011. *Manajemen Hutan Mangrove*. PT Penerbit IPB Press, Kampus IPB Taman Kencana Bogor.
- Morikawa, Y. Inoue, H. Yamada, M. Hadriyanto, D. Diana, R. Marjenah, Fatawi, M. JIFPRO and JOOP. 2001. Carbon Accumulation of Man-Made Forest in Monsoon Asia in Relation to the CDM. *Proceeding International Workshop Bio-REFOR*, Tokyo.
- Nuddin, H., 2010. Penilaian Ekonomi Ekosistem Hutan *Mangrove* & Aplikasinya dalam Perencanaan Wilayah Pesisir.
- Peraturan Daerah Kota Bontang Nomor 11 Tahun 2012, tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Bontang Tahun 2012–2035. Kota Bontang.
- Purnobasuki, H., 2006. Peranan *Mangrove* dalam Mitigasi Perubahan Iklim. Departemen Biologi FST Universitas Airlangga.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Pedoman Penggunaan Model Alometrik untuk Pendugaan Biomassa dan Stok Karbon Hutan di Indonesia, ISBN: 978-979-3145-97-6: 2013



- Restu Nur Afi Ati, Agustin R., Terry L. K., Nasir, S., Mariska, A., August, D., Peter, M., Hadiwijaya L. Salim & Andreas A. Hutahaeen. 2014. "Stok Karbon dan Struktur Komunitas *Mangrove* sebagai *Blue Carbon* di Tanjung Lesung". *Banten Jurnal Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan-KKP*
- Sutaryo, D., 2009. Penghitung Biomassa. *Wetlands International Indonesia Programme*. Bogor.
- Talan, M.A., 2008. Persamaan Penduga Biomasa Pohon Jenis Nyirih (*Xylocarpus grnatum* Koenig 17840) dalam Tegakan *Mangrove* Hutan Alam di Batu Ampar, Kalimantan Barat.



**Mulawarman
University PRESS**

Penerbit **Member of IKAPI & APPTI**
Mulawarman University PRESS
Gedung LP2M Universitas Mulawarman
Kampus Gunung Kelua, Jl Karyan, Samarinda
Provinsi Kalimantan Timur, INDONESIA 75123
Telp/Fax (0541) 747432, Email : mup@ppm.unmul.ac.id
Website: www.mup.unmul.ac.id

ISBN 978-623-7480-79-2



9 786237 480792