

Tim Penulis:

Fransina S. Latumahina, Ray March Syahadat & Hanni Adriani, Jan Willem Hatulesila, Balqis Nailufar, Priambudi Trie Putra, Mohammad Amin Lasaiba, Renny Heronia Nendissa, Jeanne Ivonne Nendissa, Firlawanti Lestari Baguna, Irwanto.

PENGELOLAAN HUTAN Di Pulau-Pulau Kecil



PENGELOLAAN HUTAN Di Pulau-Pulau Kecil

Tim Penulis:

Fransina S. Latumahina, Ray March Syahadat & Hanni Adriani, Jan Willem Hatulesila,
Balqis Nailufar, Priambudi Trie Putra, Mohammad Amin Lasaiba, Renny Heronia Nendissa,
Jeanne Ivonne Nendissa, Firlawanti Lestari Baguna, Irwanto.



PENGELOLAAN HUTAN DI PULAU-PULAU KECIL

Tim Penulis:

Fransina S. Latumahina, Ray March Syahadat, Hanni Adriani, Jan Willem Hatulesila,
Balqis Nailufar, Priambudi Trie Putra, Mohammad Amin Lasaiba, Renny Heronia
Nendissa, Jeanne Ivonne Nendissa, Firlawanti Lestari Baguna, Irwanto.

Desain Cover:

Helmaria Ulfa

Sumber Ilustrasi:

www.freepik.com

Tata Letak:

Handarini Rohana

Editor:

Dr. Ir. Fransina S. Latumahina, S.Hut., M.P., IPU., ASEAN.Eng

ISBN:

978-623-500-108-1

Cetakan Pertama:

April, 2024

Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang

by Penerbit Widina Media Utama

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PENERBIT:

WIDINA MEDIA UTAMA

Komplek Puri Melia Asri Blok C3 No. 17 Desa Bojong Emas
Kec. Solokan Jeruk Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat

Anggota IKAPI No. 360/JBA/2020

Website: www.penerbitwidina.com

Instagram: [@penerbitwidina](https://www.instagram.com/penerbitwidina)

Telepon (022) 87355370

PRAKATA

Rasa syukur yang teramat dalam dan tiada kata lain yang patut kami ucapkan selain mengucapkan rasa syukur. Karena berkat rahmat dan karunia Tuhan Yang Maha Esa, buku yang berjudul Pengelolaan Hutan di Pulau-Pulau Kecil telah selesai di susun dan berhasil diterbitkan, semoga buku ini dapat memberikan sumbangsih keilmuan dan penambah wawasan bagi siapa saja yang memiliki minat terhadap pembahasan Pengelolaan Hutan di Pulau-Pulau Kecil.

Buku ini merupakan salah satu wujud perhatian penulis terhadap Pengelolaan Hutan di Pulau-Pulau Kecil. Program kesehatan hutan diarahkan untuk menurunkan laju populasi patogen sehingga dalam jangka panjang mengurangi ledakan populasi karena produktivitas hutan mangrove merupakan tuntutan yang harus diwujudkan sehingga kerusakan hutan harus mendapatkan prioritas dan perhatian utama. Oleh karenanya langkah antisipatif melalui upaya diagnosa dini perlu dilakukan sehingga data dan informasi yang diperoleh dapat dijadikan dasar untuk pengambilan kebijakan.

Pulau-pulau kecil memiliki keindahan alam yang masih asli dan alami, serta memiliki berbagai potensi sumber daya alam, budaya, dan jasa lingkungan dapat dimanfaatkan untuk pengembangan ekowisata. Potensi alam di pulau-pulau kecil seperti sungai, hutan mangrove, keanekaragaman hayati baik flora dan fauna endemik, sampai dengan pemandangan *sunset* dan *sunrise* merupakan potensi ekowisata yang dapat dimanfaatkan untuk ditawarkan kepada wisatawan/pengunjung.

Berbagai aktivitas ekowisata dapat dilakukan dengan memanfaatkan potensi tersebut seperti kegiatan susur sungai, *bird watching*, menikmati pemandangan, *trekking*, dan berkano. Lanskap dengan pemandangan yang didominasi oleh fitur alami, memiliki nilai *scenic beauty estimation* (SBE) yang tinggi karena memiliki karakteristik visual berupa lanskap yang alami, seperti fitur danau, sungai, pantai, hutan, pegunungan, perbukitan, perkebunan dan keragaman vegetasi yang tinggi.

Setiap lokasi pulau kecil memiliki perbedaan dalam kondisi fisik wilayah, potensi sumber daya alam, dan permasalahan yang ada. Oleh karena itu, sebelum mengembangkan konsep pengembangan dan sistem pengelolaan ekowisata, perlu dilakukan tahap identifikasi kondisi fisik wilayah, potensi sumber daya alam dan jasa lingkungan, serta permasalahan yang ada. Pengembangan ekowisata di pulau-pulau kecil juga dapat mendorong pelestarian lingkungan dan pengembangan berkelanjutan. Konsep ekowisata tidak hanya memperkenalkan keindahan alam, tetapi juga bertujuan untuk melestarikan lingkungan alam dan mempromosikan praktik berkelanjutan dalam pengelolaan sumber daya.

Akan tetapi pada akhirnya kami mengakui bahwa tulisan ini terdapat beberapa kekurangan dan jauh dari kata sempurna, sebagaimana pepatah menyebutkan “tiada gading yang tidak retak” dan sejatinya kesempurnaan hanyalah milik Tuhan semata. Maka dari itu, kami dengan senang hati secara terbuka untuk menerima berbagai kritik dan saran dari para pembaca sekalian, hal tersebut tentu sangat diperlukan sebagai bagian dari upaya kami untuk terus melakukan perbaikan dan penyempurnaan karya selanjutnya di masa yang akan datang.

Terakhir, ucapan terima kasih kami sampaikan kepada seluruh pihak yang telah mendukung dan turut andil dalam seluruh rangkaian proses penyusunan dan penerbitan buku ini, sehingga buku ini bisa hadir di hadapan sidang pembaca. Semoga buku ini bermanfaat bagi semua pihak dan dapat memberikan kontribusi bagi pembangunan ilmu pengetahuan di Indonesia.

April, 2024

Tim Penulis

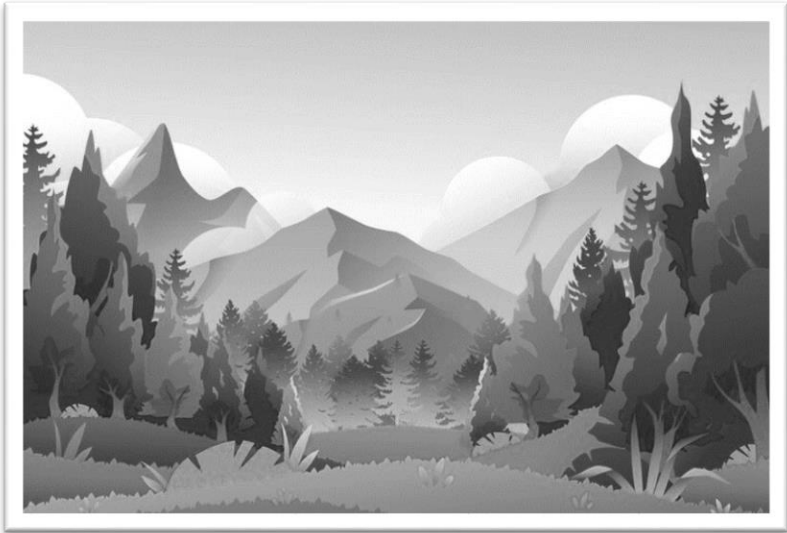
DAFTAR ISI

PRAKATA	iii
DAFTAR ISI	v
BAB 1 KESEHATAN HUTAN MANGROVE DI PULAU-PULAU KECIL	1
A. Pendahuluan.....	2
B. Hutan Mangrove di Pulau Kecil	4
C. Kesehatan Hutan Mangrove	13
D. Kerusakan Mangrove.....	16
E. Rangkuman Materi	24
BAB 2 PENGEMBANGAN EKOWISATA BERBASIS	
MASYARAKAT DI PULAU-PULAU KECIL	31
A. Pendahuluan	32
B. Ekowisata dan Ekowisatawan.....	34
C. Ekowisata di Pulau-Pulau Kecil	37
D. Ekosistem Hutan Pulau-Pulau Kecil Sebagai Potensi Ekowisata.....	42
E. <i>Community-Based Tourism</i>	44
F. Pendekatan Jasa Ekosistem untuk Ekowisata Berbasis Masyarakat.....	46
G. Belajar dari Kesalahan	52
H. Rangkuman Materi	54
BAB 3 HUTAN DAN MASYARAKAT ADAT DI PULAU-PULAU KECIL	61
A. Pengantar	62
B. Sumberdaya Hutan Pulau Kecil di Kepulauan Maluku	64
C. Masyarakat Adat atau Masyarakat Hukum Adat	73
D. Masyarakat Adat dalam Kultur/Budaya di Kepulauan Maluku	75
E. Eksistensi Pengertian Hutan dan Hutan Adat.....	77
F. Pengelolaan Hutan dalam Tradisi Masyarakat Adat di Maluku.....	80
G. Rangkuman Materi	82
BAB 4 KONSERVASI SATWA DI PULAU-PULAU KECIL	89
A. Pendahuluan.....	90
B. Latar Belakang dan Urgensi Konservasi Satwa di Pulau-Pulau Kecil.....	92

C. Konsep Dasar Ekologi Lanskap dan Struktur Lanskap	96
D. Fungsi dan Dinamika Ekologi Lanskap	100
E. Tantangan dan Prospek Konservasi Satwa di Pulau-Pulau Kecil Indonesia	102
F. Rangkuman Materi	102
BAB 5 MANAJEMEN PENGELOLAAN DAS DI PULAU-PULAU KECIL	107
A. Pendahuluan	108
B. Sungai dan Kondisinya Saat Ini di Indonesia	109
C. Daerah Aliran Sungai (DAS)	112
D. Fungsi Hutan Terhadap Keberlanjutan DAS	113
E. Kerusakan DAS di Indonesia	115
F. Pulau-Pulau Kecil	116
G. Tantangan dalam Pengelolaan DAS di Pulau-Pulau Kecil Indonesia	118
H. Rangkuman Materi	121
BAB 6 BUDIDAYA HUTAN TANAMAN ENDEMIK DI PULAU-PULAU KECIL	125
A. Pendahuluan	126
B. Dari Tumbuhan ke Tanaman	128
C. Persemaian dan Pembibitan	130
D. Sarana dan Prasarana Kegiatan Persemaian Serta Pembibitan	133
E. Kegiatan Persemaian dan Pembibitan	137
F. Kegiatan Penyapihan	139
G. Kegiatan Penanaman dan Pemeliharaan	141
H. Pembiakan Vegetatif	142
I. Potensi Kegiatan Budidaya Tanaman Endemik Untuk Agrosilvoeduwisata di Pulau-Pulau Kecil	145
J. Rangkuman Materi	148
BAB 7 PENGENDALIAN SERANGAN HAMA DI KAWASAN HUTAN PULAU KECIL	151
A. Pendahuluan	152
B. Identifikasi Hama dan Potensi Kerusakan	154
C. Metode Pengendalian	156
D. Penerapan Strategi Pengendalian	161

E. Pemantauan dan Evaluasi.....	163
F. Peran Pihak Terkait dan Kerjasama.....	166
G. Faktor Pendukung dan Kendala.....	168
H. Rangkuman Materi.....	170
BAB 8 PENGOLAHAN HASIL HUTAN BUKAN	
KAYU DI PULAU-PULAU KECIL.....	173
A. Pendahuluan.....	174
B. Hasil Hutan Bukan Kayu.....	177
C. Pengolahan Hasil Hutan Bukan Kayu di Pulau-Pulau Kecil.....	179
D. Rangkuman Materi.....	185
BAB 9 PERANAN PEREMPUAN DALAM KAWASAN HUTAN DI	
PULAU-PULAU KECIL.....	189
A. Pendahuluan.....	190
B. Partisipasi Perempuan dalam Pengelolaan Sumber Daya Hutan.....	191
C. Perempuan dan Kesejahteraan Masyarakat Lokal.....	195
D. Tantangan dan Peluang Bagi Perempuan dalam Konservasi Hutan di Pulau-Pulau Kecil.....	199
E. Rangkuman Materi.....	203
BAB 10 KEARIFAN LOKAL MASYARAKAT DALAM PENGELOLAAN HUTAN	
DI PULAU-PULAU KECIL.....	209
A. Pendahuluan.....	210
B. Definisi Kearifan Lokal.....	211
C. Kearifan Lokal dalam Pengelolaan Hutan.....	212
D. Contoh Kearifan Lokal dalam Pengelolaan Hutan di Pulau-Pulau Kecil.....	214
E. Tantangan dan Peluang Kearifan Lokal dalam Pengelolaan Hutan di Pulau-Pulau Kecil.....	216
F. Rangkuman Materi.....	217
BAB 11 CADANGAN KARBON HUTAN PULAU-PULAU KECIL.....	221
A. Pendahuluan.....	222
B. Penghitungan Biomassa Hutan.....	224
C. Cadangan Karbon Hutan.....	228
D. Karakteristik Pulau-Pulau Kecil.....	230
E. Cadangan Karbon Hutan Pulau-Pulau Kecil.....	233

F. Pendugaan Cadangan Karbon Pulau Karang Timbul Marsegu Provinsi Maluku Indonesia	236
G. Rangkuman Materi	242
GLOSARIUM	249
PROFIL PENULIS	263



PENGELOLAAN HUTAN DI PULAU-PULAU KECIL

BAB 11: CADANGAN KARBON HUTAN PULAU-PULAU KECIL

Dr. Irwanto, S.Hut., M.P

Universitas Pattimura

BAB 11

CADANGAN KARBON HUTAN PULAU-PULAU KECIL

A. PENDAHULUAN

Bencana alam terkait perubahan iklim telah nyata dan terjadi dimanamana, namun masih banyak pihak yang mengabaikan masalah perubahan iklim. Curah hujan dengan intensitas yang tinggi dan tidak menentu secara tiba-tiba menyebabkan bencana banjir bandang dan tanah longsor yang telah memakan korban jiwa dan materi. Menurut *International Monetary Fund* (IMF) pada tahun 2021 jumlah bencana alam di dunia terkait perubahan iklim meningkat 5,7% dibandingkan tahun sebelumnya. Tahun 2021 terjadi 390 bencana meliputi banjir sebanyak 223 bencana, badai mencapai 119 bencana, kebakaran hutan sebanyak 19 bencana, kekeringan tercatat 15 bencana, tanah longsor mencapai 12 bencana, dan suhu ekstrem sebanyak 2 bencana. (IMF, 2022; Ishiwatari, 2022).

Pulau-pulau kecil merupakan daerah yang begitu rentan terhadap degradasi lahan dan perubahan iklim, serta diprediksi akan banyak pulau kecil tenggelam karena kenaikan permukaan air laut. (Kelman, 2018). Pulau-pulau kecil banyak mendapat tekanan dari penduduk untuk memenuhi kebutuhan hidup yang berdiam pada pulau tersebut maupun dari sekitarnya. Hutan pulau kecil selama ini mengalami kerusakan dan pengurangan luas sangat cepat dari tahun ke tahun dan menyebabkan dampak negatif, dari sisi ekologi, ekonomi maupun sosial (Martyr-Koller *et al.*, 2021).

Laporan Inventarisasi GRK dan Monitoring, Pelaporan dan Verifikasi Tahun 2020 menunjukkan bahwa Sektor kehutanan dan penggunaan lahan penyumbang emisi karbon terbesar di Indonesia. Sektor kehutanan dan kebakaran gambut pada tahun 2019 memberikan kontribusi sebesar 50%, selanjutnya sektor energi sebesar 34%, limbah limbah sebesar 7%, pertanian sebesar 6%, dan IPPU sebesar 3% (Anwar *et al.*, 2021). Sebaliknya, fokus saat ini untuk mengurangi emisi di Indonesia adalah penggunaan lahan dan sektor kehutanan. Pencapaian komitmen iklim Indonesia pada tahun 2030 bergantung pada penghentian deforestasi dan degradasi hutan serta menjaga agar gambut tidak kering dan mudah terbakar (Nurbaya, 2022).

Negara-negara di seluruh dunia harus bertanggung jawab secara aktif dalam mitigasi perubahan iklim. Negara-negara maju dan berkembang harus mencapai kesepakatan yang saling menguntungkan untuk menurunkan emisi global. Indonesia adalah pihak penting dalam perundingan ini karena memiliki hutan tropis yang luas dapat menekan emisi dari kebakaran hutan dan lahan, degradasi, dan deforestasi, serta berkontribusi terhadap penyerapan karbon di atmosfer (Graham, *et al.* 2017; Murdiyarto, *et al.* 2015). Pemerintah Indonesia melalui Enhanced NDC (*Nationally Determined Contribution*) berkomitmen untuk mengurangi emisi sebesar 29% menjadi 31,89 % dan 41% menjadi 43,20 % dengan bantuan negara luar pada tahun 2030. Komitmen ini menempatkan Indonesia sebagai negara penting dalam usaha negosiasi menurunkan emisi GRK pada taraf internasional.

Pemerintah Indonesia secara berkesinambungan terus memperbaiki kapasitas dan kelembagaan serta konsolidasi sistem *Measurement, Reporting, Verification* (MRV), yaitu menyangkut sistem penghitungan karbon secara nasional. Hal ini berguna dalam proses negosiasi mendapatkan bantuan dari negara maju untuk pengurangan emisi sebesar 43,20 %. Pemerintah juga menyiapkan regulasi menyangkut *Reduction of Emissions from Deforestation and Forest Degradation* (REDD) dan penyusunan Standar Nasional Indonesia (SNI) pengukuran lapangan cadangan karbon hutan dan lahan (*ground based forest carbon accounting*) SNI 7724-2011 kemudian direvisi dengan SNI 7724-2019.

Indonesia adalah negara kepulauan yang terdiri dari 17.500 lebih pulau, dan sebagian besar adalah pulau-pulau kecil, sehingga keberadaan pulau-pulau kecil ini tidak bisa diabaikan dalam potensinya sebagai penyerap karbon. Kemampuan penyerapan dan penyimpanan karbon antara satu pulau dengan pulau yang lainnya sangat berbeda tergantung karakteristik masing-masing pulau. Pulau-pulau kecil yang berdekatan membentuk gugus-gugus pulau dengan terumbu karang, lamun dan hutan mangrove yang sangat potensial dalam menyimpan dan menyerap karbondioksida dari atmosfer sebagai gas rumah kaca yang utama.

B. PENGHITUNGAN BIOMASSA HUTAN

Biomassa adalah berat total organisme hidup, termasuk tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme, serta selulosa, lignin, gula, lemak, dan protein dari sudut pandang biokimia, serta bagian tumbuhan, seperti batang, cabang, ranting, daun dan akar pohon serta tumbuhan bawah. Biomassa biasanya memakai ukuran massa per satuan luas (g/m^2 atau Mg/ha atau ton/ha) dan atau sebagai berat kering (tanpa kadar air dilakukan pengeringan). Biomassa biasanya hanya mencakup bahan hidup kecuali ditentukan lain. Contohnya kayu mati (nekromas) dan bahan organik tanah tidak termasuk dalam biomassa, walaupun tanah mungkin mengandung jamur, bakteri, dan mesofauna. Biomassa di dalam tanah yang terdiri dari bakteri hidup dan mati, biasanya kurang dari lima persen bahan organik tanah (Houghton, *et al.* 2009).

Biomassa tumbuhan berkayu berkisar antara 70 sampai 90 persen dari total biomassa hutan, yang sebagian besar terdiri dari pohon (Cairns *et al.*, 1997). Biomassa tumbuhan sebagai berat kering, terkandung sekitar 50% karbon sehingga biomassa memainkan peran penting dalam siklus karbon. (Houghton, *et al.* 2009). Meskipun bahan organik tanah umumnya mengandung 2-3 kali lebih banyak karbon dibanding biomassa tumbuhan, namun sebagian besar karbon di dalam tanah terlindung secara alami sehingga tidak mudah teroksidasi kecuali kasus terjadinya kebakaran gambut. Sebaliknya, biomassa pohon sangat rentan terhadap penebangan, konversi lahan, kebakaran, hama dan bencana alam lainnya, menyebabkan karbon mudah terlepas ke atmosfer (Davidson dan Janssens, 2006). Penghitungan biomassa hutan semakin terperinci, termasuk perkiraan

perubahan stok karbon dari kantong-kantong karbon, yaitu biomassa atas permukaan tanah (AGB), biomassa bawah permukaan tanah (BGB), serasah (*litter*), kayu mati (*deadwood*), dan bahan organik tanah (SOC) serta emisi gas bukan karbondioksida dari berbagai kantong karbon tersebut (IPCC, 2003).

Untuk melakukan penghitungan biomassa hutan secara langsung atau tidak langsung terdapat beberapa metode yang sering digunakan sebagai berikut:

1. Pengambilan sampel langsung di lapangan dengan cara memanen atau memangkas (*destructive sampling*). Metode destruktif sampling dilakukan dengan tahapan pemanenan, pengeringan, dan penimbangan. Setelah didapatkan berat biomassa hasil penimbangan kemudian dihitung kandungan karbonnya menggunakan faktor konversi bilangan persentase karbon (contohnya kandungan karbon sebesar 0,47 dari biomassa pada SNI 7724-2019). Selain menggunakan konversi nilai persentase karbon dapat juga dianalisis langsung kandungan persentase karbon pada laboratorium. Metode destruktif termasuk akurat tetapi relatif mahal dan mematikan vegetasi hutan.
2. Penghitungan dan pengambilan sampel vegetasi dengan cara tidak merusak (*non-destructive sampling*). Metode dengan cara pengambilan sampel tanpa dilakukan pemanenan dan pengrusakan. Cara penghitungan dengan mengukur diameter dan tinggi pohon, selanjutnya menggunakan persamaan alometrik yang sesuai untuk mengetahui biomassa pohon tersebut.
3. Pendugaan Biomassa Hutan menggunakan penginderaan jauh (*remote-sensing*). Penghitungan biomassa melalui *remote sensing* atau penginderaan jauh melibatkan penggunaan teknologi satelit, pesawat udara atau *drone* untuk mengumpulkan data mengenai atribut-atribut lingkungan yang dapat digunakan untuk mengestimasi jumlah biomassa atau karbon di suatu wilayah. Beberapa metode yang umum digunakan dalam penghitungan melalui *remote sensing* melibatkan pengukuran biomassa tumbuhan dan kerapatan tutupan vegetasi. Penggunaan teknologi *remote sensing* biasanya tidak digunakan untuk penghitungan dalam luasan yang kecil. Masalah utamanya diperlukan

keahlian teknis penguasaan *software* dan perlu dilengkapi *hardware* yang harganya relatif mahal.

4. Pembuatan Model empiris berdasarkan pada pengukuran sampel yang dilakukan secara berulang, misalnya membuat persamaan alometrik yang mengkonversi volume menjadi biomassa, kemudian dapat digunakan untuk memprediksi biomassa melalui frekuensi dan intensitas pengamatan di lokasi. Terdapat dua pendekatan dalam penyusunan model yaitu pertama: metode langsung memakai alometrik dan kedua: metode tidak langsung memakai *Biomass Expansion Factor (BEF)*. Kedua pendekatan mempunyai kelebihan dan kekurangan, serta harus memperhatikan bahwa pendekatan BEF yang berdasarkan tingkat penutupan kanopi rapat tidak dapat diterapkan dalam pendugaan secara individual (IPCC, 2003).

Nilai “*Expansion factor*” adalah penggandaan nilai tertentu contohnya volume atau biomassa pohon dapat dihitung menjadi jumlah nilai keseluruhan dari pohon. *Biomass Expansion Factor* dengan formula tertentu akan melipatgandakan nilai biomassa batang menjadi biomassa keseluruhan dari pohon. *Biomass Expansion Factor* dapat dijelaskan sebagai perbandingan antara biomassa pohon total dengan biomassa batang yang ada. Brown (1997) memberikan definisi BEF adalah rasio total densitas biomassa berat kering pohon di atas permukaan tanah dengan DBH minimum 10 cm atau lebih terhadap densitas biomassa berat kering dari volume yang diinventarisasi.

Alometrik adalah studi hubungan model regresi antara nilai satu komponen organisme dengan nilai total organisme tersebut. Aplikasinya pada pendugaan biomassa pohon, yaitu untuk pendugaan hubungan antara ukuran diameter/tinggi pohon dengan biomassa pohon seutuhnya. Model-model alometrik biomassa pohon yang sering digunakan biasanya disajikan berbentuk fungsi eksponensial:

$$Y = a X^b$$

Keterangan

X: variabel bebas misalnya diameter pohon, atau kombinasi diameter & tinggi,

Y: variabel terikat adalah biomassa pohon;
 a: koefisien;
 b: eksponensial.

Beberapa contoh alometrik bentuk fungsi eksponensial dapat dilihat pada Tabel 11.1 di bawah ini.

Tabel 11.1 Beberapa Alometrik berbentuk fungsi eksponensial

No	Uraian	Alometrik	Diameter	Lokasi	Sumber
1	Pohon Hutan Sekunder	$AGB = 0.11 \rho D^{2.62}$	Ø:5-50 cm	Jambi	Ketterings, 2001
2	Pohon Hutan Mangrove	$AGB = 0.168\rho D^{2.471}$	Ø: 2-167 cm	Amerika, Asia, Oceanic	Chave, 2005
3	<i>Rhizophora mucronata.</i>	$AGB = 0,045 * D^{2.868}$	Ø: 3,5-14,2 R2=0.95 n:35	Filipina	Gevana, 2016
4	<i>Rhizophora stylosa.</i>	$AGB = 0,045 * D^{2.868}$	Ø: 3,5-14,2 R2=0.95 n:35	Filipina	Gevana, 2016

Keterangan: AGB= above ground biomass, D= Diameter, ρ = Wood Density

Selain alometrik yang ditampilkan dalam fungsi eksponensial, terdapat 27% formula alometrik yang ditampilkan dengan fungsi berbentuk hubungan logaritma linier (Krisnawati *et al*, 2012) sebagai berikut:

$$\text{Log. (Y)} = a + b \text{ log. (X)}$$

Keterangan:

Log.(Y): transformasi logaritma natural (ln) ditampilkan dengan 'log' dari data biomassa (biomassa pohon),

log.(X): Diameter setinggi dada

a dan b: koefisien regresi.

Beberapa contoh alometrik dalam penghitungan biomassa pohon mangrove yang berbentuk hubungan logaritma linier dapat dilihat pada Tabel 11.2, di bawah ini.

Tabel 11.2 Beberapa alometrik berbentuk hubungan logaritma linier

No	Uraian	Alometrik	Diameter	Lokasi	Sumber
1	<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	$\log \text{AGB} = 0,552 + 2,244 * \log(D)$	$\emptyset: 5-60,9 \text{ cm}$ $R^2=0,99$	Kalimantan Barat	Krisnawati, 2012
2	<i>Rhizophora apiculata</i>	$\text{Log AGB} = 1,315 + 2,614 * \log(D)$	$\emptyset: 2,5-67,1$ $R^2=0,96$	Kalimantan Barat	Amira, 2008
3	<i>Xylocarpus granatum</i>	$\log \text{AGB} = 0,763 + 2,23 * \log(D)$	$\emptyset: 5,9-49,4$ $R^2=0,95 \text{ n:30}$	Kalimantan Barat	Talan, 2008
4	<i>Xylocarpus moluccensis</i>	$\log \text{AGB} = 0,763 + 2,23 * \log(D)$	$\emptyset: 5,9-49,4$ $R^2=0,95 \text{ n:30}$	Kalimantan Barat	Talan, 2008

Keterangan: AGB= above ground biomass, D= Diameter, ρ = Wood Density

C. CADANGAN KARBON HUTAN

Definisi dari karbon adalah unsur kimia menggunakan simbol huruf C dengan nomor atomnya sebanyak 6. Siklus karbon adalah istilah yang secara sederhana digunakan untuk menggambarkan perubahan karbon di endapan geologis, biosfer terestrial, atmosfer, dan lautan. Setiap tahapan dalam siklus karbon memengaruhi satu sama lain dan merupakan proses yang kompleks. Selanjutnya Sutaryo (2009) menjelaskan bahwa *carbon pool* atau kantong karbon merupakan tempat atau lokasi bagian dari ekosistem karbon tersimpan

Hairiah dan Rahayu (2007) menjelaskan keberadaan komponen karbon di alam dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian yaitu:

1. Karbon atas permukaan tanah:
 - a. Biomassa pada pepohonan
 - b. Biomassa pada tumbuhan bawah.
 - c. Nekromasa atau kayu-kayu mati
 - d. Serasah atau bagian-bagian tumbuhan yang gugur
2. Karbon dalam tanah:
 - a. Biomassa pada akar
 - b. Bahan organik tanah dalam tanah

IPCC (2003) menyatakan bahwa beberapa sumber karbon (*carbon pools*) yang harus dipertimbangkan saat menghitung cadangan karbon hutan adalah tersebut adalah:

1. Biomassa Hidup

a. Biomassa atas permukaan tanah/*above ground biomass* (AGB)

- Tumbuhan hidup yang terdapat di atas permukaan tanah seperti pohon, batang, percabangan, ranting-ranting, biji, dan daun-daun.
- Tumbuhan Bawah: Tumbuhan bawah hutan adalah komponen yang relatif kecil terdapat di atas permukaan tanah. Pada kasus tertentu data terkait tumbuhan bawah dapat diabaikan, asalkan dilakukan secara konsisten selama inventarisasi pada penelitian tersebut.

b. Biomassa bawah permukaan/*below ground biomass* (BGB)

- Semua bagian tumbuhan di bawah tanah yaitu dari akar pepohonan. Sedangkan akar yang halus memiliki diameter kurang dari 2 mm dapat diabaikan karena sulit membedakan dengan bahan organik tanah ataupun serasah.

2. Bahan Organik Mati

- a. Kayu mati, kayu yang terdapat di permukaan, akar mati, dan tunggul dengan diameter lebih dari atau sama dengan sepuluh sentimeter atau lebih, dan tidak terkandung dalam serasah.
- b. Serasah, bagian guguran tanaman yang sudah mati dengan diameter kurang dari diameter minimum yang telah ditentukan, misalnya 10 cm dalam berbagai bentuk pelapukan.

3. Tanah

- a. Bahan organik tanah, karbon organik yang ditemukan dalam tanah organik dan mineral sampai kedalaman tertentu. Jika akar halus hidup tidak memenuhi batas diameter yang ditentukan sebagai biomassa bawah permukaan, maka diklasifikasikan masuk bahan organik tanah, dimana sulit membedakannya secara empiris.

Ada sedikit perbedaan klasifikasi dalam istilah biomassa atas permukaan/*above ground biomass* (AGB) antara Hairiah dan Rahayu (2007), dan IPCC (2003). Hairiah dan Rahayu (2007) mengklasifikasikan AGB sebagai biomassa pohon, biomassa tumbuhan bawah, nekromasa dan serasah, sedangkan IPCC (2003) mengklasifikasikan AGB adalah semua “biomassa hidup” di atas permukaan tanah termasuk pohon, ranting,

cabang, batang, biji, dan dedaunan termasuk tumbuhan bawah, sedangkan nekromas dan serasah masuk klasifikasi bahan organik mati. Namun untuk Brown (1997), Ketterings (2001), Chave *et al.* (2005) dan peneliti lainnya, istilah AGB tersebut lebih merujuk untuk biomassa pohon bagian atas.

D. KARAKTERISTIK PULAU-PULAU KECIL

Definisi Pulau menurut UNCLOS tahun 1982 adalah massa daratan yang dikelilingi air serta pembentukannya terjadi secara alami dan tidak tenggelam ketika pasang naik tertinggi. Pulau yang pembentukannya terjadi tidak secara alami, seperti pulau hasil reklamasi, tidak dapat diklasifikasikan sebagai pulau. Pulau-pulau yang ada dapat dikelompokkan menurut ukuran dan luasnya sebagai berikut:

- a. **Pulau Sangat Kecil** adalah pulau yang memiliki luas $< 100 \text{ km}^2$, sebagai contoh adalah pulau di Kepulauan Seribu, Gili Trawangan, Karimun Jawa, dan Pulau Marsegu.
- b. **Pulau kecil** adalah pulau dengan luas 100 km^2 sampai dengan $< 2.000 \text{ km}^2$. Misalnya Pulau Ambon, Batam, Selayar, Banda, dan lainnya
- c. **Pulau Besar** adalah pulau yang memiliki luas $> 2.000 \text{ km}^2$, seperti Papua, Sulawesi, Kalimantan, Bali, Madura, Jawa, dan Sumatera

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2014, mendefinisikan pulau kecil sebagai pulau dengan luas $< 2.000 \text{ km}^2$ dan beserta ekosistemnya. Ekosistem pulau tersebut terdiri dari tumbuh-tumbuhan, hewan, organisme, dan *non-organisme* lain serta sistem yang memberikan keseimbangan, produktivitas dan stabilitas.

Pulau kecil dan sekitarnya memiliki sumber daya hayati dan *non* hayati; sumber daya buatan dan jasa lingkungan. Ikan, terumbu karang, mangrove, padang lamun, dan biota laut lainnya adalah contoh sumber daya hayati, sedangkan sumber daya *non* hayati meliputi pasir, air laut, dan mineral dasar laut. Infrastruktur laut yang terkait dengan kelautan dan perikanan adalah contoh sumber daya buatan, dan jasa lingkungan berupa keindahan alam, permukiman, dan permukiman.

Pulau-pulau kecil memiliki banyak karakteristik unik, terutama terpisah dari pulau induknya (pulau utama), memiliki batas fisik yang jelas, dan terpencil dari habitat pulau induk, sehingga bersifat insular. Pulau-pulau kecil juga memiliki banyak jenis satwa dan flora endemik yang unik, dan keanekaragaman yang tinggi. Selain itu Pulau kecil tidak dapat mempengaruhi hidroklimat karena daerah tangkapan airnya yang kecil, sehingga sebagian besar aliran air permukaan dan sedimen masuk ke laut. Pulau-pulau kecil juga unik dari segi ekonomi, sosial, dan budaya dibandingkan dengan pulau induknya. (Lowitt, *et al.* 2015).

Masyarakat yang hidup pada pulau-pulau kecil di seluruh dunia diperkirakan akan terkena dampak perubahan iklim global. Salah satu perubahan adalah kenaikan muka laut yang cepat, memiliki dampak terhadap perendaman pesisir pulau-pulau kecil, diikuti oleh abrasi pantai, intrusi air laut, dan peningkatan banjir, serta perubahan fisik dan ekologi. Aspek sosial ekonomi masyarakat pesisir juga akan terpengaruh oleh perubahan fisik dan ekologi ini. Infrastruktur akan hilang, nilai ekologi dan ekonomi sumber daya pesisir akan berkurang.

Pembangunan dan pengembangan wilayah pulau-pulau kecil menghadapi tantangan ketersediaan sumber daya air yang terbatas. Hal ini terjadi karena daerah tangkapan air hujan yang terbatas dan jumlah cadangan air dalam tanah lebih sedikit, selanjutnya pulau-pulau kecil mengalami risiko kerusakan sumber daya air tanah akibat intrusi air laut. (Sutrisno dkk, 2013).

Masing-masing pulau kecil memiliki ciri khas tertentu yang berbeda antara satu pulau dengan pulau yang lainnya. Pulau-pulau kecil ini dapat diklasifikasikan menurut proses pembentukannya menjadi 9 (Sembilan) tipe pulau kecil (KKP, 2014).

1. **Pulau Aluvium**, pulau yang terbentuk pada pesisir pantai yang landai di depan muara sungai yang besar (delta), dimana laju pengendapan sedimen oleh arus dan gelombang laut lebih tinggi daripada laju erosi. Misalnya pulau-pulau kecil yang terbentuk pada muara sungai Mahakam di Provinsi Kalimantan Timur.
2. **Pulau Karang atau Coral**, pembentukannya dari endapan klastik berumur kuartar. Ciri khas pulau ini di sekitarnya terdapat terumbu karang. Beberapa contoh adalah pulau-pulau di selatan Selat Makassar,

Teluk Tomini, Pulau-pulau di Raja Ampat, Teluk Cendrawasih dan juga di Maluku.

3. **Pulau Atol**, pulau yang berbentuk cincin dan biasanya merupakan pulau vulkanik di sekitarnya berkembang terumbu karang yang menjadi *fringing reef* dan berubah bentuk menjadi *barrier reef* akhirnya menjadi pulau atol. Sebagai contoh dari pulau atol adalah Kepulauan Takabonerate Selayar dan pulau-pulau Wakatobi.
4. **Pulau Vulkanik**, proses pembentukannya dari gunung berapi yang muncul dengan perlahan dari bagian dasar laut menuju ke permukaan laut. Jenis pulau seperti ini terbentuk pada pertemuan lempeng tektonik yang saling menjauh atau saling bertumbukan, seperti pulau anak Krakatau.
5. **Pulau Tektonik**, pembentukannya akibat proses tektonik pada zona tumbukan antar lempeng. Sumber air pada pulau tektonik umumnya berasal dari aliran sungai, dengan air tanah yang terbatas. Beberapa pulau tektonik seperti Pulau Siberut, Pulau Nias, Pulau Enggano, dan beberapa pulau lainnya.
6. **Pulau Genesis Campuran**, pembentukannya dari dua atau lebih proses pembentukan pulau-pulau sebelumnya. Beberapa pulau genesis campuran adalah Pulau Nusa Laut, Pulau Haruku, Pulau Kisar, Pulau Rote, dll
7. **Pulau Teras Terangkat**, pembentukannya sama seperti pulau tektonik, tetapi ada perbedaan pada proses pengangkatannya yang diikuti terbentuknya teras yang umumnya terdiri dari karang/koral. Pulau ini terbentuk oleh terumbu karang yang terdorong ke atas permukaan laut, dipengaruhi oleh gerakan ke atas dan ke bawah dari bagian dasar laut karena proses geologi. Pulau-pulau teras terangkat sering ditemukan pada bagian timur Indonesia seperti Pulau Biak, Pulau Ambon dan beberapa pulau lainnya.
8. **Pulau Petabah**, proses pembentukannya terjadi pada daerah yang stabil secara tektonik dengan litologi terbentuknya batuan ubahan, sedimen yang terlipat, intrusi yang berumur tua. Beberapa pulau yang termasuk pulau petabah adalah Pulau Bintan, Batam, Belitung dan pulau-pulau di Paparan Sunda.

9. **Pulau Buatan**, proses pembentukannya oleh manusia dengan melakukan reklamasi untuk pengembangan wilayah dan material yang digunakan berupa bebatuan, pasir, tanah, beton, atau campuran bahan lainnya. Sebagai contoh pulau buatan adalah pulau-pulau Reklamasi Pantai Utara Jakarta. Namun menurut definisi dari UNCLOS 1982, pulau-pulau kecil buatan ini tidak dapat diklasifikasikan sebagai Pulau karena tidak terbentuk secara alami.

E. CADANGAN KARBON HUTAN PULAU-PULAU KECIL

Perubahan iklim menyebabkan dampak buruk pada kehidupan di bumi, seperti kenaikan suhu bumi, meningkatnya suhu air laut, dan peningkatan curah hujan. Meningkatnya suhu air laut menyebabkan pencairan gunung-gunung es di daerah kutub, yang menyebabkan peningkatan permukaan air laut. (Bonan & Doney, 2018). Pulau-pulau kecil sangat rentan terhadap kerusakan karena intervensi manusia ditambah lagi bahaya kenaikan permukaan air laut yang akan menenggelamkan banyak pulau pulau tersebut (Walshe & Stancioff, 2018). Di sisi lain, pulau-pulau kecil mempunyai potensi besar dalam penyerap karbondioksida salah satu GRK penyebab pemanasan global.

Potensi pulau-pulau kecil sebagai penyerap karbon sangat bervariasi tergantung pada beberapa faktor, termasuk ekosistemnya, jenis vegetasi, dan praktik pengelolaan lingkungan. Pulau-pulau kecil dengan hutan mangrove dan hutan pantai memiliki potensi penyerapan karbon yang tinggi. Vegetasi ini memiliki kemampuan untuk menyimpan karbon di dalam tanah dan menyerap karbon dari atmosfer. Pulau-pulau kecil dengan ekosistem terumbu karang juga dapat berkontribusi pada penyerapan karbon melalui proses kalsifikasi karbonat dan pertumbuhan karang. Menurut Alongi (2012) mangrove adalah salah satu ekosistem yang paling tinggi menyimpan karbon sebesar 937 ton/ha, sebagai tempat akumulasi sedimentasi partikel halus, dan mendorong laju pertambahan sedimen yang cepat (5 mm/tahun).

Pemetaan stok karbon terestrial pulau kecil penting untuk keberhasilan implementasi kebijakan mitigasi perubahan iklim. Keakuratannya bergantung pada ketersediaan model alometrik yang dapat diandalkan untuk memprediksi biomassa pohon di atas permukaan

tanah berdasarkan data perhitungan di lapangan (Chave *et al.* 2005). Berikut ini akan disajikan beberapa hasil penelitian penghitungan langsung di lapangan dengan menggunakan alometrik tertentu pada berbagai tipe penutupan lahan di pulau-pulau kecil. Hasil-hasil penelitian yang ditampilkan adalah Cadangan karbon total yang sudah memperhitungkan karbon di atas permukaan (pepohonan, nekromas, tumbuhan bawah dan serasah) dan sumber karbon di bawah permukaan (perakaran tumbuhan dan karbon organik tanah). Untuk lebih jelasnya cadangan Karbon Pulau Pulau Kecil pada Berbagai Tipe Penutupan Lahan dapat dilihat pada Tabel 11.3.

Tabel 11.3 Potensi Cadangan Karbon Pulau Pulau Kecil pada Berbagai Tipe Penutupan Lahan.

No	Nama Pulau	Luas Pulau (km ²)	Tipe Penutupan Lahan	Kandungan Karbon Total (ton/ha)	Sumber
1	Pulau Palau. Republik Palau. Pasifik.	458,40	Savanna	203,00	Donato <i>et al.</i> , 2012
Hutan Dataran			437,00	Donato <i>et al.</i> , 2012	
Mangrove			830,00	Donato <i>et al.</i> , 2012	
2	Pulau Yap. Federasi Mikronesia. Pasifik.	100,00	Savanna	156,00	Donato <i>et al.</i> , 2012
Hutan Dataran			375,00	Donato <i>et al.</i> , 2012	
Mangrove			1218,00	Donato <i>et al.</i> , 2012	
3	Pulau Mauritius. Negara Mauritius. Barat daya Samudra Hindia	2000,00	Hutan Mangrove tua Le Morne	642,64	Ramdhun & Appadoo, 2020
Hutan Mangrove muda Le Morne			350,76	Ramdhun & Appadoo, 2020	

			Hutan Mangrove tua Mahebourg	931,50	Ramdhun & Appadoo, 2020
4	Pulau Gili Trawangan. Provinsi Nusa Tenggara Barat. Indonesia	3,45	Semak belukar	15,76	Astuti, <i>et. al</i> , 2023.
Kebun			840,27	Astuti, <i>et. al</i> , 2023.	
Hutan			83,76	Astuti, <i>et. al</i> , 2023.	
5	Pulau Cawan. Provinsi Kepulauan Riau Indonesia.	4,50	Mangrove	83,98	Emrinelson & Warningsih, 2023.
6	Pulau Anambas. Provinsi Kepulauan Riau Indonesia.	590,10	Mangrove	464,29	Syarif, 2023.
7	Pulau Marsegu. Provinsi Maluku, Indonesia.	2,40	<i>Mangrove Proximal</i>	234,07	Irwanto, 2022
			<i>Mangrove Middle</i>	317,42	Irwanto, 2022
			<i>Mangrove Distal</i>	406,58	Irwanto, 2022

Hasil penelitian di atas menunjukkan meskipun ukurannya yang terbatas, pulau-pulau ini memiliki kapasitas besar untuk menyimpan karbon dan dapat memainkan peran penting dalam upaya mitigasi perubahan iklim. Melalui upaya pelestarian ekosistem alam, penanaman mangrove, dan keterlibatan komunitas lokal, pulau kecil dapat berperan sebagai garda terdepan dalam upaya menjaga keseimbangan lingkungan global. Peningkatan kesadaran dan tindakan kolektif dari masyarakat

global diperlukan untuk mendukung pulau kecil dalam perannya sebagai penyimpan karbon yang berharga.

F. PENDUGAAN CADANGAN KARBON PULAU KARANG TIMBUL MARSEGU PROVINSI MALUKU INDONESIA

Pengertian Pulau Karang Timbul (*Raised Coral Island*) adalah Pulau yang pembentukannya berasal dari terumbu karang yang muncul ke atas permukaan laut akibat proses geologi. Pada perairan laut yang dangkal lebih rendah dari 40 meter, terumbu karang memiliki kesempatan untuk tumbuh dan berkembang dari dasar laut ke permukaan. Karang akan mati begitu berada di atas permukaan laut, dan terumbu akan tetap terlihat di permukaan. Proses ini akan terus berlangsung sampai terbentuknya pulau karang (Bengen *et al.* 2012). Di perairan timur Indonesia, banyak pulau karang timbul seperti kepulauan di perairan Seram, pulau Sula, kepulauan Banda, kepulauan Sangihe, Solor, Lembata, Alor, atau Adonara. Pulau karang timbul ini juga dapat ditemukan di tempat lain, seperti Raja Ampat Papua, Kepulauan Sunda Kecil, Sulawesi, dan pulau-pulau di barat Sumatera (Molengraff, 1929; Tomascik *et al.*, 1997; Katili, 1985).

Pulau Marsegu, yang memiliki luas 240,20 ha, adalah pulau kecil di Maluku yang termasuk dalam *Raised Coral Island*. Pulau ini merupakan kawasan hutan Lindung yang memiliki beberapa komunitas vegetasi yaitu hutan mangrove dengan luas 112,29 ha, hutan batu karang sekunder 102,37 ha, hutan pantai seluas 16,08 ha dan lahan *Imperata cylindrica* seluas 9,47 ha yang berpotensi dalam penyerapan dan penyimpanan karbon. Setiap ekosistem hutan di pulau Marsegu memiliki kemampuan penyerapan karbon yang berbeda-beda, tergantung pada struktur dan komposisi vegetasi, spesies pohon, tipe habitat dan tekstur tanah.

Ekosistem hutan pulau Marsegu kemudian diklasifikasikan lagi berdasarkan tingkat suksesi, zonasi dan tipe penutupan vegetasi. Komunitas Hutan batu karang sekunder dibagi berdasarkan tingkat suksesi yaitu hutan batu karang sekunder awal, hutan batu karang sekunder tengah dan hutan batu karang sekunder akhir. Komunitas Hutan mangrove dibagi berdasarkan zonasi yaitu zona *proximal*, zona *middle* dan zona *distal*. Komunitas Hutan pantai diklasifikasikan berdasarkan penutupan vegetasi dan habitatnya menjadi Hutan Pantai, kebun kelapa dan

Perbatasan mangrove. Sedangkan komunitas *Imperata cylindrica* diklasifikasikan berdasarkan tingkat suksesi menjadi areal *Imperata cylindrica*, areal rehabilitasi *Imperata* dan vegetasi ketapang (*Terminalia cattapa*). Untuk lebih jelas klasifikasi pulau Marsegu menurut penutupan vegetasi dapat dilihat pada Gambar 11.1.

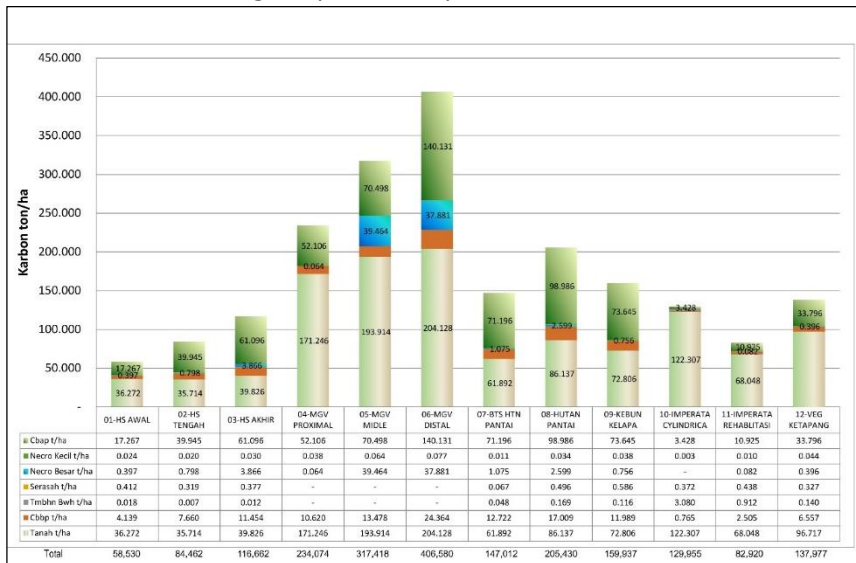


Gambar 11.1 Peta Tipe Penutupan Vegetasi Pulau Marsegu

Hasil penelitian menunjukkan bahwa cadangan karbon pada seluruh tipe penutupan vegetasi di Pulau Marsegu per hektar tertinggi terdapat pada daerah mangrove zone distal sebesar 406,580 ton/ha dan yang terendah terdapat pada hutan batu karang sekunder awal sebesar 58,530 ton/ha. Tipe penutupan vegetasi pada daerah mangrove zona *proximal*, *middle* dan *distal* mempunyai cadangan karbon per hektar tertinggi, kemudian kelompok vegetasi hutan pantai. Sedangkan lebih rendah lagi

pada daerah suksesi vegetasi *Imperata cylindrica* dan daerah Hutan Batu Karang Sekunder, dengan kontribusi karbon yang berbeda. Pada daerah suksesi vegetasi *Imperata cylindrica* kontribusi besar diberikan oleh karbon tanah sedangkan untuk Hutan Batu Karang Sekunder yang lebih besar dari karbon atas pohon.

Jumlah perhitungan karbon total tiap tipe penutupan vegetasi Pulau Marsegu didapat dari masing-masing *pool* karbon yaitu: 1. Bagian Atas Pohon, 2. Bagian Bawah Permukaan, 3. Nekromas, 4. Nekromas Kecil, 5. Tumbuhan Bawah, 6. Serasah dan 7. kandungan karbon organik tanah. Untuk lebih jelas kandungan karbon berbagai tipe penutupan vegetasi per hektar di Pulau Marsegu dapat dilihat pada Gambar 11.2 berikut ini.



Gambar 11.2 Grafik Cadangan Karbon Pulau Marsegu Per Hektar

a. Pendugaan cadangan karbon total Pulau Marsegu

Pendugaan cadangan karbon total pada 4 (empat) komunitas hutan yang terbagi menjadi 12 tipe penutupan vegetasi di Pulau Marsegu dengan luas 240,20 ha adalah sebesar **48.566,234 ton**. Perbedaan cadangan karbon total per hektar pada komunitas vegetasi di Pulau Marsegu dengan berbagai tingkat suksesi, zonasi, intervensi manusia dan kemampuan regenerasi alami dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Komunitas hutan batu karang sekunder memiliki cadangan karbon: hutan batu karang sekunder awal sebesar 58,530 ton/ha, hutan batu karang sekunder tengah sebesar 84,462 ton/ha dan hutan batu karang sekunder akhir sebesar 116,662 ton/ha. Proses suksesi dari hutan batu karang sekunder awal menjadi hutan batu karang sekunder akhir memberikan peningkatan cadangan karbon sebesar 58,133 ton/ha atau peningkatan 99,32%.
2. Komunitas hutan mangrove memiliki cadangan karbon: zona *proximal* sebesar 234,074 ton/ha, zona *middle* sebesar 317,418 ton/ha dan zona *distal* sebesar 406,580 ton/ha. Perubahan zonasi pada hutan mangrove zona *proximal* menuju zona *distal* memberikan selisih cadangan karbon sebesar 172,506 ton/ha atau peningkatan 73,70%.
3. Komunitas hutan pantai memiliki cadangan karbon: daerah perbatasan mangrove sebesar 147,012 ton/ha, hutan pantai sebesar 205,430 ton/ha dan kebun kelapa 159,937 ton/ha. Perubahan tipe penutupan vegetasi dari hutan pantai menjadi kebun kelapa akan berpengaruh terhadap kehilangan cadangan karbon sebesar 45,493 ton/ha atau penurunan 22,14 %.
4. Komunitas suksesi Imperata memiliki cadangan karbon: areal *Imperata cylindrica* sebesar 129,955 ton/ha, rehabilitasi Imperata 82,920 ton/ha dan vegetasi ketapang sebesar 137,977 ton/ha. Perubahan areal *Imperata cylindrica* menjadi vegetasi ketapang secara alami akan meningkatkan cadangan karbon sebesar 8,022 ton/ha atau peningkatan 6,17%. Sedangkan pada areal rehabilitasi Imperata yang mendapat intervensi manusia dengan tujuan rehabilitasi maupun bercocok tanam, bila lahan ini berubah menjadi vegetasi ketapang akan memberikan peningkatan cadangan karbon sebesar 55,057 ton/ha atau peningkatan 66,40%.

Perubahan cadangan karbon total di Pulau Marsegu dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya: spesies pohon, tipe komunitas, tingkat suksesi, zonasi, intervensi manusia dan kemampuan regenerasi alami serta lingkungan fisik kimia habitat komunitas vegetasi tersebut bertumbuh. Menurut Schulp, *et al.* (2008) Spesies pohon sangat berpengaruh pada kandungan karbon tanah selain itu dipengaruhi oleh keadaan habitat itu

sendiri. Perbedaan kandungan karbon antar spesies pohon dapat memberikan indikasi dampak perubahan pengelolaan di masa mendatang, seperti peningkatan luasan tingkat pohon, terhadap penyerapan karbon.

Beberapa faktor yang menyebabkan perbedaan hasil pendugaan cadangan karbon pada beberapa tipe hutan adalah; (1) kesalahan dalam pengukuran pohon; (2) kesalahan dalam pemilihan model alometrik yang sesuai untuk menghubungkan AGB dengan dimensi pohon; (3) tidak akurat dalam pengambilan sampel, terkait dengan ukuran plot penelitian; (4) keterwakilan sistem plot kecil pada lanskap hutan yang luas (Chave *et al*, 2004).

Sesuai dengan luas dari masing-masing komunitas tumbuhan yang ada di pulau Marsegu dengan total luas 240,20 ha, hutan mangrove berkontribusi paling besar yakni sebesar 36.637,022 ton (76%) terhadap cadangan karbon di pulau tersebut, disusul oleh komunitas hutan batu karang sekunder sebesar 7.976,907 ton (16%), kelompok hutan pantai sebesar 2.839,947 ton (6%) dan yang paling kecil kontribusinya adalah vegetasi suksesi *Imperata cylindrica* sebesar 1.112,357 ton (2%)

b. Potensi Serapan CO₂ ekuivalen di Pulau Marsegu.

Perhitungan serapan CO₂ ekuivalen berdasarkan jumlah cadangan karbon dengan konversi berat molekul senyawa CO₂ (44) dan berat molekul relatif atom C (12) menunjukkan serapan CO₂ ekuivalen tertinggi terdapat pada mangrove zona distal sebesar 1.490,795 ton/ha sedangkan yang terendah pada hutan batu karang sekunder awal sebesar 214,609 ton/ha. Urutan potensi serapan CO₂ ekuivalen per hektar pada berbagai tipe penutupan vegetasi berdasarkan komunitas adalah sebagai berikut:

1. *Komunitas Hutan Mangrove*: Zona distal (1.490,795 ton/ha), zona *middle* (1.163,865 ton/ha) dan zona *proximal* (858,272 ton/ha).
2. *Komunitas Hutan Pantai*: Hutan Pantai (753,243 ton/ha), kebun kelapa (586,434 ton/ha) dan Perbatasan mangrove (539,044 ton/ha)
3. *Komunitas Suksesi Imperata*: Vegetasi ketapang bekas *Imperata* (505,915 ton/ha), Daerah *Imperata cylindrica* (476,503 ton/ha), dan Rehabilitasi *Imperata cylindrica* (304,040 ton/ha)

4. *Komunitas Hutan Batu Karang Sekunder*: tipe hutan batu karang sekunder akhir (427,761 ton/ha), tipe hutan batu karang sekunder tengah (309,696 ton/ha) dan tipe hutan batu karang sekunder awal (214,609 ton/ha).

Pendugaan cadangan karbon total pada 4 (empat) komunitas hutan yang terbagi menjadi 12 tipe penutupan vegetasi di Pulau Marsegu dengan luas 240,20 ha adalah sebesar 48.566,234 ton. Sedangkan untuk Potensi serapan CO₂ ekuivalen di Pulau Karang Timbul ini adalah sebesar 178.076,190 ton. Cadangan karbon total dan potensi serapan CO₂ ekuivalen Pulau Marsegu secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 11.4.

Tabel 11.4 Cadangan Karbon Total dan Potensi Serapan CO₂ ekuivalen Pulau Marsegu

Tipe Vegetasi	Cadangan Karbon (ton/ha)	Serapan CO ₂ ekuivalen (ton/ha)	Luas (ha)	Total Karbon (ton)	Serapan CO ₂ ekuivalen (ton)
01-Hutan Bk Sekunder Awal	58,530	214,609	36,40	2.130,683	7.812,504
02-Hutan Bk Sekunder Tengah	84,462	309,696	57,42	4.850,186	17.784,016
03-Hutan Bk Sekunder Akhir	116,662	427,761	8,54	996,038	3.652,140
04-Mangrove Zona <i>Proximal</i>	234,074	858,272	32,12	7.518,416	27.567,525
05-Mangrove Zona <i>Middle</i>	317,418	1.163,865	39,00	12.379,486	45.391,447
06-Mangrove Zona <i>Distal</i>	406,580	1.490,795	41,17	16.739,120	61.376,774
07-Perbatasan Mangrove	147,012	539,044	6,73	989,082	3.626,635
08-Hutan Pantai	205,430	753,243	7,81	1.605,394	5.886,446
09-Kebun Kelapa	159,937	586,434	1,53	245,471	900,060
10- <i>Imperata Cylindrica</i>	129,955	476,503	3,67	476,585	1.747,478

11-Rehabilitasi <i>Imperata</i>	82,920	304,040	2,99	247,864	908,835
12-Vegetasi Ketapang	137,977	505,915	2,81	387,908	1.422,331
		Total	240,20	48.566,234	178.076,190

G. RANGKUMAN MATERI

1. Kemampuan penyerapan dan penyimpanan karbon antara satu pulau dengan pulau yang lainnya sangat berbeda tergantung karakteristik masing-masing pulau. Pulau-pulau kecil yang berdekatan membentuk gugusan pulau dengan potensi terumbu karang, lamun dan hutan mangrove yang sangat potensial dalam menyerap karbondioksida dari atmosfer sebagai gas rumah kaca yang utama.
2. Beberapa sumber karbon (*carbon pools*) di alam adalah: Biomassa atas permukaan tanah (biomassa pohon dan tumbuhan bawah), Biomassa bawah permukaan (perakaran pohon), Nekromas (kayu mati), Serasah, Bahan organik tanah.
3. Potensi pulau-pulau kecil sebagai penyerap karbon sangat bervariasi tergantung bentuk ekosistem, jenis vegetasi, jenis tanah dan intervensi manusia dalam pemanfaatan dan pengelolaannya. Pulau-pulau kecil dengan hutan mangrove memiliki potensi penyerapan karbon yang tinggi sebesar 1218 ton/ha (Donato *et al.*, 2012) dan sebagai tempat akumulasi sedimentasi partikel tanah halus yang mengandung karbon organik.
4. Pemetaan stok karbon terestrial pulau kecil penting untuk keberhasilan implementasi kebijakan mitigasi perubahan iklim. Keakuratannya bergantung pada ketersediaan model alometrik yang dapat diandalkan untuk memprediksi biomassa pohon di atas permukaan tanah berdasarkan data perhitungan di lapangan.
5. Pendugaan cadangan karbon total pada 4 (empat) komunitas hutan yang terbagi menjadi 12 tipe penutupan vegetasi di Pulau Marsegu dengan luas 240,20 ha adalah sebesar 48.566,234 ton. Sedangkan untuk Potensi serapan CO₂ ekuivalen di Pulau Karang Timbul ini adalah sebesar 178.076,190 ton.

TUGAS DAN EVALUASI

1. Jelaskan jenis pulau-pulau kecil berdasarkan proses pembentukannya !
2. Jelaskan karakteristik pulau-pulau kecil secara fisik dan ekologis !
3. Jelaskan kantong-kantong karbon (*carbon pools*) dalam ekosistem hutan yang perlu dihitung dalam pendugaan cadangan karbon !
4. Jelaskan metode-metode penghitungan biomassa hutan !
5. Buatlah plot 20 x 100 m, catat diameter, jumlah dan jenis pohon di dalam plot tersebut, hitunglah biomassa pohon (ton/ha) menggunakan alometrik Ketterings (2001). Berdasarkan hasil perhitungan biomassa pohon di atas maka hitunglah cadangan karbon pada pohon (ton/ha) dan potensi serapan CO₂ ekuivalen (ton/ha) !

DAFTAR PUSTAKA

- Alongi, D. M. (2012). Carbon sequestration in mangrove forests. *Carbon management*, 3(3), 313-322.
- Amira S. (2008). Pendugaan Biomassa Jenis *Rhizophora apiculata* Bl. di Hutan Mangrove Batu Ampar Kabupaten Kubu Raya, Kalimantan Barat. *Skripsi, Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor*, Bogor.
- Anwar, S., Asaad, I., Budiharto, Ratnasari, Wibowo, H., Gunawan, W., Novitri, F., Rosehan, A., Masri A. Y., Oktavia, E. R., Carolyn, R. D., Precylia, V., Lathif, S., Asmani, R., Purnomo, H., Utomo, P., Utama, K., Ratnasari L., (2021). Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Monitoring, Pelaporan dan Verifikasi (MPV) Tahun 2020, 2021. Direktorat Inventarisasi GRK dan MPV. Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Jakarta. ISBN: 978-623-92980-5-0.
- Astuti, W. E, L. A. A Bakti, Kusnarta IGM. (2023). *Cadangan Karbon Tanah Pada Kawasan Pariwisata Di Gili Trawangan* Jurnal Sains Teknologi dan Lingkungan Vol.9,No.3, 2023.
- Bengen, D.G, A.S.W. Retraubun dan S. Saad. (2012). Menguak Realitas dan Urgensi Pengelolaan Berbasis Eko-Sosio Sistem Pulau-pulau Kecil. *Pusat Pembelajaran dan Pengembangan Pesisir dan Laut (P4L)*. Bogor.
- Bonan, G. B., and Doney, S. C. (2018). Climate, ecosystems, and planetary futures: The challenge to predict life in Earth system models. *Science*, 359(6375), eaam8328.
- Brown, S. (1997). Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forest. *Forestry Paper 134*. FAO. USA.
- Cairns, M. A., Brown, S., Helmer, E. H., & Baumgardner, G. A. (1997). Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, 111(1), 1-11.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M.A., Chambers, J.Q., Eamus, D., Folster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.P. Nelson, B.W., Ogawa, H., Puig, H., Riera, B., and Yamakura, T. (2005). Tree

- allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145: 87–99
- Davidson, E. A., & Janssens, I. A. (2006). Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature*, 440(7081), 165-173.
- Donato, D. C., Kauffman, J. B., Mackenzie, R. A., Ainsworth, A., & Pflieger, A. Z. (2012). Whole-island carbon stocks in the tropical Pacific: Implications for mangrove conservation and upland restoration. *Journal of environmental management*, 97, 89-96.
- Emrinelson, T., & Warningsih, T. (2023). Estimasi Simpanan Karbon Hutan Mangrove di Pesisir Utara Pulau Cawan, Indragiri Hilir. *Proceedings Series on Physical & Formal Sciences*, 5, 58-68.
- Gevana, D., & Im, S. (2016). Allometric models for *Rhizophora stylosa* Griff. in dense monoculture plantation in the Philippines. *Malaysian Forester*, 79 (1&2), 39-53.
- Graham, V., Laurance, S. G., Grech, A., & Venter, O. (2017). Spatially explicit estimates of forest carbon emissions, mitigation costs and REDD+ opportunities in Indonesia. *Environmental Research Letters*, 12(4), 044017.
- Hairiah, K., & Rahayu, S., (2007). Pengukuran karbon tersimpan di berbagai macam penggunaan lahan. Bogor. *World Agroforestry Centre - ICRAF, SEA Regional Office, University of Brawijaya, Unibraw*, Indonesia. 77 p.
- Houghton, R. A., Hall, F., & Goetz, S. J. (2009). Importance of biomass in the global carbon cycle. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 114(G2).
- International Monetary Fund (IMF). (2022). Climate Change Indicators Dashboard. [Climate-related Disasters Frequency], <https://climatedata.imf.org/pages/climatechange-data>. Download 10 Desember 2023.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*. Penman, J., Gystarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. and Wagner, F. (eds.). IGES, Japan.

- Irwanto, I. (2022). *Cadangan Karbon Berbagai Tipe Penutupan Vegetasi Di Pulau Kecil Studi Kasus Pulau Karang Timbul (Raised Coral Island) Marsegu Seram Bagian Barat. Provinsi Maluku* (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Ishiwatari, M. (2022). Disaster Risk Reduction. In: Lackner, M., Sajjadi, B., Chen, WY. (eds) *Handbook of Climate Change Mitigation and Adaptation*. Springer, Cham, doi:10.1007/978-3-030-72579-2_147
- Katili, J. A. (1985). Advancement of geoscience in the Indonesian region. *Indonesian Association of Geologists*.
- Kelman, I. (2018). Islandness within climate change narratives of small island developing states (SIDS). *Island Studies Journal*, 13(1), 149-166.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia (KKP), (2014). Definisi dan Tipe Pulau. <https://kkp.go.id/djprl/p4k/page/4259-definisi-dan-tipe-pulau>. Download 10 Desember 2023.
- Ketterings, Q. M., Coe, R., van Noordwijk, M., & Palm, C. A. (2001). Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and management*, 146(1-3), 199-209.
- Krisnawati, H., Adinugroho, W. C., & Imanuddin, R. (2012). Monograf model-model alometrik untuk pendugaan biomassa pohon pada berbagai tipe ekosistem hutan di Indonesia. *Kementerian Kehutanan. Pusat Penelitian dan Pengembangan. Konservasi dan Rehabilitasi. Bogor*.
- Lowitt, K., Ville, A. S., Lewis, P., & Hickey, G. M. (2015). Environmental change and food security: the special case of small island developing states. *Regional Environmental Change*, 15, 1293-1298.
- Martyr-Koller, R., Thomas, A., Schleussner, C. F., Nauels, A., and Lissner, T. (2021). Loss and damage implications of sea-level rise on Small Island Developing States. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 50, 245-259, doi:10.1016/j.cosust.2021.05.001.
- Molengraff, G. A. F. (1929). The Coral reefs in the East Indian Archipelago, Their Distribution and Mode of Development. *Van der Klits*.

- Murdiyarto, D., Purbopuspito, J., Kauffman, J. B., Warren, M. W., Sasmito, S. D., Donato, D. C., Manuri, S., Krisnawati, H., Taberima, S., & Kurnianto, S. (2015). The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation. *Nature Climate Change*, 5(12), 1089-1092.
- Nurbaya, S. (2022). Indonesia's FOLU Net Sink 2030: Inovasi Tata Kelola Lingkungan Hidup Dan Kehutanan. Pidato Pengukuhan Profesor Kehormatan dalam Bidang Ilmu Manajemen Sumber Daya Alam pada Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya.
- Ramdhun, D., & Appadoo, C. (2020). A contribution to understanding blue carbon sequestration and forest structure in mangroves of different ages in a small island (Mauritius). *Indo Pacific Journal of Ocean Life*, 4(2).
- Schulp, C. J., Nabuurs, G. J., Verburg, P. H., & de Waal, R. W. 2008. Effect of tree species on carbon stocks in forest floor and mineral soil and implications for soil carbon inventories. *Forest ecology and management*, 256(3), 482-490.
- SNI. (2019). Pengukuran dan penghitungan cadangan karbon—Pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon hutan (ground based forest carbon accounting) SNI:7724-2019. BSN Jakarta.
- Sutaryo, D. (2009). Penghitungan Biomassa Sebuah pengantar untuk studi karbon dan perdagangan karbon. *Wetlands International Indonesia Programme. Bogor*.
- Sutrisno, N., N. Heryani dan Nurbani. (2013). Ketahanan Air Mendukung Ketersediaan Pangan Pulau-Pulau Kecil. Membangun Kemandirian Pangan Pulau-Pulau Kecil Dan Wilayah Perbatasan. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian. Republik Indonesia.
- Syarif, L. (2023). Struktur Komunitas dan Potensi Cadangan Karbon Ekosistem Mangrove di Pesisir Timur Jemaja Kabupaten Kepulauan Anambas. *Proceedings Series on Physical & Formal Sciences*, 5, 293-303.

- Talan, M.A. (2008). Persamaan penduga biomasa pohon jenis nyirih (*Xylocarpus granatum* Koenig. 1784) dalam tegakan mangrove hutan alam di Batu Ampar, Kalimantan Barat. *Skripsi Departemen Konservasi Sumberdaya Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor, Bogor.*
- Tomascik, T. (1997). The ecology of the Indonesian seas. *Oxford University Press.*
- Walshe, R. A., & Stancioff, C. E. (2018). Small island perspectives on climate change. *Island Studies Journal, 13*(1), 13-24.

PROFIL PENULIS

Dr. Irwanto, S.Hut., M.P



Penulis lahir di Ambon pada tanggal 9 Februari 1972. Pada tahun 1990 masuk Program studi Manajemen Hasil Hutan dan menyelesaikan Program S1 pada tahun 1996. Tahun 2005-2007 melanjutkan Studi S2 pada Sekolah Pascasarjana Universitas Gadjah Mada. Tahun 2017-2021 menyelesaikan Program Doktor Pertanian bidang Kehutanan pada Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin. Tahun 2000 diangkat menjadi Staf Pengajar Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura sampai sekarang. Pernah menjadi staf Badan Pengelola Kawasan Pengembangan Ekonomi Terpadu (BP. Kapet) Seram Provinsi Maluku (2003-2012) dalam Bidang Perencanaan dan Sistem Informasi. Tahun 2015-2018 Sebagai Tim Penyusun beberapa Dokumen Rencana Pengelolaan Hutan Jangka Panjang Kesatuan Pengelolaan Hutan (RPHJP-KPH) di Provinsi Maluku. Aktif sebagai penulis blog: irwantoshut.com; irwanto.id; irwanto.web.id; irwanto.unpatti.org. Penulis dapat dihubungi melalui E-mail; irwatoshut@gmail.com

PENGELOLAAN HUTAN

Di Pulau-Pulau Kecil

Program kesehatan hutan diarahkan untuk menurunkan laju populasi patogen sehingga dalam jangka panjang mengurangi ledakan populasi karena produktivitas hutan mangrove merupakan tuntutan yang harus diwujudkan sehingga kerusakan hutan harus mendapatkan prioritas dan perhatian utama. Oleh karenanya langkah antisipatif melalui upaya diagnosis dini perlu dilakukan sehingga data dan informasi yang diperoleh dapat dijadikan dasar untuk pengambilan kebijakan.

Pulau-pulau kecil memiliki keindahan alam yang masih asli dan alami, serta memiliki berbagai potensi sumber daya alam, budaya, dan jasa lingkungan dapat dimanfaatkan untuk pengembangan ekowisata. Potensi alam di pulau-pulau kecil seperti sungai, hutan mangrove, keanekaragaman hayati baik flora dan fauna endemik, sampai dengan pemandangan *sunset* dan *sunrise* merupakan potensi ekowisata yang dapat dimanfaatkan untuk ditawarkan kepada wisatawan/pengunjung.

Berbagai aktivitas ekowisata dapat dilakukan dengan memanfaatkan potensi tersebut seperti kegiatan susur sungai, *bird watching*, menikmati pemandangan, *trekking*, dan berkano. Lanskap dengan pemandangan yang didominasi oleh fitur alami, memiliki nilai *scenic beauty estimation* (SBE) yang tinggi karena memiliki karakteristik visual berupa lanskap yang alami, seperti fitur danau, sungai, pantai, hutan, pegunungan, perbukitan, perkebunan dan keragaman vegetasi yang tinggi.

Setiap lokasi pulau kecil memiliki perbedaan dalam kondisi fisik wilayah, potensi sumber daya alam, dan permasalahan yang ada. Oleh karena itu, sebelum mengembangkan konsep pengembangan dan sistem pengelolaan ekowisata, perlu dilakukan tahap identifikasi kondisi fisik wilayah, potensi sumber daya alam dan jasa lingkungan, serta permasalahan yang ada. Pengembangan ekowisata di pulau-pulau kecil juga dapat mendorong pelestarian lingkungan dan pengembangan berkelanjutan. Konsep ekowisata tidak hanya memperkenalkan keindahan alam, tetapi juga bertujuan untuk melestarikan lingkungan alam dan mempromosikan praktik berkelanjutan dalam pengelolaan sumber daya.