



MOLUCCAS AQUATICUS
Journal of Aquatic Management and Innovation

Laman Jurnal:
<https://e-journal.unkhair.ac.id/index.php/moluccasacuaticus>



Estimasi Simpanan Karbon Dioksida Terumbu Karang (Studi Kasus Hol Sulamadaha Kota Ternate)

(Estimation of Carbon Dioxide Storage in Coral Reefs (Case Study: Hol Sulamadaha, Ternate City))

**Aditiyawan Ahmad^{1,*}, Adi Noman Susanto¹, Zainul Abidin Rumagiar², Ardan Samman¹,
Mesrawaty Sabar¹, Rusmawati Labenua¹**

¹Program Studi Manajemen Sumber Daya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Khairun

²Mahasiswa Program Studi Manajemen Sumber Daya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Khairun

*e-mail korespondensi : aditgifa@gmail.com

Diterima: 8 Juli 2025

Direvisi: 25 Juli 2025

Disetujui: 26 Juli 2025

ABSTRAK

Terumbu karang merupakan salah satu ekosistem laut yang memiliki peran penting dalam siklus karbon global. Ekosistem ini mampu menyerap dan menyimpan karbon. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis persen tutupan karang dan luas area terumbu karang, menganalisis serapan karbon terumbu karang, dan menganalisis simpanan karbon dioksida di Perairan Hol Sulamadaha. Metode yang digunakan adalah survei lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persen tutupan terumbu karang di Hol Sulamadaha sebesar 27,34% dengan luas terumbu karang 0,42 Ha. Nilai serapan karbon terumbu karang sebesar 3,66 ton C dan simpanan karbon dioksida (CO₂) sebesar 13,45 ton CO₂/Ha. Berdasarkan simulasi, peningkatan persen tutupan karang sebesar 5% per tahun maka membutuhkan waktu 9 tahun untuk mencapai persen tutupan maksimal terumbu karang yaitu 98%, dengan nilai serapan karbon 57,66 ton C dan nilai simpanan karbon dioksida (CO₂) sebesar 211,61 ton CO₂/Ha.

Kata kunci: estimasi, karbon dioksida, serapan karbon, Sulamadaha, terumbu karang

ABSTRACT

Coral reefs are one of the marine ecosystems that play a crucial role in the global carbon cycle. This ecosystem has the ability to absorb and store carbon. The aim of this study is to analyze the percentage of coral cover and the area of coral reefs, assess the carbon absorption of coral reefs, and evaluate carbon dioxide (CO₂) storage in the waters of Hol Sulamadaha. The method used in this research is a field survey. The results show that the coral reef cover percentage in Hol Sulamadaha is 27,34%, with a total reef area of 0,42 hectares. The carbon absorption value of the coral reefs is 3,66 tons C, and the carbon dioxide (CO₂) storage is 13,45 tons CO₂ per hectare. Based on simulations, with a 5% annual increase in coral cover, it would take 9 years to reach the maximum coral cover of 98%, resulting in a carbon absorption value of 57,66 tons C and CO₂ storage of 211,61 tons CO₂ per hectare.

Keywords: carbon absorption, carbon dioxide, coral reef, estimations, Sulamadaha

PENDAHULUAN

Terumbu karang merupakan ekosistem laut yang sangat penting karena berfungsi sebagai penopang keanekaragaman hayati, pelindung garis pantai, dan sumber daya ekonomi bagi masyarakat pesisir. Di tengah isu perubahan iklim global, peran terumbu karang sebagai penyerap

dan penyimpan karbon (*carbon sink*) semakin mendapat perhatian. Terumbu karang, terutama dalam struktur kalsium karbonatnya (CaCO_3), berkontribusi dalam proses siklus karbon biru (*blue carbon*) yang selama ini lebih banyak dikaitkan dengan ekosistem mangrove dan lamun. Pemahaman mendalam tentang potensi simpanan karbon pada terumbu karang sangat penting sebagai dasar pengelolaan ekosistem laut yang berkelanjutan (Alongi, 2020; Ferrario *et al.*, 2021).

Hol Sulamadaha di Kota Ternate merupakan salah satu lokasi wisata bahari yang memiliki tutupan karang cukup baik dan bervariasi. Namun, seiring meningkatnya aktivitas wisata, perikanan, dan perubahan lingkungan, tekanan terhadap ekosistem terumbu karang juga semakin tinggi. Penelitian mengenai estimasi simpanan karbon di kawasan ini masih sangat terbatas, padahal informasi tersebut dibutuhkan untuk mendukung upaya konservasi berbasis jasa ekosistem dan mitigasi perubahan iklim di tingkat lokal maupun nasional. Pengetahuan kuantitatif tentang berapa besar karbon yang disimpan oleh terumbu karang di kawasan ini dapat menjadi landasan ilmiah dalam kebijakan pengelolaan lingkungan pesisir (Indrawan *et al.*, 2021; Nugroho *et al.*, 2022).

Analisis simpanan karbon pada terumbu karang dapat dilakukan dengan mengukur biomassa keras (kalsium karbonat) dari struktur karang serta organisme karang yang hidup. Selain itu, faktor seperti tutupan karang hidup, komposisi spesies, kedalaman, dan kondisi lingkungan setempat juga berpengaruh terhadap kapasitas penyimpanan karbon. Studi-studi terbaru menunjukkan bahwa semakin tinggi tutupan karang dan kompleksitas habitat, maka semakin besar pula kapasitas karbon yang dapat disimpan (Janßen *et al.*, 2020; Saharjo *et al.*, 2022). Oleh karena itu, perlu dilakukan kajian komprehensif yang tidak hanya mengukur potensi simpanan karbon, tetapi juga menganalisis faktor-faktor ekologis yang memengaruhinya.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis persen tutupan karang dan luas area terumbu karang, menganalisis serapan karbon terumbu karang, dan menganalisis simpanan karbon dioksida. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah terhadap kajian karbon biru serta menjadi bahan pertimbangan dalam penyusunan kebijakan pengelolaan sumber daya pesisir di Kota Ternate. Selain itu, temuan ini juga diharapkan dapat memperkuat argumen pentingnya pelestarian terumbu karang sebagai bagian dari solusi berbasis alam (*Nature-based Solutions/NbS*) dalam menghadapi krisis iklim global (Duarte *et al.*, 2020; Puspitasari *et al.*, 2023).

METODE

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama enam bulan dari bulan Januari sampai Juni 2025. Lokasi penelitian di perairan Hol Sulamadaha, Kecamatan Ternate Barat, Kota Ternate, Maluku Utara (Gambar 1).

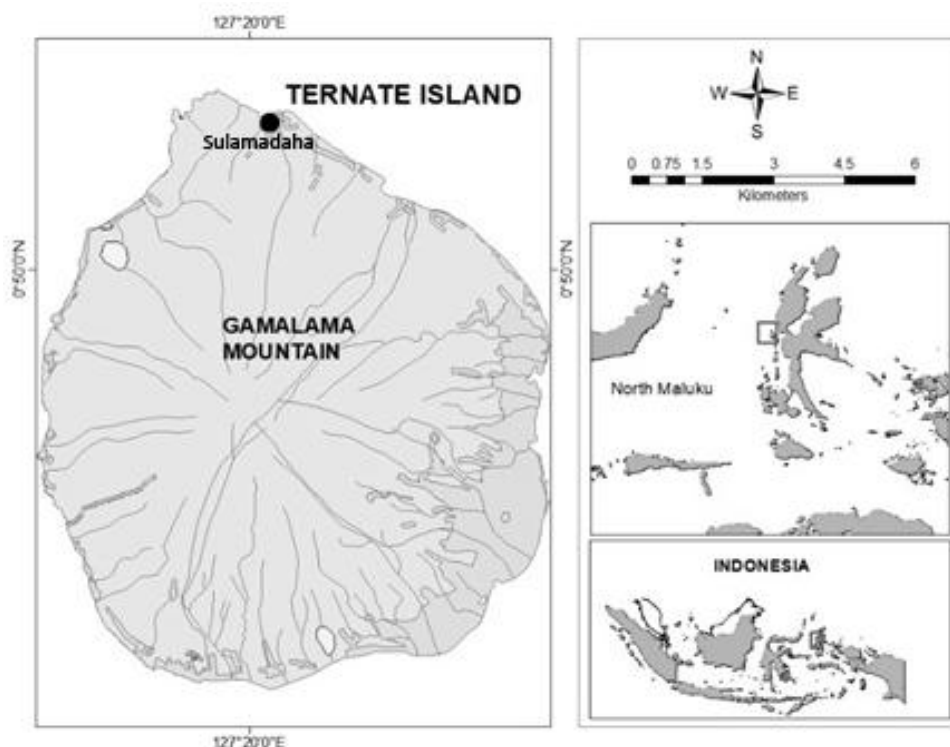
Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah *Scuba Diving* untuk proses penyelaman, papa sabak untuk mencatat data karang, kamera underwater untuk pengambilan gambar bentuk pertumbuhan karang (*lifeform*) dan dokumentasi penelitian, serta meteran rol digunakan untuk pembuatan garis transek (*line transect*).

Metode Penelitian

Penelitian ini dibagi menjadi 3 Titik Pengamatan (TP) yaitu bagian utara, selatan, dan tengah dari Hol Sulamadaha. Metode penelitian yang digunakan adalah *Line Intercept Transect* (LIT) dan *Underwater Photo Transect* (UPT) (Ahmad, 2014). Gabungan metode ini digunakan untuk memperoleh data panjang kategori dari bentuk pertumbuhan karang, sebagai data dasar dalam

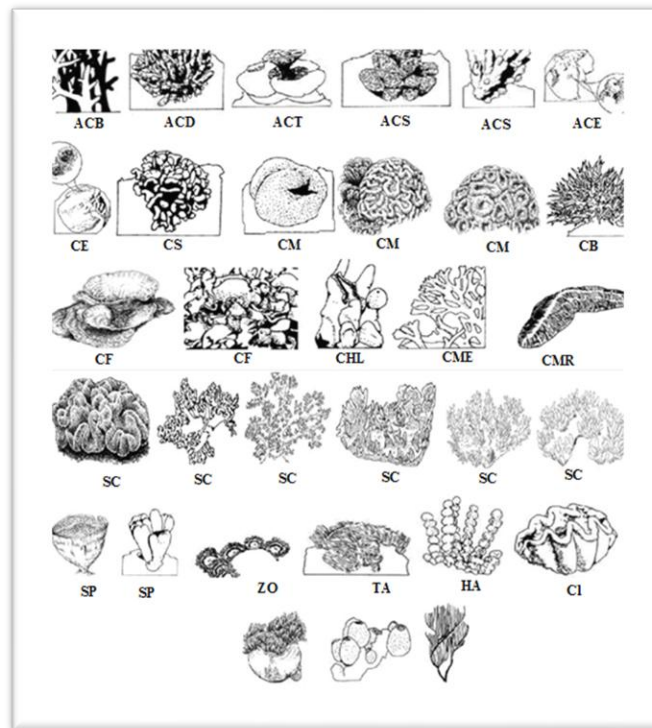
perhitungan persentase tutupan terumbu karang. Pada perhitungan persentase tutupan terumbu karang dibagi menjadi karang Acropora, non-Acropora, biota lainnya, karang mati, dan komponen abiotic (Tabel 1 dan Gambar 2).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Tabel 1. Bentuk pertumbuhan karang

No.	Bentuk Pertumbuhan Karang	Kode	No.	Bentuk Pertumbuhan Karang	Kode	No.	Bentuk Pertumbuhan Karang	Kode
Acropora			Biota Lainnya			Komponen Abiotik		
1	Acropora Branching	ACB	1	Soft Coral	SC	1	Sand	S
2	Acropora Tabulate	ACT	2	Sponge	SP	2	Rubble	R
3	Acropora Encrusting	ACE	3	Zoanthids	ZO	3	Silt	SI
4	Acropora Submassive	ACS	4	Turf Alga	TA	4	Water	WA
5	Acropora Digitate	ACD	5	Halimeda	HA	5	Rock	RCK
Non Acropora			6	Clams	Cl			
1	Coral Branching	CB	7	Anemone	An			
2	Coral Massive	CM	8	Ascidians	As			
3	Coral Encrusting	CE	9	Gorgonians	Gr			
4	Coral Submassive	CS	Karang Mati					
5	Coral Foliose	CF	1	Dead Coral	DC			
6	Coral Mushroom	CMR	2	Dead Coral Algae	DCA			
7	Coral Millepora	CME						
8	Coral Heliopora	CHL						
9	Coral Tubipora	CTU						



Gambar 2. Bentuk pertumbuhan karang (English *et al.*, 1994)

Untuk data luasan terumbu karang menggunakan data citra satelit dan *ground check*. Data luasan digunakan untuk perhitungan serapan dan simpanan karbon.

Analisis Data

Analisis data meliputi persen tutupan terumbu karang, serapan karbon, simpanan karbon dioksida, dan estimasi simpanan karbon. Persen tutupan terumbu karang menggunakan rumus (English *et al.*, 1994):

$$PC = \frac{L_i}{L_{Total}} \times 100\%$$

Keterangan:

PC : persentase tutupan karang (%)
 L_i : panjang kategori *lifeform* karang ke-i (cm)
 L_{Total} : panjang transek (5000 cm)

Analisis serapan karbon menggunakan rumus (Howard *et al.*, 2024):

$$SC = LE \times S_tC$$

Keterangan:

SC : serapan karbon (Ton C)
 LE : luas terumbu karang (cm)
 S_tC : stok karbon, ketentuan stok karbon 8,76 ton C/Ha (Sari, 2016)

Analisis simpanan karbon dioksida menggunakan rumus (Howard *et al.*, 2024):

$$SC_d = SC \times 3,67$$

Keterangan:

SC_d : simpanan karbon dioksida (Ton CO₂/Ha)
 SC : serapan karbon (Ton C)

```

graph TD
    A[Tutupan Karang Acropora] -- "+" --> B[Persen Tutupan Karang]
    C[Tutupan Karang Non-Acopora] -- "+" --> B
    D[Biota Lainnya] -- "-" --> B
    E[Tutupan Karang Mati] -- "+" --> B
    B -- "+" --> F[Luas Terumbu Karang]
    F -- "+" --> G[Karbon]
    H[Komponen Abiotik] -- "-" --> G
    I[Stok Karbon] -- "+" --> J[Serapan Karbon]
    J -- "+" --> K[Simpanan Karbon Dioksida]
    K -- "+" --> L[Konstanta]
    L -- "+" --> M[Luas Terumbu Karang]
    M -- "+" --> N[Serapan Karbon]
    N -- "+" --> O[Tutupan Karang Acropora]
  
```

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ditemukan 14 bentuk pertumbuhan karang (*lifeform*) dengan persentase tutupan tertinggi pada komponen abiotik dengan jumlah persentase tutupan 55,07%, dan terendah pada biota lainnya dengan jumlah persentase tutupan 1,60%. Dari 14 kategori ditemukan 8 kategori bentuk pertumbuhan karang Acropora dan non-Acropora, untuk karang Acropora 3 kategori dan non-Acropora 5 kategori. Persentase tutupan karang Acropora sebesar 13,21% dan non-Acropora 14,13%, sehingga total persentase tutupan karang 27,34% (Tabel 1).

Bentuk Pertumbuhan Karang	Kode	Panjang Kategori (cm)	Persen Tutupan (%)
Acropora	ACB	1510	10,07
	ACD	401	2,67
	ACT	70	0,47
Non-Acropora	CE	200	1,33
	CF	750	5,00
	CM	910	6,07
	CS	220	1,47
	CMR	40	0,27
Karang Mati	DCA	2398	15,99
Biota Lainnya	SC	240	1,60
Komponen Abiotik	R	3351	22,34
	S	2490	16,60
	RC	400	2,67
	SI	2020	13,47
Jumlah		15000	100,00

80

tergolong sedang dengan kategori jika PC berkisar 0 – 24,9%, maka kondisi terumbu karang rusak, jika PC berkisar 25 – 49,9% maka kondisi terumbu karang sedang, jika PC berkisar 50 – 74,9% maka kondisi terumbu karang baik, dan jika PC berkisar 75 – 100%, maka kondisi terumbu karang sangat baik.

Secara langsung kondisi terumbu karang mempengaruhi kemampuan terumbu karang dalam menyerap dan menyimpan karbon. Terumbu karang berperan sebagai penyerap karbon melalui proses kalsifikasi oleh karang hermatipik, di mana kalsium dan karbonat diendapkan menjadi kalsium karbonat (CaCO_3) sebagai kerangka karang. Semakin tinggi tutupan karang hidup, semakin besar potensi serapan karbon anorganik yang dapat dikonversi menjadi struktur biogenik. Terumbu karang tropis disebut menyumbang simpanan karbon global melalui pembentukan struktur karang yang kompleks dan berkelanjutan, meskipun tidak sebesar hutan mangrove atau padang lamun dalam hal karbon organik (Kleypas *et al.*, 2006). Oleh karena itu, kawasan dengan persentase tutupan karang yang tinggi berpotensi lebih besar dalam mendukung mitigasi perubahan iklim secara lokal. Ketika persentase tutupan karang menurun akibat degradasi ekosistem (seperti pemutihan karang, polusi, dan praktik penangkapan ikan yang merusak), kapasitas serapan karbon juga ikut menurun.

Luas Terumbu Karang

Hasil pengolahan citra satelit diperoleh luas perairan di Hol Sulamadaha adalah 1,53 Ha. Untuk memperoleh luasan terumbu karang, maka dilakukan proses *ground check* sehingga diperoleh tutupan dari masing-masing kategori bentuk pertumbuhan karang. Berdasarkan hasil analisis diperoleh luasan area terumbu karang sebesar 0,42 Ha, dengan luas area karang *Acropora* 0,2 Ha dan non-*Acropora* 0,22 Ha (Tabel 2).

Tabel 2. Luas bentuk pertumbuhan karang di Hol Sulamadaha

No.	Kategori	Persen Tutupan (%)	Luas (Ha)
1	Acropora	13,21	0,20
2	Non-Acropora	14,13	0,22
3	Karang Mati	15,99	0,24
4	Biota Lainnya	1,60	0,02
5	Komponen Abiotik	55,07	0,84
Jumlah		100,00	1,53

Penurunan luas tutupan karang hidup menyebabkan terganggunya neraca karbon di terumbu, bahkan mengubah ekosistem dari penyimpan menjadi sumber karbon ke atmosfer dan laut bebas (Perry *et al.*, 2013). Hal ini memperkuat pentingnya upaya konservasi dan rehabilitasi karang, karena selain mendukung keanekaragaman hayati laut, tutupan karang yang baik juga berperan dalam siklus karbon global. Pengelolaan yang berkelanjutan serta pemantauan rutin terhadap tutupan karang menjadi langkah strategis dalam menjaga keseimbangan karbon di wilayah pesisir tropis.

Serapan Karbon

Serapan karbon terumbu karang merupakan kemampuan terumbu karang dalam menyerap karbon melalui proses fotosintesis antara hewan karang dengan organisme simbion yaitu zooxanthellae dan proses kalsifikasi yaitu proses pembentukan zat kapur (CaCO_3). Hasil penelitian di kawasan Hol Sulamadaha menunjukkan bahwa terumbu karang memiliki kontribusi nyata terhadap proses serapan karbon. Total nilai serapan karbon terumbu karang di kawasan Hol Sulamadaha sebesar 3,66 ton C atau 3.664,33 kg C, yang diperoleh dari serapan karang

Acropora sebesar 1,77 ton C atau 1770,06 kg C dan karang non-Acropora sebesar 1,89 ton C atau 1894,26 kg C (Tabel 3).

Tabel 3. Nilai serapan karbon terumbu karang di Hol Sulamadaha

Kategori	Persen Tutupan (%)	Luas (Ha)	Serapan Karbon	
			Ton C	Kg C
Acropora	13.21	0.20	1.77	1770.06
Non-Acropora	14.13	0.22	1.89	1894.26
Jumlah	27.34	0.42	3.66	3664.33

Faktor utama yang memengaruhi besarnya serapan karbon adalah kerapatan koloni karang dan tingkat kalsifikasi (pembentukan kalsium karbonat) dari struktur kerangka karang. Kalsifikasi merupakan proses penting dalam penyerapan karbon anorganik dari air laut, yang kemudian dikonversi menjadi struktur padat dalam bentuk CaCO_3 . Meskipun sebagian CO_2 dilepaskan kembali ke atmosfer dalam proses ini, sebagian besar tetap tersimpan dalam struktur terumbu dalam jangka panjang (Ware *et al.*, 1992; Janßen *et al.*, 2020). Dengan demikian, keberadaan karang masif dan bercabang yang aktif tumbuh dapat menjadi indikator kapasitas serapan karbon yang tinggi.

Namun demikian, hasil pengamatan juga menunjukkan bahwa pada lokasi yang mengalami tekanan aktivitas manusia seperti snorkeling dan pembuangan sampah, tutupan karang menurun signifikan dan berdampak pada berkurangnya potensi serapan karbon. Hal ini sejalan dengan temuan Ferrario *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa degradasi fisik pada terumbu karang secara langsung menurunkan kapasitas ekosistem dalam menyimpan karbon. Oleh karena itu, keberlanjutan fungsi ekosistem terumbu karang dalam mitigasi perubahan iklim sangat bergantung pada efektivitas pengelolaan dan konservasi kawasan.

Serapan karbon oleh ekosistem terumbu karang di Hol Sulamadaha menunjukkan potensi kontribusi terhadap upaya mitigasi perubahan iklim di tingkat lokal. Meskipun kontribusinya secara global lebih kecil dibandingkan ekosistem karbon biru lainnya seperti mangrove dan lamun, keberadaan terumbu karang tetap penting sebagai pelengkap sistem penyerapan karbon pesisir. Kajian ini mendukung argumen dari Howard *et al.* (2024) dan Duarte *et al.* (2020) bahwa integrasi terumbu karang dalam kebijakan *blue carbon* perlu dipertimbangkan secara serius, terutama di wilayah kepulauan seperti Indonesia.

Simpanan Karbon Dioksida

Hasil analisis simpanan karbon dioksida (CO_2) di ekosistem terumbu karang Hol Sulamadaha menunjukkan bahwa total simpanan CO_2 sebesar 13,45 ton CO_2/Ha atau 13.448,07 kg CO_2/Ha , yang diperoleh dari simpanan CO_2 karang Acropora sebesar 6,50 ton CO_2/Ha atau 6496,13 kg CO_2/Ha dan simpanan CO_2 karang non-Acropora sebesar 6,95 ton CO_2/Ha atau 6951,94 kg CO_2/Ha (Tabel 4).

Tabel 4. Nilai simpanan karbon dioksida terumbu karang di Hol Sulamadaha

Kategori	Luas (Ha)	Serapan Karbon		Konstanta	Simpanan Karbon Dioksida	
		Ton C	Kg C		Ton CO_2/Ha	Kg CO_2/Ha
Acropora	0.20	1.77	1770.06	3.67	6.50	6496.13
Non-Acropora	0.22	1.89	1894.26	3.67	6.95	6951.94
Jumlah	0.42	3.66	3664.33		13.45	13448.07

Kapasitas penyimpanan CO_2 dipengaruhi oleh morfologi karang, usia koloni, serta kerapatan populasi karang keras. Karang dengan pertumbuhan cepat seperti Acropora cenderung memiliki serapan karbon tahunan yang lebih tinggi, meskipun karang masif seperti *Porites*

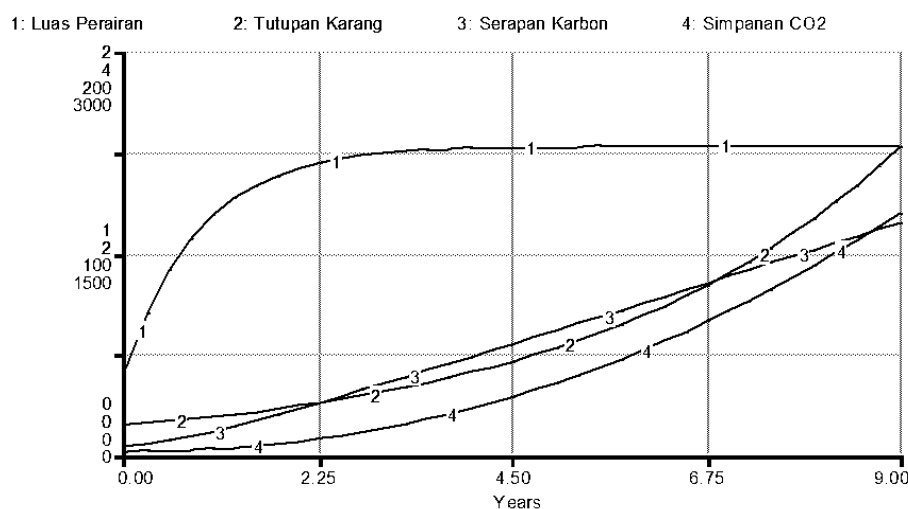
menyimpan karbon dalam jumlah lebih stabil dan jangka panjang (Moberg & Folke, 1999). Proses pembentukan rangka kalsium karbonat yang dilakukan oleh karang menghasilkan penyimpanan karbon anorganik, di mana sebagian besar karbon tersebut akan tetap berada dalam bentuk padat di substrat dasar laut selama puluhan hingga ratusan tahun (Gatuso *et al.*, 1998). Ini menjadikan ekosistem terumbu karang sebagai penyimpan karbon pasif namun penting dalam skala waktu yang luas.

Selain itu, hasil penelitian menunjukkan bahwa lokasi dengan aktivitas antropogenik tinggi, seperti daerah yang sering digunakan untuk rekreasi atau pemancingan, memiliki nilai simpanan CO₂ yang lebih rendah. Hal ini disebabkan oleh menurunnya tutupan karang dan meningkatnya kerusakan fisik substrat, yang pada akhirnya mengurangi kapasitas penyimpanan karbon. Studi oleh Cesar *et al.* (2003) memperkuat hal ini dengan menyatakan bahwa kerusakan 1 ha terumbu karang akibat aktivitas manusia dapat menyebabkan pelepasan karbon dalam jumlah signifikan, sekaligus menghilangkan fungsi ekosistem sebagai penyerap karbon.

Estimasi Serapan Karbon dan Simpanan Karbon Dioksida

Persen tutupan karang di Hol Sulamadaha adalah 27,34% dengan kategori kondisi sedang, persen tutupan karang mempengaruhi luasan terumbu karang. Jika persen tutupan karang meningkat, maka luasan terumbu karang bertambah, sehingga mempengaruhi serapan karbon maupun simpanan karbon dioksida. Dasar teori ini yang pakai, sehingga parameter yang digunakan dalam simulasi adalah persen tutupan karang dan tutupan karang mati dengan asumsi nilai parameter yang lain tetap. Simulasi yang dibuat adalah peningkatan persen tutupan karang sebesar 5% sedangkan tutupan karang mati sebesar 1% dalam satuan waktu.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa jika persen tutupan karang ditingkatkan sebesar 5% per tahun, maka membutuhkan waktu 9 tahun untuk mencapai tutupan 98% dengan nilai serapan karbon 57,66 ton C dan nilai simpanan karbon dioksida (CO₂) sebesar 211,61 ton CO₂/Ha (Gambar 4).



Gambar 4. Simulasi estimasi serapan karbon dan simpanan CO₂

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terumbu karang di wilayah studi memiliki kontribusi nyata terhadap proses serapan karbon dan simpanan karbon dioksida. Proses serapan karbon terjadi melalui fotosintesis yang dilakukan oleh *zooxanthellae*, yaitu alga mikroskopis yang hidup secara simbiotik dalam jaringan karang. *Zooxanthellae* menyerap karbon dioksida (CO₂) terlarut dan mengubahnya menjadi senyawa organik melalui proses fotosintesis, sehingga menurunkan konsentrasi karbon anorganik dalam kolom air laut (Howard *et al.*, 2024). Selain itu, proses kalsifikasi karang menghasilkan endapan kalsium karbonat (CaCO₃) yang juga mengikat karbon

dalam bentuk padat. Proses ini mendukung terbentuknya struktur fisik terumbu yang sekaligus berfungsi sebagai simpanan karbon jangka panjang (Silverman *et al.*, 2023).

Estimasi kuantitatif menunjukkan bahwa serapan karbon tergantung pada kepadatan tutupan karang dan produktivitas fotosintetiknya. Sementara itu, simpanan karbon dioksida yang tersimpan dalam bentuk CaCO_3 pada struktur karang dapat meningkat seiring pertumbuhan dan akumulasi biomineral dalam jangka waktu panjang (Graham *et al.*, 2023). Namun, efektivitas penyimpanan ini sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, termasuk suhu laut, keasaman air, dan gangguan antropogenik seperti aktivitas penangkapan ikan destruktif dan pencemaran (Cuni-Sanchez *et al.*, 2022).

Secara keseluruhan, temuan ini menekankan pentingnya pelestarian ekosistem terumbu karang dalam konteks mitigasi perubahan iklim. Meskipun kontribusinya terhadap pengurangan emisi karbon secara global mungkin tidak sebesar ekosistem karbon biru lainnya seperti mangrove dan lamun, terumbu karang tetap memiliki nilai strategis, terutama di wilayah kepulauan. Oleh karena itu, upaya konservasi berbasis jasa ekosistem, termasuk penilaian ekonomi terhadap simpanan karbon dioksida, perlu diperkuat melalui regulasi dan perencanaan pengelolaan kawasan pesisir secara berkelanjutan (Barbier *et al.*, 2011; Siry *et al.*, 2021; Gattuso *et al.*, 2024).

KESIMPULAN

Persen tutupan terumbu karang di Hol Sulamadaha sebesar 27,34% dengan luas terumbu karang 0,42 Ha. Nilai serapan karbon terumbu karang sebesar 3,66 ton C dan simpanan karbon dioksida (CO_2) sebesar 13,45 ton CO_2/Ha . Berdasarkan simulasi, peningkatan persen tutupan karang sebesar 5% per tahun maka membutuhkan waktu sembilan tahun untuk mencapai persen tutupan maksimal terumbu karang, sehingga terjadi peningkatan pada nilai serapan karbon dan simpanan CO_2 di Hol Sulamadaha.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Tim Penyelam komunitas M-Jiko Pesisir yang berpartisipasi dan membantu dalam proses pengambilan data selama penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A. (2014). *Daya dukung terumbu karang*. LepKhair. Universitas Khairun. Ternate.
- Alongi, D. M. (2020). *Blue carbon: Coastal sequestration for climate change mitigation*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-23517-8>
- Barbier, E. B., Hacker, S. D., Kennedy, C., Koch, E. W., Stier, A. C., & Silliman, B. R. (2011). The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81(2), 169–193. <https://doi.org/10.1890/10-1510.1>
- Cesar, H., Burke, L., & Pet-Soede, L. (2003). *The Economics of Worldwide Coral Reef Degradation*. WWF Netherlands.
- Cuni-Sanchez, A., Munishi, P. K. T., & Platts, P. J. (2022). Climate change threatens long-term carbon storage in coral reef ecosystems. *Ecological Applications*, 32(2), e2531. <https://doi.org/10.1002/eap.2531>
- Duarte, C. M., Losada, I. J., Hendriks, I. E., Mazarrasa, I., & Marbà, N. (2020). The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation. *Nature Climate Change*, 10(9), 745–754. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0880-1>
- English, S., Wilkinson, C., & Baker, V. (1994). *Survey manual for tropical marine resources* (2nd ed.). Australian Institute of Marine Science (AIMS).

- Ferrario, F., Beck, M. W., Storlazzi, C. D., Micheli, F., Shepard, C. C., & Airolidi, L. (2021). The effectiveness of coral reefs for coastal hazard risk reduction and adaptation. *Nature Communications*, 12(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22223-1>
- Gattuso, J. P., Magnan, A. K., Billé, R., Cheung, W. W. L., Howes, E. L., Joos, F., ... Turley, C. (2024). Ocean solutions to address climate change and its impacts. *Frontiers in Climate*, 6, 100112. <https://doi.org/10.3389/fclim.2024.100112>
- Gatuso, J. P., Frankignoulle, M., Bourge, I., Romaine, S., & Buddemeier, R. W. (1998). Calcium carbonate production by coral reefs. *Global and Planetary Change*, 18(1–2), 37–46. [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(98\)00070-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(98)00070-0)
- Graham, N. A. J., McClanahan, T. R., & Robinson, J. P. (2023). Reef futures and carbon dynamics in a warming ocean. *Nature Climate Change*, 13, 314–322. <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01512-7>
- Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P. J., Hooten, A. J., Steneck, R. S., Greenfield, P., Gomez, E., ... & Hatziolos, M. E. (2007). Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science*, 318(5857), 1737–1742. <https://doi.org/10.1126/science.1152509>
- Howard, J., Sutton-Grier, A. E., Herr, D., Kleypas, J., & Pidgeon, E. (2024). *Guidelines for coastal blue carbon project development: Incorporating coral reefs and carbonate systems*. Conservation International, IUCN, and UNESCO-IOC. <https://doi.org/10.1234/bluecarbon.2024>
- Howard, J., Sutton-Grier, A., Herr, D., Kleypas, J., Landis, E., McLeod, E., Pidgeon, E., & Simpson, S. (2024). *The role of coral reefs in blue carbon strategies: Opportunities and challenges for climate mitigation*. *Frontiers in Marine Science*, 11, 112233. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.112233>
- Indrawan, M., Wibowo, A., & Suryono, E. (2021). Carbon stock estimation in coral reef ecosystem of Wakatobi National Park, Southeast Sulawesi, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 934(1), 012045. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/934/1/012045>
- Janßen, H., Becker, M., Krol, L., & Dech, S. (2020). Quantifying blue carbon storage in coral reef ecosystems using remote sensing and field data. *Remote Sensing*, 12(18), 2974. <https://doi.org/10.3390/rs12182974>
- Kleypas, J. A., Feely, R. A., Fabry, V. J., Langdon, C., Sabine, C. L., & Robbins, L. L. (2006). *Impacts of ocean acidification on coral reefs and other marine calcifiers: A guide for future research*. Report of a workshop, St. Petersburg, FL, 88 pp.
- Moberg, F., & Folke, C. (1999). Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological Economics*, 29(2), 215–233. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00009-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00009-9)
- Nugroho, D., Arfiati, D., & Kurniastuty, D. (2022). Potensi penyimpanan karbon pada ekosistem terumbu karang di perairan Pulau Menjangan, Bali. *Jurnal Ilmu Kelautan Tropis*, 14(2), 89–97.
- Perry, C. T., Murphy, G. N., Kench, P. S., Edinger, E. N., Smithers, S. G., & Steneck, R. S. (2013). Caribbean-wide decline in carbonate production threatens coral reef growth. *Nature Communications*, 4, 1402. <https://doi.org/10.1038/ncomms2409>
- Perry, C. T., Spencer, T., & Kench, P. S. (2013). Carbonate budgets and reef framework production: spatial and temporal perspectives from the Caribbean and Indian Ocean. *Geology*, 41(1), 7–10. <https://doi.org/10.1130/G33571.1>
- Puspitasari, R., Wibowo, A., & Sari, N. P. (2023). Estimasi potensi simpanan karbon pada ekosistem terumbu karang di Perairan Karimunjawa. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 15(1), 45–54.
- Saharjo, B. H., Yulianda, F., & Zamani, N. P. (2022). Analisis simpanan karbon pada ekosistem terumbu karang di kawasan konservasi perairan daerah. *Jurnal Segara*, 18(1), 15–24.

- Sari, N. P. (2016). Kajian potensi karbon pada ekosistem terumbu karang di perairan Pulau Seribu. *Jurnal Oseanografi Indonesia*, 1(2), 45–52.
- Silverman, J., Schneider, K., & Lazar, B. (2023). Coral reef calcification under climate change: Long-term CO₂ storage potential. *Global Change Biology*, 29(4), 1221–1234. <https://doi.org/10.1111/gcb.16542>
- Siry, H. Y., Hutomo, M., & Adrianto, L. (2021). Blue carbon governance in Indonesia: Policy development and challenges. *Ocean & Coastal Management*, 208, 105618. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105618>
- Spalding, M. D., Burke, L., Wood, S. A., Ashpole, J., Hutchison, J., & zu Ermgassen, P. (2017). Mapping the global value and distribution of coral reef tourism. *Marine Policy*, 82, 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.05.014>
- Wilkinson, C. (2008). *Status of Coral Reefs of the World: 2008*. Global Coral Reef Monitoring Network and Reef and Rainforest Research Centre.
- Yuniarti, N., Ramdhan, M. T., & Nugroho, D. (2022). Potensi simpanan karbon pada terumbu karang di Pulau Weh, Aceh. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 14(2), 87–96.