



Restorasi karang dengan metode mikrofragmentasi di Laut Kota Ternate. Maluku Utara

Coral restoration using microfragmentation in Ternate City Sea. North Maluku

Abdul Ajiz Siolimbona¹, Abdurrahman Baksir^{1*}, Muhammad Fathur Anwar¹, Firdaut Ismail¹, Ikbal Marus¹, Eko Setyobudi Wibowo¹, Nebuchadnezzar Akbar¹, Abdul Motalib Angkotasan¹, Irmalita Tahir¹, Dondy Arafat², Beginer Subhan²

¹Program Studi Ilmu Kelautan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Universitas Khairun

²Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

*e-mail : abdurrahmanbaksirkelautan@gmail.com

ABSTRAK

Sebagai akibat memburuknya kondisi karang dunia, membuat upaya restorasi karang telah menjadi bagian dari strategi pemulihan. Restorasi terumbu karang merupakan teknik upaya untuk memperbaiki kondisi terumbu karang yang telah rusak dan menjaga ekosistem terumbu karang. Kegiatan restorasi terumbu karang hanya banyak dilakukan dengan cara memperbanyak karang bercabang karena pertumbuhannya yang cepat. Restorasi karang masif masih belum dilakukan, meski karang masif merupakan komponen ekosistem terumbu karang yang penting. Restorasi karang masif dapat dilakukan dengan mikrofragmentasi, namun hal ini masih minim dilakukan di Indonesia. Penelitian Ismail *et al.* (2023) merekomendasikan untuk dilakukan restorasi terumbu karang di perairan Pantai Falajawa dan Pantai Taman Nukila, dikarenakan presentase karang mati (*dead coral*) tinggi. Berdasarkan kondisi tersebut maka penelitian tentang restorasi karang dengan metode mikrofragmentasi karang massif di perairan Kota Ternate sangat penting dilakukan untuk memperbaiki kondisi ekosistem terumbu karang di pantai Falajawa dan pantai Taman Nukila. Data dikoleksi yaitu pertumbuhan fragmen karang dan tingkat kelangsungan hidup. Karang yang diujicoba adalah jenis *Porites sp.* yang pertumbuhannya diukur setiap minggu dengan lama waktu pengamatan 12 minggu. Fragmen karang yang ditempelkan yaitu ukuran 1 cm² (6 buah), 2 cm² (4 buah) dan 4 cm² (2 buah). Laju pertumbuhan karang masif dari genus *Porites* menunjukkan hasil yang baik dengan rata-rata laju pertumbuhan terbesar berturut-turut pada kedua lokasi penelitian yaitu fragmen ukuran ±2cm² dengan nilai 0.208cm² (ST 1) dan 0.200cm² (ST 2) Karang dengan ukuran ±2cm² merupakan ukuran yang ideal untuk restorasi karang masif dengan metode mikrofragmentasi. kelangsungan hidup karang pada kedua lokasi penelitian >50%, yaitu 57,14% (ST 1) dan 92,86% (ST 2).

Kata kunci : Restorasi, Mikrofragmentasi, Karang Massif, *Porites sp.*, Laju Pertumbuhan, Kelangsungan Hidup



ABSTRACT

*As a result of the global coral decline, coral restoration efforts have become part of the recovery strategy. Coral reef restoration is a technique to improve the condition of coral reefs that have been damaged and maintain the coral reef ecosystem. Many coral reef restoration activities are only carried out by multiplying branching corals because of their fast growth. Massive coral restoration has not yet been done, even though massive corals are an important component of the reef ecosystem. Massive coral restoration can be done by microfragmentation, but this is still minimally done in Indonesia. Research by Ismail et al. (2023) recommended coral reef restoration in the waters of Falajawa Beach and Taman Nukila Beach, due to the high percentage of dead coral. Based on these conditions, research on coral restoration using the massive coral microfragmentation method in Ternate City waters is very important to improve the condition of the coral reef ecosystem on Falajawa beach and Taman Nukila beach. Data collected were coral fragment growth and survival rate. The corals tested were *Porites* sp. whose growth was measured weekly with a 12-week observation period. Coral fragments that were attached were 1cm² (6 pieces), 2 cm² (4 pieces) and 4 cm² (2 pieces). The growth rate of massive corals from the genus *Porites* showed good results with the largest average growth rate in both research locations, namely fragments of $\pm 2\text{cm}^2$ with a value of 0.208cm² (ST 1) and 0.200cm² (ST 2) Corals with a size of $\pm 2\text{cm}^2$ are the ideal size for massive coral restoration using microfragmentation method. coral survival in both research locations >50%, namely 57.14% (ST 1) and 92.86% (ST 2).*

Keywords: *Restoration, Microfragmentation, Massif Coral, *Porites* sp, Growth Rate, Survival*

I. Pendahuluan

Terumbu karang merupakan ekosistem yang memiliki keanekaragaman serta bernilai tinggi (Ladd *et al*, 2016). Secara keseluruhan luas terumbu karang 250.000 km² di sepanjang laut tropis dan 30% biota menjadikan sebagai habitat (Ladd *et al*, 2016). Ekosistem terumbu karang memberikan jaminan bagi keberlangsungan pangan dan mata pencaharian bagi masyarakat pesisir di lebih dari 100 negara di seluruh dunia (Edwards, 2010). Terumbu karang terdapat karang lunak dan karang keras. Genus karang keras (Scleractinia) banyak ditemukan di laut dangkal dan dalam dengan beragam kelas (Sauri *et al*. 2019; Abiyasa *et al*. 2021). Karang keras merupakan media interaksi antar berbagai spesies, indikator secara geomorfologi dan berperan pada proses produksi karbonat (Mc William *et al*, 2018). Terumbu karang dunia diperkirakan 20% telah mengalami berbagai level kerusakan dan 15 % beresiko mengalami kerusakan (Edwards, 2010). Antara tahun 2009 sampai tahun 2018 dunia kehilangan 14% terumbu karang akibat beberapa faktor, utamanya yaitu beberapa kali terjadi fenomena pemutihan karang (*bleaching*), ditambah tekanan akibat pembangunan di wilayah pesisir, pencemaran dari darat dan laut, aktifitas perikanan yang tidak berkelanjutan



dan badai tropis (GCRMN-ICRI, 2020). Penurunan kondisi karang dunia, membuat upaya restorasi karang telah menjadi bagian dari strategi pemulihan (Montoya *et al.*, 2016).

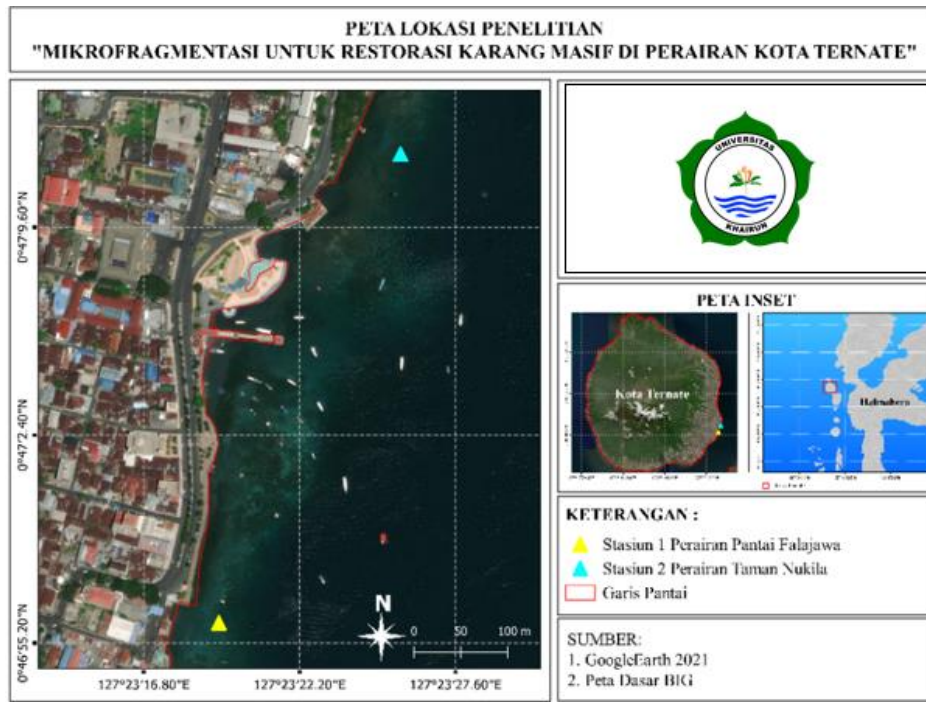
Restorasi terumbu karang merupakan teknik upaya untuk memperbaiki kondisi terumbu karang yang telah rusak dan menjaga ekosistem terumbu karang. Restorasi terumbu karang telah banyak dilakukan di Indonesia (Munasik *et al.*, 2018). Kegiatan restorasi terumbu karang hanya banyak dilakukan dengan cara memperbanyak karang bercabang karena pertumbuhannya yang cepat (Lirman 2000). Restorasi karang masif masih belum dilakukan, meski karang masif merupakan komponen ekosistem terumbu yang penting. Restorasi karang masif dapat dilakukan dengan mikrofragmentasi, namun hal ini masih minim dilakukan di Indonesia. Restorasi karang masif dengan metode mikrofragmentasi pertama kali dilakukan secara *ex-situ* di Mote Marine Laboratory, Florida, Amerika Serikat (Page 2013; Page dan Vaughan 2014). Penelitian Page *et al.* (2018) di perairan Florida, Amerika Serikat, menemukan bahwa fragmen yang berukuran lebih kecil (mikrofragmen 1 cm²) menghasilkan luas *soft tissue* 10 kali lipat lebih banyak dibandingkan dengan yang dihasilkan fragmen yang lebih besar. Kesimpulan penelitian Page *et al.* (2018) yaitu mikrofragmentasi dapat menambah laju pertumbuhan karang masif.

Penelitian mengenai mikrofragmentasi karang di Indonesia telah dilakukan terhadap jenis karang *Porites sp.* di Perairan Karimunjawa (Haryanti *et al.* 2022). Hasil penelitian Haryanti *et al.* (2022) menemukan bahwa pertumbuhan *soft tissue* tertinggi pada fragmen dengan ukuran 2 cm² dengan tingkat pertumbuhan 0.27 cm² per minggu, sedangkan terendah pada fragmen dengan ukuran 4 cm² dengan tingkat pembaharuan 0.92 cm² per minggu. Perairan Pantai Falajawa dan Pantai Taman Nukila, Kota Ternate merupakan area wisata pantai yang sering dikunjungi penduduk, hal ini berdampak pada gangguan antropogenik yang tinggi terhadap habitat terumbu karang di kedua wilayah tersebut. Penelitian Ismail *et al.* (2023) merekomendasikan untuk dilakukan restorasi terumbu karang di perairan Pantai Falajawa dan Pantai Taman Nukila, dikarenakan presentase karang mati (*dead coral*) tinggi.

Berdasarkan kondisi tersebut maka penelitian tentang restorasi karang dengan metode mikrofragmentasi karang massif di perairan Kota Ternate sangat penting dilakukan untuk memperbaiki kondisi ekosistem terumbu karang di pantai Falajawa dan pantai Taman Nukila. Penelitian ini bertujuan mengetahui seberapa besar tingkat kelangsungan hidup (*survival rate*) dan laju pertumbuhan (*growth*) dari tiap-tiap fragmen yang diuji coba. Hasil dari penelitian ini akan menjadi informasi penting mengenai metode restorasi karang massif dengan metode mikrofragmentasi dan mengetahui tingkat kelangsungan hidup (*survival rate*), laju pertumbuhan (*growth*) serta ukuran fragmen yang ideal untuk dilakukan mikrofragmentasi.

II. Metodologi penelitian

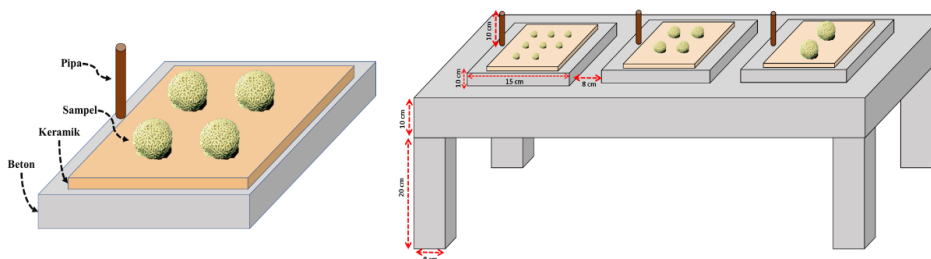
Berdasarkan kondisi tersebut maka penelitian tentang restorasi karang dengan metode mikrofragmentasi karang massif di perairan Kota Ternate sangat penting dilakukan untuk memperbaiki kondisi ekosistem terumbu karang di pantai Falajawa dan pantai Taman Nukila. (Gambar 1).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

2.1 Pengambilan data

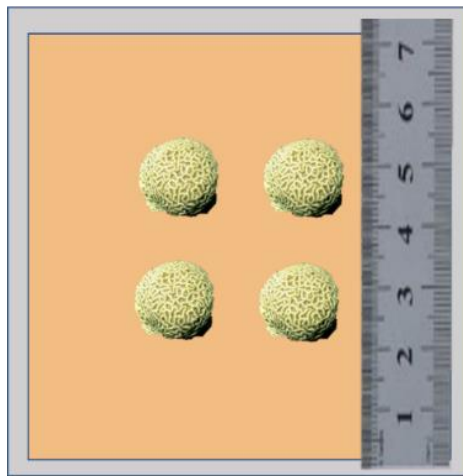
Penelitian ini kategori eksperimen secara *in-situ*. Data dikoleksi yaitu data primer, seperti pertumbuhan fragmen karang jenis *Porites sp.* yang diukur setiap minggu dengan lama waktu pengamatan 12 minggu. Fragmen karang yang ditempelkan yaitu ukuran 1 cm² sebanyak 6 buah, 2 cm² sebanyak 4 buah dan 4 cm² sebanyak 2 buah. Setiap fragmen ditempelkan di atas substrat berbahan keramik menggunakan lem super merek (Guo elephant GEL-606) dan diletakkan di atas media yang didesain berbentuk meja, yang terbuat dari beton (Gambar 2).



Gambar 2. Sketsa media penempelan fragmen karang

Fragmen karang yang telah ditempelkan di atas media beton selanjutnya diletakkan di laut pada kedalaman 3 meter. Pengukuran pertumbuhan karang menggunakan aplikasi

imageJ (Ruden *et al.* 2017). Pertumbuhan karang yang diukur yaitu penambahan luasan karang setiap cm^2 . Pengamatan dilakukan dengan cara mengambil gambar dari setiap fragmen dengan penggaris disisi fragmen yang berfungsi sebagai skala acuan pengukuran pada pengolahan gambar menggunakan perangkat lunak *ImageJ*. Sudut pengambilan gambar diusahakan sama menggunakan kamera *underwater*. Pengambilan gambar diambil 1 sisi yaitu pada sisi atas fragmen karang (Wibowo, 2009). Pengambilan gambar pada sisi atas dilakukan dengan meletakkan penggaris diatas substrat dan diambil gambar dengan jarak 10 cm tepat diatas fragmen. Syarat dari pengambilan gambar ini tampak jelas dan penggaris sebagai skala harus masuk dalam frame gambar (Gambar 3.)



Gambar 3. Skema pengambilan gambar fragmen karang

Pengambilan data lingkungan perairan dilakukan alat Horiba pada paramater DO, salinitas dan suhu dengan standar operasional prosedur (SOP). Pengukuran kecerahan menggunakan *Sachi Disk* dan data arus diperoleh dengan metode layangan arus.

2.2 Analisi data

Data pertambahan luasan karang yang telah diambil menggunakan image-J kemudian dianalisis untuk mengetahui laju pertumbuhan karang dengan mengacu pada Page *et al.*,(2018) dengan rumus :

$$P = L_t - L_0$$

Keterangan :

P = Laju pertumbuhan mingguan

L_t = Luas mikrofragmen pada minggu ke n

L_0 = Luas mikrofragmen pada minggu ke n - 1.



Pengukuran tingkat kelangsungan hidup (*survival rate*) dilakukan dengan menggunakan persamaan Ricker (1975) seperti di bawah ini :

$$SR = \frac{Nt}{N0} \times 100$$

Keterangan :

SR= Tingkat kelangsungan hidup fragmen dalam mikrofragmentasi karang masif yang dinyatakan dalam persen (%)

Nt = Jumlah fragmen yang masih hidup pada akhir penelitian

N0 = Jumlah fragmen pada awal penelitian

III. Hasil dan pembahasan

3.1 Laju pertumbuhan

Laju pertumbuhan karang menunjukkan bahwa karang berukuran fragmen $\pm 2 \text{ cm}^2$ memiliki rerata laju pertumbuhan tertinggi pada stasiun I yaitu seluas 0.208 cm^2 dan stasiun II yaitu seluas 0.200 cm^2 . Rerata laju pertumbuhan rendah ditunjukkan karang dengan ukuran fragmen $\pm 1 \text{ cm}^2$ pada stasiun I seluas 0.043 cm^2 dan stasiun II seluas 0.058 cm^2 (Tabel 1).

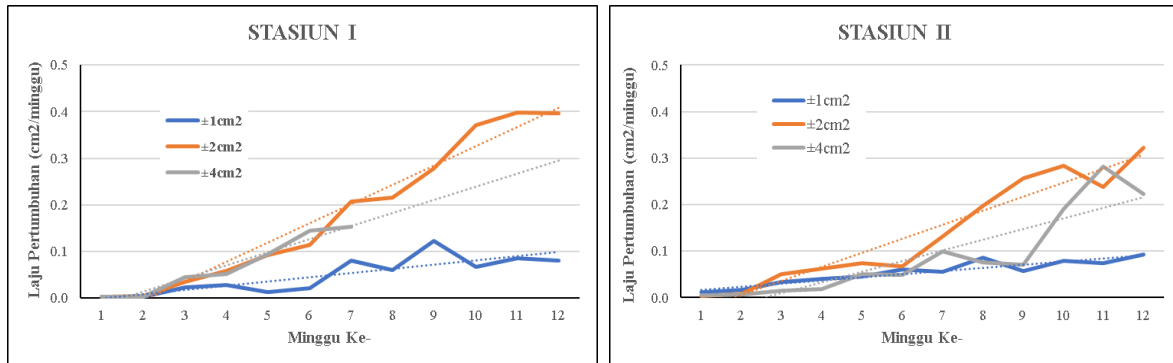
Tabel 1. Laju pertumbuhan fragmen karang pada stasiun 1 dan 2

Stasiun	Ukuran Fragmen	Pengulangan	Laju Pertumbuhan Per minggu (cm^2)	Rata-Rata (cm^2)
Pantai Falajawa I	$\pm 1 \text{ cm}^2$	1(1)	0.034	0.043
		1(2)	0.052	
	$\pm 2 \text{ cm}^2$	2(1)	0.227	0.208
		2(2)	0.189	
	$\pm 4 \text{ cm}^2$	4(1)	0.109	0.111
		4(2)	0.113	
Perairan Taman Nukila II	$\pm 1 \text{ cm}^2$	1(1)	0.082	0.058
		1(2)	0.034	
	$\pm 2 \text{ cm}^2$	2(1)	0.208	0.200
		2(2)	0.193	
	$\pm 4 \text{ cm}^2$	4(1)	0.109	0.090
		4(2)	0.072	

Keterangan: 1 (1) = Ukuran Fragmen (Pengulangan ke-i)

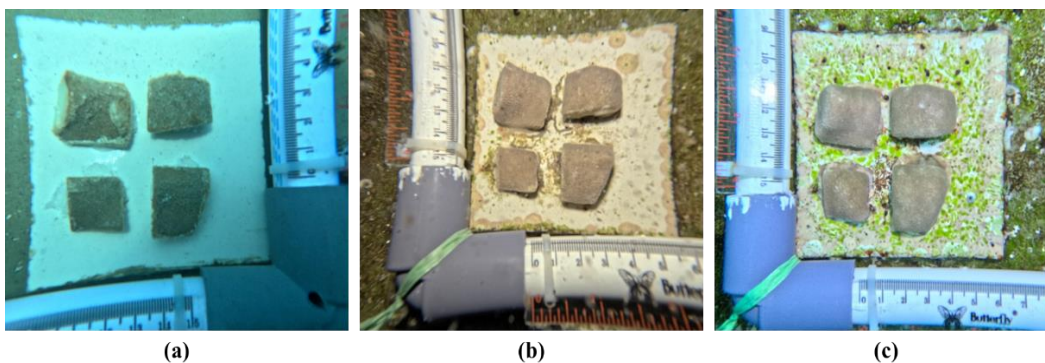
Fragmen karang menunjukkan pertumbuhan signifikan pada minggu ke-7, hal ini disebabkan fragmen karang pada minggu tersebut sudah beradaptasi dengan lingkungannya. Ritson-Williams *et al.* (2009) mengatakan bahwa pertumbuhan fragmen karang signifikan

pada minggu ke-7, hal ini dikarenakan fragmen telah mengalami adaptasi terhadap lingkungan dan menunjukkan respons cepat terhadap lingkungan baru (Gambar 4).



Gambar 4. Laju pertumbuhan fragmen karang di tiap stasiun

Laju pertumbuhan karang dari genus *Porites sp.* lebih rendah (Gambar 5), jika dibandingkan penelitian Haryanti *et al* (2022), hal ini diduga fenomena pertumbuhan alga, sedimentasi dan lambatnya kecepatan arus di lokasi penelitian. Algae yang berkembang pesat akan mengakibatkan perebutan ruang dan nutrisi dengan karang. Pertumbuhan masif alga dapat menutupi permukaan karang, mengganggu perkembangbiakan serta suplai nutrisi untuk pertumbuhan (Huges *et al.* 2011). Sedimentasi dan kecilnya pergerakan arus dapat menyebabkan terjadinya perlambatan laju pertumbuhan karena sedimen yang menutup polip dapat mengganggu proses fotosintesis yang terjadi pada polip karang (Supriharyono, 2007). Pengaruh sedimen terhadap karang dapat terjadi secara langsung maupun tidak langsung.



Gambar 5. Fragmen Karang di stasiun I pengulangan ke-2 Ukuran $\pm 2\text{cm}^2$ (a) Awal penurunan, (b) Minggu ke-7, dan (c) Minggu ke-12.

Pengaruh tidak langsung adalah melalui turunya penetrasi cahaya matahari yang penting untuk fotosintesis alga simbiosis karang yaitu zooxanthellae, dan banyaknya energi yang dikeluarkan untuk menghalau sedimen tersebut, berakibat turunya laju pertumbuhan.

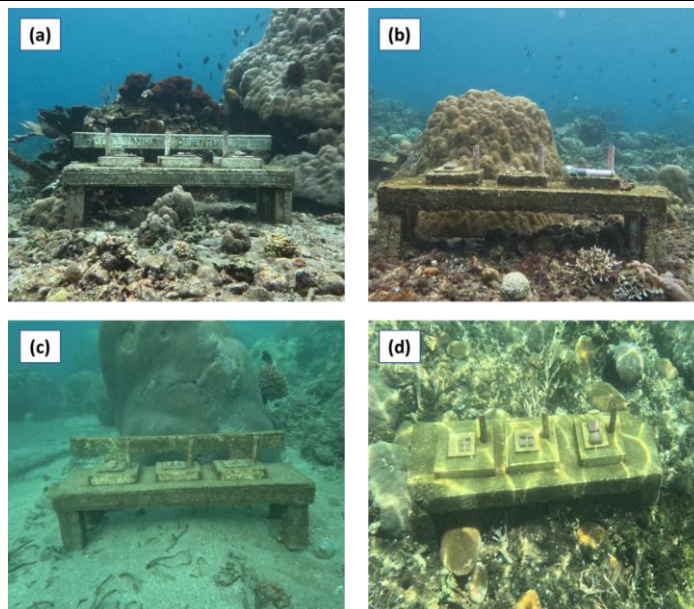
Laju pertumbuhan karang pada stasiun I, lebih rendah dibandingkan laju pertumbuhan karang di stasiun II diduga disebabkan populasi masif algae tinggi. Kondisi ini menyebabkan laju pertumbuhan lambat. Kondisi eksisting terdiskripsikan bahwa, pertumbuhan alga di stasiun II (Taman Nukila) tinggi, jika dibandingkan stasiun I (Pantai Falajawa). Faktor pertumbuhan masif alga diduga karena kecepatan arus rendah, tekanan antropogenik dan konsentrasi nutrisi tinggi. Perbedaan ditemukan pada stasiun I (Pantai Falajawa) yang menunjukkan pertumbuhan alga frekuensi rendah, diduga kecepatan arus optimal dan kualitas air stabil. Hasil penelitian ini, mirip yang dilakukan Prawira *et al.* (2021); Lestari *et al.* (2022); Yuliana *et al.* (2023).

3.2 Tingkat Kelangsungan Hidup

Tingkat kelangsungan hidup (*survival rate*) tertinggi pada stasiun II 92.86% yakni jumlah akhir 26 fragmen hidup (Tabel 2). Fragmen mati ditemukan dua fragmen karang di stasiun II pada ukuran $\pm 1 \text{ cm}^2$. Stasiun I tingkat kelangsungan hidup 57.14% dengan fragmen 16 hidup. Fragmen mati yakni 12 fragmen yakni ukuran $\pm 1 \text{ cm}^2$ (10 fragmen) dan $\pm 2 \text{ cm}^2$ (2 fragmen) (Tabel 2).

Tabel 2. Tingkat Kelangsungan Hidup (*Survival Rate*) Fragmen Karang tiap stasiun

Stasiun	Jumlah Fragmen (Awal)	Jumlah Fragmen (Akhir)	Kelangsungan Hidup (%)
I	28	16	57.14
II	28	26	92.86



Gambar 6. Media mikrofragmentasi (a) Pengulangan ke-1 (stasiun I), (b) Pengulangan ke-2 (stasiun I), (c) Pengulangan ke-1 (stasiun II) dan (d) Pengulangan ke-2 (stasiun II)



Kematian fragmen karang dipengaruhi faktor gangguan fisik (Brandt *et al.* 2013), kerusakan akibat gelombang (Dollar 1982), erosi, dimangsa oleh predator (misalnya, ikan kakatua) (Boulay *et al.*, 2013), sedimentasi (Nugues *et al.* 2003), penyakit, parasitisme (Gochfeld *et al.*, 1997), dan pemutihan sebagian (Schuhmacher *et al.* 2005; Roff *et al.* 2014).

Harriot *et al.* (1988) menjelaskan bahwa peningkatan kematian fragmen karang disebabkan terlepasnya fragmen karang dari modul (media). Khususnya di stasiun I dengan kelangsungan hidup kecil dibandingkan stasiun II, karena disebabkan terlepasnya 6 fragmen karang (ukuran $\pm 1\text{cm}^2$) dari modul. Berdasarkan data tingkat kelangsungan hidup, maka dapat disimpulkan bahwa restorasi karang masif berhasil ($>50\%$). Justifikasi ini dilakukan Harriot *et al.* (1988) bahwa kegiatan restorasi karang dikatakan berhasil, apabila tingkat kelangsungan hidupnya $> 50\%$.

3.3 Parameter Lingkungan

Suhu pada kedua lokasi penelitian selama 12 (dua belas) kali pengambilan data sebesar 29.9°C pada Stasiun I dan 29.3°C pada stasiun II sehingga kisaran suhu yang didapatkan masih merupakan suhu normal pertumbuhan karang sebagaimana dinyatakan Supriharyono (2009), suhu yang baik untuk pertumbuhan karang berkisar antara $25-26^\circ\text{C}$ dengan batas maksimum sekitar 36°C . Salinitas pada kedua lokasi penelitian selama 4 bulan masih berada pada standar normal dengan rata-rata nilai yang didapatkan sebesar 33ppt.

Salinitas yang didapatkan tergolong baik untuk pertumbuhan karang. Karang batu dapat hidup dalam batas salinitas tertentu yaitu antara 25-40 ppt (Smith *dalam* Sukarno *et al.* 1981). Rahmawaty (2004) menyatakan bahwa kisaran salinitas normal untuk pertumbuhan karang diperairan berkisar 29-34 ppt, namun terumbu karang masih dapat hidup di batas kisaran salinitas 25-40ppt. Menurut Marsuki (2013), salinitas menjadi faktor penting kondisi ekologi perairan, dikarenakan mempengaruhi tekanan osmotik dalam tubuh organisme sehingga mengeluarkan energi untuk dapat beradaptasi dengan lingkungannya melalui mekanisme osmoregulasi. Rerata nilai derajat keasaman yang terukur pada kedua lokasi penelitian sebesar 7,41 (stasiun I) dan 7,38 (stasiun II). Nilai ini masih dapat dikatakan baik bagi pertumbuhan karang. Jika nilai pH kurang dari 7 dapat menyebabkan tingkat keasaman air laut yang berpengaruh terhadap fitoplankton yang berasosiasi dengan karang dan tumbuhan laut lainnya (Moira *et al.*, 2020). Hal ini ditegaskan dalam Kepmen LH no 51 tahun 2004, pH yang optimal untuk pertumbuhan karang antara 7-8,5.

Rerata kadar oksigen terlarut yang didapatkan pada kedua lokasi penelitian jika di kaitkan dengan pernyataan Prasetyo *et al.* (2018) termasuk kedalam kondisi baik karena kadar oksigen pada baku mutu perairan $\geq 5\text{ mg/L}$. Maka nilai DO di lokasi penelitian memenuhi baku mutu air laut dan untuk kehidupan karang. Nilai rerata kecepatan arus yang didapatkan pada kedua lokasi penelitian yaitu $0,050\text{m/s}$ (stasiun I) dan $0,046\text{m/s}$ (stasiun II). Menurut Ihsan (2009), kecepatan arus terbagi dalam 4 kategori yaitu $<0,25\text{ m/s}$ (arus lambat), $0,25-0,50\text{ m/s}$ (arus sedang), $0,51-1\text{ m/s}$ (arus cepat), dan $>1\text{m/s}$ (sangat cepat), maka kecepatan arus di kedua lokasi penelitian tergolong dalam kategori arus lambat. Data kecepatan arus dalam kondisi tidak baik untuk pertumbuhan karang,. Kecepatan arus yang



ideal untuk pertumbuhan karang umumnya berkisar antara 0,1 hingga 0,5 m/s. Rentang ini mendukung proses penting bagi kesehatan terumbu karang, termasuk penyebaran larva, pasokan nutrisi, dan pembuangan limbah (Fabricius 2005).

Tabel 3. Hasil pengamatan parameter lingkungan di tiap stasiun

Stasiun	Rerata Nilai Parameter Lingkungan					
	Suhu (°C)	Salinitas (ppt)	pH	DO (mg/L)	Kecepatan Arus (m/s)	Kecerahan (%)
I	29.9	33	7.41	5.02	0.050	100
II	29.3	33	7.38	5.15	0.046	100

Menurut Nontji (2005), arus secara ekologi berperan pada kehidupan karang, karena sebagai pengadukan bahan makanan untuk polip karang, membersihkan endapan-endapan sedimen yang menempel pada karang serta mensuplai oksigen dari laut bebas. Arus yang kuat dapat membantu mengangkat sedimen pada karang dan membawa sedimen ke lokasi lain sehingga perairan tersebut menjadi lebih jernih (Haruddin 2011). Arus saat penelitian kurang baik, sehingga banyak algae yang tumbuh di media (Gambar 6c & 6d).

Kecerahan merupakan tingkat intensitas cahaya matahari yang menembus suatu perairan, sehingga hal ini sangat dipengaruhi kekeruhan. Hasil pengukuran lapangan menunjukkan kecerahan 100% pada kedua lokasi penelitian. Kecerahan yang mencapai 100% umumnya pada kedalaman < 5 m, sedangkan perairan yang lebih dalam (>10 m) tingkat kecerahannya lebih kecil yakni <70% yang disebabkan oleh kemampuan tingkat intensitas cahaya matahari yang menembus perairan rata-rata <10 m (Salim *et al.* 2017).

IV. Kesimpulan

Laju pertumbuhan karang masif dari genus *Porites* menunjukkan hasil yang baik dengan rata-rata laju pertumbuhan terbesar berturut-turut pada kedua lokasi penelitian yaitu fragmen dengan ukuran $\pm 2\text{cm}^2$ dengan nilai sebesar 0.208cm^2 (stasiun I) dan 0.200cm^2 (stasiun II). Sehingga fragmen karang dengan ukuran $\pm 2\text{cm}^2$ merupakan ukuran mikrofragmen yang ideal untuk restorasi karang masif dengan metode mikrofragmentasi. Mikrofragmentasi karang masif dari genus *Porites* pada penelitian ini berhasil dilakukan karena Tingkat kelangsungan hidup karang pada kedua lokasi penelitian >50%, yaitu sebesar 57.14% (stasiun I) dan 92.86% (stasiun II).

Daftar Pustaka

Abiyasa FR, Riyantini I, Agung MUK, Astuty S. 2021. Diversitas spasial karang keras (*Scleractinia*) Perairan Teluk Ciletuh, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat. Jurnal Akuatek Vol. 2, No. 2, Desember 2021: 69-80 69



- Ladd, M. C., Schantz A. A., Nedimyer, K., Burkepile, D. E., (2016). Density Dependence Drives Habitat Production and Survivorship of *Acropora cervicornis* Used for Restoration on a Caribbean Coral Reef. *Frontiers in Marine Science*.
- Edwards, A. J. (2010). Reef Rehabilitation Manual. Coral Reef Targeted Research & Capacity Building For Management Program:, St Lucia, Australia.
- McWilliam, M., Hoogenboom, M.O., Baird, A.H., Kuo, C.Y., Madin, J.S., Hughes, T.P., 2018. Biogeographical disparity in the functional diversity and redundancy of corals. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 115, 3084-3089. <https://doi.org/10.1073/pnas.1716643115>.
- Global Coral Reef Monitoring Network (GCMRN) and International Coral Reef Initiative (ICRI). (2020). Status Of Coral Reef of The World : 2020 Summary for Policemakers. Australia.
- Montoya-Maya, P., Smit, K., Burt, A., & Frias-Torres, S. (2016). Large scale coral reef restoration could assist natural recovery in Seychelles, Indian Ocean. *Nature Conservation* 16, 1-17.
- Ismail F., Marus I., Akbar N., Irfan M., Tahir I, Paembonan R. E., Najamuddin, Wibowo S. E., Siolimbona A. A., Salnuddin.2023.
- Munasik, Sugiyanto, Sugianto, D.N. dan Sabdon, A. (2018). Reef Development on Artificial Patch Reefs in Shallow Water Panjang Island, Central Java. *IOP Conference Series: Earth Environmental Science*. 116(1), p.012095. doi: 10.1088/1755-1315/116/1/012095
- Lirman, D. (2000). Fragmentation in the branching coral *Acropora palmata* (Lamarck): growth, survivorship, and reproduction of colonies and fragments. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 251, 41-57. doi: 10.1016/S0022-0981(00)00205-7
- Page, C. (2013). Reskinning a reef: Mote marine lab scientist explore a new approach to restoration. In: *Coral: The Reef and Marine Aquarium Magazine*. Hal 72-81.
- Page, C., Muller, E.M., dan Vaughan, D.E. (2018). Microfragmenting for the successful restoration of slow-growing massive corals. *Ecological Engineering*. 123, 86-96.
- Haryanti D., Maskur A., Munasik. (2022). Mikrofragmentasi Untuk Restorasi Karang Masif di Pulau Sambangan Karimunjawa. *Jurnal Kelautan Tropis* November 2022. Vol. 25(3):432-438
- Ricker, W.E. (1975). Computation and Interpretation of Biological Statistic of Fish Populations. *John Willey and Sons*. Hal 444.
- Ritson-Williams, R., & Paul, V.J. (2009). Growth and Survival of Coral Fragments in Different Transplantation Methods." *Marine Biology*. 156: 947-960
- Wibowo, A. S. 2009. Analisis Kecepatan Pertumbuhan dan Tingkat Keberhasilan Transplantasi Karang *Stylophora pistillata* dan *Pocillopora verrucosa* di Perairan Pulau Karya, Kepulauan Seribu. Fakultas Pertanian dan Ilmu Kelautan. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.



- Ruden, C.T., Schiendelin, J., Hiner, M.C., DeZonia, B.E., Walter, A.E., Arena, E.T., dan Eliceri, K.W. (2017). ImageJ2: Image J for the next generation of scientific image data. *BMC Bioinformatics*. 18, p.529. doi: 10.1186/s12859-017-1934-z
- Haryanti D., Maskur A., Munasik. (2022). Mikrofragmentasi Untuk Restorasi Karang Masif di Pulau Sambangan Karimunjawa. *Jurnal Kelautan Tropis* November 2022. Vol. 25(3):432-438
- Hughes, T.P., & Jackson, J.B.C. (2011). Frontiers in Ecology: Effects of Algal Blooms on Coral Reefs. *Annual Review of Marine Science*. 3: 27-47
- Supriharyono. (2007). Pengelolaan Ekosistem Terumbu Karang. Penerbit Djambatan, Jakarta, X + 129 p.
- Prawira, S., Wulandari, D., & Fadilah, N. (2021). "Pengaruh Blooming Algae Terhadap Terumbu Karang di Pantai Falajawa dan Taman Nukila, Kota Ternate." *Jurnal Penelitian Ekosistem Terumbu Karang*, 7(1), 12-25
- Lestari, D., Setiawan, A., & Hendrawan, Y. (2022). "Analisis Blooming Algae dan Dampaknya Terhadap Ekosistem Terumbu Karang di Pantai Falajawa dan Taman Nukila, Kota Ternate." *Jurnal Ekosistem dan Lingkungan*. 14(1); 55-68.
- Yuliana, S., Susilo, B., & Rahmawati, A. (2023). "Faktor Penyebab dan Dampak Blooming Algae Terhadap Terumbu Karang di Taman Nukila dan Pantai Falajawa, Kota Ternate." *Jurnal Ilmu Kelautan Indonesia*, 8(2), 88-101.
- Brandt M.E., Smith T.B., Correa A.M.S., dan Vega T.R. 2013. Disturbance driven colony fragmentation as a driver of a coral disease outbreak. *PLoS ONE*. Vol. 8(2): 1-190
- Dollar SJ. 1982. Wave stress and coral community structure in Hawaii. *Coral Reefs* 1:71-81
- Nugues M. M, Roberts C. M. 2003. Partial mortality in massive reef corals as an indicator of sediment stress on coral reefs. *Marine Pollution Bulletin* 46:314-323
- Gochfeld DJ, Aeby GS. 1997. Control of populations of the coral-feeding nudibranch *Phestilla sibogae* by fish and crustacean predators. *Coral Reefs*. 130:63-69
- Helmut Schuhmacher, Karen Loch, Wolfgang Loch, Wolf R See. 2005. The aftermath of coral bleaching on a Maldivian reef—a quantitative study. *Facies* 51 (1), 80-92
- Roff G, Bejarano S, Bozec Y-M, Nugues M, Steneck RS, Mumby PJ. 2014. Porites and the Phoenix effect: unprecedented recovery after a mass coral bleaching event at Rangiroa Atoll, French Polynesia. *Marine Biology*. 161:1385-1393
- Harriot, V. J., Fisk, D. A. (1988). Coral Transplantation As Reef Management Option. *Proc.6th. Int. Coral Reef Symp.* 2: 375-379.
- Supriharyono. (2009). Pelestarian dan Pengelolaan Sumber Daya Alam di Wilayah Pesisir Tropis. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- Sukarno, M., Hutomo M., Moosa M. K., Darsono P. 1981. Terumbu Karang di Indonesia. Sumberdaya, Permasalahan dan Pengelolaannya. Proyek Penelitian Potensi Sumberdaya Alam di Indonesia. Lembaga Oseanologi Nasional. LIPI, Jakarta. 112 hal.
- Rahmawaty. 2004. Penanggulangan Kerusakan Ekosistem Terumbu Karang Melalui Pemberdayaan Ekonomi Masyarakat Pesisir dan Kelautan. Fakultas Kehutanan, Universitas Sumatera Utara.



- Marsuki. I. D, Baru, S. dan Ratna, D. P. 2013. Kondisi Terumbu Karang dan Kelimpahan Kimia di Perairan Pulau Indo. *Jurnal Mina Laut Indonesia*, FPIK UNHALU : Kendari.
- Moirra, V. S., Luthfi, O. M., dan Isdianto, A. (2020). Analisis Hubungan Kondisi Oseanografi Kimia terhadap Ekosistem Terumbu Karang di Perairan Damas, Trenggalek, Jawa Timur. *Journal of Marine and Coastal Science*. 9(3), 113–126.
- Kementerian Lingkungan Hidup (KLH). 2004. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No.51/MENLH/2004 tentang Baku Mutu Air Laut Untuk Biota Laut. Jakarta. Hal.32.
- Prasetyo, A. B. T., Yuliadi, L. P. S., Astuty, S., Prihadi, D.J. (2018). Keterkaitan tipe substrat dan laju sedimentasi dengan kondisi tutupan terumbu karang di perairan Pulau Panggang, Taman Nasional Kepulauan Seribu. *Jurnal Perikanan Kelautan*, 9 (2):1-7.
- Ihsan, N. 2009. Komposisi Hasil Tangkapan Sondong di Kelurahan Batu Teritip Kecamatan Sungai Sembilan Kota Dumai Provinsi Riau. [Skripsi]. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Riau. Pekanbaru.. 57 hlm.
- Fabricius, K. E. (2005). Effects of Ocean Acidification on Marine Biodiversity and Ecosystems. *Marine Ecology Progress Series*. 295;168-168
- Nontji, A. 2005 . Laut Nusantara. (Edisi revisi cetakan keempat). Penerbit Djambatan, Jakarta. 372 hlm
- Haruddin A, Purwanto E, Budiastuti MS. 2011. Dampak Kerusakan Ekosistem Terumbu Karang Terhadap Hasil Penangkapan Ikan Oleh Nelayan Secara Tradisional di Pulau Siompu Kabupaten Buton Provinsi Sulawesi Tenggara. *Jurnal Ekosains*, 3(3): 29-41.
- Salim D., Yuliyanto, dan Baharuddin. (2017). Karakteristik Parameter Oseanografi Fisika-Kimia Perairan Pulau Kerumputan Kabupaten Kotabaru Kalimantan Selatan. *Jurnal Enggano*. 2(2): 218-228
- Sauri M IA, Widodo AW, Lutfi OM. 2019. Klasifikasi Genus Karang Keras (Scleractinia) dengan Metode Gray Level Co-Occurrence Matrix. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer* 3(6): 5397-5405