



Pertumbuhan dan Tingkat Kelangsungan Hidup Mikrofragmen Karang *Montipora* sp. pada Intensitas Cahaya dan Jenis Material Substrat yang Berbeda

Gabriel Dala Bona P Damanik^a, Widiastuti^{a,b*}, and I Nyoman Giri Putra^a

^aProgram Studi Sarjana Ilmu Kelautan, Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Udayana, Bali, Indonesia

^aProgram Studi Magister Ilmu Kelautan, Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Udayana, Bali, Indonesia

*Corresponding author, email: widiastutikarim@unud.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received: January 8, 2026

Received in revised form: January 15, 2026

Accepted: February 24, 2026

Available online: February 28, 2026

Keywords: Coral microfragmentation, Growth Rate, Survival Rate, Light Intensity, *Montipora* sp.

ABSTRACT

Coral reef ecosystems are susceptible to environmental changes such as temperature, salinity, sedimentation, and eutrophication, and require optimal water quality to sustain their function. Increasing pressures on coral reefs threaten their survival as well as the associated biotas. Key environmental components that support coral growth and survival include light and substrate. Light intensity influences photosynthesis, while substrate type affects coral growth. This study aimed to evaluate the growth and survival rates of the microfragmented coral *Montipora* sp. under different light intensity (high: 200-300 $\mu\text{mol photons/ms}^2$, moderate: 150-200 $\mu\text{mol photons/ms}^2$, low: 150 $\mu\text{mol photons/ms}^2$) and material substrate type (cement and ceramic) for 12 weeks. Growth rate of *Montipora* sp. under different substrate material types were analyzed using Independent - T, whereas the growth rate under different light intensities was analysed using One-Way ANOVA. Results showed that growth decreased during weeks 0 - 2, however it is increased from weeks 3-11 across treatments. The growth rate of *Montipora* sp. did not differ significantly between ceramic ($0.4 \pm 0.03 \text{ cm}^2/\text{week}$) and cement substrates ($0.6 \pm 0.05 \text{ cm}^2/\text{week}$). Similarly, growth rates under different light intensities (150-300 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$) were not significantly different, with values of 0.3 cm^2/week at high intensity and 0.5 cm^2/week at medium and low intensities. Survival rates remained 100% across all treatments, regardless of substrate type or light intensity.

ABSTRAK

Ekosistem terumbu karang rentan terhadap perubahan lingkungan hidup terutama suhu, salinitas, sedimentasi, eutrofikasi, dan memerlukan kualitas perairan alami. Meningkatnya tekanan terhadap ekosistem terumbu karang dapat mengancam keberadaan dan kelangsungan terumbu karang dan biota yang hidup di dalamnya. Beberapa komponen lingkungan yang mendukung kelangsungan hidup dan pertumbuhan dari karang adalah cahaya dan substrat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju pertumbuhan dan tingkat kelangsungan hidup karang *Montipora* sp. pada intensitas cahaya (tinggi yaitu 200-300 $\mu\text{mol photons/ms}^2$, sedang yaitu 150-200 $\mu\text{mol photons/ms}^2$, rendah 150 $\mu\text{mol photons/ms}^2$) dan substrat yang berbeda (semen dan keramik) selama 12 minggu. Perbedaan laju pertumbuhan *Montipora* sp. pada intensitas cahaya dianalisa dengan Uji ANOVA Satu-Arah, sedangkan perbedaan laju pertumbuhan pada jenis substrat dianalisa dengan Uji T - Bebas. Hasil penelitian menunjukkan tren pertumbuhan pada substrat dengan material dan intensitas cahaya yang berbeda mengalami penurunan pertumbuhan pada minggu ke-0 hingga minggu ke-2, namun mengalami kenaikan pertumbuhan minggu ke-3 sampai ke-11 pada masing-masing perlakuan. Laju pertumbuhan mikrofragmen karang *Montipora* sp. tidak berbeda secara signifikan pada substrat dengan material penyusun keramik ($0,4 \pm 0,03 \text{ cm}^2/\text{minggu}$) dan semen ($0,6 \pm 0,05 \text{ cm}^2/\text{minggu}$). Laju pertumbuhan mikrofragmen karang *Montipora* sp. pada intensitas cahaya yang dipaparkan (150 - 300 $\mu\text{mol photons/ms}^2$) tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan yaitu 0,3 $\text{cm}^2/\text{minggu}$ pada intensitas cahaya tinggi, serta 0,5 $\text{cm}^2/\text{minggu}$ berturut - turut pada intensitas cahaya sedang dan rendah. Tingkat kelangsungan hidup mikrofragmen karang *Montipora* sp. pada substrat dengan material penyusun dan intensitas cahaya yang berbeda juga menunjukkan nilai yang sama yaitu 100%.

Kata Kunci: Intensitas cahaya, tingkat kelangsungan hidup, laju pertumbuhan, mikrofragmentasi karang, *Montipora* sp.

2026 JMRT. All rights reserved.

1. Pendahuluan

Ekosistem terumbu karang sangat rentan terhadap perubahan lingkungan hidup terutama suhu, salinitas, sedimentasi, eutrofikasi, dan memerlukan kualitas perairan alami (Barus *et al.*,

2018). Meningkatnya tekanan terhadap ekosistem terumbu karang tentunya dapat mengancam keberadaan dan kelangsungan terumbu karang dan biota yang hidup di dalamnya (Yuliani *et al.*, 2016). Seiring dengan meningkatnya permintaan dari perdagangan karang hias laut, industri farmasi, dan restorasi terumbu karang, industri

karang semakin diminati secara global. Teknik budidaya karang hias bertujuan untuk mempercepat regenerasi terumbu karang untuk tujuan perdagangan dan pengembangan habitat. Ini adalah upaya untuk mendukung produksi anakan yang berkelanjutan dalam lingkungan alami atau buatan. Mikrofragmentasi adalah metode yang digunakan, yang mempercepat pertumbuhan karang hingga sepuluh kali lebih cepat daripada metode konvensional.

Faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan transplantasi termasuk ukuran fragmen karang, jenis substrat, dan jenis karang yang ditransplantasi (Prameliasari, 2012). Transplantasi karang pada habitat buatan (*ex situ*) memiliki manfaat karena parameter air dapat dikontrol dan stabil, sedimentasi rendah, predasi yang lebih sedikit, dan kompetisi yang dapat dikontrol. Akibatnya, tingkat kematian karang transplan dapat dikurangi (Forsman *et al.* 2012). Intensitas cahaya rendah dapat menyebabkan fotosintesis tidak berlangsung secara optimal serta menghambat pertumbuhan karang (Susilawati *et al.*, 2016). Marshal (1996) menyatakan bahwa karang tropis yang tidak bersimbiosis menunjukkan laju kalsifikasi yang sebanding dengan karang yang bersimbiosis. Translokasi produk fotosintesis seperti gliserol dan oksigen ke mitokondria meningkatkan laju kalsifikasi dengan menghasilkan ATP (*Adenosine Triphosphate*) yang cukup untuk memenuhi kebutuhan energi yang tinggi, hal ini dilakukan karena karang simbiotik tidak selalu mengalami peningkatan kalsifikasi karena cahaya itu sendiri (Klombo-Palotta *et al.*, 2010; Marshall, 1996).

Selain cahaya, substrat juga menjadi salah satu faktor yang dapat mempengaruhi pertumbuhan karang transplan. Menurut Chamberland *et al.* (2021), pertumbuhan karang transplan dengan menggunakan substrat semen lebih cepat dibandingkan menggunakan substrat keramik. Hal ini disebabkan substrat semen memiliki permukaan yang lebih kasar yang dapat mempermudah jaringan karang untuk menempel. *Montipora* sp. sangat sensitif pada perubahan cahaya dan substrat (Lieng *et al.* 2021), disamping itu, *Montipora* sp. diminati para pecinta akuarium hias air laut karena memiliki warna yang lebih unik. Secara ekologi, *Montipora* sp. berperan penting sebagai pembangun terumbu, penyedia habitat, penopang produktivitas ekosistem, dan penstabil substrat, sekaligus menjadi indikator kesehatan ekosistem terumbu karang (Veron, 2000). Oleh karena itu, penting untuk mengetahui perbedaan laju pertumbuhan dan tingkat kelangsungan hidup mikrofragmen karang *Montipora* sp. pada intensitas cahaya dan jenis material substrat yang berbeda pada sistem budidaya *ex situ*.

2. Metode Penelitian

2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan pada bulan November 2024 – Januari 2025 di fasilitas penangkaran karang PT.Tirta Samudra Bali, Desa pesinggahan, Kecamatan Dawan, Kabupaten Klungkung, Bali.

2.2 Metode Penelitian

2.2.1 Persiapan Sampel Karang *Montipora* sp.

Sampel karang yang digunakan pada penelitian merupakan karang indukan *Montipora* sp. yang telah berada di fasilitas budidaya *ex situ* PT. Tirta Samudra Bali. Identifikasi karang *Montipora* sp. dilakukan berdasarkan karakteristik koralit yang berbentuk kerak tipis, lembaran, terkadang lebih tebal. Koralit sangat kecil (5,1 mm), terbenam di antara struktur *skeleton* di permukaan koloni (Gambar 1).



Gambar 1. Koralit Fragmen Karang *Montipora* sp.

2.2.2 Pembuatan Substrat Semen dan Keramik

Substrat sedimen dibuat menggunakan campuran semen dan pasir yang diaduk dengan menambahkan sedikit air hingga menjadi adonan padat. Setelah itu, adonan dimasukkan ke cetakan substrat. Substrat dicetak dengan dimensi 5 x 5 x 0,5 cm, setelah itu substrat didiamkan selama 24 jam. Setelah substrat mengeras dikeluarkan dari cetakan dan dilakukan *curing* menggunakan air tawar selama 7 hari kemudian direndam menggunakan air laut hingga mendapat pH 8,0 – 8,3.

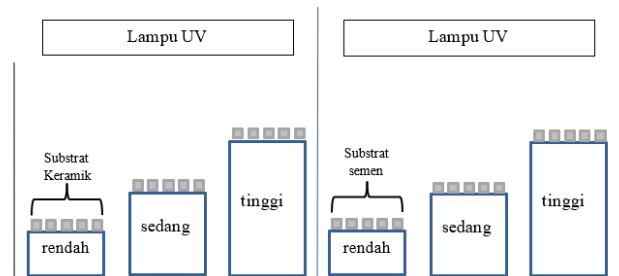
Substrat keramik dibuat dengan bahan baku utama tanah Kalimantan BL-1 dibuat menggunakan teknik cetak tekan dengan dimensi 5 x 5 x 0,5 cm. Sebelum dipanaskan, substrat keramik diberikan kode perlakuan kemudian dipanaskan dengan suhu 1050 °C selama 8 jam yang kemudian dilakukan penahanan suhu selama 2 jam.

2.2.3 Mikrofragmentasi Karang

Sebanyak dua induk karang *Montipora* sp. dipotong menjadi ±1 cm² menggunakan *gryphon*.

2.2.4 Tata letak perlakuan

Masing-masing 15 mikrofragmen karang ditempelkan pada substrat keramik dan 15 mikrofragmen lainnya pada substrat semen. Kemudian, seluruh fragmen tersebut diletakkan ke dalam satu akuarium yang sama dengan intensitas cahaya yang berbeda. Setiap intensitas cahaya dilakukan sebanyak 5 kali pengulangan dan setiap intensitas cahaya terdiri dari 5 substrat keramik dan 5 substrat semen. Jenis lampu yang digunakan yaitu LED biru dengan jenis *Cree XPE Blue* 475-480 nm dan *Cree XPE Royal Blue* 450-455 nm. Perbedaan intensitas cahaya dilakukan dengan membedakan ketinggian dari penempatan sampel substrat keramik dan semen dengan menggunakan rak akrilik (Gambar 2).



Gambar 2. Ilustrasi Peletakan Karang

Intensitas cahaya diukur menggunakan *Apogee PAR Meter* untuk menentukan peletakan papan lampu LED yang berjarak 45 cm dari permukaan air. Maka diperoleh intensitas cahaya tertinggi yaitu 200-300 $\mu\text{mol photons/ms}^2$, sedang yaitu 150-200 $\mu\text{mol photons/ms}^2$ dan rendah 150 $\mu\text{mol photons/ms}^2$. Durasi penyimpanan lampu adalah 9 jam, mulai pukul 08.00 – 17.00.

2.2.5 Parameter Kualitas Air Akuarium

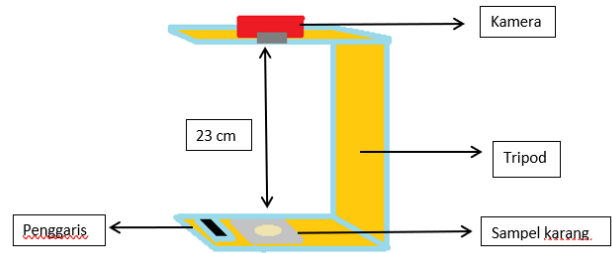
Pembersihan akuarium dilakukan seminggu sekali dan mencakup membersihkan dinding dan pipa saluran air untuk mengganti air dalam akuarium. Seminggu sebelum pengambilan data, sampel karang dibersihkan dengan menyikat substrat dengan sikat gigi bersih. Parameter kualitas air dipertahankan pada kondisi yang stabil selama pengamatan dengan pengukuran dilakukan seminggu sekali. Parameter kualitas air yang diamati meliputi: alkalinitas, magnesium, kalsium, pH, salinitas, dan suhu air. Alkalinitas diukur menggunakan *Alkalinitymeter*, magnesium diukur menggunakan *Salifert Mg test kit*, kalsium diukur menggunakan termometer dan salinitas diukur menggunakan refraktometer. Sodium bikarbonat diberikan untuk menjaga kestabilan alkalinitas, magnesium sulfat diberikan untuk menjaga kestabilan magnesium, dan kalsium hidroksida diberikan untuk menjaga kestabilan kalsium. Rerata pengukuran parameter kualitas air selama pengamatan ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rerata Pengukuran Parameter Kualitas Air Selama Pengamatan

Minggu ke-	Suhu	Alkalinitas	Magnesium	Kalsium	pH	Salinitas
1	25,7	7,7	1230	410	8,2	36,8
2	24,8	7,7	1200	420	8,2	36,8
3	25,5	7,7	1230	420	8,3	36,8
4	25,5	8,3	1260	420	8,2	36,8
5	24,8	7,7	1230	400	8,3	36,8
6	25,7	8	1230	410	8,2	36,8
7	25,7	7,7	1230	410	8,2	36,8
8	25	8	1260	400	8,2	36,8
9	25,9	8	1230	400	8,3	36,8
10	25	7,7	1230	420	8,3	36,8
11	25	8	1200	400	8,3	36,8

2.2.6 Pengukuran Pertumbuhan Mikrofragmen Karang

Sampel mikrofragmen karang di bawah air difoto menggunakan kamera yang berada di dalam air pada ketinggian konstan yaitu 23 cm dari sampel (Gambar 3). Luas pertumbuhan mikrofragmen karang diukur berdasarkan hasil foto menggunakan aplikasi *Image J*. Setiap foto dikalibrasi dengan penggaris (cm) sebagai skala referensi untuk mengonversi piksel ke cm^2 . Untuk memastikan perubahan ukuran koloni secara akurat, pengukuran dilakukan dengan fitur *polygon* dan analisis area. Gambar sampel diimpor dan dikalibrasi menggunakan fitur "*set scale*" untuk mengubah ukuran sampel dengan menambahkan penggaris di sebelah gambar. Kemudian, alat *polygon* digunakan untuk memilih area karang secara manual. *Image J* menghitung luas area yang dipilih dan mengubah hasilnya kesatuan cm^2 , berdasarkan skala yang telah ditentukan. Menurut Novita (2015), hasil analisis partikel dengan aplikasi *Image J* menunjukkan akurasi 88% yang menandakan bahwa analisis dengan *software Image J* cukup sesuai untuk digunakan sebagai media pengolahan data.



Gambar 3. Skema Pengambilan Foto Karang

2.3 Analisis Data

2.3.1 Laju Pertumbuhan

Laju pertumbuhan mikrofragmen karang transplan dihitung menggunakan persamaan 1 (Ricker dalam Joni *et al.*, 2015).

$$P : \frac{L_t - L_0}{t} \quad (1)$$

Keterangan:

P : Laju pertumbuhan

L_t : Rata-rata luas karang setelah pengamatan ke-t

L_0 : Rata-rata luas karang pada awal penelitian

T : Waktu pengamatan (minggu)

2.3.2 Tingkat Kelangsungan Hidup

Tingkat kelangsungan hidup diamati untuk mengetahui jumlah mikrofragmen karang transplan yang hidup dari awal penelitian hingga akhir penelitian. Perhitungan tingkat kelangsungan hidup menggunakan persamaan 2 (Ricker, 1975).

$$SR : (N_t - N_0) \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

SR : Tingkat kelangsungan hidup (%)

N_t : Jumlah individu karang pada akhir penelitian (individu)

N_0 : Jumlah individu karang pada awal penelitian (individu)

2.3.3 Analisis Statistik

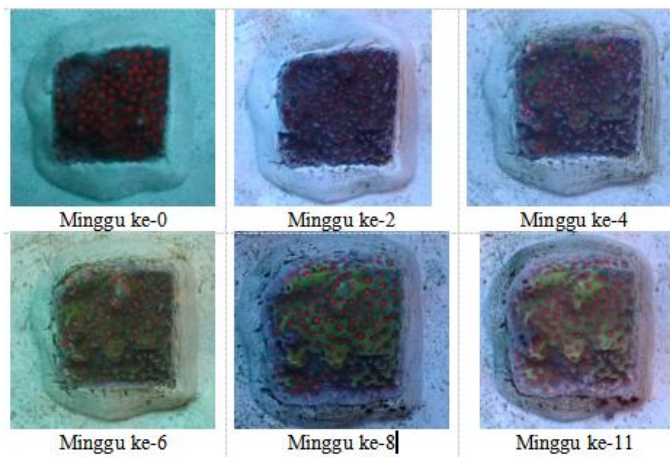
Perbandingan laju pertumbuhan mikrofragmen karang *Montipora* sp. pada material substrat dianalisis dengan Uji T - Bebas (*Independent T-Test*), sedangkan perbandingan laju pertumbuhan mikrofragmen karang *Montipora* pada intensitas cahaya dianalisis dengan ANOVA Satu - Arah. Sebelum dilakukan analisis lebih lanjut, dilakukan uji Normalitas untuk memastikan data terdistribusi normal, yang merupakan asumsi penting dalam uji statistik parametrik seperti Uji T - Bebas dan ANOVA.

3. Hasil dan Pembahasan

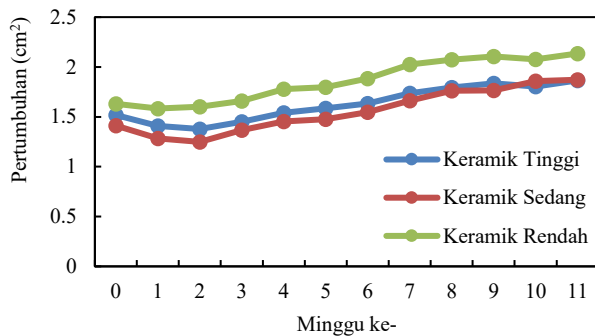
3.1. Hasil

Tren pertumbuhan mikrofragmen Karang *Montipora* sp. pada substrat keramik dengan intensitas cahaya berbeda ditunjukkan pada Gambar 4. Secara umum, pertumbuhan mikrofragmen pada substrat keramik dengan intensitas cahaya berbeda menunjukkan tren pertumbuhan yang sama yaitu terjadi peningkatan sejak minggu ke-2 sampai minggu ke-11. Pertumbuhan mikrofragmen Karang *Montipora* sp. pada ketiga intensitas cahaya menunjukkan penurunan relatif tetap pada minggu ke -1 menuju minggu ke-2 dan masing-masing meningkat setelah minggu ke-2. Pertumbuhan mikrofragmen pada intensitas cahaya rendah menunjukkan tren pertumbuhan lebih tinggi dibandingkan pada intensitas sedang dan tinggi, mencapai $2,1 \text{ cm}^2$ pada minggu ke-11. Pertumbuhan mikrofragmen karang pada intensitas cahaya sedang dan tinggi menunjukkan tren yang relatif sama. Pertumbuhan mikrofragmen

karang pada intensitas cahaya sedang relatif lebih rendah daripada intensitas cahaya tinggi sejak minggu ke-8 sampai dengan minggu ke-11. Pertumbuhan mikrofragmen karang telah sama dengan mikrofragmen yang ditumbuhkan dengan intensitas cahaya tinggi yaitu $1,9 \text{ cm}^2$ (Gambar 5).

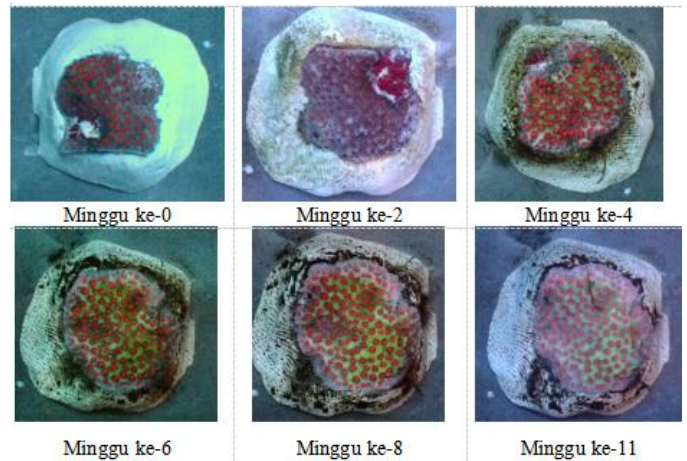


Gambar 4. Pertumbuhan Karang *Montipora sp.* Pada Substrat Keramik

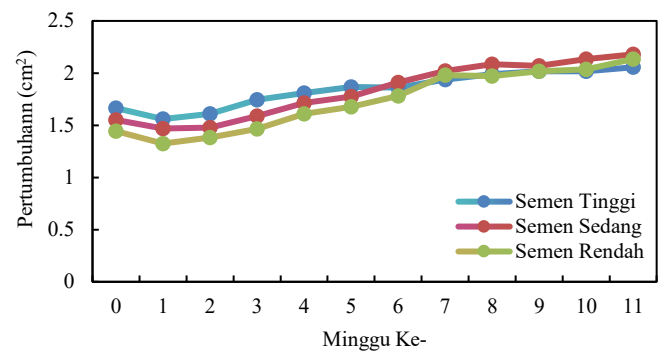


Gambar 5. Tren Pertumbuhan Karang *Montipora sp.* Pada Substrat Keramik dengan Intensitas Cahaya Berbeda

Tren pertumbuhan mikrofragmen Karang *Montipora sp.* pada substrat semen dengan intensitas cahaya berbeda ditunjukkan pada Gambar 6. Secara umum, pertumbuhan mikrofragmen pada substrat semen dengan intensitas cahaya berbeda menunjukkan tren pertumbuhan yang seragam yaitu terjadi peningkatan sejak minggu ke-2 sampai minggu ke-11. Pertumbuhan mikrofragmen Karang *Montipora sp.* pada ketiga intensitas cahaya juga menunjukkan penurunan atau relatif tetap pada minggu ke-1 menuju minggu ke-2, dan bersama-sama meningkat setelah minggu ke-2 sampai minggu ke-11. Pertumbuhan mikrofragmen pada intensitas cahaya tinggi menunjukkan tren peningkatan yang relatif lebih tinggi dibandingkan pada intensitas sedang dan rendah sampai dengan minggu ke-6, mencapai $1,9 \text{ cm}^2$. Namun, setelah itu, pertumbuhan mikrofragmen pada intensitas cahaya sedang dan rendah dapat mencapai kondisi yang sama dengan mikrofragmen pada intensitas cahaya tinggi pada minggu ke-7. Mikrofragmen pada intensitas cahaya sedang menunjukkan tren peningkatan pertumbuhan daripada kedua intensitas lainnya sampai akhir pengamatan (minggu ke-11) yaitu $2,2 \text{ cm}^2$. Pertumbuhan mikrofragmen pada intensitas cahaya rendah juga menunjukkan tren pertumbuhan sejak minggu ke-7 dengan kondisi yang relatif sama dengan mikrofragmen pada intensitas cahaya tinggi dengan luas mikrofragmen mencapai $2,1 \text{ cm}^2$ pada akhir pengamatan (minggu ke-11) (Gambar 7).

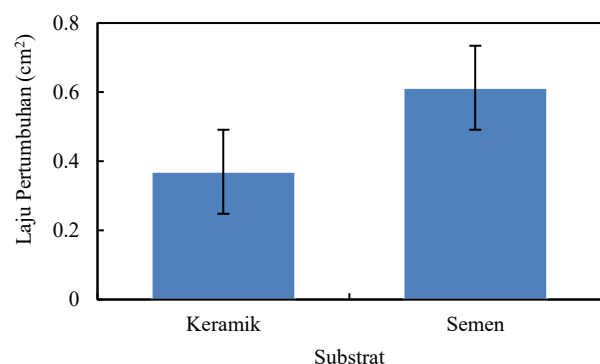


Gambar 6. Pertumbuhan *Montipora sp.* Pada Substrat Semen



Gambar 7. Grafik Tren Karang *Montipora sp.* Pada Substrat Semen

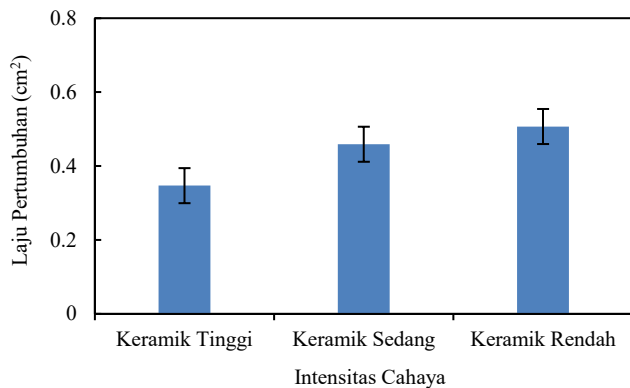
Laju Pertumbuhan mikrofragmen karang *Montipora sp.* pada substrat keramik dan semen ditampilkan pada Gambar 8, dimana laju pertumbuhan mikrofragmen pada substrat keramik yaitu $0,4 \pm 0,03 \text{ cm}^2/\text{minggu}$, sedangkan laju pertumbuhan mikrofragmen pada substrat semen mencapai $0,6 \pm 0,05 \text{ cm}^2/\text{minggu}$. Hasil analisa Uji *Independent - T* menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara laju pertumbuhan mikrofragmen karang *Montipora sp.* pada substrat keramik maupun semen ($P = 0,978$).



Gambar 8. Perbandingan Laju Pertumbuhan Mikrofragmen Karang *Montipora sp.* Pada Substrat Keramik dan Semen

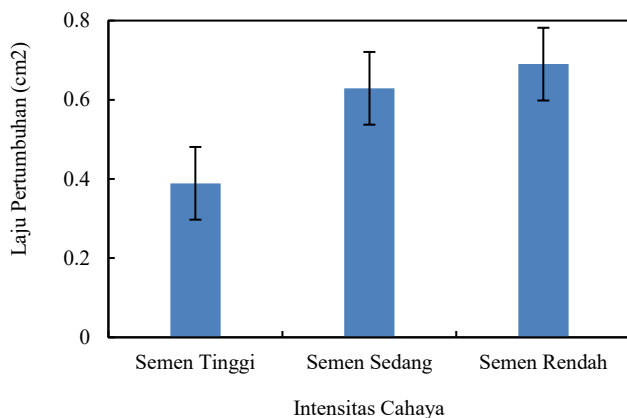
Laju pertumbuhan mikrofragmen karang *Montipora sp.* pada substrat keramik dengan intensitas cahaya berbeda ditampilkan pada Gambar 9, dimana laju pertumbuhan mikrofragmen pada intensitas tinggi, sedang dan rendah berturut - turut yaitu $0,029$, $0,038$, dan $0,042 \text{ cm}^2/\text{minggu}$. Hasil analisa ANOVA Satu - Arah menunjukkan bahwa laju pertumbuhan mikrofragmen karang

Montipora sp. pada substrat keramik dengan intensitas cahaya berbeda tidak berbeda signifikan ($P = 0,395$).



Gambar 9. Perbandingan Laju Pertumbuhan *Montipora* sp dengan Intensitas Cahaya yang Berbeda Pada Substrat Keramik

Laju Pertumbuhan mikrofragmen Karang *Montipora* sp. pada substrat semen dengan intensitas cahaya berbeda ditampilkan pada Gambar 10, dimana laju pertumbuhan mikrofragmen pada intensitas tinggi, sedang dan rendah berturut - turut yaitu 0,03, 0,05, dan 0,06 cm²/minggu. Hasil analisa ANOVA Satu - Arah menunjukkan bahwa laju pertumbuhan mikrofragmen karang *Montipora* sp. pada substrat keramik dengan intensitas cahaya berbeda tidak berbeda signifikan ($P = 0,188$)



Gambar 10. Laju Pertumbuhan Karang dengan Intensitas Cahaya Berbeda Pada Substrat Semen

Rerata tingkat kelangsungan hidup mikrofragmen karang *Montipora* sp. yang ditumbuhkan pada substrat keramik dan semen pada intensitas cahaya berbeda selama 11 minggu secara *ex situ* ditampilkan pada Tabel 2 yang menunjukkan bahwa tingkat kelangsungan hidup mikrofragmen karang *Montipora* sp. mencapai 100% pada kedua jenis substrat dan intensitas berbeda.

3.2 Pembahasan

Tren penurunan luas permukaan karang di seluruh intensitas cahaya pada substrat dengan material keramik pada minggu ke-0 hingga minggu ke-2, sedangkan tren yang sama lebih pendek durasinya pada substrat dengan material semen yaitu minggu ke-0 hingga minggu ke-1. Hal ini mengindikasikan adanya fase adaptasi karang terhadap kondisi lingkungan yang baru seperti cahaya, arus, dan material penyusun substrat. Menurut Omori *et al.* (2020), transplantasi karang pada tahap awal biasanya ditandai dengan penurunan laju pertumbuhan atau bahkan kehilangan jaringan

sebelum karang akhirnya dapat beradaptasi dan kembali tumbuh. Setelah fase adaptasi selesai, karang tumbuh lebih baik. Ini disebabkan oleh retensi yang kuat pada substrat dan penyesuaian *zooxanthellae* terhadap lingkungannya. Penurunan luas permukaan mikrofragmen mengindikasikan respons stres, karang dan *zooxanthellae* menyesuaikan diri terhadap perubahan intensitas cahaya, khususnya pada kisaran intensitas yang digunakan (Toniolo *et al.*, 2025). Selain itu, penurunan luas permukaan mikrofragmen karang di minggu - minggu awal perlakuan diduga pengaruh fotoinhibisi, yaitu kondisi ketika intensitas cahaya melebihi kapasitas maksimum fotosintesis *zooxanthellae* yang bersimbiosis dengan karang (Iglesias-Prieto dan Trench, 1997). Namun, mikrofragmen tersebut dapat menyesuaikan diri setelahnya yang ditunjukkan dengan peningkatan luas permukaan setelah minggu ke-2 sampai minggu ke-11 pada semua kisaran intensitas cahaya. Pertumbuhan mikrofragmen pada intensitas cahaya rendah menunjukkan tren pertumbuhan yang lebih tinggi dibandingkan pada intensitas sedang dan tinggi. Hal tersebut mengindikasikan kisaran cahaya tersebut memiliki efek fotoinhibisi dan stres oksidatif yang lebih rendah dibandingkan intensitas cahaya sedang dan tinggi (Samperiz *et al.*, 2025). Wang *et al.* (2019) menjelaskan bahwa intensitas cahaya yang terlalu tinggi dapat memicu stres oksidatif pada jaringan karang sehingga menghambat proses pertumbuhan dan intensitas cahaya sedang mampu mendukung fotosintesis karang secara lebih efisien tanpa menimbulkan risiko fotoinhibisi (Suggett *et al.*, 2017). Perbedaan tren pertumbuhan ini dapat disebabkan kemampuan karang *Montipora* sp. dan *zooxanthellae* simbiosisnya untuk beradaptasi terhadap kondisi lingkungan, khususnya cahaya. Menurut Baker (2003), spesifisitas simbiosis karang - *zooxanthellae* berperan penting dalam menentukan ketahanan dan pertumbuhan karang pada berbagai kondisi cahaya.

Durasi penurunan luas permukaan koloni mikrofragmen karang *Montipora* sp. pada substrat dengan substrat material semen lebih cepat daripada material keramik diduga merupakan bentuk adaptasi terhadap material penyusun substrat yang berbeda dimana pada material semen mikrofragmen dapat lebih cepat beradaptasi dibandingkan material keramik. Material semen dan keramik memiliki sifat fisik maupun kimia yang berbeda sehingga dapat memberikan respons pertumbuhan yang bervariasi. Substrat semen, dengan porositas yang tinggi, memungkinkan pelepasan mineral seperti kalsium dan silikat yang dapat mendukung proses kalsifikasi karang. Gunawan *et al.* (2022) menemukan bahwa kandungan mineral dalam substrat berbasis semen dapat meningkatkan laju pertumbuhan dan kelangsungan hidup fragmen *Acropora* sp. Sementara itu, substrat keramik bersifat *inert* dan relatif stabil, meskipun tidak memberikan tambahan mineral ke lingkungan. Namun, permukaan keramik yang halus dan stabil memberikan tempat yang baik bagi fragmen karang untuk menempel dan tumbuh secara konsisten, terutama pada intensitas cahaya rendah. Walaupun demikian, efektivitas material keramik maupun semen sangat bergantung pada kondisi lingkungan, termasuk intensitas cahaya dan aliran air (Chamberland *et al.*, 2021).

Tidak adanya perbedaan yang signifikan pada laju pertumbuhan mikrofragmen karang *Montipora* sp. pada substrat dengan material keramik dan semen diduga disebabkan kedua jenis material penyusun substrat memiliki kemampuan yang sebanding untuk mendukung pertumbuhan mikrofragmen karang *Montipora* sp. dalam sistem transplantasi secara *ex situ*. Kesamaan karakteristik fisik permukaan kedua material diduga menjadi salah satu alasan yang dapat menjelaskan kondisi ini. Baik keramik maupun semen memiliki kekasaran dan porositas yang tinggi, sehingga keduanya dapat menyediakan permukaan yang ideal untuk penempelan jaringan karang dan kolonisasi mikroorganisme seperti bakteri, alga, dan *Crustose Coralline Algae* (CCA)

Permukaan yang bertekstur kasar akan meningkatkan area kontak antara jaringan karang dan substrat, yang menghasilkan penempelan yang lebih efektif (Soong *et al.*, 2019). Hasil serupa juga ditemukan pada penelitian Nugraha *et al.* (2020) juga menemukan bahwa pertumbuhan *Acropora formosa* pada substrat semen dan keramik tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, dengan tingkat kelangsungan hidup 100%, juga Bayraktarov *et al.* (2020) juga mendapatkan bahwa berbagai jenis substrat buatan dengan tekstur yang tahan lama dan stabil dapat digunakan secara efektif untuk keperluan restorasi terumbu karang karena tidak mengubah laju pertumbuhan karang secara signifikan. Hasil yang berbeda ditemukan Putra *et al.* (2021) dimana substrat buatan seperti semen, batu kapur, dan keramik mendukung pertumbuhan *Pocillopora damicornis* dengan tingkat yang sama, terutama dalam kondisi pemeliharaan terkontaminasi.

Secara keseluruhan, temuan pada penelitian ini menunjukkan bahwa, tanpa mengesampingkan laju pertumbuhan mikrofragmen karang *Montipora* sp. pilihan jenis substrat keramik dan semen dapat disesuaikan dengan pertimbangan teknis dan ekonomis. Dengan demikian substrat semen tetap menjadi salah satu alternatif yang efektif untuk restorasi karang secara in-situ maupun *ex situ*.

Laju pertumbuhan mikrofragmen *Montipora* sp. tidak berbeda signifikan pada berbagai intensitas cahaya yang diberikan pada penelitian ini (300 - 150 $\mu\text{mol photons/ms}^2$). Hal ini diduga karena mekanisme fotoadaptasi *zooxanthellae* yang hidup bersimbiosis dalam jaringan karang *Montipora* sp. memiliki kemampuan untuk menyesuaikan diri dengan variasi intensitas cahaya pada semua kisaran yang digunakan pada penelitian ini. Dengan kemampuan tersebut, *zooxanthellae* dapat menyesuaikan densitas dan kandungan pigmen fotosintetiknya sehingga dapat menyerap cahaya dengan efisiensi terbaik dalam berbagai kondisi pencahayaan (Anthony dan Hoegh-Guldberg, 2003). Hasil penelitian serupa juga dilaporkan oleh Rahmadani *et al.* (2024) pada karang *Montipora hodgsoni* diduga disebabkan kemampuan plastisitas fotosintetik yang tinggi, sehingga intensitas cahaya yang berbeda tidak menyebabkan perbedaan nyata dalam pertumbuhan jaringan. Kisaran intensitas cahaya yang digunakan pada penelitian ini juga dapat menyebabkan stres fotosintetik sehingga peningkatan intensitas cahaya tidak selalu berkorelasi dengan pertumbuhan seperti yang terdapat pada *Montipora verrucosa* (Coles dan Jokiel 1978).

Tingkat kelangsungan hidup (*survival rate*) mikrofragmen karang *Montipora* sp. yang mencapai 100% pada semua jenis substrat dan intensitas cahaya yang digunakan mengindikasikan kualitas material penyusun substrat dan intensitas cahaya yang digunakan pada penelitian ini berada dalam kisaran toleransi yang sesuai untuk kebutuhan fisiologis *Montipora* sp. Transplantasi karang dianggap berhasil jika tingkat kelangsungan hidup mencapai 50 - 100% (Antou *et al.*, 2019). Kelangsungan hidup karang transplan yang tinggi terkait dengan lingkungan yang stabil. Menurut Ramsby *et al.* (2024), untuk menjaga kelangsungan hidup karang dan mengurangi risiko *bleaching*, stabilitas faktor lingkungan, terutama intensitas cahaya, sangat penting. Perawatan karang yang ditransplantasi sangat penting untuk kelangsungan hidupnya, karena terdapat berbagai faktor yang mempengaruhi tingkat kelangsungan hidup tersebut (Ranandya *et al.*, 2024).

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan:

1. Tren pertumbuhan pada substrat dengan material dan intensitas cahaya yang berbeda mengalami penurunan pertumbuhan dari minggu ke-0 hingga minggu ke -2 dan pada minggu ke-3 sampai ke-11 mengalami kenaikan pertumbuhan pada masing-masing perlakuan.

2. Laju pertumbuhan mikrofragmen karang *Montipora* sp. tidak berbeda signifikan pada substrat dengan material penyusun keramik ($0,4 \pm 0,03 \text{ cm}^2/\text{minggu}$) dan semen $0,6 \pm 0,05 \text{ cm}^2/\text{minggu}$).
3. Laju pertumbuhan mikrofragmen karang *Montipora* sp. tidak berbeda signifikan pada intensitas cahaya yang dipaparkan ($150 - 300 \mu\text{mol photons/ms}^2$) yaitu $0,3 \text{ cm}^2/\text{minggu}$ pada intensitas cahaya tinggi, serta $0,5 \text{ cm}^2/\text{minggu}$ berturut - turut pada intensitas cahaya sedang dan rendah.
4. Tingkat kelangsungan hidup mikrofragmen karang *Montipora* sp. tidak berbeda pada substrat dengan material penyusun dan intensitas cahaya yang berbeda yaitu sebesar 100%.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pak Chandra (PT TSB) yang telah memfasilitasi penelitian ini dan Kak Adrian (PT TSB) dan Mas Anwan (PT TSB) yang telah membantu penulis dalam pengambilan data dan penulisan skripsi.

Daftar Pustaka

- Anthony, K. R. N., & Hoegh-Guldberg, O. (2003). Variation in coral photosynthesis, respiration, and growth characteristics in contrasting light microhabitats: an analogue to plants in forest gaps and understoreys? *Functional Ecology*, 17(2), 246–259.
- Antou, K. J. P., Rondonuwu, A. B., dan Moningkey, R. D. 2019. Survival Rate and Growth of *Acropora* sp. Transplanted on Artificial Substrate in Kampung Ambong, Likupang Timur. *Jurnal Ilmiah Platax*, 7(1), 170.
- Baker, A. C. (2003). Flexibility and specificity in coral-algal symbiosis: diversity, ecology, and biogeography of *Symbiodinium*. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34, 661–689.
- Barus, B. S. (2018). Pengaruh Lingkungan Terhadap Bentuk Pertumbuhan Terumbu Karang di Perairan Teluk Lampung. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(3), 699–709.
- Bayraktarov, E., Banaszak, A. T., Montoya-Maya, P., Kleypas, J., Arias-González, J. E., Blanco, M., ... & Suggett, D. J. (2020). Coral reef restoration efforts in Latin American countries and territories. *PLOS ONE*, 15(8), e0237533.
- Chamberland, V. F., *et al.* (2021). Differential Effects of Substrate Type and Genetics on Growth of Microfragments of *Acropora palmata*. *Frontiers in Marine Science*, 8:623963.
- Coles, S. L., & Jokiel, P. L. (1978). Synergistic effects of temperature, salinity and light on the hermatypic coral *Montipora verrucosa*. *Marine Biology*, 49(3), 187–195.
- Falkowski, P. G., & Dubinsky, Z. (1981). Light-shade adaptation of *Stylophora pistillata*, a hermatypic coral from the Gulf of Eilat. *Nature*, 289, 172–174.
- Forsman ZH, R. B. (2012). Investigating fragment size for culturing reef-building corals (*Porites lobata* and *P.compressa*) in ex situ nurseries. *Journal of Aquaculture*, 1(1) : 159-168.
- Gunawan, H., *et al.* (2022). Mineral Content in Substrate Media, Growth Rate, and Survival Rate of *Acropora* sp. *International Journal of Research and Innovation in Applied Science*, 7(6).
- Haris A. 2001. Laju pertumbuhan dan tingkat kelangsungan hidup fragmentasi buatan karang lunak (Octocorallia: Alcyonacea) Sarchophyton trocheliophorum Von Marenzeller dan Lobophytum strictum Tixier-Durivault di perairan Pulau Pari, Kepulauan Seribu. [Tesis] tidak dipublikasikan. Program Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Harrison, P.L., Wallace, C.C., 1990. Reproduction, Dispersal and Recruitment of Scleractinian Corals. Di dalam: Dubinsky (ed.). Coral Reefs : Ecosystems of The World 25. Amsterdam– Oxford - New York – Tokyo: Elsevier. hlm 132– 207.
- Iglesias-Prieto, R., & Trench, R. K. (1997). Acclimation and adaptation to irradiance in symbiotic dinoflagellates. I. Responses of the photosynthetic unit to changes in photon flux density. *Marine Ecology Progress Series*, 152, 1–14.
- Iwao, K., Fujisawa, A., & Hatta, M. (2014). Development of coral larvae and their settlement on artificial substrata under controlled conditions. *Galaxea, Journal of Coral Reef Studies*, 16, 1–8.

- Joni., Pratomo A., Irwan H. 2015. Laju pertumbuhan dan tingkat kelangsungan hidup karang *Acropora formosa* hasil transplantasi pada kedalaman berbeda. *Jurnal.FPIKUMRAH*.
- Nurman, F. H., Sadarun, B., and Palupi, R. D. 2017. Survival rate of transplanted *Acropora formosa* corals in the waters of Sawapudo, Soropia District. *Sapa Laut*, 2(4), 119–125
- Nugraha, D. R. W. 2019. *Pengaruh faktor hidro-oseanografi terhadap pertumbuhan dan tingkat kelangsungan hidup (survival rate) hasil transplantasi terumbu karang jenis Acropora sp. di Perairan Paiton Probolinggo*. Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Ampel.
- Nugraha, A. A., Arbi, U. Y., & Yulianto, I. (2020). *Pertumbuhan karang hasil transplantasi pada berbagai jenis substrat buatan di Pulau Pari, Kepulauan Seribu*. *Jurnal Oseanografi Tropis*, 8(2), 89–98.
- Manuputty AEW. 1998. Beberapa karang lunak (Alyonacea) penghasil substansi bioaktif. Seminar potensi farmasitik dan bioaktif sumberdaya hayati terumbu karang. Puslitbang-Oseanologi. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Jakarta.
- Omori, M., et al. (2020). *Coral restoration research and techniques in Japan: current status and future perspectives*. *Marine Biology Research*, 16(8-9), 591–604.
- Osinga, R., Schutter, M., Griffioen, B., Wijgerde, T., & Verreth, J. (2011). *The biology and economics of coral growth*. *Marine Biotechnology*, 13(5), 658–671.
- Prameliasari, R. T. (2012). Pengaruh Perbedaan Ukuran Fragmen dan Metode Transplantasi Terhadap Pertumbuhan Karang *Pocillopora damicornis* di Teluk Awur, Jepara. *Journal Of Marine Research*, Vol. 1. No. 1. Hal. 159-168.
- Prasetya, I. (2013). Kajian Jenis Dan Kelimpahan Rekrutmen Karang Di Pesisir Desa Kalibukbuk, Singaraja, Bali. *Bumi Lestari*, 13(1), 69–78.
- Putra, A. W., Rahmawati, N., & Handayani, D. (2021). *Perbandingan pertumbuhan karang Pocillopora damicornis pada substrat buatan yang berbeda di sistem ex-situ*. *Jurnal Kelautan Tropis*, 24(3), 205–214.
- Rahmadani, D., Putri, D. P., & Nugroho, A. (2024). Kelulushidupan dan pertumbuhan *Montipora hodgei* pada intensitas cahaya berbeda. *Jurnal Biologi Tropis Indonesia*, 10(1), 22–31.
- Ramsby, B. D., Emonnot, F., Flores, F. et al. (2024). *Low light intensity increased survival of coral spat in aquaculture*. *Coral Reefs*, 43, 627–640.
- Ranandya, A. Q., Putri, N. M., Septiandi, A. R., dan Riyanti. 2024. Laju Pertumbuhan Microfragment *Acropora millepora* pada Kondisi Terkontrol. *Buletin Oseanografi Marina*, 13(2), 219–229.
- Richmond, R.H., Hunter, C.L., 1990. Reproduction and recruitment of corals: comparisons among the Caribbean, the Tropical Pacific, and the Red Sea. *Mar Ecol Prog Ser* 60: 185-203.
- Ricker, W. (1975). Computation and Interpretation of Biological Statistic of fish populations. *John Willey and Sons*, 444 pp.
- Röser, M., Zetsche, E. M., Bischof, K., Rädicker, N., & Voolstra, C. R. (2024). Species-specific effects of light and heat stress on Symbiodiniaceae photosynthesis. *Coral Reefs*, 43(2), 385–397.
- Samperiz, A., Chuang, Y. Y., Harii, S., et al. (2025). Coastal seawater turbidity and thermal stress control coral growth. *Scientific Reports*, 15, 2823.
- Saqha, D., Arthana, I. W., & Ernawati, N. M. (2024). Effect of light intensity on the growth rate and survival of *Euphyllia paradivisa* coral ex situ. *Indonesian Journal of Marine Sciences*.
- Soedharma D, Arafat D. 2007. Perkembangan Transplantasi Karang Di Indonesia. Prosiding Seminar Transplantasi Karang. Bogor, 8 September 2005. Pusat Pengkajian Lingkungan Hidup, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Soong, K., Chen, T. W., & Fan, T. Y. (2019). *Coral transplantation outcomes vary with environmental conditions and species traits*. *Marine Ecology Progress Series*, 623, 91–102.
- Suggett, D. J., et al. (2017). *Photosynthesis and respiration in corals: implications for measuring and understanding coral metabolism*. *Coral Reefs*, 36(1), 19–31.
- Suharsono. (2008). *Jenis-jenis karang di Indonesia (Reefs in Indonesia)*. LIPI Press.
- Timotius, S. (2003). Biologi terumbu karang 1. *World*, 1–14.
- Titlyanov, E. A., Titlyanova, T. V., Yamazato, K., & van Woesik, R. (2001). Photo-acclimation dynamics of shallow-water scleractinian corals to low and extremely low light. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 263(2), 211–225.
- Toniolo, L., Ng, J., Todd, P. A., & Hoogenboom, M. O. (2025). Light limitation reduces photosynthetic performance and energy reserves in a common turbid water coral. *Coral Reefs*, 44, 621–634.
- Wang, J., et al. (2019). *Effect of light intensity on survival and photosynthetic efficiency of cultured corals of different ages*. *Marine Environmental Research*, 150, 104761.
- Westmacott, S., Teleki, K., Wells, S., & West, J. (2000). *Pengelolaan Terumbu Karang yang Telah Memutih dan Rusak Kritis*. IUCN, Gland, Swiss, dan Cambridge, Inggris.
- Williams, G. J., Graham, N. A. J., Jouffray, J. B., Norström, A. V., Nyström, M., Gove, J. M., Heenan, A., and Wedding, L. M. 2019. *Coral reef ecology in the Anthropocene*. *Functional Ecology*, 33(6).
- Wijayanti, L. D., Aryastana, P. N., & Adi, N. S. (2023). Pertumbuhan eks-situ karang *Montipora* sp. pada intensitas cahaya LED berbeda di Klungkung, Bali. *Jurnal Ilmu Kelautan Tropis Indonesia*, 6(2), 87–95.