

Laju Pertumbuhan *Favites pentagona* dan *Mycedium elephantotus* pada Substrat Berbeda Dalam Kondisi Terkontrol

Azyuardzi Azranasyiar Akbar* dan Insafitri

Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Trunojoyo Madura
Jl. Raya Telang No 02 Kamal Bangkalan Madura Jawa Timur 69162 Indonesia
Email: azyuardzi16@gmail.com

Abstract

Growth Rate of *Favites pentagona* and *Mycedium elephantotus* on Different Substrates Under Controlled Conditions

Coral reefs are vital ecosystems that serve as habitats, spawning grounds, and refuges for various marine organisms; however, their existence is increasingly threatened by environmental degradation and overexploitation. This study was conducted to determine the absolute growth rate of two coral species, namely *Favites pentagona* and *Mycedium elephantotus*, on two different substrate type, grout and portland cement. This research is important because coral growth and adaptability to transplant media play a crucial role in the success of coral reef ecosystem rehabilitation. The research employed a quantitative method with an exsitu observational approach to monitor the growth of transplanted coral fragments over a four-month period.. Observations were conducted monthly to measure changes in colony area using the ImageJ software. The parameters observed included absolute growth and monthly growth rate for each substrate treatment. The results showed that both coral species exhibited varying increases in colony area each month. The absolute growth rate of *Favites pentagona* reached the highest value of 3.894 cm² on grout substrate (code A), while *Mycedium elephantotus* showed the highest absolute growth of 5.199 cm² on portland cement substrate (code B). Statistically, *Favites pentagona* showed no significant difference between substrates (Sig. 0.110 > 0.05), whereas *Mycedium elephantotus* showed a significant difference (Sig. 0.033 < 0.05), indicating that substrate type significantly affected its growth. Therefore, grout substrate was found to be more optimal for massive-type corals such as *Favites pentagona*, while portland cement was more suitable for laminar-type corals such as *Mycedium elephantotus*.

Keywords: coral growth; substrate; transplantation; grout; portland cement

Abstrak

Terumbu karang merupakan ekosistem penting yang berperan sebagai habitat, tempat pemijahan, dan perlindungan bagi berbagai biota laut, namun keberadaannya semakin terancam akibat kerusakan lingkungan dan eksploitasi berlebih. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui laju pertumbuhan mutlak dua jenis karang, yaitu *Favites pentagona* dan *Mycedium elephantotus*, pada dua jenis substrat berbeda, yakni substrat pengisi nat (grout) dan semen biasa (portland cement). Penelitian ini penting dilakukan karena pertumbuhan dan kemampuan adaptasi karang terhadap media transplantasi berperan penting dalam keberhasilan rehabilitasi ekosistem terumbu karang. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan pendekatan observasi secara exsitu terhadap pertumbuhan fragmen karang hasil transplantasi selama empat bulan. Pengamatan dilakukan setiap bulan untuk mengukur perubahan luas koloni menggunakan perangkat lunak ImageJ. Parameter yang diamati meliputi pertumbuhan mutlak dan laju pertumbuhan per-bulan pada masing-masing perlakuan substrat. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kedua jenis karang mengalami peningkatan luas koloni yang bervariasi setiap bulan. Laju pertumbuhan mutlak *Favites pentagona* mencapai nilai tertinggi sebesar 3,894 cm² pada substrat grout (kode A), sedangkan *Mycedium elephantotus* menunjukkan pertumbuhan mutlak tertinggi sebesar 5,199 cm² pada substrat portland cement (kode B). Secara statistik, *Favites pentagona* tidak menunjukkan perbedaan signifikan antar substrat (Sig. 0,110 > 0,05), sedangkan *Mycedium elephantotus* menunjukkan perbedaan signifikan (Sig. 0,033 < 0,05), yang berarti jenis substrat berpengaruh nyata terhadap pertumbuhannya. Dengan demikian, substrat grout lebih optimal untuk karang tipe massive seperti *Favites pentagona*, sementara portland cement lebih sesuai untuk tipe laminar seperti *Mycedium elephantotus*.

Kata kunci: pertumbuhan karang; substrat; transplantasi; grout; portland cement

PENDAHULUAN

Karang adalah hewan penghasil kalsium karbonat ($CaCO_3$) yang dapat membentuk terumbu dan kerangka keras. Karang termasuk kedalam filum Cnidaria atau hewan invertebrata yang memiliki sel penyengat sebagai ciri khasnya (Insafitri *et al.*, 2022). Karang hidup berkoloni (Bouderlique *et al.*, 2022) dan tergolong kedalam hewan sesil (menetap pada substrat) (Hidayah &

Nuzula, 2019). Pola hidup karang yang berkoloni dan menetap menjadikan karang membentuk struktur kalsium karbonat yang besar serta kompleks, yang kemudian berkembang menjadi ekosistem terumbu karang (Alvarez-Filip *et al.*, 2011). Ekosistem terumbu karang mempunyai manfaat yang sangat penting bagi organisme laut. Ekosistem terumbu karang menyediakan makanan, tempat memijah, berkembang biak dan pembesaran juvenil bagi organisme laut, seperti ikan, kerang, kepiting dan udang (Lalamentik *et al.*, 2017). Menurut Coremap, (2018) dalam Ginting, (2023) ekosistem terumbu karang dihuni dari satu juta spesies dan sumber plasma nutfah yang melimpah.

Ekosistem terumbu karang juga mempunyai nilai ekonomis yaitu sebagai sumber pendapatan bagi masyarakat sekitar. Ekosistem terumbu karang dimanfaatkan sebagai tempat pariwisata, tempat menangkap ikan, perlindungan pantai dan ekspor karang hias hasil budidaya (Amir *et al.*, 2025; Asadi & Andrimida, 2017; Maulana *et al.*, 2016; Suryono *et al.*, 2021). Berbagai bentuk pemanfaatan ekosistem terumbu karang dapat menyebabkan kerusakan habitat, seperti praktik penangkapan ikan dengan metode yang tidak ramah lingkungan, eksploitasi karang sebagai material bangunan, serta pengambilan karang untuk tujuan perdagangan sebagai hiasan (Johan *et al.*, 2007; Rames, 2017). Kerusakan terumbu karang dapat meningkat akibat pengambilan karang hias dari alam yang didorong tingginya permintaan ekspor, di mana Indonesia merupakan salah satu eksportir terbesar, sehingga diperlukan pengelolaan perdagangan yang berkelanjutan serta pengembangan produksi karang hias melalui budidaya untuk mengurangi tekanan terhadap ekosistem alami (Johan, 2006). Menurut CITES (*the Convention International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora*), karang tergolong ke dalam daftar Appendix II. Appendix II dalam CITES dapat diartikan bahwa ekspor karang hias secara internasional merupakan kegiatan yang legal, namun perlu dilakukan pengawasan ketat guna menjaga dari tindakan eksploitasi serta kepunahan jenis-jenis karang tertentu (Giyanto, 2007; Hadi *et al.*, 2020). Karang hias sangat diminati oleh penggiat aquarium ikan karang, sehingga besar kemungkinan rusaknya ekosistem karang akibat eksploitasi untuk pemenuhan permintaan pasar. Budidaya karang hias untuk kegiatan ekspor dapat menjadi sebuah batu loncatan sebagai pemanfaatan nilai estetika karang dan melestarikan ekosistem terumbu karang (Amir *et al.*, 2025; Hanafi *et al.*, 2024; Ramses, 2017).

Pengembangan budidaya karang memerlukan informasi mengenai laju pertumbuhan karang, sebagai dasar dalam menentukan metode pemeliharaan dan pengelolaan yang efektif untuk mendukung keberhasilan produksi karang hias secara berkelanjutan. Budidaya karang hias dilakukan dengan mengadaptasi reproduksi aseksual melalui metode fragmentasi (Zulfikar *et al.*, 2014). Fragmentasi merupakan metode budidaya karang yang memanfaatkan proses regenerasi potongan dari indukan karang. Metode ini menghasilkan indukan baru yang mempunyai sifat yang sama seperti indukannya dengan pertumbuhan total lebih singkat (Tortolero-Langarica *et al.*, 2020). Karang hias *Favites pentagona* dan *Mycedium eleohantotus* merupakan salah satu jenis yang paling banyak di diminati oleh pengiat reef aquarium. Karang hias *Favites pentagona* dan *Mycedium eleohantotus* tergolong kedalam jenis karang keras (*Scleractinia*). Selain, mempunyai nilai estetika yang tinggi *Favites sp.* dan *Mycedium sp.* dipilih karena memiliki bentuk pertumbuhan yang berbeda. *Favites sp.* memiliki bentuk pertumbuhan *massive* (Wijayanti *et al.*, 2015), sedangkan *Mycedium sp.* memiliki bentuk pertumbuhan *laminar* atau *encrusting* (Lin *et al.*, 2022). Penelitian mengenai laju pertumbuhan karang hias *Favites* telah relatif banyak dilakukan (Idris *et al.*, 2025; Wijayanti *et al.*, 2015), sedangkan studi pada *Mycedium* masih terbatas (Blakeway *et al.*, 2013), dan sebagian besar penelitian sebelumnya belum mengkaji pengaruh penggunaan substrat yang berbeda, sehingga penelitian ini menjadi penting untuk memperluas pemahaman tentang respons pertumbuhan dan kelangsungan hidup kedua jenis karang terhadap variasi substrat sebagai dasar pengembangan budidaya karang hias yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Laju pertumbuhan karang *Favites pentagona* dan *Mycedium eleohantotus* dilakukan dengan *software ImageJ*. *ImageJ* merupakan perangkat lunak yang berguna untuk berbagai keperluan, seperti pembuatan grafik, peningkatan kualitas citra, analisis gambar mikroskopis, pengukuran luas, perhitungan jumlah partikel, segmentasi, serta evaluasi karakteristik spasial maupun temporal dari

elemen biologis dan aplikasi lain yang sejenis (Rueden & Eliceiri, 2019). *ImageJ* dapat dimanfaatkan dalam pengukuran laju pertumbuhan karang dengan memanfaatkan fitur pengukuran luasannya (Fitriani *et al.*, 2021; Hanafi *et al.*, 2024; Putra *et al.*, 2023; Ranandya *et al.*, 2024). Penelitian ini menggunakan dua substrat yang berbeda dengan tujuan untuk mengetahui substrat mana yang lebih baik dalam mendukung laju pertumbuhan dan kelangsungan hidup budidaya karang hias.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui persentase tingkat kelangsungan hidup karang *Favites pentagona* dan *Mycedium eleohantotus* pada substrat yang berbeda, laju pertumbuhan mutlak karang *Favites pentagona* dan *Mycedium eleohantotus*, dan perbandingan laju pertumbuhan karang *Favites pentagona* dan *Mycedium eleohantotus* pada substrat yang berbeda.

MATERI DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di perusahaan eksportir karang hias yaitu PT. Agung Aquatic Marine yang terletak di Kecamatan Kuta Utara, Kabupaten Badung, Bali. Penelitian ini dilakukan pada Februari 2025 hingga Juni 2025. Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif dengan mengobservasi luasan laju pertumbuhan fragmen karang.

Penelitian laju pertumbuhan karang dilakukan dengan beberapa tahapan, tahapan pertama penelitian ini yaitu melakukan pemilihan indukan karang. Indukan karang yang terpilih harus dalam keadaan sehat, bebas dari hama, biota pengganggu, tidak mengalami keputihan (*bleaching*) (Paulangan *et al.*, 2023) dan ukuran diameter karang lebih dari 15 cm (Muzaki *et al.*, 2020). Kemudian indukan yang terpilih diperbanyak melalui reproduksi aseksual, yaitu dengan teknik propagasi. Teknik propagasi dilakukan dengan memotong atau memecah indukan karang menjadi fragmen-fragmen yang lebih kecil dengan ukuran kurang dari 5 m² (Barton *et al.*, 2017). Fragmen kemudian di dipping dengan *iodine* yang bertujuan untuk membantu penyembuhan luka karang akibat pemotongan. Dipping dilakukan dengan melarutkan *iodine* sebanyak 5 mL pada 100m mL air laut (Eaton *et al.*, 2022; Sweet *et al.*, 2012).

Setiap jenis fragmen dilakukan dua perlakuan dengan masing masing perlakuan tiga buah fragmen dengan total 12 fragmen. Pada penelitian ini dilakukan dua perlakuan substrat yaitu substrat pengisi nat (*grout*) dengan kode (A) dan semen biasa (*portland cement*) dengan kode (B). Pengambilan data laju pertumbuhan dengan melakukan pemotretan per bulan selama 4 bulan. Alat yang digunakan meliputi, kamera, *underwater glass bottom panel coral*, rak dan penggaris. Pengambilan foto dilakukan dari atas dengan memfokuskan lensa pada fragmen karang dan lakukan pada tiap fragmen karang untuk mengetahui pertumbuhan karang (Kurniawan *et al.*, 2024) *Favites pentagona* dan *Mycedium eleohantotus*. Pengambilan data kualitas air dilakukan dengan termometer untuk suhu, refratometer untuk salinitas, pH-meter untuk pH dan alkalinitas kit untuk alkalinitas.

Software *imageJ* digunakan dalam pengukuran laju pertumbuhan karang dengan menganalisis hasil foto pengukuran 2D dan merubah data gambar (kualitatif) menjadi data angka (kuantitatif) (Koch *et al.*, 2021). Hasil pengukuran dengan software *imageJ* didapatkan file dengan format csv, kemudian dianalisis dengan *microsoft excel* yang bertujuan untuk mendapatkan diagram laju pertumbuhan. Analisis data laju pertumbuhan karang dihitung menggunakan rumus (Hopkins, 1992) sebagai berikut:

$$P = \left(\frac{Lt - L0}{t} \right)$$

Keterangan= P: Laju pertumbuhan; Lt = Rata-rata luas area setelah pengamatan ke-t; L0: Rata-rata luas area awal penelitian; t : Waktu Pengamatan

Analisis data laju pertumbuhan mutlak dihitung menggunakan rumus (Effendie, 1997) sebagai berikut:

$$\beta = Lt - Lo$$

Keterangan= β : pertumbuhan mutlak (cm); Lt=Rata-rata panjang cabang setelah pengamatan ke-t; Lo=rata-rata panjang cabang di awal penelitian

Analisis data tingkat kelangsungan hidup karang (*survival rate*) dihitung menggunakan rumus (Hopkins, 1992) sebagai berikut:

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

Keterangan= SR: Tingkat kelangsungan hidup; Nt: Jumlah individu pada akhir penelitian; No: Jumlah Individu pada awal penelitian

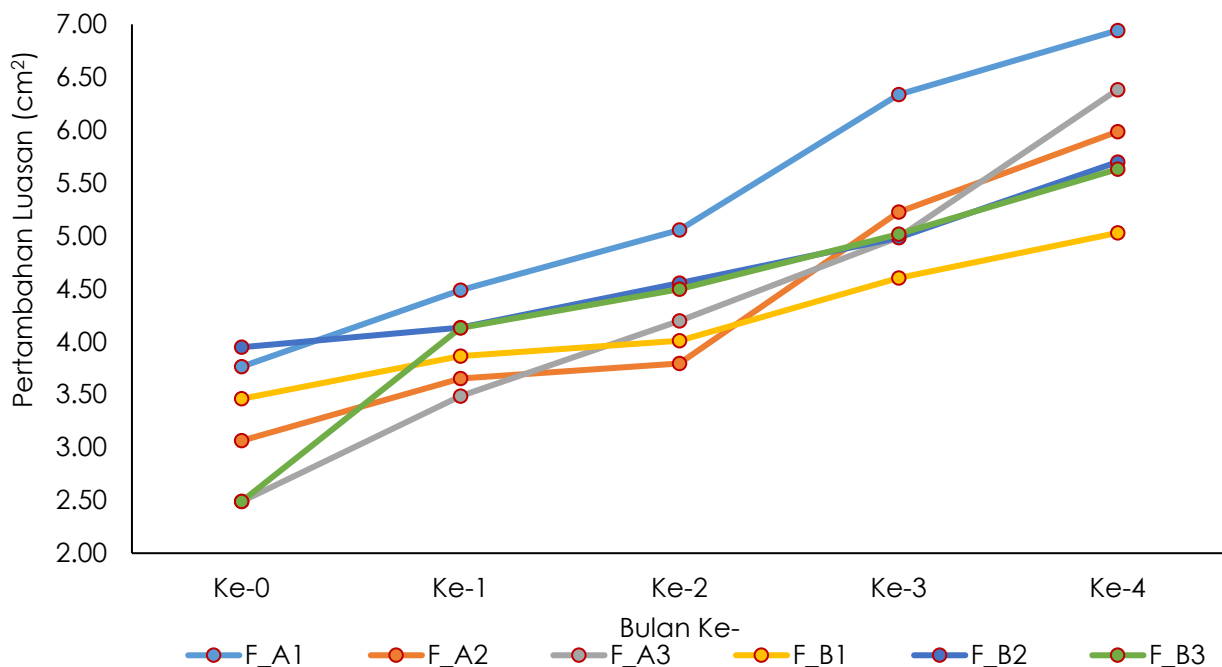
Data laju pertumbuhan karang dari masing-masing substrat dianalisis menggunakan uji *Independent Samples T-Test* dengan bantuan perangkat lunak *IBM SPSS Statistics* berdasarkan (Choudhary, 2018). Uji ini digunakan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata laju pertumbuhan karang pada dua jenis substrat yang berbeda. Sebelum melakukan uji t, terlebih dahulu dilakukan uji normalitas (*Shapiro-Wilk*) untuk memastikan bahwa data terdistribusi normal, serta uji homogenitas varians (*Levene's Test*) untuk mengetahui kesamaan varians antarkelompok.

HASIL DAN PEMBAHASAN

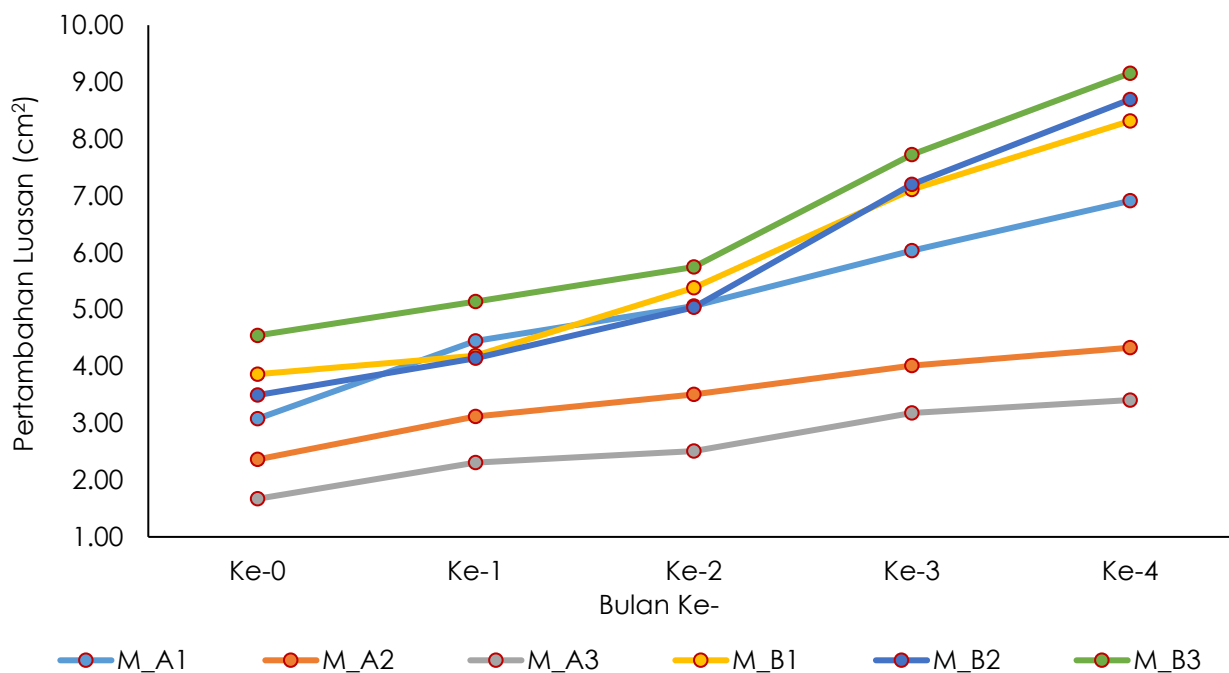
Berdasarkan grafik penambahan luasan *Favites pentagona* (Gambar 1) selama empat bulan pengamatan, seluruh fragmen menunjukkan adanya peningkatan luasan dari bulan ke-0 hingga bulan ke-4. Pada awal pengamatan, rata-rata luasan fragmen berkisar antara 2,4–3,9 cm^2 , kemudian meningkat secara bertahap setiap bulannya. Kenaikan luasan terlihat mulai signifikan setelah bulan ke-1, di mana sebagian besar fragmen menunjukkan percepatan pertumbuhan yang cukup jelas. Pada bulan ke-4, nilai luasan tertinggi mencapai sekitar 6,9 cm^2 , sedangkan yang terendah sekitar 5,0 cm^2 , menandakan bahwa seluruh fragmen mengalami perkembangan positif selama periode penelitian. Kenaikan luasan fragmen karang yang signifikan mulai awal bulan pengamatan dikarenakan menurut (Kurniawan *et al.*, 2024). Jaringan karang hasil transplantasi mengalami tekanan (stres) akibat proses pemotongan (*fragging*), sehingga beradaptasi dengan menstimulasi pertumbuhan yang lebih cepat. Metode fragmentasi menyebabkan karang mengalami tekanan fisiologis pada tahap awal proses. Setelah melalui masa adaptasi, fragmen karang menunjukkan kemampuan bertahan dan beradaptasi yang lebih tinggi, sehingga peluang hidupnya menjadi lebih besar (Hanafi *et al.*, 2024). Berdasarkan Nurman *et al.*, 2017 dalam Erika & Puspita, (2019), penambahan luasan karang juga dipengaruhi oleh tutupan alga yang menempel pada media transplant. Ketika terumbu karang tertutup oleh alga, alga zooxanthellae yang hidup secara simbiosis di antara struktur kalsium karbonat akan mati lemas sehingga dapat mengganggu pertumbuhan karang (Yeemin *et al.*, 2013).

Berdasarkan grafik penambahan luasan *Mycedium elephantotus* (Gambar 2.) selama empat bulan pengamatan, terlihat bahwa seluruh fragmen mengalami peningkatan luasan yang konsisten dari bulan ke-0 hingga bulan ke-4. Pada awal pengamatan, ukuran fragmen berkisar antara 1,6–4,5 cm^2 , kemudian menunjukkan kenaikan yang cukup signifikan hingga mencapai 3,4–9,1 cm^2 pada bulan ke-4. Peningkatan mulai tampak jelas setelah bulan ke-2, di mana sebagian besar fragmen memperlihatkan laju pertumbuhan yang lebih cepat dibandingkan dua bulan pertama. Pola pertumbuhan yang terus meningkat tanpa penurunan menunjukkan bahwa *Mycedium elephantotus* memiliki kemampuan pertumbuhan yang stabil dan mampu beradaptasi dengan baik selama periode pengamatan. Kenaikan luasan *Mycedium elephantotus* yang mulai pesat setelah

bulan kedua menurut Rudiansyah *et al.*, (2024) menunjukkan bahwa karang memerlukan waktu untuk menyesuaikan diri dengan lingkungan barunya sebelum mencapai laju pertumbuhan optimal seiring kondisi lingkungan yang mendukung. Peningkatan luasan *Mycedium elephantotus* yang berlangsung stabil, menunjukkan bahwa kondisi lingkungan selama penelitian, termasuk intensitas cahaya yang cukup untuk fotosintesis zooxanthellae, mendukung proses pembentukan kalsium karbonat dan pertumbuhan jaringan karang secara optimal (Kurniawan *et al.*, 2017).



Gambar 1. Pertambahan Luasan *Favites pentagona*



Gambar 2. Pertambahan Luasan *Mycedium elephantotus*

Berdasarkan grafik laju pertumbuhan per bulan *Favites pentagona* (Gambar 3.), terlihat bahwa laju pertumbuhan mengalami fluktuasi antar bulan selama empat bulan pengamatan. Pada bulan pertama (ke-1), sebagian besar fragmen menunjukkan peningkatan laju pertumbuhan yang cukup tinggi, bahkan fragmen seperti F_B3 mencapai puncak pertumbuhan hingga sekitar $1,64 \text{ cm}^2/\text{bulan}$. Namun, pada bulan ke-2 laju pertumbuhan menurun pada hampir seluruh fragmen, kemudian meningkat kembali pada bulan ke-3 dan mencapai nilai tertinggi rata-rata per bulan pada seluruh fragmen, yang menunjukkan respons pertumbuhan yang dinamis terhadap kondisi lingkungan. Pada bulan ke-4, laju pertumbuhan mulai menurun kembali, menandakan fase pertumbuhan yang mulai stabil. Secara keseluruhan, pola ini menunjukkan bahwa *Favites pentagona* memiliki fase pertumbuhan cepat pada awal adaptasi, kemudian diikuti oleh fluktuasi yang mencerminkan penyesuaian terhadap kondisi lingkungan selama masa penelitian. Fluktuasi laju pertumbuhan *Favites pentagona* selama empat bulan pengamatan menurut Hanafi *et al.*, (2024) menunjukkan bahwa fragmen karang mampu beradaptasi secara bertahap terhadap lingkungan barunya, di mana peningkatan laju pertumbuhan pada bulan-bulan berikutnya menandakan proses adaptasi yang berhasil dan kemampuan bertahan hidup yang semakin baik. Pada awal periode pengamatan, laju pertumbuhan karang cenderung meningkat pesat karena setelah melewati fase stres awal pasca-fragmentasi, karena menurut Nugraha, (2008) fragmen mulai mengalokasikan energi secara optimal untuk regenerasi jaringan dan proses kalsifikasi sehingga terjadi akselerasi pertumbuhan sebagai bentuk respons adaptif terhadap kondisi lingkungan yang stabil. Menurut Mcleod *et al.*, (2020) peningkatan dimensi fragmen menunjukkan kemampuan karang dalam memperluas struktur tubuhnya secara linier hingga mencapai fase pertumbuhan yang lebih stabil.

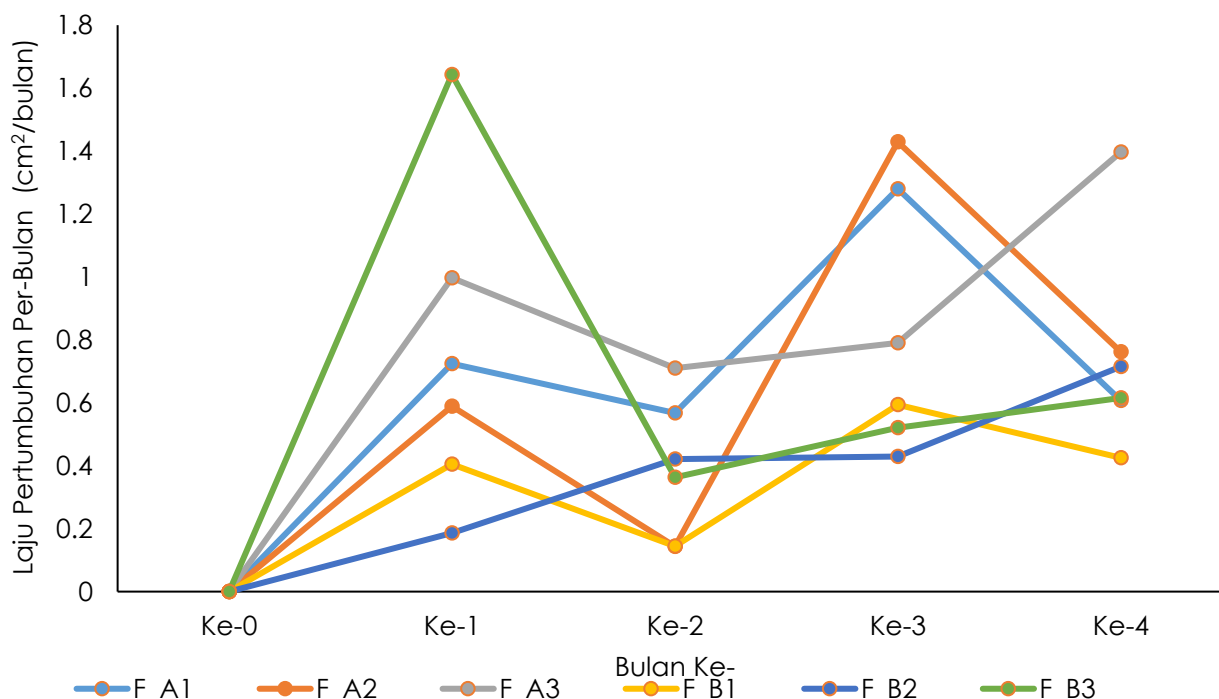
Berdasarkan (Gambar 4.), laju pertumbuhan *Mycedium elephantotus* mengalami fluktuasi selama empat bulan pengamatan dengan puncak pertumbuhan dan rata-rata laju pertumbuhan seluruh fragmen terjadi pada bulan ke-3. Pada bulan pertama (ke-1), sebagian besar fragmen menunjukkan peningkatan laju pertumbuhan dari bulan awal (ke-0), namun belum mencapai nilai maksimum. Pada bulan ke-2 terjadi penurunan pada sebagian besar fragmen, yang kemungkinan disebabkan oleh proses penyesuaian fisiologis. Selanjutnya, pada bulan ke-3, seluruh fragmen menunjukkan peningkatan signifikan dengan nilai tertinggi mencapai sekitar $2,16 \text{ cm}^2/\text{bulan}$ pada fragmen M_B2, menandakan fase pertumbuhan optimal. Pada bulan ke-4, laju pertumbuhan kembali menurun dan cenderung stabil, mengindikasikan bahwa pertumbuhan *M. elephantotus* mulai mencapai fase keseimbangan setelah adaptasi terhadap kondisi lingkungan. Secara keseluruhan, pola ini menunjukkan bahwa pertumbuhan tertinggi terjadi pada fase pertengahan pengamatan sebelum stabil pada fase akhir, hal ini sedikit berbeda dengan *Favites pentagona* dengan laju pertumbuhan tertinggi pada awal penanaman, namun masih sama dengan laju pertumbuhan rata-rata seluruh fragmen terjadi pada bulan ke-3. Perbedaan laju pertumbuhan karang dapat terjadi baik dalam satu koloni maupun antar koloni yang berada pada lokasi dan kedalaman yang sama, karena variasi faktor fisiologis internal, kondisi mikrohabitat, serta distribusi energi dalam jaringan koloni memengaruhi respons pertumbuhan masing-masing individu Nugraha, (2008). Fluktuasi laju pertumbuhan *Mycedium elephantotus* selama empat bulan pengamatan menurut Barus *et al.*, (2018) menunjukkan bahwa laju pertumbuhan karang sangat dipengaruhi oleh dan tingkat stres yang dialami, di mana dapat menyebabkan variasi pertumbuhan meskipun berasal dari spesies yang sama. Laju pertumbuhan *Mycedium elephantotus* selama pengamatan menurut Pelupessy *et al.*, (2024) mencerminkan proses penyembuhan dan adaptasi awal pasca pemotongan, di mana pertumbuhan mulai meningkat setelah stres awal berkurang dan kondisi lingkungan menjadi lebih mendukung.

Berdasarkan hasil pengamatan pada (Gambar 5. dan Gambar 6.), fragmen *Favites pentagona* yang ditanam pada substrat *grout* (kode A) menunjukkan laju pertumbuhan mutlak yang lebih tinggi dibandingkan dengan fragmen pada substrat *portland cement* (kode B). Nilai pertumbuhan tertinggi dicapai oleh fragmen F_A3 sebesar $3,894 \text{ cm}^2$, diikuti oleh F_A1 ($3,180 \text{ cm}^2$) dan F_A2 ($2,922 \text{ cm}^2$), sedangkan pada substrat *grout* nilai pertumbuhannya relatif lebih rendah, dengan kisaran antara $1,569\text{--}3,143 \text{ cm}^2$. Substrat *grout* lebih mendukung proses perluasan jaringan

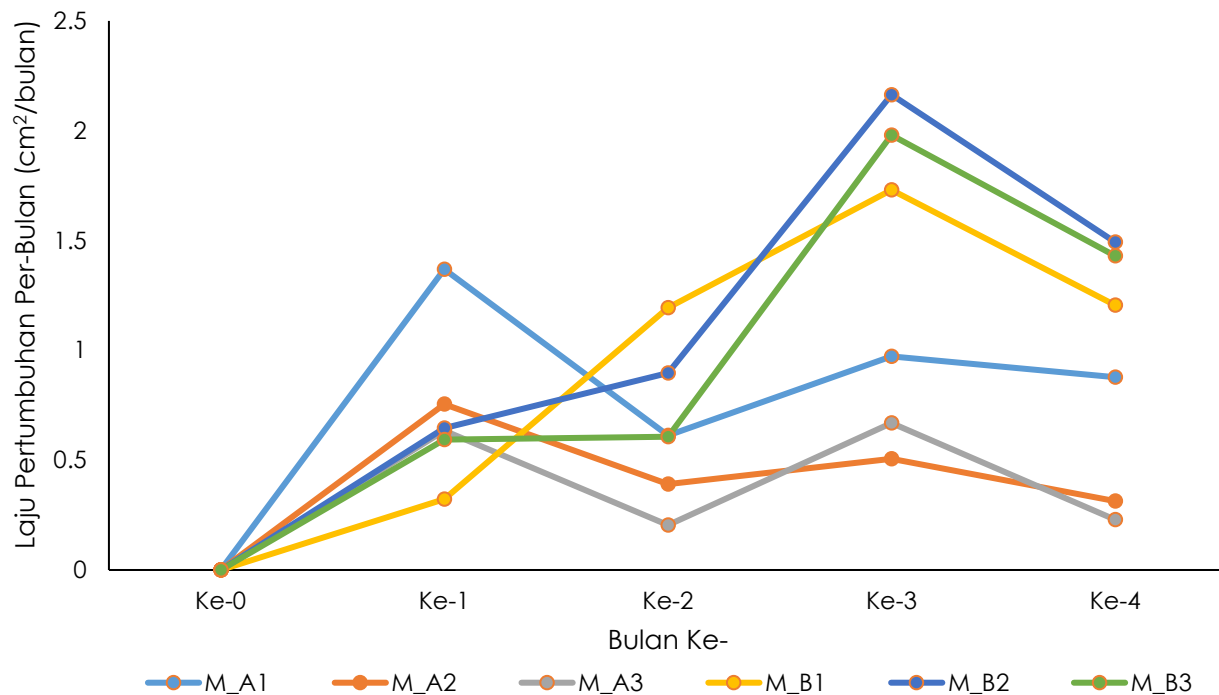
karang *Favites pentagona* dibandingkan *portland cement*. Menurut Khan *et al.*, (2022), *grout* merupakan campuran semen dengan agregat sangat halus dan rasio air-semen tinggi yang menghasilkan material dengan *flowability* dan kepadatan mikrostruktur lebih baik dibandingkan beton

konvensional, sehingga menghasilkan permukaan yang lebih halus dan berpori kecil setelah pengerasan. Berdasarkan penelitian Fong *et al.*, (2024); Kennedy *et al.*, (2017), menunjukkan bahwa tingkat kekasaran permukaan substrat tidak selalu menjadi faktor utama dalam keberhasilan penempelan atau kelangsungan hidup karang muda, melainkan komposisi kimia dan kestabilan mikrostruktur substrat justru lebih berpengaruh terhadap keberhasilan kolonisasi awal dan pertumbuhan karang. Oleh karena itu, karakter mikrostruktur *grout* yang lebih homogen dan berpori halus dapat menciptakan kondisi kimia dan fisik yang stabil, mendukung proses adhesi serta pertumbuhan jaringan basal *Favites pentagona* secara optimal selama masa pengamatan. Pernyataan ini didukung oleh penelitian Harriott & Fisk, (1987) bahwa substrat terakota memiliki potensi rekrutmen yang lebih besar dibandingkan material lain, karena karakteristik terakota yang serupa dengan *grout*, yaitu memiliki porositas mikro yang merata, kestabilan kimia yang baik, dan kemampuan mempertahankan kelembapan mikro di permukaan substrat. Berdasarkan uji *Independent Samples T-test* didapatkan nilai Sig. (2-tailed) $0.110 > 0.05$ Maka hipotesis nol (H_0) diterima, yaitu: tidak terdapat perbedaan rata-rata laju pertumbuhan karang *Favites pentagona* antara substrat A dan substrat B. Kedua substrat menghasilkan laju pertumbuhan yang tidak berbeda nyata secara statistik. Meski mungkin secara angka (*mean*) satu substrat lebih tinggi, selisihnya belum cukup besar untuk dianggap signifikan secara statistik.

Berdasarkan (Gambar 7. dan Gambar 8), laju pertumbuhan mutlak *Mycedium elephantotus* menunjukkan variasi yang cukup jelas antar fragmen dan jenis substrat. Fragmen yang ditanam pada substrat *portland cement* (kode B) cenderung memiliki pertumbuhan lebih tinggi dibandingkan fragmen pada substrat *grout* (kode A). Nilai tertinggi dicapai oleh fragmen M_B2 sebesar $5,199 \text{ cm}^2$, diikuti oleh M_B3 ($4,611 \text{ cm}^2$) dan M_B1 ($4,452 \text{ cm}^2$), sedangkan pada substrat *grout* pertumbuhan tertinggi hanya mencapai $3,831 \text{ cm}^2$ pada fragmen M_A1. Substrat *portland cement* lebih mendukung proses perluasan jaringan karang *Mycedium elephantotus* dibandingkan *grout*.



Gambar 3. Laju Pertumbuhan Per-Bulan *Favites pentagona*

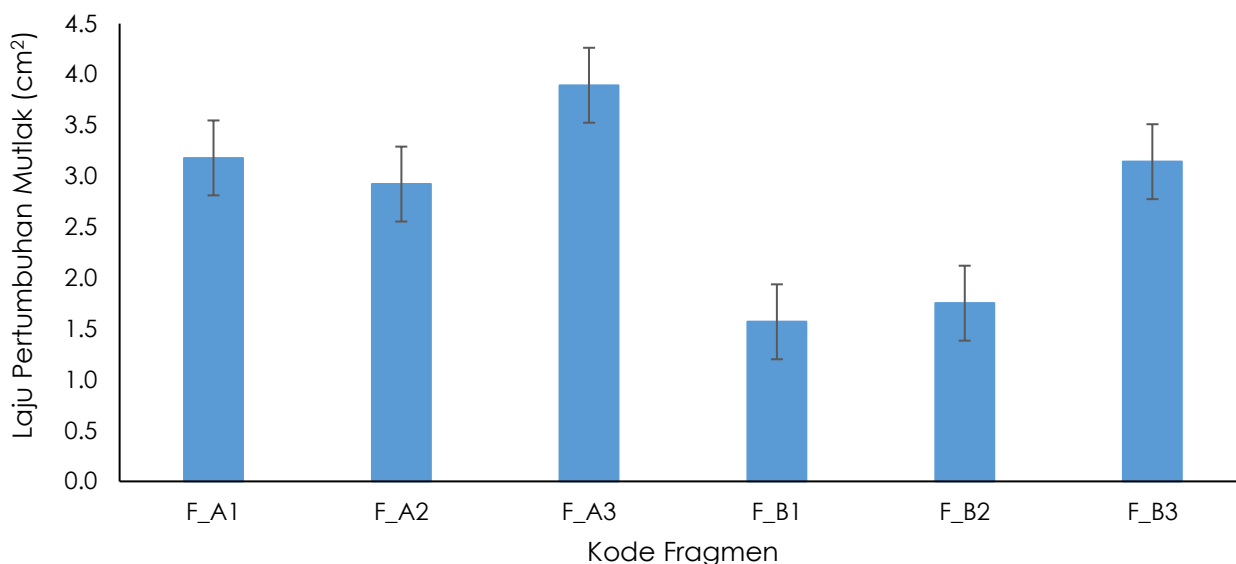


Gambar 4. Laju Pertumbuhan Per-Bulan *Mycedium elephantotus*

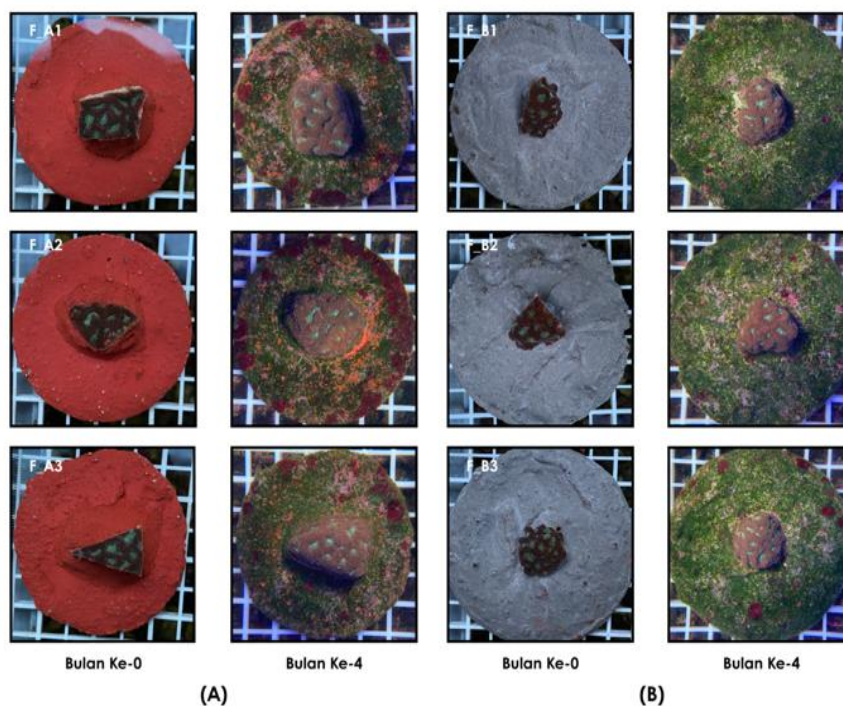
Portland cement merupakan bahan utama beton yang tersusun dari hasil kalsinasi batu kapur dan tanah liat, menghasilkan senyawa kalsium silikat dan aluminat yang memberikan kekasaran serta porositas permukaan tinggi (Korniejenko *et al.*, 2025; O'Reilly & Willerth, 2023; Valenzuela Matus *et al.*, 2024). Proses karbonasi pada substrat *portland cement* yang terpapar air laut menurunkan pH permukaan dan membentuk lapisan kalsium karbonat yang inert. Kondisi ini menghasilkan zona interaksi yang lebih stabil dan sesuai dengan komposisi mineral skeleton karang, sehingga mendukung adhesi, kolonisasi biofilm dan kalsifikasi jaringan karang (Knoester *et al.*, 2024; Levenstein *et al.*, 2022; Sousa *et al.*, 2025). *Portland cement* memiliki pH awal yang tinggi (± 12), proses karbonasi yang terjadi seiring waktu mampu menurunkan pH menuju kisaran air laut ($\pm 8,3$), menjadikannya lebih stabil dan aman bagi organisme laut (Guilbeau *et al.*, 2003). Perbedaan laju pertumbuhan pada kedua substrat berkaitan dengan sifat morfologi *Mycedium elephantotus* yang tergolong karang *laminar* atau *encrusting*, dimana polip baru tumbuh menyebar secara radial di sekitar polip pusat (Lin *et al.*, 2022), sehingga jaringan tipisnya cenderung melekat pada substrat yang stabil untuk memperluas area pertumbuhan. Kondisi tersebut dapat menciptakan zona penempelan yang lebih stabil bagi karang dengan morfologi *laminar* atau *encrusting* seperti *Mycedium elephantotus* pada substrat *portland cement*, karena permukaannya yang kasar. Hal ini didukung oleh penelitian (Kisworo *et al.*, 2012), yang menyatakan bahwa substrat dengan pori dan permukaan kasar memudahkan dalam pertumbuhan karang. Berdasarkan hasil uji *Independent Samples T-Test* diperoleh nilai Sig. (2-tailed) = 0.033, yang berarti lebih kecil dari 0.05. Dengan demikian, hipotesis nol (H_0) ditolak dan hipotesis alternatif (H_1) diterima. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan rata-rata laju pertumbuhan karang yang signifikan secara statistik antara substrat A dan substrat B. Dengan kata lain, jenis substrat memberikan pengaruh nyata terhadap laju pertumbuhan karang *Mycedium elephantotus*. Substrat dengan nilai rata-rata pertumbuhan lebih tinggi dapat dianggap memberikan kondisi yang lebih baik bagi pertumbuhan karang *Mycedium elephantotus*.

Tingkat kelangsungan hidup (*survival rate*) karang *Favites pentagona* (Gambar 9.) dan *Mycedium elephantotus* (Gambar 10.) menunjukkan hasil yang sangat stabil dengan nilai kelangsungan hidup mencapai 100% pada seluruh periode pengamatan, mulai dari bulan ke-0 hingga bulan ke-4. Hasil ini mengindikasikan bahwa seluruh fragmen karang yang ditransplantasikan

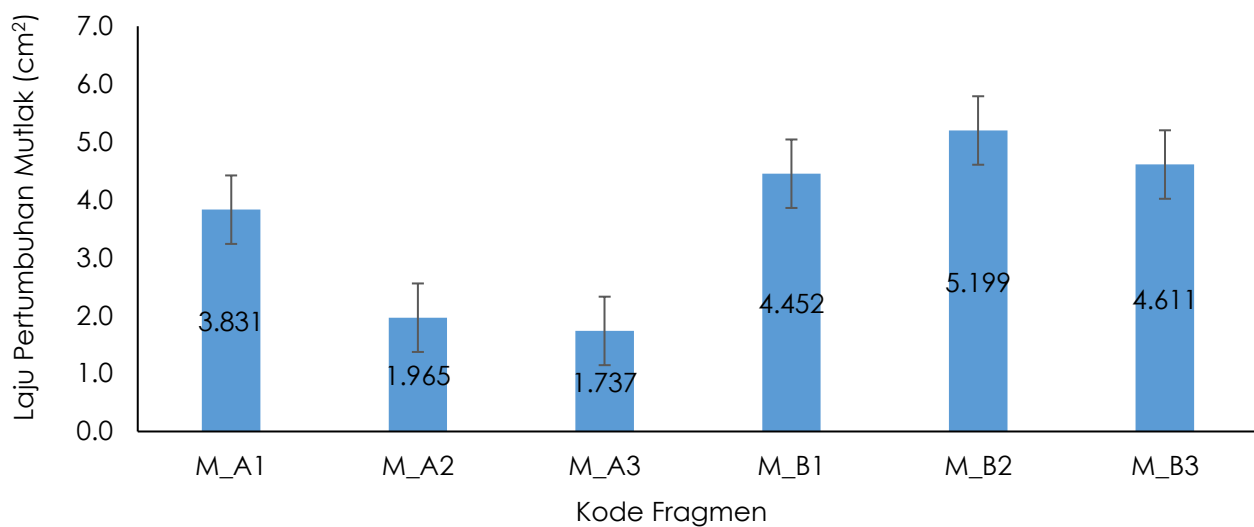
berhasil bertahan hidup tanpa mengalami kematian selama masa penelitian. Kondisi ini menunjukkan bahwa kondisi perairan di lokasi penelitian, yaitu PT Agung Aquatic Marine, memiliki kualitas yang sangat mendukung bagi pertumbuhan dan kelangsungan hidup karang *Favites pentagona* dan *Mycedium elephantotus*. Pernyataan ini diperkuat oleh penelitian (Fitriani *et al.*, 2020) dan (Insafitri *et al.*, 2022) menunjukkan bahwa karang lunak *Cladiella* sp. dan karang *massive Porites* sp. mampu mencapai tingkat kelangsungan hidup 100% pada substrat yang mendukung seperti *rubble*, asal kondisi kualitas air dan lingkungan stabil.



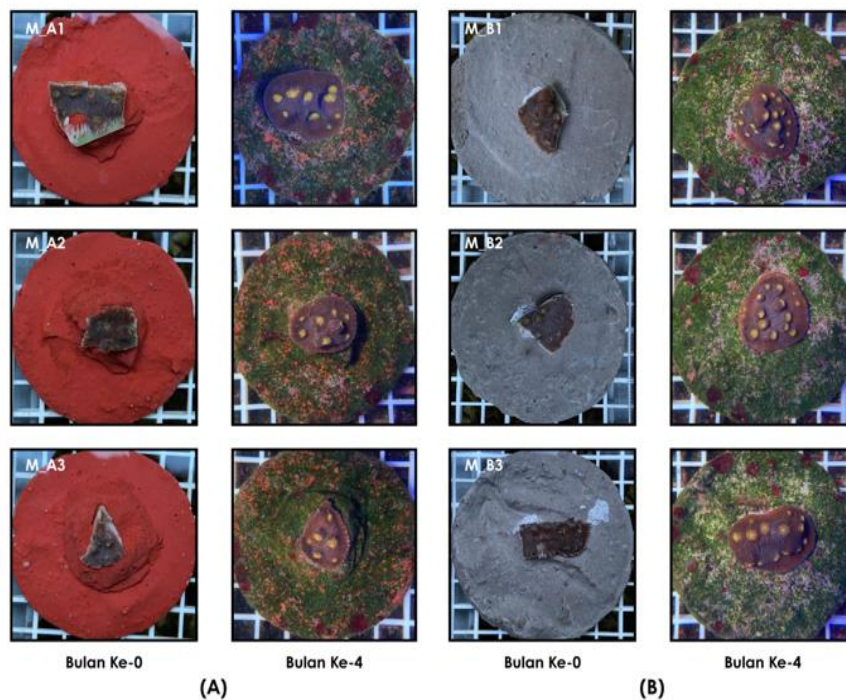
Gambar 5. Laju Pertumbuhan Mutlak *Favites pentagona*



Gambar 6. Fragmen Karang *Favites pentagona*; (A) Substrat Grout, (B) Substrat Portland Cement



Gambar 7. Laju Pertumbuhan Mutlak *Mycedium elephantotus*



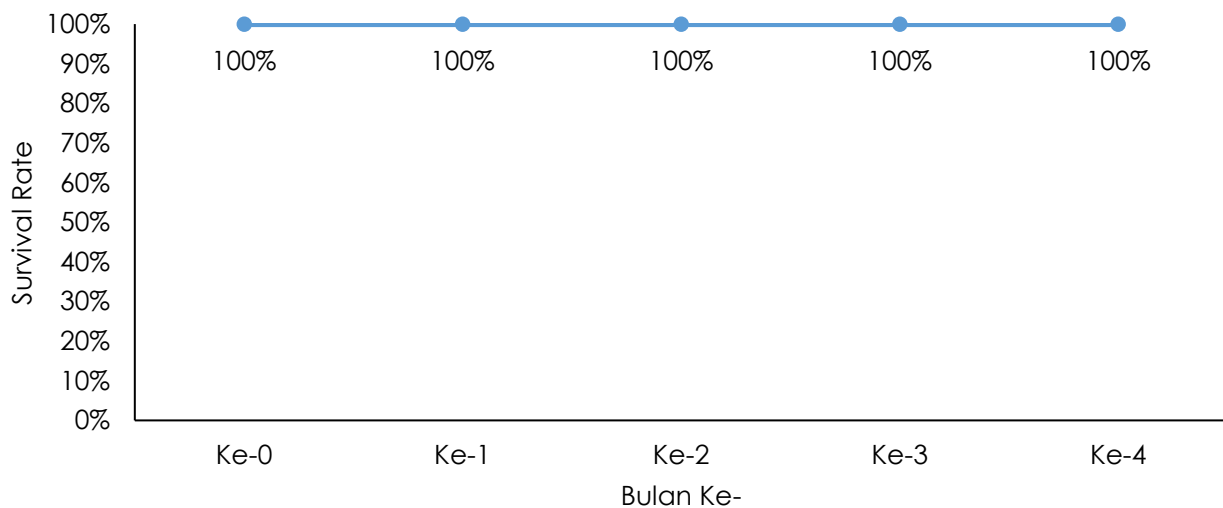
Gambar 8. Fragmen Karang *Mycedium elephantotus*; (A) Substrat Grout, (B) Substrat Portland Cement

Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel 1, seluruh parameter kualitas air aquarium selama penelitian menunjukkan kondisi yang stabil dengan suhu 25°C, salinitas 33 ppt, pH 7,5, dan alkalinitas 9 dKH. Suhu 25°C yang secara keseluruhan berperan penting dalam mendukung pertumbuhan fragmen karang selama periode pengamatan. Suhu 25°C berada dalam kisaran optimal bagi karang tropis, karena pada rentang 23–30°C aktivitas fotosintesis zooxanthellae dan proses kalsifikasi berlangsung secara efektif, sehingga menyediakan energi yang cukup untuk pertumbuhan jaringan karang (Muhlis, 2019). Nilai salinitas 33 ppt juga berada dalam kisaran alami habitat karang laut dangkal, yang berkontribusi langsung terhadap peningkatan luasan fragmen (Mandey et al., 2022). Kadar nilai pH 7,5 tergolong stabil untuk mendukung kelangsungan hidup karang hermatipik, karena kestabilan pH memengaruhi sistem karbonat yang menjadi dasar proses kalsifikasi (Wahab et al.,

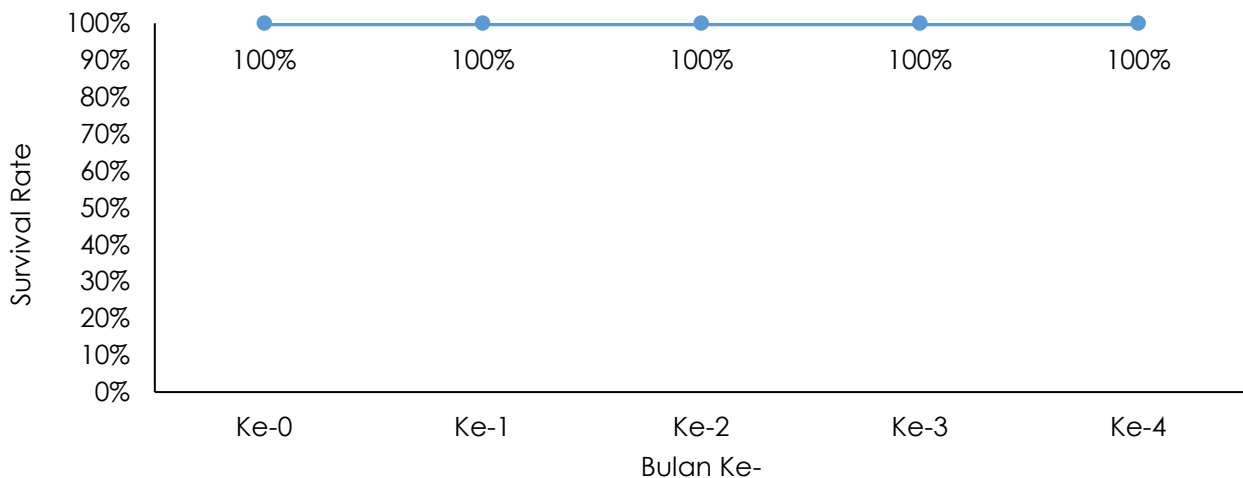
2021). Nilai alkalinitas sebesar 9 dKH menunjukkan kondisi aquarium air laut yang sangat mendukung proses kalsifikasi karang, karena berperan sebagai *buffer* yang menjaga kestabilan pH serta menyediakan ion karbonat dan bikarbonat untuk pembentukan skeleton kalsium karbonat. Dalam sistem terkontrol, kisaran alkalinitas 7–10 dKH dianggap ideal untuk mendukung pertumbuhan karang *Scleractinia* secara optimal (Ranandya *et al.*, 2024). Kondisi lingkungan yang terkontrol ini berperan dalam meminimalkan pengaruh variabilitas eksternal (*environmental noise*), sehingga perbedaan laju pertumbuhan fragmen karang yang diamati lebih merefleksikan respons biologis terhadap perlakuan eksperimen.

Tabel 1. Pengukuran Parameter Kualitas Air Terkontrol

Tanggal	Suhu (°C)	Salinitas (ppt)	Alkalinitas (dKH)	pH
22/02/25	25	33	9	7,5
23/03/25	25	33	9	7,5
22/04/25	25	33	9	7,5
22/05/25	25	33	9	7,5
21/06/25	25	33	9	7,5



Gambar 9. Laju Pertumbuhan Mutlak *Favites pentagona*



Gambar 10. Laju Pertumbuhan Mutlak *Mycedium elephantotus*

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa pertumbuhan fragmen *Favites pentagona* dan *Mycedium elephantotus* selama empat bulan pengamatan merupakan hasil interaksi kompleks antara proses adaptasi pasca-fragmentasi, karakteristik morfologi spesies, kesesuaian substrat, serta stabilitas lingkungan budidaya. Peningkatan luasan fragmen yang konsisten pada kedua spesies mencerminkan keberhasilan fase penyembuhan jaringan setelah fragging, di mana karang mengalami stres fisiologis awal sebelum memasuki fase pertumbuhan akseleratif sebagai respons adaptif terhadap lingkungan baru (Boström-Einarsson *et al.*, 2020; Tortolero-Langarica *et al.*, 2020). Perbedaan pola laju pertumbuhan bulanan memperlihatkan bahwa strategi pertumbuhan sangat dipengaruhi oleh bentuk morfologi koloni, di mana karang *massive* seperti *Favites* cenderung menunjukkan pertumbuhan stabil sejak fase awal, sedangkan karang *laminar/encrusting* seperti *Mycedium* mengalami peningkatan signifikan setelah fase adaptasi tercapai, sesuai konsep *plasticity* morfologi karang terhadap kondisi lingkungan (Darling *et al.*, 2012; Todd, 2008). Respon pertumbuhan terhadap substrat juga menunjukkan adanya kecocokan spesifik antara struktur fisik-kimia media dengan tipe pertumbuhan karang, terlihat dari tidak signifikannya perbedaan pertumbuhan *Favites pentagona* antar substrat (Sig. > 0,05), namun adanya perbedaan nyata pada *Mycedium elephantotus* (Sig. < 0,05), yang mengindikasikan bahwa substrat dengan karakteristik permukaan kasar dan proses karbonasi yang stabil lebih mendukung ekspansi jaringan karang *laminar* (Fong *et al.*, 2024; Levenstein *et al.*, 2022). Tingkat kelangsungan hidup sebesar 100% pada seluruh fragmen semakin menegaskan bahwa kestabilan parameter kualitas air menjadi faktor kunci yang memungkinkan energi organisme dialokasikan secara optimal untuk proses kalsifikasi dan pertumbuhan jaringan tanpa tekanan lingkungan tambahan (Harriot dan Fisk, 1987). Penelitian ini menegaskan bahwa keberhasilan budidaya karang hias tidak ditentukan oleh satu faktor tunggal, melainkan oleh sinergi antara adaptasi biologis spesies, karakter substrat, dan kondisi lingkungan yang terkendali, sehingga pendekatan budidaya berbasis karakter morfologi spesifik menjadi strategi penting untuk mendukung pemanfaatan karang hias secara berkelanjutan dan mengurangi tekanan eksploitasi terhadap terumbu karang alami.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa *Favites pentagona* dan *Mycedium elephantotus* memiliki tingkat kelangsungan hidup 100% serta mampu beradaptasi dengan baik pada kedua jenis substrat. Laju pertumbuhan mutlak *Favites pentagona* mencapai nilai tertinggi sebesar $3,894 \text{ cm}^2$ pada substrat *grout* (kode A), sedangkan *Mycedium elephantotus* menunjukkan pertumbuhan mutlak tertinggi sebesar $5,199 \text{ cm}^2$ pada substrat *portland cement* (kode B). Secara statistik, *Favites pentagona* tidak menunjukkan perbedaan signifikan antar substrat (Sig. 0,110 > 0,05), sedangkan *Mycedium elephantotus* menunjukkan perbedaan signifikan (Sig. 0,033 < 0,05), yang berarti jenis substrat berpengaruh nyata terhadap pertumbuhannya. Dengan demikian, substrat *grout* lebih optimal untuk karang tipe *massive* seperti *Favites pentagona*, sementara *portland cement* lebih sesuai untuk tipe *laminar* seperti *Mycedium elephantotus*. Kondisi kualitas air yang stabil mendukung keberhasilan pertumbuhan dan adaptasi fragmen karang selama penelitian. Meskipun hasil menunjukkan efektivitas substrat dalam mendukung pertumbuhan awal, penelitian ini masih terbatas pada durasi singkat dan kondisi semi-terkontrol, sehingga penelitian lanjutan di perairan alami dengan waktu lebih panjang diperlukan untuk menguji konsistensi hasil ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvarez-Filip, L., Gill, J. A., Dulvy, N. K., Perry, A. L., Watkinson, A. R., & Côté, I. M. (2011). Drivers of Region-Wide Declines in Architectural Complexity on Caribbean Reefs. *Coral Reefs*, 30(4), 1051–1060. doi: 10.1007/s00338-011-0795-6
- Amir, S. M., Jaya, A. A., & Asriany. (2025). Inovasi Teknologi dalam Budidaya Eksitu Karang Hias untuk Mendukung Peningkatan Ekspor. *Indonesian Journal of Community Services and School Education*, 5(1), 612–620. doi: 10.46306/jub.v5i2
- Asadi, M. A., & Andrimida, A. (2017). Economic Valuation of Coral Reefs Ecosystem of Bangsring, Banyuwangi, Indonesia. *Economic and Social of Fisheries and Marine*, 004(02), 144–152. doi: 10.21776/ub.ecsofim.2017.004.02.04

- Barton, J. A., Willis, B. L., & Hutson, K. S. (2017). Coral Propagation: a Review of Techniques for Ornamental Trade and Reef Restoration. *Reviews in Aquaculture*, 9(3), 238–256. doi: 10.1111/raq.12135
- Barus, B. S., Prartono, T., & Soedarma, D. (2018). Pengaruh Lingkungan Terhadap Bentuk Pertumbuhan Terumbu Karang Di Perairan Teluk Lampung. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(3), 699–709. doi: 10.29244/jitkt.v10i3.21516
- Blakeway, D., Byers, M., Stoddart, J., & Rossendell, J. (2013). Coral Colonisation of an Artificial Reef in a Turbid Nearshore Environment, Dampier Harbour, Western Australia. *PLoS ONE*, 8(9). doi: 10.1371/journal.pone.0075281
- Boström-Einarsson, L., Babcock, R. C., Bayraktarov, E., Ceccarelli, D., Cook, N., Ferse, S. C. A., Hancock, B., Harrison, P., Hein, M., Shaver, E., Smith, A., Suggett, D., Stewart-Sinclair, P. J., Vardi, T., & McLeod, I. M. (2020). Coral restoration – A Systematic Review of Current Methods, Successes, Failures and Future Directions. *PLoS ONE*, 15(1). doi: 10.1371/journal.pone.0226631
- Bouderlique, T., Petersen, J., Faure, L., Abed-Navandi, D., Bouchnita, A., Mueller, B., Nazarov, M., Englmaier, L., Tesarova, M., Frade, P. R., Zikmund, T., Koehne, T., Kaiser, J., Fried, K., Wild, C., Pantos, O., Hellander, A., Bythell, J., & Adameyko, I. (2022). Surface Flow for Colonial Integration in Reef-Building Corals. *Current Biology*, 32(12), 2596–2609.e7. doi: 10.1016/j.cub.2022.04.054
- Choudhary, R. (2018). Application of "independent t-test" by using SPSS for conducting physical education researches. ~ 237 ~ *International Journal of Physical Education, Sports and Health*, 5(1), 237–241. www.kheljournal.com
- Darling, E. S., Alvarez-Filip, L., Oliver, T. A., Mcclanahan, T. R., & Côté, I. M. (2012). Evaluating Life-History Strategies of Reef Corals From Species Traits. *Ecology Letters*, 15(12), 1378–1386. doi: 10.1111/j.1461-0248.2012.01861.x
- Eaton, K. R., Clark, A. S., Curtis, K., Favero, M., Holloway, N. H., Ewen, K., & Muller, E. M. (2022). A Highly Effective Therapeutic Ointment for Treating Corals with Black Band Disease. *PLoS ONE*, 17(10 October). doi: 10.1371/journal.pone.0276902
- Effendie, M. I. (1997). *Biologi Perikanan*. Yayasan Pustaka Nusantara.
- Erika, A. Y. J., & Puspita, L. (2019). Laju Pertumbuhan dan Tingkat Kelangsungan Hidup Jenis Karang *Acropora* Sp. dengan Metode Penempelan Fragmen yang Berbeda. *Jurnal Penelitian Sains*, 21(2), 106–111.
- Fitriani, D. P., Zainuri, M., & Nugraha, W. A. (2020). Laju Pertumbuhan dan Pertumbuhan Mutlak Karang Lunak *Cladiella* sp. pada Substrat yang Berbeda. *Jurnal Kelautan Tropis*, 23(1), 29. doi: 10.14710/jkt.v23i1.5383
- Fitriani, R., Amir, S., & Jefri, E. (2021). The Growth Rate of *Acropora* spp. on BlockMars Substrates in the Coastal Waters of Pandanan Beach, Malaka Village. *Jurnal Biologi Tropis*, 21(1). doi: http://dx.doi.org/10.29303
- Fong, J., Ramsby, B. D., Flores, F., Dada, T., Antunes, E., Abdul Wahab, M. A., Severati, A., Negri, A. P., & Diaz-Pulido, G. (2024). Effects of Material Type and Surface Roughness of Settlement Tiles on Macroalgal Colonisation and Early Coral Recruitment Success. *Coral Reefs*, 43(4), 1083–1096. doi: 10.1007/s00338-024-02526-4
- Ginting, J. (2023). Analisis Kerusakan Terumbu Karang Dan Upaya Pengelolaannya. *Jurnal Kelautan Dan Perikanan Terapan (JKPT)*, 1, 53. doi: 10.15578/jkpt.v1i0.12066
- Giyanto. (2007). Perdagangan Karang Hias : Suatu Ancaman Terhadap Ekosistem Terumbu Karang? *Oseana*, XXXII(4). www.oseanografi.lipi.go.id
- Guilbeau, B. P., Harry, F. P., Gambrell, R. P., Knopf, F. C., & Dooley, K. M. (2003). Algae Attachment on Carbonated Cements in Fresh and Brackish Waters - Preliminary Results. *Ecological Engineering*, 20(4), 309–319. doi: 10.1016/S0925-8574(03)00026-0
- Hadi, T. A., Giyanto, Siringoringo, R. M., Budiyo, A., Johan, O., Souhoka, J., Abrar, M., Sari, N. W. P., Sadarun, B., Prayudha, B., Sutiadi, R., Dzumalek, A. R., Sulha, S., & Suharsono. (2020). Potential Stock of Stony Corals in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 441(1). doi: 10.1088/1755-1315/441/1/012111
- Hanafi, Septiandi, A. R., Ardiansyah, A. R., Wijaya, A. A. P., & Riyanti. (2024). Total Pertumbuhan Fragment Karang Hias Jenis *Caulastrea curvata* Secara In-Situ Di Perairan Penginuman, Gilimanuk. *Jurnal Akuatika Indonesia*, 9(1), 61–68.

- Harriott, V., & Fisk, D. (1987). A Comparison of Settlement Plate Types for Experiments on The Recruitment of Scleractinian Corals. *Marine Ecology Progress Series*, 37, 201–208. doi: 10.3354/meps037201
- Hidayah, Z., & Nuzula, N. I. (2019). Pemetaan Sebaran Terumbu Karang Studi Kasus Selat Madura, Jawa Timur. *Jurnal Kelautan Tropis*, 22(2), 127. doi: 10.14710/jkt.v22i2.5634
- Hopkins, K. D. (1992). Reporting Fish Growth: A Review of the Basics. *Journal of The World Aquaculture Society*, 23(3), 173–179. <https://www.researchgate.net/publication/272152180>
- Idris, Fakhurrozi, Erwin, M., Mauludiyah, & Munir, M. (2025). Coral Growth Rate in Branching and Massive Coral in Sangiang Nature Tourism Park, Indonesia. *BIO Web of Conferences*, 168. doi: 10.1051/bioconf/202516801003
- Insafitri, I., Alif, N. R., Prasanti, M., & Nugraha, W. A. (2022). Tingkat Keberhasilan Hidup Transplantasi Karang Porites Sp. Pada Substrat Rubble Skala Laboratorium. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 14(3), 291–296. doi: 10.21107/jk.v14i3.12919
- Johan, O. (2006). Mengenal Karang Hias Bernilai Ekonomis Penting di Indonesia. *Warta Perikanan Edisi Budi Daya*, 1(3), 87–90.
- Johan, O., Hadie, W., Saputra, A., Haryadi, J., & Listyanto, N. (2007). Budi Daya Karang Hias Mendukung Perdagangan Karang Hias yang Berkesinambungan. *Jurnal Riset Akuakultur*, 2(3), 415–424.
- Kennedy, E. V., Ordoñez, A., Lewis, B. E., & Diaz-Pulido, G. (2017). Comparison of Recruitment Tile Materials for Monitoring Coralline Algae Responses to a Changing Climate. *Marine Ecology Progress Series*, 569, 129–144. doi: 10.3354/meps12076
- Khan, M. I., Sutanto, M. H., Yusoff, N. I. M., Zoorob, S. E., Rafiq, W., Ali, M., Fediuk, R., & Vatin, N. I. (2022). Cementitious Grouts for Semi-Flexible Pavement Surfaces—A Review. In *Materials* (Vol. 15, Number 15). MDPI. doi: 10.3390/ma15155466
- Kisworo, H., Wijayanti, P., & Munasik. (2012). Studi Penempelan Juvenil Karang Pocillopora camicornis Pada Jenis Substrat Kolektor Dan Zona Terumbu Yang Berbeda Di Pulau Panjang, Kabupaten Jepara. *Journal Of Marine Research*, 1(1), 129–136. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jmr>
- Knoester, E. G., Vos, A., Saru, C., Murk, A. J., & Osinga, R. (2024). Concrete Evidence: Outplanted Corals for Reef Restoration Do Not Need Extended Curing of Ordinary Portland Cement. *Royal Society Open Science*, 11(12). doi: 10.1098/rsos.241064
- Koch, H. R., Wallace, B., DeMerlis, A., Clark, A. S., & Nowicki, R. J. (2021). 3D Scanning as a Tool to Measure Growth Rates of Live Coral Microfragments Used for Coral Reef Restoration. *Frontiers in Marine Science*, 8. doi: 10.3389/fmars.2021.623645
- Korniejenko, K., Oliwa, K., Gądek, S., Dynowski, P., Żróbek, A., & Lin, W. T. (2025). A Review of Additive Manufacturing Techniques in Artificial Reef Construction: Materials, Processes, and Ecological Impact. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 15, Number 8). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). doi: 10.3390/app15084216
- Kurniawan, D., Jompa, J., & Haris, A. (2017). Pertumbuhan Tahunan Karang Goniopora stokesi di Perairan Kota Makassar Hubungannya dengan Faktor Cuaca. *Jurnal Akuatiklestari*, 1(1), 7–14. doi: 10.31629/akuatiklestari.v1i1.274
- Kurniawan, H. D., Septiandi, A. R., Ardiansyah, A. R., Damanik, G. D. B. P., & . R. (2024). Laju Pertumbuhan Dan Survival Rate Fragmen Karang Hias Echinopora lamellosa Secara In Situ Di Perairan Penginuman, Gilimanuk. *Journal of Marine Research*, 13(2), 283–291. doi: 10.14710/jmr.v13i2.40390
- Lalamentik, L. T. X., Rembet, U. N. W. J., & Wantasen, A. S. (2017). Laju Hunian Ikan Pada Terumbu Buatan Di Pulau Putus-Putus Kabupaten Minahasa Tenggara. *Jurnal Ilmiah Platax*, 5(1), 21–33. doi: 10.35800/jip.5.1.2017.14969
- Levenstein, M. A., Marhaver, K. L., Quinlan, Z. A., Tholen, H. M., Tichy, L., Yus, J., Lightcap, I., Wegley Kelly, L., Juarez, G., Vermeij, M. J. A., & Wagoner Johnson, A. J. (2022). Composite Substrates Reveal Inorganic Material Cues for Coral Larval Settlement. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 10(12), 3960–3971. doi: 10.1021/acssuschemeng.1c08313
- Lin, C., Kang, C. M., Huang, C. Y., Li, H. H., & Tsai, S. (2022). Study on the Development and Growth of Coral Larvae. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(10), 5255. doi: 10.3390/app12105255
- Mandey, V. K., Barapadang, B., Wanimbo, E., & Ayer, P. I. L. (2022). Kualitas Air dan Status Ekosistem Terumbu Karang (Coral Reef) di Perairan Pesisir Kampung Holtekam Distrik MuaraTami Kota

- Jayapura. *ACROPORA: Jurnal Ilmu Kelautan Dan Perikanan Papua*, 5(1), 117–124. doi: 10.31957/acr
- Maulana, H., Anggoro, S., & Yulianto, B. (2016). Kajian Kondisi dan Nilai Ekonomi Manfaat Ekosistem Terumbu Karang di Pantai Wediombo, Kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 14(2), 82. doi: 10.14710/jil.14.2.82-87
- McLeod, I. M., Pioch, S., & Einarsson, L. B. (2020). *Coral Reef Restoration as a strategy to improve ecosystem services: A guide to coral restoration methods*. UN Environment Programme
- Muhlis, M. (2019). Pertumbuhan Kerangka Karang Acropora Di Perairan Sengigi Lombok. *Jurnal Biologi Tropis*, 19(1), 14–18. doi: 10.29303/jbt.v19i1.940
- Muzaki, F. K., Saptarini, D., Azizah, I. R., Sari, I. K., & Pramono, A. T. E. (2020). Survival and Growth of Acropora millepora Coral Fragments Transplanted in Turbid Water of Sepulu, Bangkalan-Madura. *Ecology, Environment, & Conservation Paper*, 26, 26–31.
- Nugraha, W. A. (2008). Laju Pertumbuhan Karang Porites Lutea Di Karimunjawa Dan Bangkalan, Indonesia. *Jurnal EMBRYO*, 5(1), 24–33.
- O'Reilly, L. M., & Willerth, S. M. (2023). Evaluating the Biocompatibility of Ceramic Materials for Constructing Artificial Reefs. *Frontiers in Marine Science*, 10. doi: 10.3389/fmars.2023.1292584
- Paulangan, Y. P., Yusuf, S., Barapadang, B., Hamuna, B., Rumbiak, K., Ayer, P. I. L., Mandey, V. K., Wanimbo, E., & Baransano, N. (2023). Transplantasi Karang dengan Metode SPIDER di Pantai Harlen Kampung Tablasupa Kabupaten Jayapura Provinsi Papua. *Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat*, 8(3), 633–642. doi: 10.30653/jppm.v8i3.359
- Pelupessy, Y. A. E. G., Prasetyo, R., Sandhika, I. M. G. S., & Rosiana, I. W. (2024). Analisa Pertumbuhan Karang dengan metode CPCe dan Sistem Pemeliharaannya pada Program Restorasi Karang di Nusa Penida Bali. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 17(2), 159–170. doi: 10.21107/jk.v17i2.21861
- Putra, R. S., Septiandi, A. R., & Riyanti, R. (2023). The Growth Rate of Cyphastrea Coral Fragment Under Controlled Condition. *Jurnal Biologi Tropis*, 23(2), 104–110. doi: 10.29303/jbt.v23i2.5897
- Rames. (2017). Kondisi dan Keragaman Karang Hias di Perairan Pulau Sarang dan Sekitarnya, Kecamatan Belakang Padang, Kota Batam. *SIMBIOSA*, 6(2), 57–66.
- Ramses. (2017). Kondisi dan Keragaman Karang Hias di Perairan Pulau Sarang dan Sekitarnya, Kecamatan Belakang Padang, Kota Batam. *SIMBIOSA*, 6(2), 57. doi: 10.33373/sim-bio.v6i2.1141
- Ranandya, A. Q., Putri, N. M., Septiandi, A. R., & Riyanti, . (2024). Laju Pertumbuhan Microfragment Acropora millepora pada Kondisi Terkontrol. *Buletin Oseanografi Marina*, 13(2), 219–229. doi: 10.14710/buloma.v13i2.58566
- Rudiansyah, Kurniawan, D., Apriadi, T., & Kurniawan, R. (2024). Laju Pertumbuhan Karang Acropora brueggemanni dan Psammocora digitata Ditransplantasi di Perairan Bintan. *Journal of Marine Research*, 13(4), 653–663. doi: 10.14710/jmr.v13i4.42001
- Rueden, C. T., & Eliceiri, K. W. (2019). ImageJ for the Next Generation of Scientific Image Data. *Microscopy and Microanalysis*, 25(S2), 142–143. doi: 10.1017/s1431927619001442
- Sousa, M. F. de, Natividade, C. D. da, Lima Filho, M. R. F., Torres, S. M., Santos, A. J. V. dos, Rocha, R. A. S. da, Henriques, G. F., Massei, K., & Souza, W. M. de. (2025). Mineralogical and Mechanical Characterization of Concrete Blocks for Artificial Reefs: A Comparative Study with Natural Coral Skeletons. *Journal of Marine Science and Engineering*, 13(10), 1886. doi: 10.3390/jmse13101886
- Suryono, S., Ambariyanto, A., Munasik, M., Sugianto, D. N., Ario, R., Pratikto, I., Taufiq-Spj, N., Canavaro, S. V., & Anggita, T. (2021). Hidrodinamika Gelombang pada Terumbu Karang di Pulau Panjang, Jepara. *Buletin Oseanografi Marina*, 10(3), 307–318. doi: 10.14710/buloma.v10i3.36368
- Sweet, M., Jones, R., & Bythell, J. (2012). Coral Diseases in Aquaria and in Nature. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 92(4), 791–801. doi: 10.1017/S0025315411001688
- Todd, P. A. (2008). Morphological Plasticity in Scleractinian Corals. *Biological Reviews*, 83(3), 315–337. doi: 10.1111/j.1469-185X.2008.00045.x
- Tortolero-Langarica, J. J. A., Rodríguez-Troncoso, A. P., Cupul-Magaña, A. L., & Rinkevich, B. (2020). Micro-Fragmentation as an Effective and Applied Tool to Restore Remote Reefs in The Eastern Tropical Pacific. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(18), 1–18. doi: 10.3390/ijerph17186574

- Valenzuela Matus, I., Góis, J., Vaz-Pires, P., & Alves, J. L. (2024). Coral Propagation in Substrates Obtained Through Additive Manufacturing: Influence of Mortar Formulations on Seawater Parameters. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 12(37), 13721–13740.
- Wahab, I., Koroy, K., & Lukman, M. (2021). Pengaruh Parameter Fisikimia Terhadap Tutupan Karang di Perairan Daruba, Morotai. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 27, 85–93. doi: 10.15578/jppi.27.2.2021.85-93
- Wijayanti, D. P., Indrayanti, E., Asri, W. F., & Ambariyanto, A. (2015). Pertumbuhan Karang Transplan Genus *Favia* dan *Favites* Berdasarkan Jumlah Polip. *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 20(1), 23. doi: 10.14710/ik.ijms.20.1.23-32
- Yeemin, T., Pengsakun, S., Yucharoen, M., Klinthong, W., Sangmanee, K., & Sutthacheep, M. (2013). Long-term Changes in Coral Communities Under Stress from Sediment. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 96, 32–40. doi: 10.1016/j.dsr2.2013.04.019
- Zulfikar, Soedharma, D., Yasin, Z., & Hwai, A. T. S. (2014). Fragmentation Method of Coral (*Caulastrea furcata*) for Growth Measured at Controlling Condition. *Acta Aquatica*, 1(1), 20–23.