



Perbedaan Ukuran Skeleton terhadap Laju Pertumbuhan dan Tingkat Kelangsungan Hidup Karang *Acanthophyllia deshayesiana* Hasil Fragmentasi di Fasilitas *Ex Situ*

Yosina Rafael Saragih^a, I Nyoman Giri Putra^{a*}, Putu Satya Pratama Atmaja^a

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

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

ARTICLE INFO

Article history:

Received: January 8, 2026

Received in revised form: January 15, 2026

Accepted: February 23, 2026

Available online: February 28, 2026

Keywords:

Acanthophyllia, fragmentation, survival rate, skeleton, growth rate.

Kata Kunci:

Acanthophyllia; fragmentasi; laju pertumbuhan; skeleton; tingkat kelangsungan hidup.

ABSTRACT

Acanthophyllia deshayesiana is a scleractinian coral belonging to the family Lobophyllidae and occurs as a solitary form. This species has considerable economic value and high demand in the export ornamental coral market. However, market supply remains dependent mainly on wild harvest, which poses a risk of long-term depletion of natural coral populations. One potential strategy for the development and conservation of *A. deshayesiana* is fragmentation; nevertheless, specific and compelling fragmentation protocols for this species remain limited. This study aimed to analyze the effect of coral skeletal size on the growth rate and survival of fragmented *A. deshayesiana* maintained in an ex situ facility. Fragmentation was conducted based on skeletal size categories: small (<5 cm), medium (7–9 cm), and large (>10 cm). Each size category was represented by three individuals, resulting in a total of nine donor colonies being used for this research. Each skeleton was fragmented into two parts, yielding a total of 16 coral fragments, which were observed over three months. The results indicated that the highest growth rate was observed in the small size category (1.83 cm²), followed by the medium (0.26 cm²) and large (0.21 cm²) categories. The highest survival rate was recorded in the medium-size category (100%), while the small and large categories had survival rates of 66% and 33%, respectively. Although the small-sized skeletons demonstrated the highest growth rate, the medium-sized fragments were considered more stable and adaptive during the maintenance period. Therefore, the medium skeletal size is recommended as the optimal choice for fragmentation practices aimed at conserving and propagating *A. deshayesiana*.

ABSTRAK

Acanthophyllia deshayesiana adalah karang keras dari famili Lobophyllidae, hidup secara soliter. Karang ini memiliki nilai ekonomis dan permintaan pasar ekspor karang yang cukup tinggi. Namun, pemenuhan kebutuhan pasar tersebut masih bergantung pada hasil tangkapan dari alam, sehingga berpotensi menyebabkan penurunan sumber daya karang secara berkelanjutan. Salah satu upaya pengembangan dan konservasi karang *A. deshayesiana* dapat dilakukan melalui metode fragmentasi, tetapi hingga saat ini metode fragmentasi yang spesifik dan efektif untuk spesies ini masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh ukuran skeleton pada laju pertumbuhan dan tingkat kelangsungan hidup karang *A. deshayesiana* hasil fragmentasi di fasilitas *ex situ*. Metode yang digunakan yaitu fragmentasi berdasarkan ukuran skeleton; *small* (<5 cm), *medium* (7–9 cm) dan *large* (>10 cm). Masing-masing ukuran berjumlah tiga individu sehingga total ada sembilan induk karang yang digunakan. Selanjutnya karang difragmentasi menjadi dua bagian sehingga menghasilkan sebanyak 16 fragmen yang kemudian dilakukan pengamatan selama 3 bulan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju pertumbuhan tertinggi terdapat pada ukuran S sebesar 1,83 cm², diikuti ukuran M sebesar 0,26 cm² dan ukuran L sebesar 0,21 cm². Tingkat kelangsungan hidup tertinggi yaitu pada ukuran M (100%), sedangkan ukuran S dan L masing-masing sebesar 66% dan 33%. Meskipun skeleton S memiliki laju pertumbuhan tertinggi, ukuran M dinilai paling stabil dan adaptif dalam jangka waktu pemeliharaan, sehingga direkomendasikan sebagai pilihan optimal untuk kegiatan fragmentasi dalam upaya konservasi dan pengembangan karang *A. deshayesiana*.

2026 JMRT. All rights reserved.

1. Pendahuluan

Ekosistem terumbu karang rentan dan sensitif terhadap perubahan di sekitarnya, terutama pada suhu, sedimentasi, salinitas, serta eutrofikasi (Barus *et al.*, 2018). Menurut Dewi *et al.* (2023), perubahan pada kondisi terumbu karang berasal dari faktor alami dan buatan, yaitu faktor alami mencakup perubahan iklim,

sedangkan faktor buatan berasal dari aktivitas manusia di sekitar habitat terumbu karang. Dampak kerusakan ekosistem terumbu karang yang disebabkan oleh faktor manusia lebih kronis dan tidak bersifat sementara (Hermansyah & Febriani, 2020), karena kegiatan tersebut terus dilakukan setiap hari tanpa memberikan kesempatan bagi terumbu karang untuk pulih.

Usaha pemulihan terumbu karang salah satunya dapat dilakukan melalui budidaya karang dengan pemanfaatan metode transplantasi menggunakan teknik fragmentasi. Faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan reproduksi karang melalui teknik fragmentasi meliputi ukuran fragmen, tipe substrat tempat peletakan fragmen dan spesies karang yang digunakan (Thamrin, 2017). Transplantasi atau kultur karang perlu dilakukan oleh sektor industri karang hias untuk mempertahankan stok spesies karang yang tersedia, sekaligus mengurangi dan merehabilitasi kerusakan terumbu karang (Deva *et al.*, 2021), sehingga ketergantungan terhadap populasi karang alami dapat dikurangi. Dalam hal ini, beberapa spesies karang alam sulit untuk dikembangkan atau dikultur, salah satunya adalah *Acanthophyllia deshayesiana* dari famili Lobophylliidae. *A. deshayesiana* merupakan karang soliter dan umumnya memiliki bentuk kerucut dengan bagian pangkal yang runcing (Darus *et al.*, 2016).

Penelitian mengenai fragmentasi pada karang soliter telah dilakukan oleh Zulfikar dan Soedharma (2008) dengan menggunakan karang *Cynarina lacrimalis* sebagai objek studi dalam upaya percepatan pertumbuhan karang secara buatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *C. lacrimalis* mampu bertahan dan tumbuh kembali setelah dilakukan fragmentasi, dengan laju pertumbuhan yang cukup baik pada fragmen yang dipotong menjadi satu bagian. Sebaliknya, fragmen yang dibelah menjadi dua, tiga, dan empat bagian menunjukkan pertumbuhan yang lambat serta tingkat kematian yang tinggi, hal ini mengindikasikan bahwa teknik fragmentasi memiliki potensi untuk diterapkan pada karang soliter lainnya. Studi terkait fragmentasi karang soliter masih terbatas, Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan pada spesies lain seperti *A. deshayesiana* untuk menguji efektivitas fragmentasi berdasarkan ukuran skeleton terhadap laju pertumbuhan dan tingkat kelangsungan hidup karang soliter. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan teknik kultur *A. deshayesiana* secara berkelanjutan, khususnya dalam mendukung industri karang hias.

2. Metode Penelitian

2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April – Juni 2025 di PT. Tirta Samudra Bali, yang berlokasi di Desa Pesinggahan, Kecamatan Dawan, Kabupaten Klungkung, Bali.

2.2 Pelaksanaan Penelitian

2.2.1 Pembuatan Substrat

Pembuatan substrat bertujuan sebagai media penempelan fragmen karang (Widiastuti, 2019). Substrat yang dipakai pada penelitian ini adalah substrat mortar yang terbuat dari campuran

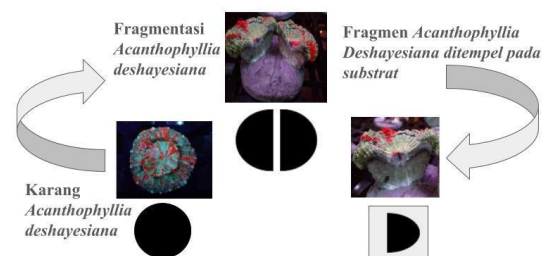
semen dan pasir dengan perbandingan 3 : 1, dengan bentuk bulat pipih. Substrat yang telah selesai dicetak dibiarkan 24 jam di suhu ruang agar substrat mengering. Setelah mengering, substrat direndam dengan air laut selama tiga hari dengan air rendaman yang diganti setiap hari. Substrat buatan perlu direndam terlebih dahulu untuk mengurangi stres pada fragmen karang dan memastikan bahwa substrat tersebut bersih dari kontaminan yang dapat mengganggu pertumbuhan karang. Proses ini juga membantu menciptakan lingkungan yang lebih stabil bagi fragmen karang.

2.2.2 Pengambilan Sampel Karang

Karang yang digunakan yaitu, karang *A. deshayesiana* yang berasal dari fasilitas penangkaran *ex situ* PT. Tirta Samudra Bali. Sebanyak sembilan indukan karang digunakan dengan ukuran skeleton yang berbeda-beda yaitu *small* (S) *medium* dan *large* (L) dengan masing-masing ukuran diwakili oleh tiga indukan. Ukuran skeleton karang yang digunakan pada penelitian ini mengikuti standar yang telah dibuat oleh PT. Tirta Samudra Bali. Pengukuran sampel dilakukan setelah polip karang dikempiskan secara perlahan hingga karang menguncup.

2.2.3 Fragmentasi Karang *A. deshayesiana*

Pemotongan dilakukan dengan membelah karang menjadi dua bagian (Gambar 1) menggunakan mesin gryphon. Ukuran skeleton sampel karang terdiri dari ukuran kecil (< 5 cm), sedang (7-9 cm), dan besar (> 10 cm). Dari total Sembilan indukan, setelah difragmentasi dihasilkan 18 fragmen karang. Fragmen karang kemudian di-*dipping* di dalam air laut dan larutan *povidone iodine* selama 5-10 menit untuk memulihkan kondisi karang. Fragmen karang ditempel pada substrat dan diberikan label pada masing-masing ukuran, selanjutnya dimasukkan ke dalam sistem akuarium yang ada di PT. Tirta Samudra Bali menggunakan arus yang tidak kencang (Sedang).



Gambar 1. Ilustrasi Fragmentasi Karang *A. deshayesiana*.

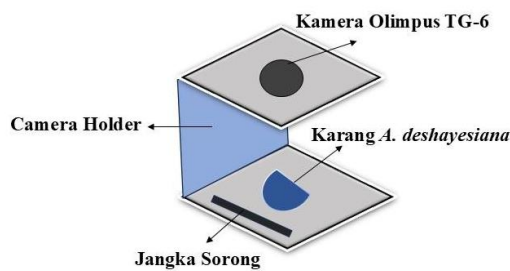
2.2.4 Laju Pertumbuhan Karang *A. deshayesiana*

Laju pertumbuhan karang *A. deshayesiana* diamati dari dalam akuarium dengan ukuran 200 cm x 89 cm dengan tinggi 45 cm, volume air sebesar 430-459 L. Lampu yang digunakan yaitu

LED blue ; royal blue, photosynthetic active radiation (PAR)

175. Lama penyinaran 9-10 jam, arus sedang.

Pengambilan foto dilakukan setiap tujuh hari sekali selama tiga bulan dengan total 12 kali pengambilan foto. Foto dilakukan saat siang hari berkisar antara jam 12.00-15.00 WITA disaat polip karang mengembang menggunakan kamera bawah air, *camera holder*, dan jangka sorong. Pengambilan foto dilakukan dari sisi atas dengan kondisi polip karang mengembang dan posisi yang sama setiap pengambilan foto (Gambar 2). Hasil foto kemudian diolah menggunakan software ImageJ untuk mengukur pertumbuhan luas polip karang.



Gambar 2. Posisi pengambilan foto karang

2.2.4 Kualitas Parameter Air

Kualitas parameter air yang diukur pada penelitian ini yaitu salinitas, suhu, pH, fosfat, nitrat, kalsium, magnesium dan alkalinitas.

2.3 Analisis Data

2.3.1 Laju Pertumbuhan

Laju pertumbuhan diperoleh dari perhitungan luas akhir dikurangi luas awal dan dibagi lama waktu penelitian, dihitung menggunakan rumus M. Effendi, 1997 pada persamaan 1.

$$GR = \frac{\Delta (L_t - L_o)}{\Delta t} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

GR = Laju pertumbuhan (*Growth rate*)

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

L_o = Rata-rata luas karang awal penelitian

T = Waktu pengamatan (12 Minggu)

2.3.2 Tingkat Kelangsungan Hidup

Tingkat kelangsungan hidup karang *A. deshayesiana* dihitung dengan cara membandingkan jumlah fragmen karang yang hidup sampai akhir penelitian dengan jumlah fragmen awal. Tingkat kelangsungan hidup karang dihitung menggunakan rumus oleh Ricker, 1975 pada persamaan 2.

$$SR = \frac{N_t}{N_o} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

SR = Tingkat kelangsungan hidup karang (*Survival Rate*)

N_t = Jumlah individu pada akhir penelitian

N_o = Jumlah individu pada awal penelitian

2.3.3 Analisis Statistik

Analisis statistik yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut:

1. Perbedaan laju pertumbuhan fragmen karang *A. deshayesiana* pada masing-masing ukuran skeleton dianalisis dengan uji One-Way ANOVA. Sebelumnya dilakukan uji normalitas dan homogenitas untuk memastikan terpenuhinya asumsi uji ANOVA (Fried, 2013). Apabila terdapat perbedaan yang signifikan (< 0.05), analisis dilanjutkan dengan uji Post Hoc Bonferroni untuk mengetahui ukuran yang menunjukkan perbedaan laju pertumbuhan.
2. Tingkat kelangsungan hidup pada setiap ukuran skeleton karang dianalisis dengan statistik non parametrik Kaplan Meier (Analisis Survival time) yang akan menghasilkan output berupa kurva survival. Pada analisis survival terjadi *censored* (data tersensor) apabila hingga saat penelitian berakhir fragmen tidak mengalami kematian (Kleinbaum dan Klein, 2012). Setelah kurva tingkat kelangsungan hidup terbentuk dilakukan uji log rank (Mantel cox) untuk membandingkan kurva survival pada setiap ukuran skeleton karang berdasarkan hipotesis:

H_0 = tidak ada perbedaan kelangsungan hidup berdasarkan ukuran skeleton karang *A. deshayesiana* ($P = > 0.05$)

H_1 = terdapat perbedaan kelangsungan hidup berdasarkan ukuran skeleton karang *A. deshayesiana* ($P = < 0.05$)

Seluruh analisis statistik dilakukan dengan software IBM SPSS Statistics 25.

2. Hasil dan Pembahasan

2.1. Hasil

2.1.1 Parameter Kualitas Air Akuarium

Hasil pengukuran kualitas air akuarium selama 12 minggu pengamatan menunjukkan bahwa suhu tergolong stabil yaitu 25–26 °C. Nilai salinitas pada setiap minggu pengamatan tercatat stabil rata-rata sebesar 35 ppt. Nilai pH mengalami peningkatan bertahap, dimulai dari 8,16 pada minggu ke-1 dan mencapai nilai tertinggi 8,38 pada minggu ke-10, kemudian relatif stabil hingga minggu 12.

Nilai alkalinitas mengalami fluktuasi selama periode pengamatan, dengan kisaran nilai antara 2.28–2.61 meq/L. Kalsium pada kisaran 400–420 meq/L. Magnesium berfluktuasi berkisar antara 1200–1230 meq/L. Kadar nitrat mengalami fluktuasi antar minggu pengamatan, dengan nilai tertinggi 25

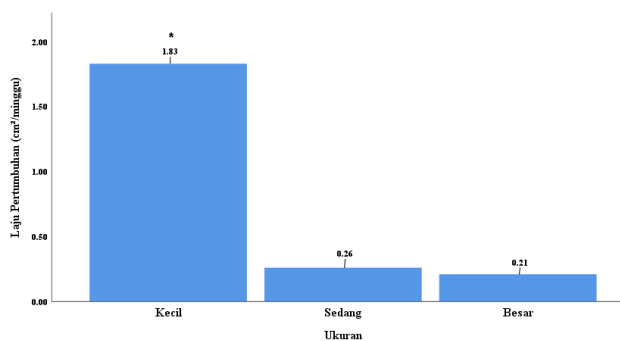
meq/L pada minggu 3 hingga minggu 6 serta nilai terendah 5 meq/L pada minggu 10 hingga minggu 12. Fosfat mengalami pola yang serupa yaitu mengalami fluktuasi pada kisaran 0–0,3 meq/L pada setiap minggu pengamatan (Tabel 1).

Table 1. Parameter Kualitas Air Akuarium

Minggu Ke-	Parameter							
	Suhu (°C)	Salinitas (ppt)	pH	Alkalinitas (meq/L)	Kalsium (meq/L)	Magnesium (meq/L)	Nitrat (meq/L)	Fosfat (meq/L)
1	25	35	8,16	2.28	400	1230	10	0.1
2	25	35	8,19	2.39	410	1230	15	0.1
3	26	35	8,25	2.50	400	1200	25	0.3
4	25	35	8,25	2.50	410	1230	25	0.3
5	26	35	8,25	2.50	400	1230	25	0.3
6	25	35	8,34	2.28	420	1200	25	0.3
7	26	35	8,33	2.28	410	1230	15	0.1
8	26	35	8,35	2.50	400	1200	15	0
9	25	35	8,37	2.50	410	1230	10	0
10	26	35	8,38	2.61	420	1230	5	0
11	25	35	8,35	2.61	410	1230	5	0
12	25	35	8,35	2.61	410	1230	5	0
Rata-rata	25	35	8,30	2.46	408	1223	15	0.1

2.1.2 Laju pertumbuhan karang *A. deshayesiana*

Laju pertumbuhan fragmen karang *A. deshayesiana* menunjukkan perbedaan antar setiap ukuran skeleton fragmen (Gambar 3), karang berukuran Kecil memiliki laju pertumbuhan tertinggi dibandingkan dengan karang berukuran Sedang maupun Besar.



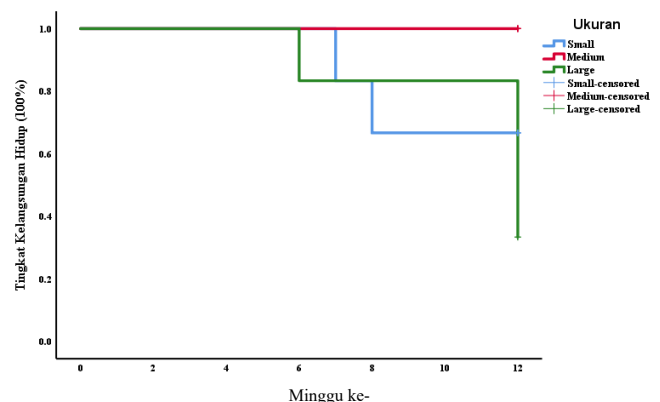
Gambar 3. Laju pertumbuhan total karang *A. deshayesiana* berdasarkan ukuran skeleton selama 12 minggu.

2.1.3 Tingkat Kelangsungan Hidup karang *A. deshayesiana*

Tingkat kelangsungan hidup karang *A. deshayesiana* menunjukkan adanya perbedaan berdasarkan ukuran skeleton (Tabel 4.2) Ukuran Sedang memiliki tingkat kelangsungan hidup tertinggi mencapai 100% dan Besar memiliki kelangsungan hidup paling rendah yaitu 33.3%. Kurva tingkat kelangsungan hidup karang *A. deshayesiana* disajikan pada gambar Gambar 4.

Tabel 2. Tingkat Kelangsungan hidup karang *A. deshayesiana*

Ukuran	Total N	N of Events	Censored	
			N	Percent
<i>Kecil</i>	6	2	4	66.7%
<i>Sedang</i>	6	0	6	100.0%
<i>Besar</i>	6	4	2	33.3%
<i>Overall</i>	18	6	12	66.7%



Gambar 4. Kurva Tingkat Kelangsungan Hidup Karang *A. deshayesiana*.

2.2 Pembahasan

2.1.1 Parameter Kualitas Air Akuarium

Data parameter kualitas air akuarium selama penelitian menunjukkan adanya fluktuasi pada beberapa variabel. Jika dibandingkan dengan baku mutu kualitas air laut Indonesia untuk biota laut (KepMen LH No. 51 Tahun 2004), parameter kualitas air

akuarium pada penelitian ini secara umum berada dalam kisaran yang masih dapat ditoleransi oleh karang *A. deshayesiana*.

Suhu air selama penelitian berkisar antara 25–26 °C, sedikit lebih rendah dibandingkan kisaran ideal perairan terumbu tropis ($\pm 28\text{--}30$ °C), namun masih berada dalam batas toleransi fisiologis karang dan tidak menunjukkan fluktuasi ekstrem. Kisaran ini juga sesuai dengan kebutuhan akuarium *ex situ* yang telah dibuat oleh PT. Tirta Samudra Bali. Suhu yang stabil berperan penting dalam menjaga metabolisme karang serta mengurangi risiko stres termal pada sistem pemeliharaan *ex situ* (Anthony *et al.*, 2017).

Salinitas memiliki nilai yang sangat stabil yaitu 35 ppt pada seluruh minggu pengamatan. Salinitas pada akuarium *ex situ* penelitian menunjukkan sistem akuarium terkontrol dengan baik dan sesuai dengan kondisi perairan laut alami. Salinitas yang konstan berperan dalam menjaga keseimbangan osmotik dan stabilitas fisiologis karang, yang penting bagi kelangsungan hidup karang dalam lingkungan tertutup (Ezzat *et al.*, 2016).

Nilai pH selama penelitian berada pada kisaran 8,16–8,38, kisaran ini masih berada dalam rentang baku mutu air laut untuk biota laut. pH yang relatif stabil mendukung proses kalsifikasi dan pembentukan skeleton karang, karena perubahan pH dapat secara langsung memengaruhi kemampuan karang dalam mengendapkan kalsium karbonat (Ziegler *et al.*, 2019).

Alkalinitas selama penelitian berada pada kisaran 2,28–2,61 meq/L, nilai ini relatif lebih rendah dibandingkan kisaran ideal akuarium laut. Alkalinitas yang stabil tetap berperan penting sebagai penyangga pH dan sumber ion karbonat yang dibutuhkan dalam proses kalsifikasi karang (Cyronak *et al.*, 2018). Selain itu, kestabilan alkalinitas diketahui lebih penting dibandingkan nilai absolutnya, karena fluktuasi alkalinitas yang tajam dapat menurunkan efisiensi kalsifikasi karang batu (Comeau *et al.*, 2017).

Konsentrasi kalsium terukur pada kisaran 400–420 meq/L, yang masih berada dalam rentang optimal untuk mendukung pembentukan skeleton karang. Ketersediaan kalsium yang memadai sangat penting dalam proses pengendapan kalsium karbonat dan berpengaruh langsung terhadap laju pertumbuhan karang batu (Langdon dan Atkinson, 2015). Selain itu, interaksi antara kalsium dan alkalinitas berperan dalam mengontrol laju kalsifikasi serta kestabilan struktur skeleton karang pada sistem perairan tertutup (Drenkard *et al.*, 2021).

Konsentrasi nitrat dan fosfat menunjukkan variasi selama penelitian, dengan kecenderungan menurun pada minggu-minggu

akhir. Pengendalian nutrisi menjadi faktor penting dalam pemeliharaan karang *ex situ*, karena peningkatan nitrat dan fosfat dapat memicu pertumbuhan alga dan menurunkan kesehatan karang (Fabricius *et al.*, 2016).

2.2.2 Laju pertumbuhan karang *A. deshayesiana*

Data laju pertumbuhan menunjukkan bahwa perbedaan ukuran skeleton berpengaruh terhadap laju pertumbuhan karang *A. deshayesiana* hasil fragmentasi. Skeleton berukuran S menunjukkan laju pertumbuhan yang lebih tinggi (7,33 cm²) dibandingkan dengan ukuran M (1,03 cm²) maupun L (0,83 cm²). Hal ini mengindikasikan bahwa ukuran skeleton memiliki pengaruh yang signifikan ($P < 0,05$) terhadap pertumbuhan karang hasil fragmentasi. Skeleton berukuran S cenderung memiliki rasio luas permukaan terhadap volume (*surface area to volume ratio*) yang lebih tinggi, sehingga mampu meningkatkan efisiensi difusi oksigen, pertukaran gas, penyerapan nutrisi, serta proses fotosintesis oleh *zooxanthellae*. Knapp *et al.* (2022) menyatakan bahwa rasio ini merupakan faktor utama yang mendorong pertumbuhan fragmen karang berukuran kecil. Oleh karena itu, hasil penelitian ini konsisten dengan prinsip biologis tersebut, meskipun variabel yang digunakan adalah ukuran skeleton.

Penelitian karang soliter yang dilakukan oleh Zulfikar dan Soedharma (2008) pada karang *Caulastrea* dan *Cynarina lacrymalis*, menunjukkan bahwa pertumbuhan karang *C. lacrymalis* hasil fragmentasi sangat dipengaruhi oleh ukuran fragmen. Karang *C. lacrymalis* dan *A. deshayesiana* adalah karang soliter dari famili Lobophylliidae dan memiliki kesamaan morfologi dari segi bentuk koralit, visual serta merupakan karang berdaging (*fleshy coral*) (Darus *et al.*, 2016). Keterkaitan ini memperkuat dugaan bahwa baik ukuran skeleton maupun ukuran fragmen memiliki peran penting dalam memengaruhi kecepatan pertumbuhan karang besar *polyp stony coral* (LPS) hasil fragmentasi.

Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian serupa pada genus karang lainnya. Penelitian Barton *et al.* (2020) pada fragmen karang *Acropora cervicornis* menunjukkan bahwa fragmen berukuran kecil memiliki tingkat pertumbuhan lebih cepat dibandingkan ukuran yang lebih besar. Hal ini dikaitkan dengan rasio luas permukaan terhadap volume, di mana fragmen kecil lebih efisien dalam penyerapan nutrisi dan pertukaran gas sehingga mendukung percepatan pertumbuhan jaringan.

Pada karang soliter seperti *A. deshayesiana*, hasil ini menunjukkan bahwa skeleton berukuran kecil lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan buatan (akuarium *ex situ*). Hal ini

mungkin terjadi karena jaringan pada skeleton kecil lebih mudah memfokuskan energi untuk pertumbuhan dibandingkan skeleton besar yang lebih banyak mengalokasikan energi untuk pemeliharaan jaringan lama (Anthony & Fabricius, 2000). Selain itu, parameter kualitas air pada fasilitas *ex situ* dapat mendukung pertumbuhan produktivitas karang (Merck., *et al* 2022). Parameter air pada penelitian menunjukkan suhu rata-rata terjaga pada kisaran 25°C, salinitas berada pada 35 ppt, pH relatif stabil di angka 8,0. Kisaran sesuai dengan standar optimal yang telah ditetapkan oleh PT. Tirta Samudra Bali di penangkaran *ex situ*. Stabilitas kualitas air dapat memperkuat dugaan bahwa perbedaan laju pertumbuhan lebih dipengaruhi oleh faktor ukuran skeleton daripada kondisi lingkungan. Dengan demikian, diketahui bahwa skeleton kecil lebih disarankan untuk kegiatan fragmentasi dan budidaya *A. deshayesiana* karena menunjukkan performa pertumbuhan yang lebih tinggi dibandingkan ukuran sedang maupun besar.

Dengan membandingkan hasil penelitian ini dengan berbagai studi terdahulu, dapat diketahui bahwa meskipun parameter yang digunakan berbeda yaitu ukuran skeleton dibandingkan ukuran fragmen, mekanisme biologis yang mendasarinya serupa. Baik skeleton maupun fragmen sama-sama menentukan luas permukaan jaringan hidup karang, yang pada akhirnya memengaruhi efisiensi fisiologis dan laju pertumbuhan. Penelitian melengkapi hasil penelitian terdahulu dengan memberikan perspektif baru bahwa ukuran skeleton dapat dijadikan salah satu variabel dalam pengembangan metode fragmentasi budidaya maupun konservasi karang hias, khususnya pada karang soliter *A. deshayesiana*.

2.2.3 Tingkat Kelangsungan Hidup Karang *A. deshayesiana*

Tingkat kelangsungan hidup fragmen karang *A. deshayesiana* selama masa pemeliharaan menunjukkan perbedaan antar kelompok ukuran. Berdasarkan kurva Kaplan–Meier, fragmen berukuran Sedang memiliki tingkat kelangsungan hidup tertinggi, yaitu mencapai 100% hingga akhir pengamatan, diikuti oleh ukuran Kecil sebesar 66,7 %, sementara ukuran Besar cenderung lebih rendah yaitu 33,3%. Keberhasilan transplantasi dapat diukur dengan mengetahui tingkat kelangsungan hidup karang pada akhir penelitian (Widiastuti., *et al* 2022). Hasil penelitian menunjukkan bahwa karang *A. deshayesiana* memiliki tingkat kelangsungan hidup bervariasi antar ukuran skeleton.

Pada ukuran L terjadi kematian sebanyak 1 individu di minggu ke-6 dan pada akhir penelitian minggu ke-12 sebanyak 3 individu. Hal ini menyebabkan ukuran L menurun pada akhir pengamatan, kematian pada ukuran L tersebut berkontribusi

terhadap hasil uji Log Rank yang menunjukkan perbedaan signifikan antar ukuran ($p = 0,030$). Karang berukuran L memiliki kelangsungan hidup terendah kemungkinan disebabkan oleh kebutuhan energi pemulihan jaringan yang lebih besar dan kapasitas biologis fragmen besar tidak mampu mengimbangi tekanan fisiologis pasca-fragmentasi. Dengan demikian, ukuran M memiliki tingkat kelangsungan hidup paling stabil (100% hingga akhir penelitian), diikuti oleh ukuran S yang mengalami kematian pada minggu ke-7 dan 8, namun kelangsungan hidupnya masih tergolong berhasil yaitu sebesar 66%. Kelangsungan hidup karang dikatakan berhasil jika nilainya berkisar antara 50 – 100% (Insafitri *et al.*, 2022).

Tingkat kelangsungan hidup fragmen karang *A. deshayesiana* antar ukuran skeleton juga dapat dikaitkan dengan respons karang terhadap kondisi lingkungan selama masa pemeliharaan. Salah satu faktor lingkungan yang diduga berperan penting terhadap kematian karang adalah kondisi nutrisi perairan, khususnya nitrat. Peningkatan konsentrasi nitrat diketahui dapat mengganggu keseimbangan simbiosis antara karang dan *zooxanthellae*, yang mengakibatkan penurunan efisiensi fotosintesis dan cadangan energi karang. Kondisi ini dapat menurunkan ketahanan karang terhadap stres lingkungan dan meningkatkan risiko kematian, terutama pada individu yang berada pada kondisi fisiologis kurang stabil (Fabricius *et al.*, 2017). Selain itu, pengayaan nutrisi juga diketahui mendorong pertumbuhan alga bentik yang berkompetisi langsung dengan karang.

Parameter pH dan alkalinitas juga berpotensi memengaruhi kelangsungan hidup karang. Meskipun nilai pH dan alkalinitas dalam penelitian ini masih berada dalam kisaran toleransi karang laut, fluktuasi yang terjadi dapat memengaruhi proses kalsifikasi dan kekuatan struktur skeleton karang. Perubahan pH dan alkalinitas, terutama ketika terjadi bersamaan dengan stres nutrisi, dapat memperlemah kemampuan karang dalam mempertahankan jaringan hidupnya (Anthony *et al.*, 2018). Kondisi ini dapat menjelaskan mengapa kematian karang mulai terjadi pada minggu-minggu tertentu meskipun tidak terdapat perubahan ekstrem pada satu parameter air saja.

Selain faktor kualitas air, pertumbuhan alga di sekitar skeleton fragmen karang diduga berperan sebagai faktor yang mempercepat mortalitas. Alga bentik dapat bersaing dengan karang dalam memperoleh ruang dan cahaya, menutupi permukaan skeleton, serta menghambat proses regenerasi jaringan karang. Beberapa studi menunjukkan bahwa kontak langsung antara alga dan karang dapat menurunkan pertumbuhan dan kelangsungan

hidup karang melalui mekanisme kompetisi fisik dan perubahan kondisi mikrohabitat di sekitar jaringan karang (Clements *et al.*, 2023). Kondisi ini sangat mungkin terjadi pada fragmen yang telah mengalami stres fisiologis sebelumnya akibat fluktuasi kualitas air.

Secara keseluruhan, kematian fragmen karang *A. deshayesiana* dalam penelitian ini tidak disebabkan oleh satu faktor tunggal, melainkan oleh kombinasi tekanan lingkungan, yaitu fluktuasi parameter kualitas air (terutama nutrisi, pH, dan alkalinitas) serta meningkatnya kompetisi dengan alga bentik di sekitar skeleton fragmen. Interaksi multipel faktor tersebut berkontribusi terhadap perbedaan tingkat kelangsungan hidup antar ukuran fragmen karang.

Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Laju pertumbuhan karang *A. deshayesiana* hasil fragmentasi dipengaruhi secara signifikan oleh ukuran skeleton yang digunakan. Skeleton berukuran kecil menunjukkan laju pertumbuhan tertinggi sebesar 1,83 cm², jauh lebih tinggi dibandingkan ukuran sedang sebesar 0,26 cm² dan besar sebesar 0,21 cm².
2. Skeleton juga memengaruhi tingkat kelangsungan hidup fragmen karang *A. deshayesiana*. Skeleton berukuran sedang memiliki tingkat kelangsungan hidup tertinggi (100%), diikuti oleh ukuran kecil (66,7%), dan ukuran besar (33,3%).

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Candra Setiawan selaku direktur Reefmaster Bali yang telah memberikan izin dan kesempatan melakukan penelitian di PT. Tirta Samudra Bali dan Bapak Adrian Rahman Septiandi selaku staff PT. Tirta Samudra Bali yang membantu memberi informasi, memberikan pengarahan dan masukan kepada penulis.

Daftar Pustaka

Alif, S. Al., Karang, I. W. G. A., & Suteja, Y. (2017). Analisis Hubungan Kondisi Perairan dengan Terumbu Karang di Desa Pemuteran Buleleng Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 3(2), 142. <https://doi.org/10.24843/jmas.2017.v3.i02.142-153> jurnal

Anthony, K. R. N., & Fabricius, K. E. (2000). Shading influences coral photosynthesis and bleaching. *Coral Reefs*, 19(1), 85–94. <https://doi.org/10.1007/s003380050227>

Anthony, K. R. N., Kleypas, J. A., & Gattuso, J.-P. (2018). Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science*, 359(6376), 83–87. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aar3321>

Barton, J. A., Willis, B. L., & Hutson, K. S. (2020). Coral propagation: a review of techniques for ornamental trade and reef restoration. *Reviews in Aquaculture*, 12(2), 1214–1234. <https://doi.org/10.1111/raq.12374>

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. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v10i3.21516>

Clements, C. S., Burns, A. S., Stewart, F. J., & Hay, M. E. (2020). Seaweed-coral competition in the field: effects on coral growth, photosynthesis and microbiomes require direct contact. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 287(1927), 20200366. <https://doi.org/10.1098/rspb.2020.0366>

Darus, R. F., Zamani, N. P., Suharsono, & Solihin, D. D. (2016). *Acanthophyllia deshayesiana* (Michelin, 1850) Coral Species Is Not Synonym With *Cynarina lacrymalis* (Milne Edwards & Haime, 1848). *Ilmu Kelautan: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 21(3), 107. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.21.3.107-116>

Deva, A. A., Dirgayusa, I. G. N. P., & Widiastuti. (2021). Pertumbuhan dan Tingkat Kelangsungan Hidup Donor Transplan Karang *Acropora hyacinthus* Berdasarkan Ukuran Panjang Awal Fragmen yang Berbeda. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 7(2), 249. <https://doi.org/10.24843/jmas.2021.v07.i02.p14>

Dewi, K. V. C., Pradesti, R., Nurlaela, S., Murnisari, Y., Suryanda, A., & Aulya, N. R. (2023). Dampak Perubahan Iklim dan Aktivitas Manusia terhadap Kerusakan Ekosistem Terumbu Karang dan Biota Laut di Sekitarnya. *Panthera : Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains Dan Terapan*, 3(1), 7–12. <https://doi.org/10.36312/pjipst.v3i1.138>

Drenkard, E. J., Cohen, A. L., McCorkle, D. C., de Putron, S. J., Starczak, V. R., and Zicht, A. E. (2021). Calcification by juvenile corals under heterotrophy and elevated CO₂. *Coral Reefs*, 40, 763–775. <https://doi.org/10.1007/s00338-021-02079-5>

Fabricius, K. E., Cséke, S., Humphrey, C., & De'ath, G. (2017). Does eutrophication degrade coral reef resilience? *Global Change Biology*, 23(9), 3432–3444. <https://doi.org/10.1111/gcb.13645>

Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (4th ed.). London: Sage Publications Ltd.

Hermansyah, & Febriani, F. (2020). Dampak Kerusakan Lingkungan Ekosistem Terumbu Karang. *Jurnal Kependudukan dan Pembangunan Lingkungan*, 1(3).

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). <https://doi.org/10.21107/jk.v14i3.12919>

Kleinbaum, D. G., & Klein, M. (2012). *Survival analysis: A self-learning text* (3rd ed.). New York: Springer.

Knapp, I. S. S., Park, D. I., Meyer, J. L., Rogers, C. S., & Davies, S. W. (2022). Coral micro-fragmentation assays for optimizing active reef restoration efforts. *Scientific Reports*, 12(1), 12820. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16624-y>

Langdon, C., and Atkinson, M. J. (2015). Effect of elevated pCO₂ on photosynthesis and calcification of corals and interactions with seasonal change in temperature/irradiance and nutrient enrichment. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 110(C9). <https://doi.org/10.1029/2004JC002576>

Merck, D. E., Petrik, C. G., Manfroy, A. A., & Muller, E. M. (2022). Optimizing seawater temperature conditions to increase the productivity of ex situ coral nurseries. *PeerJ*, 10, e13017. <https://doi.org/10.7717/peerj.13017>

Thamrin. (2017). *Karang Biologi Reproduksi & Ekologi*. UR Press Pekan Baru

Widiastuti, K. A., Kusuma Yuni, L. P. E., & Astarini, I. A. (2023). *Stylophora pistillata*: Effect of fragment size and water depth on growth rate of transplanted coral. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*, 25(1). <https://doi.org/10.22146/jfs.77207>

Widiastuti. (2019). Tingkat Kelulushidupan Karang *Acropora jacquelineae* pada Fragmentasi dan Transplantasi di Dalam dan Luar Air. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 5(2), 273. <https://doi.org/10.24843/jmas.2019.v05.i02.p15>

Zulfikar, & Soedharma, D. (2008). Teknologi Fragmentasi Buatan Karang (*Caulastrea furcata* dan *Cynarina lacrymalis*) dalam Upaya Percepatan Pertumbuhan pada Kondisi Terkontrol. *Jurnal Natur Indonesia*, 10(2), 76–82