



Pertumbuhan *Crustose Coralline Algae* (CCA) pada Substrat Keramik dengan Komposisi dan Jenis Material Penyusun yang Berbeda

Growth of Crustose Coralline Algae (CCA) on Ceramic Substrates with Different Composition and Types of Composite Material

ANAK AGUNG NGURAH AGUNG INDRA WIJAYA^{1,2,*}, I PUTU ANGGA KRISTYAWAN¹, I GUSTI BAGUS SILA DHARMA²

¹Pusat Riset Material Maju, Organisasi Riset Nanoteknologi dan Material, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Tangerang Selatan, 15314, Indonesia

²Program Studi Magister Teknik Lingkungan, Universitas Udayana, Bali, 80361, Indonesia

*anak003@brin.go.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received 6 October 2023

Accepted 19 December 2023

Published 31 January 2024

Keywords:

Crustose Coralline Algae (CCA)

Material Composition

Material Type

Ceramicsne

ABSTRACT

The low level of coral reef ecosystems in excellent condition in Bali waters shows the need for rehabilitation and restoration efforts on coral reefs. Crustose Coralline Algae (CCA) plays an essential role as a trigger for the attachment and metamorphosis of coral planules because it can produce chemical signals that the planula can perceive as instructions for attachment to the substrate. It is necessary to pay attention to the materials that make up the substrate. One of the substrate materials that can be used is ceramic. This research aims to determine the effectiveness of ceramics as a material for making artificial reefs on CCA growth. The effectiveness of ceramics is measured based on the type and composition of the ceramic materials. Each ceramic substrate was tested for surface texture, material composition and water absorption level. The data collected consists of water quality and CCA coverage. Differences in CCA coverage on the composition and type of material making up the ceramic substrate were analyzed using the two-way ANOVA test. The results showed that the use of 5% composition of all types of materials provided a significantly higher difference in CCA coverage, and ceramic waste (grog) provided a significantly higher difference in CCA coverage than other materials. Based on the two-way ANOVA test ($P = 0.195$), it shows that the interaction between the percentage of composition and the type of additional material does not significantly influence CCA coverage.

INFORMASI ARTIKEL

Histori artikel:

Diterima 6 Oktober 2023

Disetujui 19 Desember 2023

Diterbitkan 31 Januari 2024

Kata kunci:

Crustose Coralline Algae (CCA)

Komposisi Material

Jenis Material

Keramik

ABSTRAK

Rendahnya ekosistem terumbu karang dalam kondisi sangat baik di Perairan Bali menunjukkan perlunya upaya rehabilitasi dan restorasi terhadap terumbu karang. *Crustose Coralline Algae* (CCA) berperan penting sebagai pemicu penempelan dan metamorfosis planula karang karena dapat menghasilkan sinyal kimia yang dapat ditangkap planula sebagai petunjuk melakukan penempelan pada substrat. Bahan penyusun substrat perlu diperhatikan, salah satu bahan substrat yang dapat digunakan adalah keramik. Penelitian ini secara umum bertujuan untuk mengetahui efektivitas keramik sebagai material penyusun terumbu buatan terhadap pertumbuhan CCA. Efektivitas keramik diukur berdasarkan jenis dan komposisi bahan penyusun keramik. Pada masing-masing substrat keramik dilakukan pengujian tekstur permukaan, komposisi bahan, dan tingkat penyerapan air. Data yang dikumpulkan terdiri atas data kualitas air dan tutupan CCA. Perbedaan tutupan CCA pada komposisi dan jenis material penyusun substrat keramik dianalisis dengan uji ANOVA dua arah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan 5% komposisi semua jenis material memberikan perbedaan tutupan CCA yang secara signifikan lebih tinggi dan limbah keramik (grog) memberikan perbedaan tutupan CCA yang secara signifikan daripada material lainnya. Berdasarkan uji ANOVA dua arah ($P = 0,195$) menunjukkan bahwa interaksi faktor persentase komposisi dan jenis material bahan tambahan tidak signifikan memberikan pengaruh terhadap tutupan CCA

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Provinsi Bali memiliki sebaran ekosistem terumbu karang di Kawasan Ekoregion Lesser Sunda dengan luas mencapai 6.948 ha. Sebanyak 96 *site* terumbu karang pada kedalaman 3–5 m telah dipantau untuk mengetahui status kondisinya (Restu, 2016) dimana sebanyak 13 *site* dalam kondisi sangat baik (17,11%), kondisi baik 28 *site* (36,84%), kondisi sedang 23 *site* (30,26%), dan kondisi buruk 12 *site* (15,79%). Rendahnya persentase karang dengan kondisi sangat baik di Perairan Bali baik pada kedalaman 3–5 m maupun 7–10 m mengindikasikan kerentanan ekosistem terumbu karang yang ada. Oleh karena itu, diperlukan adanya suatu upaya rehabilitasi dan restorasi terumbu karang. Teknologi yang dapat digunakan untuk merehabilitasi maupun merestorasi ekosistem terumbu karang diantaranya adalah transplantasi terumbu karang (Gomez *et al.*, 2007) dan terumbu karang buatan (Kalam *et al.*, 2018; Kennedy *et al.*, 2017).

Terumbu karang buatan pada dasarnya adalah koloni karang yang sengaja ditumbuhkan dengan menggunakan struktur atau media tumbuh buatan (Wodak, 2018). Struktur terumbu buatan tersebut menjadi substrat bagi larva karang (*planula*) untuk menempel dan kemudian tumbuh membentuk koloni. Salah satu faktor keberhasilan dari penempelan adalah rekrutmen karang. Rekrutmen karang berkaitan dengan keberhasilan penempelan larva karang hingga terbentuk koloni pada substrat dalam jangka waktu tertentu, di mana hal ini menjadi proses penting dalam penyusunan komponen terumbu karang (Abrar, 2015). Larva karang akan mencari bahan biokimia (*biofilm*) di permukaan substrat yang dibentuk oleh komunitas alga, diatom, dan/atau bakteri (Rahman *et al.*, 2014). *Biofilm* yang dibentuk oleh komunitas *Crustose Coralline Algae* (CCA) lebih disukai sebagai substrat penempelan oleh larva karang (Elmer, 2017). *Crustose Coralline Algae* (CCA) merupakan salah satu jenis alga merah dengan dinding sel mengandung kalsium karbonat. *Crustose Coralline Algae* (CCA) berperan penting sebagai pemicu penempelan dan metamorfosis *planula* karang karena dapat menghasilkan sinyal kimia yang dapat ditangkap oleh *planula* sebagai petunjuk untuk melakukan penempelan pada substrat (Pilly *et al.*, 2013). Sehingga adanya CCA dapat menjadi salah satu tolok ukur keberhasilan rekrutmen karang (Elmer, 2017).

Pertumbuhan CCA dipengaruhi oleh beberapa faktor. Penelitian yang dilakukan oleh Putri *et al.* (2021) menunjukkan perbedaan pertumbuhan CCA pada substrat kolektor di Perairan Malang Selatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara keseluruhan dalam periode waktu tertentu terdapat perbedaan yang signifikan pada persentaseutupan CCA dan jumlah koloni pada jenis substrat kolektor yang berbeda. Salah satu materi substrat yang dapat digunakan yaitu keramik. Keramik memiliki topografi permukaan yang dianggap memiliki potensi perekrutan karang yang lebih besar dibandingkan bahan lainnya (Kennedy *et al.*, 2017). Penggunaan keramik sebagai jenis material pada terumbu karang buatan menunjukkan efektifitas paling tinggi dalam kolonisasi ikan karang dibandingkan substrat dengan jenis material beton maupun

PVC (Kalam *et al.*, 2018). Lebih lanjut lagi, Antink *et al.* (2018) menjelaskan bahwa pada substrat keramik banyak larva karang yang menempel sehingga substrat keramik ini sangat diterima dengan baik oleh larva karang.

Pemanfaatan keramik sebagai terumbu karang buatan membutuhkan biaya produksi yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan lain seperti beton dari semen maupun PVC (Spurgeon & Lindahl, 2000). Namun demikian, nilai ekonomis tidak hanya dilihat dari biaya saja melainkan perlu memperhatikan nilai manfaatnya. Dengan memanfaatkan keramik sebagai media tumbuh terumbu karang dapat mempercepat pertumbuhan karang yang berdampak pada kelestarian alam, industri perikanan tangkap, dan juga pemanfaatan sebagai industri pariwisata masyarakat pesisir (Spurgeon & Lindahl, 2000). Selain itu, bahan komposisi keramik merupakan bahan yang dapat dipadupadankan dengan bahan tambahan lain untuk modifikasi karakteristiknya. Sebagai contoh adalah porositas dari keramik. Keramik yang memiliki tingkat porositas tinggi secara umum disebut dengan keramik berpori. Keramik berpori adalah keramik yang mempunyai rongga-rongga kecil yang dapat ditembus oleh zat cair. Keramik berpori diidentifikasi sebagai substrat yang cocok untuk berbagai kebutuhan di bidang akuakultur (Antink *et al.*, 2018). Tingkat keporian dapat diatur dengan jumlah maupun jenis bahan penyusun tambahan yang digunakan pada keramik (Purbasari *et al.*, 2018; Putri & Setorini, 2023).

Pengaruh bahan penyusun substrat keramik terhadap tahap awal pertumbuhan karang atau terbentuknyautupan CCA belum banyak diketahui. Penelitian mengenai bahan penyusun substrat keramik penting dilakukan terutama untuk dapat mengurangi biaya pembuatan dan menghasilkan substrat yang unggul. Hal ini dapat memaksimalkan potensi keramik sebagai substrat terumbu karang buatan yang selanjutnya membantu proses percepatan upaya rehabilitasi dan restorasi terumbu karang.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini secara umum bertujuan untuk mengetahui pengaruh bahan penyusun keramik sebagai substrat terhadap pertumbuhan CCA. Pengaruh bahan diukur berdasarkan jumlah dan jenis bahan penyusun substrat keramik yang dikaitkan dengan persentaseutupan CCA yang tumbuh pada substrat.

2. METODE

2.1 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini diantaranya adalah timbangan digital merek AMD dengan ketelitian hingga 0,1 gram, ayakan berukuran 100 *mesh*, tungku bakar gas dengan maksimal temperatur hingga 1.400 °C, *Field emission scanning electron microscopy* (FESEM) *Thermo Scientific Quattro S* yang dilengkapi dengan *Energy-dispersive X-ray spectroscopy* (EDS) *Detector*, akuarium air laut dengan ukuran 450 cm x 100 cm x 36 cm, sumber cahaya *Photosynthetically active radiation* (PAR) menggunakan *Quantum Flux apogee* dengan *range* pengukuran 0–4.000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$, *microscope digital* yang dilengkapi dengan lensa objektif 4x, 10x, S40x, dan S100x, lampu akuarium *Double*

Vita Mini yang menghasilkan cahaya dengan kecerahan: 7000–8000k, rak dasar substrat keramik di akuarium (*egg crate*) berukuran 60 cm x 50 cm, alat ukur temperatur yang digunakan adalah termometer dengan *range* suhu 0–40 °C, pH meter merek Roulan, pengukuran kalsium (CaCO₃) dilakukan dengan menggunakan *test kit exact idip* (570 nm) dengan *range* 292–600 ppm, pengukuran magnesium, nitrat, dan fosfat masing-masing diukur dengan *test kit* merek Salifert dengan *range* pengukuran 30–1.500 ppm, 0,2–100 mg/L dan 0–3 ppm, bahan pembuatan substrat keramik menggunakan lempung Kalimantan yang memiliki kualitas baik dalam pembuatan keramik (Tusniari et al., 2018; Wendri et al., 2020). Bahan tambahan yang digunakan sebagai pembentuk pori adalah arang, limbah keramik (*grog*), dan tepung roti (Pratama et al., 2016; Rahayu, 2017; Rokhim, 2021).

2.2 Prosedur Penelitian

Substrat keramik yang akan diuji dibuat menggunakan teknik cetak tekan. Substrat memiliki dimensi 5 cm x 5 cm x 0,5 cm. Substrat tersebut terdiri atas campuran lempung Kalimantan dan bahan tambahan. Bahan tambahan yang digunakan adalah arang, *grog*, dan tepung roti. Masing-masing bahan tambahan dicampurkan ke dalam lempung dengan persentase 5%, 15%, dan 25%. Komposisi bahan yang digunakan untuk substrat dapat dilihat pada Tabel 1. Substrat yang telah dicetak kemudian dibakar pada suhu 1.050 °C selama 8 jam. Setelah mencapai suhu 1.050 °C, kemudian suhu dijaga mendekati konstan selama 2 jam. Substrat yang telah dibakar kemudian diukur porositas dan penyerapan airnya menggunakan persamaan (1) dan (2). Substrat tersebut juga dianalisa menggunakan FESEM EDS untuk mengetahui morfologi permukaan serta komposisi kimiawinya.

$$\text{Penyerapan air} = \frac{mb - mk}{mk} \times 100 \% \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Porositas} = \frac{mb - mk}{v} \times 100 \% \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

- mb = massa kering substrat (gram)
- mk = massa basah substrat setelah direndam selama 24 jam dalam aquadest (gram)
- v = volume dari substrat (cm³)

Tabel 1. Komposisi substrat keramik

Bahan	Bahan Tambahan	Komposisi (%)		Kode
Lempung	Arang	95	5	A1
Lempung	Arang	85	15	A2
Lempung	Arang	75	25	A3
Lempung	<i>grog</i>	95	5	B1
Lempung	<i>grog</i>	85	15	B2
Lempung	<i>grog</i>	75	25	B3
Lempung	Tepung roti	95	5	C1
Lempung	Tepung roti	85	15	C2
Lempung	Tepung roti	75	25	C3

Sebelum meletakkan substrat keramik di dasar akuarium, terlebih dahulu dilakukan pengukuran intensitas cahaya menggunakan alat PAR. Hal ini untuk memastikan

bahwa semua substrat keramik mendapatkan kisaran intensitas cahaya yang relatif sama sepanjang penelitian berlangsung. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kisaran intensitas cahaya pada posisi peletakan substrat keramik yaitu 60–100 μmol *photons/m²s* dengan durasi pencahayaan 12 jam terang dan 12 jam gelap. Kemudian substrat keramik diletakkan di dasar akuarium. Posisi penempatan dengan jarak antar substrat 2 cm pada horizontal dan untuk vertikal tanpa jarak. Posisi masing-masing substrat dirotasi setiap 2 kali seminggu agar semua substrat mendapatkan intensitas cahaya yang sama. Sebagai kontrol, pada rak peletakan substrat keramik juga diletakkan substrat dari bahan baku campuran semen dan pasir yang merupakan tipe substrat yang umum digunakan di perusahaan budidaya karang hias.

Pemeliharaan substrat dilakukan dengan cara membersihkan alga pada sekitar rak penempatan substrat setiap dua kali dalam seminggu. Selain pembersihan alga, kualitas air akuarium dikontrol agar stabil selama waktu pemeliharaan. Pemeliharaan berlangsung dalam jangka waktu 1 bulan. Parameter kualitas air pada akuarium yang diukur meliputi suhu, salinitas, pH, alkalinitas (dKH), konsentrasi kalsium (Ca), magnesium (Mg), nitrat (NO₃⁻), dan fosfat (PO₄³⁻).

Pengukuran tutupan CCA pada substrat dilakukan pada akhir pemeliharaan. Substrat diangkat keluar akuarium dan didokumentasikan. Hasil dokumentasi kemudian dianalisa melalui ukuran *pixel* yang dibandingkan dengan ukuran acuan menggunakan *software Image-J* (Kurniawan et al., 2011). Luas tutupan CCA pada substrat keramik dihitung menggunakan persamaan (3)(Guntur et al., 2023).

$$\text{Tutupan} = \frac{\text{Luasan tutupan CCA}}{\text{Luas Substrat Keramik}} \times 100 \% \dots\dots\dots(3)$$

Untuk mengetahui hubungan antara luas tutupan CCA terhadap jenis bahan tambahan dan terhadap persentase bahan tambahan dalam substrat maka dilakukan uji statistik menggunakan metode uji ANOVA dua arah (Sornnery et al., 2018).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kualitas Air

Nilai parameter kualitas air selama penelitian berlangsung disajikan pada Tabel 2. Parameter-parameter kualitas air akuarium yang ditempatkan substrat-substrat keramik menunjukkan nilai yang relatif stabil sepanjang pengamatan. Rerata suhu akuarium yaitu 26 °C, salinitas yaitu 39 ppm, pH yaitu 8,1, alkalinitas rata-rata 9,4 dKH, konsentrasi kalsium yaitu 525 ppm, konsentrasi magnesium yaitu 1.482 ppm, konsentrasi nitrat yaitu 3 ppm, dan konsentrasi fosfat yaitu 0,03 ppm. Kualitas air tersebut telah mendukung untuk penumbuhan CCA dimana kadar suhu di atas 25 °C (Samman & Achmad, 2023; Raikar et al., 2001; Arfah & Patty, 2014), salinitas dalam rentang 27–40 ppm, pH dalam rentang 8,0–8,1 (Lunning, 1991). Alkalinitas dalam rentang 7–12,6 dKH (Borneman, 2008), konsentrasi kalsium (Ca) tinggi (Drazenovic & Fagan, 2015), konsentrasi nitrat yang termasuk tingkatan sedang dan mampu menunjang pertumbuhan alga maupun fitoplankton (Mustofa, 2015),

serta kadar fosfat yang masih berada pada kisaran yang mendukung pertumbuhan karang (Borneman, 2008; Kementerian Lingkungan Hidup, 2004; Dunn *et al.*, 2012).

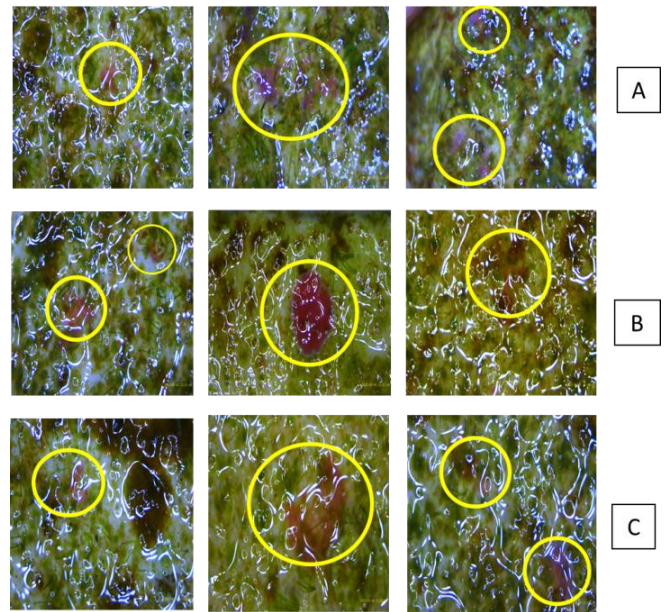
3.2 Karakteristik Substrat Keramik

Karakteristik dari substrat keramik yang diukur adalah kandungan kimiawi, porositas, dan penyerapan air. Hasil karakterisasi dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa seluruh substrat kaya akan unsur C, O, Al, dan Si. Kemampuan penyerapan air dan tingkat porositas dari substrat lebih tinggi jika dibandingkan dengan keramik yang hanya berbahan dasar lempung Kalimantan (Tussniari *et al.*, 2018). Hal ini menunjukkan penambahan bahan berupa arang, *grog*, dan tepung roti dapat meningkatkan keporian dari keramik. Bahan tambahan tepung roti memberikan kemampuan penyerapan air tertinggi dibandingkan bahan lainnya. Nilai porositas untuk ketiga substrat memiliki porositas di atas 30%.

3.3 Pertumbuhan CCA pada Substrat Keramik

Pertumbuhan CCA pada substrat keramik dalam masa pertumbuhan selama 1 bulan dengan menggunakan mikroskop digital terlihat pada Gambar 1. Bercak-bercak merah muda dan merah yang terlihat pada Gambar 1 melalui pengamatan mikroskop digital dengan rentang waktu 1 bulan menandakan telah terjadi pertumbuhan di atas substrat. Bercak merah dan merah muda atau CCA

mengacu pada bentuk pertumbuhannya berbentuk kerak atau lapisan tipis yang menempel pada substrat, dan mengendapkan kalsium karbonat pada sel-selnya yang menyebabkan CCA ini memiliki tekstur yang keras seperti kerangka karang (Bôas *et al.*, 2005).



Gambar 1. Pertumbuhan CCA ditandai dalam lingkaran pada substrat keramik dengan 5% bahan tambahan (A: arang, B: *grog*, C: tepung roti)

Tabel 2. Parameter-parameter kualitas air akuarium penelitian

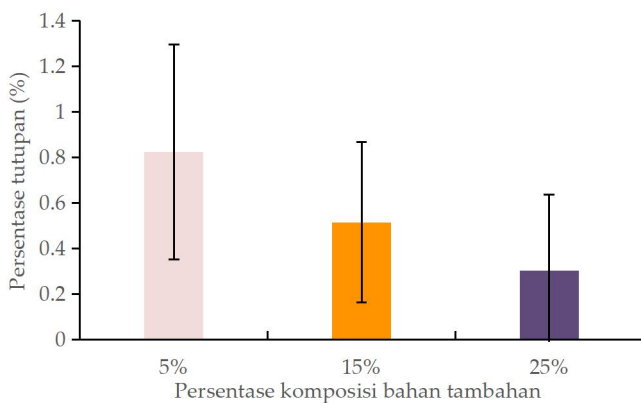
Hari Ke-	Suhu (°C)	Salinitas (ppm)	pH	KH (dKH)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	NO ₃ ⁻ (ppm)	PO ₄ ³⁻ (ppm)
1	26	38,9	8,1	9,4	520	1500	3	0,03
4	26	38,9	8,1	9,5	530	1440	3	0,03
7	26	38,9	8,1	9,3	530	1500	3	0,03
12	26	38,9	8,1	9,3	520	1470	2	0,03
15	26	38,9	8,1	9,3	520	1470	3	0,03
18	26	38,9	8,1	9,4	530	1500	3	0,03
21	26	38,9	8,1	9,5	520	1440	2	0,03
24	26	38,9	8,0	9,4	520	1500	2	0,03
27	26	38,9	8,0	9,4	540	1500	3	0,03
30	26	38,9	8,1	9,0	520	1500	3	0,03

Tabel 3. Karakteristik substrat keramik

Element (wt%)	Komposisi substrat keramik								
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
C	23,84	20,94	25,67	28,04	22,53	19,16	26,42	27,70	21,78
O	40,71	42,39	38,32	38,03	42,40	41,97	38,25	40,54	40,67
Mg	1,87	1,80	0,78	0,87	1,23	1,17	0,82	1,35	1,19
Al	9,52	10,01	10,24	10,47	10,13	11,62	10,23	9,33	10,04
Si	21,17	22,02	22,22	20,44	20,99	22,96	21,35	18,87	23,43
K	1,35	1,38	1,40	1,28	1,33	1,40	1,33	1,02	1,49
Ti	0,70	0,61	0,53	0,00	0,54	0,67	0,76	0,42	0,57
Fe	0,84	0,85	0,84	0,86	0,85	1,05	0,83	0,77	0,82
Penyerapan Air (%)	13,20	21,70	30,30	11,60	13,00	14,20	15,40	25,10	34,70
Porositas (%)	33,10	43,40	55,90	30,70	39,00	41,00	36,30	44,60	49,10

3.4 Tutupan CCA pada Substrat Keramik dengan Komposisi Jenis Material yang Berbeda

Rerata tutupan CCA pada substrat keramik dengan komposisi jenis material yang berbeda ditampilkan pada Gambar 2. Berdasarkan uji statistik komposisi material penyusun substrat keramik yang berbeda secara signifikan memberikan tutupan CCA yang berbeda (uji ANOVA dua arah, $P = 0,000$). Komposisi material penyusun substrat keramik yang memberikan perbedaan yaitu 5% yang secara signifikan menunjukkan tutupan CCA lebih tinggi daripada komposisi material penyusun 15% (uji Tukey HSD, $P = 0,030$) dan 25% (uji Tukey HSD, $P = 0,000$). Namun, komposisi material penyusun substrat keramik 15% (uji Tukey HSD, $P = 0,177$) dan 25% (uji Tukey HSD, $P = 0,177$) tidak memberikan perbedaan terhadap tutupan CCA.



Gambar 2. Perbandingan rata-rata tutupan CCA pada substrat keramik berdasarkan persentase komposisi bahan tambahan

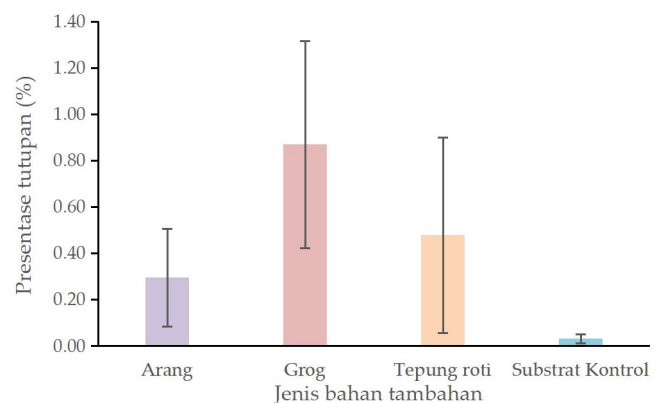
Tutupan CCA tertinggi pada penelitian ini didapatkan pada komposisi material untuk substrat 5%. Hal ini diduga disebabkan oleh perbedaan kandungan material tertentu penyusun substrat. Berdasarkan hasil uji SEM-EDS, penggunaan komposisi 5% memiliki konsentrasi Mg yang lebih rendah dibandingkan komposisi lainnya pada semua jenis material. Konsentrasi Mg yang tinggi pada substrat menyebabkan laju pengendapan kalsium karbonat (CaCO_3) berkurang (Morse *et al.*, 2006). Hal ini dikarenakan tingkat kelarutan magnesium karbonat (MgCO_3) lebih rendah dari kalsium karbonat (Chave, 1961). Dengan demikian, rendahnya laju pengendapan kalsium karbonat dalam air laut menurunkan pertumbuhan CCA di mana kalsium karbonat merupakan bahan utama penyusun dinding sel CCA (Kuffner *et al.*, 2008; Mackenzie *et al.*, 1983).

Hasil uji tingkat porositas dan penyerapan air substrat keramik berdasarkan komposisi dan jenis material, penggunaan material dengan komposisi 5% memberikan tingkat porositas yang lebih rendah daripada komposisi 15% dan 25%, walaupun tingkat porositas dan penyerapan air ini bervariasi antar jenis material yang digunakan. Tingkat porositas yang rendah pada substrat keramik berimplikasi pada tingkat penyerapan air yang juga rendah. Diduga pertumbuhan CCA tidak membutuhkan suplai air laut yang lebih dari yang disediakan dengan penggunaan material dengan komposisi 5%. Asumsi ini didukung oleh hasil penelitian Antink *et al.* (2018) yang juga menunjukkan

tingginya tingkat porositas substrat keramik tidak menjadi faktor utama dalam pertumbuhan CCA.

3.5 Perbedaan Tutupan CCA Berdasarkan Jenis Material Penyusun yang Berbeda

Rerata tutupan CCA pada substrat keramik dengan jenis material penyusun yang berbeda ditampilkan pada Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3, jenis material penyusun substrat keramik yang berbeda secara signifikan memberikan perbedaan terhadap tutupan CCA (uji ANOVA dua arah, $P = 0,000$). Jenis material penyusun substrat keramik yang memberikan perbedaan signifikan tersebut yaitu *grog*, dimana *grog* memberikan tutupan CCA secara signifikan lebih tinggi daripada arang (uji Tukey HSD, $P = 0,000$) dan tepung roti (uji Tukey HSD, $P = 0,005$). Namun, penggunaan arang (uji Tukey HSD, $P = 0,265$) dan tepung roti (uji Tukey HSD, $P = 0,265$) sebagai jenis material penyusun substrat keramik secara signifikan tidak memberikan perbedaan terhadap tutupan CCA. Untuk substrat kontrol tidak diikuti dalam uji ANOVA dua arah, dikarenakan nilai tutupan CCA sangat kecil yaitu 0,0305 dibandingkan nilai tutupan untuk substrat keramik.



Gambar 3. Perbandingan rerata tutupan CCA pada substrat keramik berdasarkan jenis bahan tambahan penyusun

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan jenis material *grog* pada substrat keramik secara signifikan memberikan tutupan CCA yang lebih tinggi dibandingkan arang dan tepung roti. Hal ini diduga berkaitan dengan konsentrasi karbon yang lebih tinggi yang dimiliki *grog* dibandingkan jenis material lainnya. Berdasarkan uji SEM-EDS, konsentrasi karbon *grog* mencapai 28,04 wt%, sedangkan arang yaitu 23,84 wt%, dan tepung roti yaitu 26,42 wt%. Kandungan karbon tersebut diduga berfungsi sebagai sumber karbon untuk proses fotosintesis selain CO_2 terlarut dalam air laut (de Goeij *et al.*, 2008; Ordoñez *et al.*, 2019; van der Heijden & Kamenos, 2015).

Signifikansi penggunaan jenis material *grog* pada substrat keramik untuk penempelan CCA diduga juga berkaitan dengan tingkat porositas dan penyerapan air. *Grog* memberikan tingkat porositas dan penyerapan air yang paling rendah di antara jenis material arang dan tepung roti dan pada masing-masing komposisi. Hasil uji juga menunjukkan bahwa peningkatan komposisi jenis material *grog* yaitu 5% menjadi 15% kemudian 25%, memberikan

peningkatan tingkat penyerapan air dan porositas yang lebih rendah dibandingkan penggunaan material lainnya. Hasil ini kembali mengindikasikan kebutuhan air untuk pertumbuhan CCA dalam jumlah tertentu seperti misalnya pada hasil penelitian Kennedy *et al.* (2017) yang menunjukkan pertumbuhan CCA pada kaca, yang merupakan material hampir tidak berpori, setara dengan *limestone*.

3.6 Interaksi antara Komposisi dan Jenis Material Penyusun Substrat Keramik yang Berbeda terhadap Tutupan CCA

Uji pengaruh antar subjek (*tests of between-subjects effects*) menunjukkan bahwa interaksi antara komposisi dan jenis material penyusun substrat keramik tidak memberikan perbedaan terhadap tutupan CCA (uji ANOVA dua arah, $P = 0,195$). Hasil uji ANOVA dua arah menunjukkan bahwa penggunaan komposisi dan jenis material substrat keramik yang berbeda dalam penelitian ini tidak secara signifikan memberikan perbedaan pada tutupan CCA. Dugaan ini didukung oleh hasil pengujian tingkat porositas dan penyerapan air yang menunjukkan bahwa penggunaan jenis material *grog* hanya meningkatkan tingkat penyerapan air dan porositas yang konsisten sama (satu tingkat) walaupun komposisi ditingkatkan dari 5% menjadi 15% kemudian 25%. Sedangkan penggunaan jenis material arang dan tepung roti meningkatkan tingkat penyerapan air dan porositas sebesar 1,7 kali lebih tinggi ketika komposisi material ditingkatkan dari 5% menjadi 15% dan masing-masing mengalami penurunan tingkat penyerapan air dan porositas sebesar 1,4 kali ketika komposisi material ditingkatkan menjadi 25%.

4. KESIMPULAN

Penggunaan komposisi jenis material yang berbeda pada substrat keramik memberikan tutupan CCA yang berbeda, di mana komposisi 5% untuk semua jenis material yang digunakan dalam penelitian ini (arang, *grog*, dan tepung roti) memberikan perbedaan tutupan CCA yang secara signifikan lebih tinggi daripada komposisi 15% dan 25%. Penggunaan jenis material yang berbeda pada substrat keramik memberikan tutupan CCA yang berbeda, di mana *grog* memberikan perbedaan tutupan CCA yang secara signifikan lebih tinggi daripada arang dan tepung roti. Berdasarkan uji ANOVA dua arah tidak terdapat interaksi pengaruh yang signifikan antara faktor komposisi persentase bahan tambahan substrat dengan jenis bahan tambahan substrat terhadap perbedaan rerata tutupan CCA.

PERSANTUNAN

Penulis menyampaikan terimakasih atas bantuan penggunaan fasilitas budidaya karang secara *land-farming* milik CV. Bali Aquarium yang berlokasi di Jl. Muding Indah IV No.12, Padangsambian Kaja, Kecamatan Denpasar Barat, Kota Denpasar, Bali.

DAFTAR PUSTAKA

Abrar, M. (2015). Karang Keras Rekrutmen (Scleractinia) di Perairan Natuna, Provinsi Kepulauan Riau. *Oceanologi*

dan Limnologi di Indonesia, 41(August), 133–147.

- Antink, M. M. H., Röpke, L., Bartels, J., Soltmann, C., Kunzmann, A., Rezwani, K., & Kroll, S. (2018). Porous Ceramics with Tailored Pore Size and Morphology as Substrates for Coral Larval Settlement. *Ceramics International*, 44(14), 16561–16571. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.06.078>
- Arfah, H., & Patty, S. I. (2014). Keanekaragaman dan Biomassa Makro Algae di Perairan Teluk Kotania, Seram Barat. *Jurnal Ilmiah Platax*, 2(2), 63–73. Retrieved from <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/platax/article/download/7150/6660>
- Bôas, A. B. V., Figueiredo, M. A. O., & Villaca, R. C. (2005). Colonization and Growth of Crustose Coralline Algae. *Brazilian Journal of Oceanography*, 53(3/4), 147–156.
- Borneman, E. (2008). Introduction to the Husbandry of Corals in Aquariums: A Review. *Advances in Coral Husbandry in Public Aquariums*, Leewis, R.J. & Janse (eds.), M., 2, 3–14.
- Chave, K. E. (1961). Factors Influencing the Mineralogy of Carbonate Sediments. In *Wiley Online Library* (pp. 218–223). Retrieved from <https://doi.org/10.4319/1o.1962.7.2.0218>
- de Goeij, J. M., van den Berg, H., van Oostveen, M. M., Epping, E. H. G., & van Duyl, F. C. (2008). Major Bulk Dissolved Organic Carbon (DOC) removal by Encrusting Coral Reef Cavity Sponges. *Marine Ecology Progress Series*, 357, 139–151. Retrieved from <https://doi.org/10.3354/meps07403>
- Drazenovic, M., & Fagan, J. M. (2015). The Effects of Aquarium Size, Temperature, and Dissolved Ion Concentrations on Growth Rates of Stony Corals and Colonial Anemones Analyzing Captive Coral Growth Using Aquarists On-line Aquarium Journal Submissions Introduction to Achieving Healthy Growth. *Tropical Fish Hobbyist Magazine*.
- Dunn, J. G., Sammarco, P. W., & LaFleur, G. (2012). Effects of Phosphate on Growth and Skeletal Density in the Scleractinian Coral *Acropora Muricata*: A Controlled Experimental Approach. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 411, 34–44. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2011.10.013>
- Elmer, F. (2016). Factors Affecting Coral Recruitment and Calcium Carbonate Accretion Rates on a Central Pacific Coral Reef, PhD thesis(November 2016), 250.
- Gomez, E., Edwards, A. J., & Gomez, E. D. (2007). *Restorasi Terumbu Karang. Yayasan Terumbu Karang Indonesia (TERANGI)*.
- Guntur, Luthfi, O. M., & Asadi, M. A. (2023). Recruitment of Crustose Coralline Algae on Tiles Material for Monitoring Coral Larvae Settlement's Consolidators at Nature Reserve Pulau Sempu, East Java, Indonesia. *Brazilian Journal of Biology*, 83, e245922. Retrieved from <https://doi.org/10.1590/1519-6984.245922>

- Kalam, M. A., Mieno, T., & Casareto, B. E. (2018). Development of Artificial Reefs Using Environmentally Safe Ceramic Material. *Journal of Ecosystem & Ecography*, 08(01), 1–7. Retrieved from <https://doi.org/10.4172/2157-7625.1000253>
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2004). Kementerian Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut. KEMENLH, Jakarta.
- 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(1), 129–144. Retrieved from <https://doi.org/10.3354/meps12076>
- Kuffner, I. B., Andersson, A. J., Jokiel, P. L., Rodgers, K. S., & MacKenzie, F. T. (2008). Decreased Abundance of Crustose Coralline Algae Due to Ocean Acidification. *Nature Geoscience*, 1(2), 114–117. Retrieved from <https://doi.org/10.1038/ngeo100>
- Kurniawan, C., Waluyo, T. B., & Sebayang, P., (2011). Analisis Ukuran Partikel Menggunakan Free Software Image-J. *Seminar Nasional Fisika*, (Juli 2011), 1–9. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/215445822>
- Lunning, K. (1991). *Seaweeds: Their Environment, Biogeography and Ecophysiology* (Vol. I). Wiley Interscience.
- Mackenzie, F. T., Bischoff, W. D., Bishop, F. C., Loijens, M., Schoonmaker, J., & Wollast, R. (1983). Magnesian Calcites: Low-Temperature Occurrence, Solubility and Solid-Solution Behavior. *Carbonates: Mineralogy and Chemistry*, (January 1983), 97–144.
- Morse, J. W., Andersson, A. J., & Mackenzie, F. T. (2006). Initial Responses of Carbonate-Rich Shelf Sediments to Rising Atmospheric pCO₂ and ‘Ocean Acidification’: Role of High Mg-Calcites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70(23 SPEC. ISS.), 5814–5830. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.gca.2006.08.017>
- Mustofa, A. (2015). Kandungan Nitrat dan Pospat Sebagai Faktor Tingkat Kesuburan Perairan Pantai. *Jurnal DISPROTEK*, 6(1), 13–19.
- Ordoñez, A., Wangpraseurt, D., Lyndby, N. H., Kühl, M., & Diaz-Pulido, G. (2019). Elevated CO₂ Leads to Enhanced Photosynthesis But Decreased Growth in Early Life Stages of Reef Building Coralline Algae. *Frontiers in Marine Science*, 5(JAN), 1–11. Retrieved from <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00495>
- Pilly, A., Ambariyanto, A., & Wijayanti, D. P. (2013). Pengaruh Alga Koralin Lithophyllum sp terhadap Metamorfosis dan Penempelan Planula Acropora spp. *Buletin Oseanografi Marina*, 2(3), 12–20.
- Pratama, T., Fadli, A., & Helwani, Z. (2016). Pembuatan Keramik Berpori Berbahan Baku Tricalcium Phosphate dengan Metode Protein Foaming-Starch Consolidation. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, 3(2), 1–7.
- Purbasari, A., Samadhi, T. W., & Muslim, A. (2018). Pengembangan Produk Keramik Berpori dengan Proses Ekstrusi Pada Skala Laboratorium. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 4(2), 227. Retrieved from <https://doi.org/10.5614/jtki.2005.4.2.6>
- Putri, A. F., & Setorini, I. A. (2023). Pembuatan Membran Keramik Berbahan Dasar Tanah Liat, Serbuk Daun Kelor, dan Arang Aktif untuk Menurunkan Kekeruhan dan Meningkatkan Nilai pH Sampel Air Sungai Musi. *Journal of Innovation Research and Knowledge*, 2(10), 4285–4294.
- Putri, B. M., Luthfi, O. M., As’adi, M. A., & Kel, S. (2021). Perbedaan Pertumbuhan Crustose Coralline Algae (CCA) pada Substrat Kolektor di Perairan Malang Selatan. Retrieved from <http://repository.ub.ac.id/185232/>
- Rahayu, I. (2017). Pembuatan dan Karakterisasi Membran Keramik dengan Variasi Tepung Beras Sebagai Aditif untuk Proses Mikrofiltrasi. *Jurnal Sains dan Terapan Kimia*, 11(2), 52. Retrieved from <https://doi.org/10.20527/jstk.v11i2.4035>
- Rahman, A., Haris, A., Ilmu, F., & Hasanuddin, U. (2014). Pola Rekrutmen Karang Scleractinia pada Kondisi Lingkungan Berbeda. *J. Sains & Teknologi*, 14(3), 209–219.
- Raikar, S. V., Iima, M., & Fujita, Y. (2001). Effect of Temperature, Salinity and Light Intensity on the Growth of Gracilaria spp. (Gracilariales, Rhodophyta) from Japan, Malaysia and India. *Indian Journal of Marine Sciences*, 30(2), 98–104.
- Restu, I. W. (2016). Rehabilitasi Ekosistem Terumbu Karang dengan Perpaduan Terumbu Buatan (Artificial Reefs) dan Transplantasi Karang di Pantai Sanur dan Serangan, Kota Denpasar, Provinsi Bali. *E-Repository UNUD*. Retrieved from <https://doi.org/https://erepo.unud.ac.id/id/eprint/4715>
- Rokhim, M. A. (2021). Filter Air Bersih Menggunakan Keramik Berpori Studi Kasus di Kabupaten Demak. *Jurnal Ilmiah MOMENTUM*, 17(2), 111. Retrieved from <https://doi.org/10.36499/jim.v17i2.5177>
- Samman, A., & Achmad, M. J. (2023). Diversitas dan Distribusi Alga Merah (Rhodophyta) di Perairan Pulau Ternate. *Jurnal Kelautan Tropis*, 26(1), 148–154. Retrieved from <https://doi.org/10.14710/jkt.v26i1.13342>
- Sornnery, A., Pimpunchat, B., Tuntiwarasakul, D., Kitrunloadjanaporn, P., Amornsamankul, S., & Triampo, W. (2018). Using ANOVA to Evaluate the Effects of Swine Slaughterhouse Wastewater Conditions on Algae Growth. *International Journal of Simulation: Systems, Science and Technology*, 19(4), 14.1–14.8. Retrieved from <https://doi.org/10.5013/IJSSST.a.19.04.14>
- Spurgeon, J. P. G., & Lindahl, U. (2000). Economics of Coral Reef Restoration. *Collected Essays on the Economics of Coral Reefs*, 125–136. Retrieved from <http://hdl.handle.net/1834/564>

- Tussniari, P. E. S., Adnyana, I. G. A. P., & Cingah, M. (2018). Karakterisasi Porositas pada Body Keramik Stoneware Berbasis Lempung Kalimantan. *Buletin Fisika*, 19(1), 6–11.
- van der Heijden, L. H., & Kamenos, N. A. (2015). Reviews and Syntheses: Calculating the Global Contribution of Coralline Algae to Total Carbon Burial. *Biogeosciences*, 12(21), 6429–6441. Retrieved from <https://doi.org/10.5194/bg-12-6429-2015>
- Wendri, N., Krisandi, A., & Irawan, I. G. P. Y. (2020). Effect of the Ceramic Burning Temperature on the Characteristics of the Emission Spectrum (LIBS) of Al and Transmittance (FTIR) of Al-O on Ceramic Body of BL-1 Type. *Buletin Fisika*, 21(2), 60. Retrieved from <https://doi.org/10.24843/bf.2020.v21.i02.p04>
- Wodak, J. (2018). Artificial Coral Reefs. In G. Mitman, M. Armiero, & R. S. Emmett (Eds.), *Future Remains: A Cabinet of Curiosities for the Anthropocene* (p. 224). Chicago: The University of Chicago Press. Retrieved from <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226508825.001.0001>