

# Perkembangan Diatom Perifiton Pada Substrat Buatan di Perairan Pulau Panjang, Jepara

Syauqina Nashihi Aufar\*, Agus Sabdono, Diah Permata Wijayanti, Munasik

Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Jacob Rais, Tembalang Semarang Jawa Tengah 50275 Indonesia  
Email: syauqinashihi@students.undip.ac.id

## Abstract

### Development of Periphyton Diatoms on Artificial Substrates in Panjang Island, Jepara

Degradation of marine waters in Panjang Island is increasing resulting in high production of benthic periphyton. Procurement of hard substrate as material for artificial reefs is one of the efforts to see the succession pattern of benthic periphyton microscopically. The purpose of this study was to determine the differences in the abundance and composition of diatoms in geopolymer concrete and ordinary concrete substrates. The method used is the field experimental method, immersing different concrete substrates, namely geopolymer concrete (BA) and ordinary concrete (BT) in the sea waters of Panjang Island at a depth of 3 m for 2 months. Periphyton growth on the substrate was observed microscopically using the Scanning Electronic Microscope (SEM) method. Observations were made at immersion time of 1 day (T1), 7 days (T2), 14 days (T3), 28 days (T4), and 56 days (T5). The results showed that there were differences in the development of Periphyton Diatoms between geopolymer (BA) and ordinary concrete (BT) substrates. On both substrates, periphyton growth was found starting from the observation of soaking for 1 day. The density and diversity of periphyton on the BA substrate was higher than that of the BT substrate, with a density of 2535 cell cm<sup>-2</sup> and 73 cell cm<sup>-2</sup>, respectively, and the diversity of H'Shanon Wiener was 4.07 and 0.33. The benefit of this research is to determine the initial succession of biofilm formation on artificial substrates as a building material for artificial reefs for coral reef restoration programs, especially in marginal reef conditions.

**Keywords:** Diatom, substrate, artificial reef

## Abstrak

Degradasi perairan laut di Pulau Panjang semakin meningkat mengakibatkan produksi perifiton bentik yang tinggi. Pengadaan substrat keras sebagai bahan terumbu buatan menjadi salah satu upaya untuk melihat pola suksesi perifiton bentik secara mikroskopis. Tujuan dilakukannya penelitian ini untuk mengetahui perbedaan kelimpahan dan komposisi diatom pada substrat beton geopolimer dan beton biasa. Metode yang digunakan yaitu metode eksperimental lapangan, dilakukan perendaman substrat beton yang berbeda yaitu beton geopolimer (BA) dan beton biasa (BT) di perairan laut pulau Panjang di pada kedalaman 3 m selama 2 bulan. Pertumbuhan perifiton pada substrat diamati secara mikroskopis menggunakan metode Scanning Electronic Microscope (SEM). Pengamatan dilakukan pada lama perendaman 1 hari (T1), 7 hari (T2), 14 hari (T3), 28 hari (T4), dan 56 hari (T5). Hasil penelitian menunjukkan ada perbedaan perkembangan Diatom Perifiton antara substrat geopolimer (BA) dan beton biasa (BT). Pada ke dua substrat dijumpai pertumbuhan perifiton mulai pengamatan perendaman selama 1 hari. Densitas dan keragaman perifiton pada substrat BA lebih tinggi daripada substrat BT yaitu masing-masing dengan densitas 2535 sel cm<sup>-2</sup> dan 73 sel cm<sup>-2</sup>, dan keragaman H'Shanon Wiener sebesar 4,07 dan 0,33. Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui suksesi awal pembentukan biofilm pada substrat buatan sebagai bahan penyusun terumbu buatan untuk program restorasi terumbu karang khususnya pada kondisi terumbu marginal.

**Kata kunci:** Diatom, substrat, terumbu buatan

## PENDAHULUAN

Pulau Panjang merupakan Pulau Kecil yang berada di Pantai Utara Jawa di Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. Titik koordinat terletak pada 05°40' -05°57' LS dan 110°04' -110°-40'. Letak Pulau Panjang berdekatan dengan Pantai Kartini dengan jarak 2,5 Km. Pulau Panjang merupakan kawasan pulau-pulau kecil yang masih dilindungi. Akan tetapi karena jarak yang dekat dengan pulau utama, sehingga rentan rusaknya perairan oleh karena gangguan antropogenik. Pulau utama juga terdapat usaha perikanan dengan effluent yang mengarah ke Pulau Panjang sehingga memberikan pasokan nutrisi ke perairan. Nutrient yang dihasilkan dari usaha perikanan seperti tambak dapat menyebabkan meningkatnya kelimpahan alga bentik di perairan sebanyak 50%

(Fabricius, 2005). Sedimentasi yang berasal dari daratan yang larut ke sungai dapat meningkatkan lapisan makro alga dan mengurangi tutupan karang (Fabricius dan De'ath, 2001). Pencemaran yang berlebih seperti tingginya pasokan nutrisi dan sedimen dapat menyebabkan menurunnya kesehatan terumbu karang dan berkurangnya karang rekrutmen (Fabricius dan McCorry, 2006).

Kerusakan terumbu karang dibagi menjadi dua yaitu kerusakan akut dan kronis. Kerusakan akut yaitu kerusakan yang terjadi secara langsung atau tiba-tiba. Penyebab kerusakan terumbu karang secara akut yaitu seperti remuknya terumbu karang oleh karena jangkar kapal, tertabrak kapal, terinjak, dan tertarik jaring nelayan (Faizal, 2023). Sedangkan kerusakan terumbu karang secara kronis yaitu kerusakan secara perlahan lahan yang lama kelamaan akan berujung kematian. Penyebab kerusakan terumbu secara kronis yaitu pasokan air limbah yang mengandung nutrisi tinggi dari daratan dan pasokan sedimen dari sungai yang menuju ke laut (Marista *et al.*, 2023). Nutrisi yang memasuki badan perairan laut menyebabkan kemunculan biota kompetitor karang seperti alga dan spons. Pasokan nutrisi berlebih memberikan pengaruh seperti melemahkan kekuatan struktural terumbu, karena bersaing dengan kompetitor karang seperti patogen dan predator karang (Fabricius, 2005). Kerusakan terumbu karang menyebabkan menurunnya ekosistem terumbu karang. Kondisi seperti ini disebut sebagai terumbu marginal (Soares, 2020). Sehingga, diperlukan rehabilitasi terumbu karang, salah satunya menggunakan terumbu buatan. Terumbu buatan menggunakan substrat baru menjadi pilihan metode rehabilitasi, sehingga pengadaan substrat buatan untuk merehabilitasi terumbu menjadi pilihan (Taufina *et al.*, 2018).

Salah satu upaya untuk restorasi terumbu karang adalah dengan instalasi terumbu karang buatan. Berbagai desain dan metode terumbu buatan berbahan beton telah diterapkan di perairan Indonesia (Munasik, 2008). *Artificial Patch Reef* (APR) merupakan salah satu metode terumbu buatan yang dirancang dengan substrat bertingkat dan sirkular yang menggabungkan transplantasi karang dengan karang rekrut (Munasik *et al.*, 2021). Penggunaan substrat buatan menjadi pilihan untuk metode terumbu buatan. Penggunaan substrat buatan untuk penempelan karang adalah salah satu metode pemanfaatan larva planula alami untuk restorasi terumbu (Fikri *et al.*, 2021). Penggunaan substrat buatan menjadi pilihan selain menggunakan substrat alami. Diharapkan substrat buatan memberikan ruang yang pristin tanpa terkena kompetitor lainnya sebelum larva karang menempel pada substrat.

Material substrat buatan mulai berkembang dari beton biasa menjadi substrat beton dengan campuran abu batubara sebagai polimer (Rio Indriyantho *et al.*, 2022). Beton dengan campuran bahan abu batubara disebut juga beton geopolimer. Beton geopolimer memiliki keunggulan seperti kuat tekan yang lebih dibandingkan beton biasa dan dapat mengurangi biaya material karena pemanfaatan limbah. Namun, kemampuan beton geopolimer terhadap penempelan mikroorganisme belum diketahui. Sehingga perlu dibandingkan dengan kemampuan antara beton biasa dan beton geopolimer terhadap pengkondisian mikroorganisme.

Pengkondisian mikroorganisme terhadap penyangga atau substrat keras perlu diketahui. Penempelan di lapisan awal sangat mempengaruhi untuk penempelan biofilm selanjutnya. Penempelan diawali dengan pengkondisian biofilm oleh mikroorganisme planktonik dan selanjutnya penempelan secara tutupan makrobiofilm (Hayek *et al.*, 2021). Pengamatan diatom menjadi hal yang perlu diperhatikan untuk studi penempelan perfiton diatom dalam keberhasilan perekrutan terumbu pada substrat. Studi perfitik terbaru di perairan Pulau Panjang berfokus pada diatom atau fitoplankton yang berada di perairan dan hubungannya dengan pencemaran perairan. Diatom yang berada pada kelas Bacillariophyceae dalam jumlah banyak menandakan bahwa perairan termasuk ke dalam pencemaran tingkat ringan (Supriyantini *et al.*, 2020). Dalam penelitian ini, akan dilakukan kolonisasi dan suksesi awal diatom pada komunitas perfitik. Ada banyak upaya untuk menemukan bahan karang buatan yang mendukung keanekaragaman hayati organisme laut. Perkembangan diatom adalah langkah pertama menuju penempelan organisme yang lebih tinggi didukung dengan substrat yang cocok. Sehingga dapat meningkatkan keanekaragaman hayati. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui perbedaan kelimpahan dan

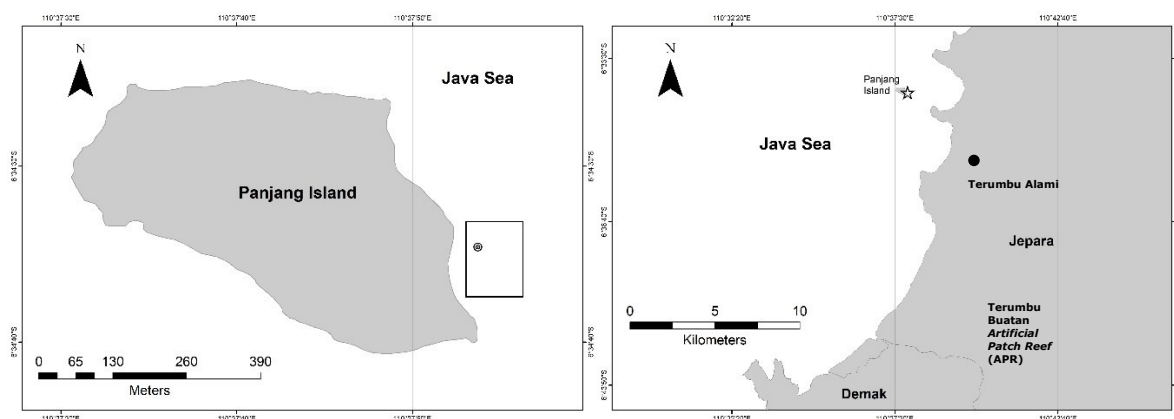
komposisi diatom pada substrat beton buatan yang berbeda yaitu beton geopolimer dan beton biasa. Relevansi menganalisa diatom sebagai komunitas fouling utama pada substrat buatan dengan kondisi lingkungan yang kurang baik mendapatkan wawasan mengenai lingkungan laut yang berdampak negatif pada lingkungan laut.

## MATERI DAN METODE

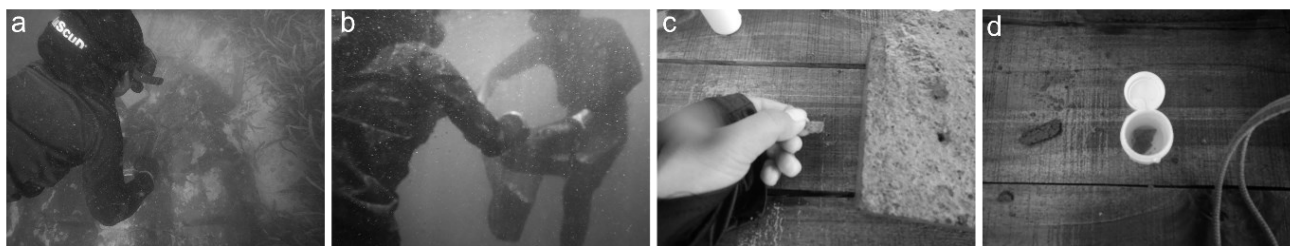
Materi yang digunakan pada penelitian ini adalah substrat buatan berbahan beton yaitu beton geopolimer dan beton biasa. Komposisi substrat beton geopolimer (BA) terdiri dari 80% bahan coal ash (*fly ash* sebagai pengganti semen *an bottom ash* sebagai pengganti pasir) dan 20% terdiri dari pasir dan semen. Sedangkan komposisi substrat beton biasa terdiri dari 100% menggunakan pasir dan semen. Substrat dibuat dengan dimensi 15x15x3 cm, kemudian dipasang dengan posisi horizontal (mendatar) menempel pada bangunan terumbu buatan *Artificial Patch Reef* (APR) pada tingkatan tengah. Diharapkan pada tingkatan tengah akan memberikan hasil penempelan yang maksimal. Kedua jenis substrat dipasang secara acak pada satu bangunan terumbu buatan di satu lokasi. Substrat diikat menggunakan cable ties dan paku kemudian diikat dengan skrew yang tersedia pada APR. Lokasi terumbu buatan terpilih terletak pada sisi timur Pulau Panjang dekat dengan Terumbu alami di sisi timur laut dengan harapan akan ada banyak penempelan pada substrat di lokasi ini.

Pengambilan sampel ditentukan pada saat pemijahan bulan Maret hingga Mei (Wijayanti et al., 2019). pengambilan data sampel dilakukan sesuai variasi waktu yaitu yaitu lama perendaman 1 hari (T1), 7 hari (T2), 14 hari (T3), 28 hari (T4), dan 58 hari (T5). Pengambilan spesimen sampel dilakukan dengan memotong substrat pada pojok sudut pada ukuran 5 mm menggunakan linggis. Spesimen pecahan substrat beton langsung dilakukan prefiksasi awal dengan merendam dalam larutan glutaraldehyde di dalam wadah selama minimal 1 hari dapat dilihat di Gambar 3. Sampel yang telah direndam dalam larutan glutaraldehyde kemudian diambil dan direndam sampel menggunakan Buffer phosphate dengan pH 7,3. Tanpa harus mencucinya terlebih dahulu. Sampel yang telah diprefiksasi disimpan pada suhu 4° C selama 2 hari. Tahap fiksasi awal dilakukan dengan merendam sampel pada larutan Tannic acid 1% selama 6 jam. Selanjutnya dicuci dengan Buffer Phosphate selama 15 menit, diulang 4 kali. Akhir dari proses fiksasi yaitu mencuci dengan aquades selama 15 menit.

Tahap selanjutnya adalah dehidrasi sampel yaitu proses pengeringan menggunakan alcohol secara bertingkat yaitu direndam dalam alcohol 50% , 70%, 95%, dan terakhir 100%. Masing masing perendaman dilakukan selama 5 menit. Sampel Kemudian dibekukan di dalam freezer kurang lebih satu malam. Kemudian sampel dikeringkan freeze drier. Spesimen telah siap untuk diamati di mikroskop SEM (Kiyoto et al., 2022). Pengukuran parameter fisis meliputi kedalaman (m),



Gambar 1. Lokasi Penelitian



**Gambar 2.** Pengambilan Sampel Substrat. a) Pengambilan plat substrat. b) kolektif plat substrat. c) membelah substrat sebesar 5 mm sebagai sampel spesimen. d) pengawetan spesimen ke dalam botol kecil menggunakan glutaraldehide

Visibilitas (m), Turbidity (NTU), derajat keasaman (pH), temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ), dan salinitas (PPT) dilakukan secara insitu masing menggunakan alat *Water Quality Checker*. Pengambilan sampel air dilakukan menggunakan botol sampel. Pengambilan sampel air dilakukan sebanyak 300 mL menggunakan botol sampel. Selanjutnya dianalisis untuk parameter Nitrat, Fosfat, dan zat organik di laboratorium air Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro. Parameter fisik dan kimia diambil selama 5 kali bersamaan dengan pengambilan spesimen substrat. Selain itu juga dilakukan Pengambilan sampel sedimen untuk dilakukan analisa butir sedimen. Pengambilan sampel sedimen menggunakan serok. Klorofil juga dilakukan pengambilan dengan satuan  $\text{mg}/\text{m}^3$ . sampel air yang dibutuhkan sebanyak 300ml untuk pengujian klorofil. Pengambilan analisa butir sedimen dan klorofil dilakukan sebanyak 1 kali pengambilan data sebagai data pendukung. Data hasil identifikasi genus dan kelimpahannya selanjutnya dianalisis indeks keragaman dan indeks dominansi.

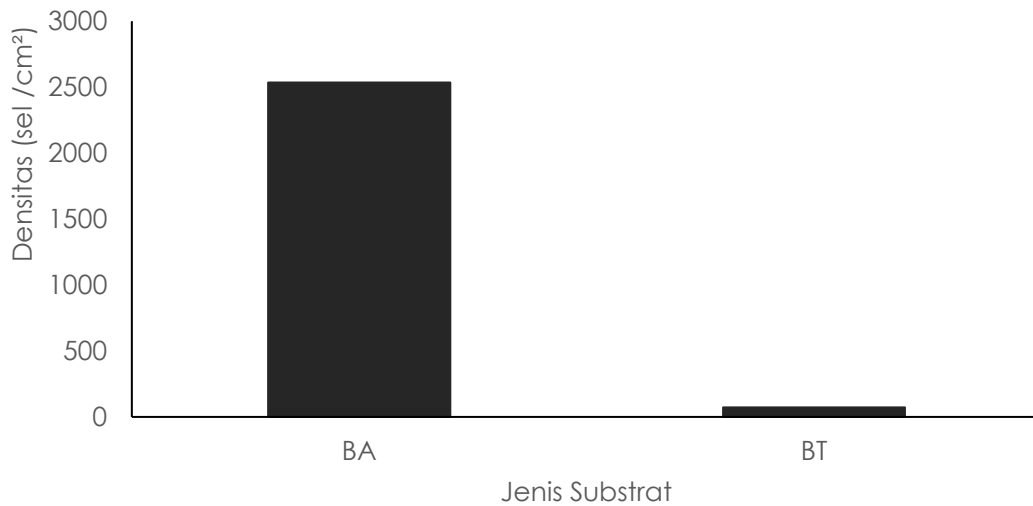
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah 56 hari pengambilan data, terlihat perbedaan pada substrat geopolymer dan beton biasa terhadap penempelan diatom. Perbedaan terlihat pada penempelan awal suksesi. Awal suksesi dilihat dari T1 (0-1 hari) dan T2 (0-7 hari). Diatom dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis mikroskopis sebagian besar terdiri dari diatom, mikroskopis ganggang hijau (Klorofita) dan Alga Koralin (CCA) yang muncul secara sporadis. Klorofita menempel pada substrat mulai waktu T3 dilihat dari serabut turf alga pada substrat. Setelah kemunculan turf alga pada kedua substrat tidak ditemukan perbedaan hingga T5.

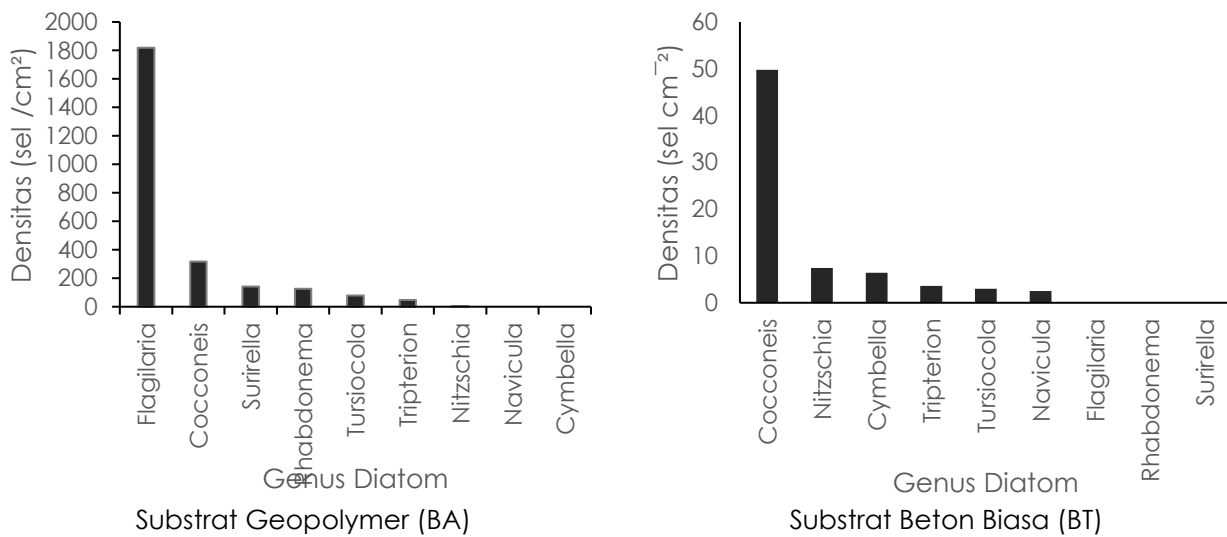
Penempelan biofilm pertama pada awal suksesi dipengaruhi oleh ketersediaan cahaya, kekasaran permukaan substrat, dan ketersediaan nutrient. Substrat BA dan BT biasa jika dilihat dari visual mikro dengan hasil penempelannya terdapat perbedaan. Substrat BA menghasilkan lebih banyak diatom penempelan yaitu dengan densitas 235 sel  $\text{cm}^{-2}$  sedangkan substrat BT dengan densitas yang lebih sedikit yaitu 73 sel  $\text{cm}^{-2}$ . Secara kuantitatif substrat BA lebih banyak diatom yang menempel dibandingkan substrat BT. Seluruh diatom yang ditemukan pada substrat BA dan substrat BT yaitu masuk dalam kelompok Bacillariophyceae.

Substrat BA memiliki kuantitas diatom yang lebih dibandingkan substrat BT. Diatom menunjukkan kelimpahan *Flagilaria* mendominasi pada substrat BA. Kemudian *Cocconeis* juga menjadi dominan di setiap waktu pengambilan sampling. Diatom lainnya seperti *Surirella*, *Rhabdonema*, *Tursiocola*, *Tripterion*, dan *Nitzschia* juga menempel pada substrat BA.

Kelimpahan terbesar adalah *Flagilaria* yaitu sebesar 1819 sel  $\text{cm}^{-2}$ . Kemudian diikuti oleh *Cocconeis* sebesar 317 sel  $\text{cm}^{-2}$ . *Cocconeis* merupakan diatom yang selalu muncul pada T2 hingga T5. Kemudian *Surirella* sebesar 142 sel  $\text{cm}^{-2}$  dan *Tursiocola* sebesar 79 sel  $\text{cm}^{-2}$ . *Surirella* dan *Tursiocola* hanya ditemukan di T1 dan T2. Selanjutnya *Tripterion* sebesar 47 sel  $\text{cm}^{-2}$  yang hanya ada di T2 dan *Nitzschia* sebesar 4 sel  $\text{cm}^{-2}$  yang hanya ada di T5. Kelimpahan diatom paling banyak didapat pada substrat BA sebesar 2535 sel  $\text{cm}^{-2}$  dengan dominasi genus *Flagilaria*.



**Gambar 3.** Densitas Diatom Keseluruhan antara substrat geopolymer (BA) dan substrat beton biasa (BT)



**Gambar 4.** Grafik Densitas Genus Diatom Substrat geopolymer (BA) dan Densitas Diatom Substrat Beton Biasa (BT)

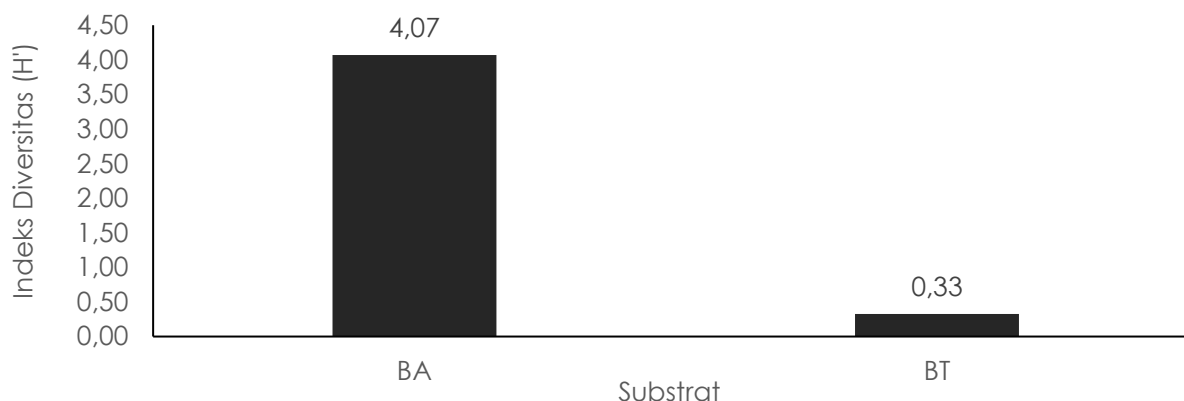
Substrat BT memiliki kuantitas diatom yang kurang dibandingkan substrat BA. Diatom menunjukkan kelimpahan *Cocconeis* mendominasi pada substrat BT. Namun, *Cocconeis* tidak menjadi dominan di setiap waktu pengambilan sampling. Diatom lainnya seperti *Cymbella*, *Tripterion*, *Tursiocola*, dan *Navicula* juga menempel pada substrat BT.

*Cocconeis* menjadi dominan di substrat BT sebesar 50 sel cm<sup>-2</sup>. *Cocconeis* hanya muncul pada T3. Diikuti oleh *Nitzschia* sebesar 7 sel cm<sup>2</sup> dan hanya muncul pada T3. Kemudian *Cymbella* sebesar 6 sel cm<sup>-2</sup> dan *Tripterion* sebesar 4 sel cm<sup>-2</sup>. Terakhir *Tursiocola* dan *Navicula* sebesar 3 sel cm<sup>-2</sup>. Kelimpahan diatom pada substrat BT lebih sedikit dibandingkan substrat BA. Beberapa hal yang mempengaruhi kelimpahan diatom yaitu ketersediaan nutrient pada substrat dan biota lainnya sebagai konsumen diatom yang menempel pada permukaan substrat.

Analisis diatom secara kuantitatif dilihat dari komposisi diatom pada substrat BA dan BT. Keseluruhan jenis diatom terdapat 9, dengan 7 jenis pada substrat BA dan 6 jenis di substrat BT. Keanekaragaman diatom pada substrat BA memberikan hasil  $H' = 4,07$  yaitu keanekaragaman tinggi. Keanekaragaman diatom pada substrat BT memberikan hasil  $H' = 0,33$  yaitu keanekaragaman rendah.

Pada setiap waktu, diatom yang muncul pada substrat bisa mendapatkan hasil yang berbeda. Substrat BAT1 yaitu hari 0-1 terdapat *Flagilaria*, *Surirela*, dan *Tursiocola*. Pada sampling T2 (hari ke 0-7) terdapat diatom dengan jenis yang beragam yaitu *Cocconeis*, *Flagilaria*, *Rhabdonema*, *Surirela*, *Tripterion*, dan *Tursiocola*. Sampling T3 (0-14 hari) menghasilkan diatom yang lebih sedikit yaitu *Cocconeis* dan *Rhabdonema*. Sampling T4 (0-28 hari) hanya terdapat 1 jenis diatom yaitu *Cocconeis*. Pada sampling terakhir yaitu T5 (0-56 hari) terdapat *Cocconeis*, *Nitzschia*, dan *Surirella*.

Substrat BT memiliki hasil yang berbeda dengan substrat BA. Sampling pertama T1 (0-1 hari) hanya ditemukan 1 jenis diatom yaitu *Tursiocola*. Kemudian pada sampling T2 (0-7hari) terdapat *Navicula* dan *Tirsiocola*. Pada sampling T3 (0-14 hari) terlihat ada banyak jenis diatom yang menempel yaitu *Cocconeis*, *Cymbella*, *Nitzschia*, dan *Tripterion*. Terlihat pada T4 (0-28 hari) dan T5 tidak ditemukan diatom sama sekali. Meskipun diatom tidak ditemukan pada T4 dan T5 (0-56 hari) terdapat lapisan ganggang hijau dan alga koralin yang menempel secara sporadis. Komposisi



Gambar 5. Indeks Keragaman Diatom

Tabel 1. Komposisi Diatom pada Substrat Geopolymer BA dan Beton Biasa BT

Waktu	1 hari	7 hari	14 hari	28 hari	56 hari	1 hari	7 hari	14 hari	28 hari	56 hari
Substrat	GEOPOLYMER (BA)					BETON BIASA (BT)				
	BAT1	BAT2	BAT3	BAT4	BAT5	BTT1	BTT2	BTT3	BTT4	BTT5
<i>Cocconeis spp</i>		x	x	x	x			x		
<i>Cymbella spp</i>								x		
<i>Flagilaria spp</i>	x	x								
<i>Navicula spp</i>							x			
<i>Nitzschia spp</i>					x			x		
<i>Rhabdonema spp</i>		x	x							
<i>Surirella spp</i>	x	x			x					
<i>Tripterion spp</i>		x						x		
<i>Tursiocola</i>	x	x				x	x			

**Tabel 2.** Indeks Dominasi Diatom pada Substrat

No	GENUS	ni		Indeks Dominasi (Di)			Keterangan
		BA	BT	Di (BA)	Di (BT)	Di (%)	
1	<i>Cocconeis</i>	49	42	15,07	53,16	68,24	Dominan
2	<i>Flagilaria</i>	218	0	67,07	0	67,07	
3	<i>Navicula</i>	0	20	0	25,31	25,31	
4	<i>Tursiocola</i>	10	11	3,07	13,92	17	
5	<i>Rhabdonema</i>	26	0	8	0	8	
6	<i>Nitzschia</i>	3	5	0,92	6,32	7,25	
7	<i>Surirella</i>	15	0	4,61	0	4,61	Sub Dominan
8	<i>Cymbella</i>	0	1	0	1,26	1,26	Tidak
9	<i>Surirela</i>	4	0	1,23	0	1,23	Dominan

**Tabel 3.** Kualitas Perairan

Kode Sampel	Baku mutu	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Tanggal		15-Apr-22	16-Apr-22	22-Apr-22	29-Apr-22	13-May-22	10-Jun-22
Hari Ke-		0	1	7	14	28	56
Cuaca		Cerah	Cerah	Cerah Berang in	Cerah Berawan	Cerah Berawan	Cerah
	Kedalaman (m)	-	2	2	2	2,5	3
	Visibility (m)	3	2	2	1	1,5	1
Parameter Fisik	Turbidimeter (NTU)	5	-	-	2,89	1,04	8,22
Perairan	pH	7-8,5	7,1	7,8	8,04	7,1	7,08
	Temperatur (°C)	28-30	28,5	29	28,5	28	28,5
	Salinitas (PPT)	33-34	28	27	30	28	30
	Nitrat (mg/l)	0,06	0,3	0,327	0,467	0,256	0,237
	Phospat (mg/l)	0,015	<0,018	<0,018	<0,018	<0,018	<0,018
Parameter Kimia	Zat Organik (mg/l)	10	15,17	7,9	18,96	25,28	7,58
Perairan	Klorofil a (mg/m <sup>3</sup> )	-	-	-	-	-	11,89
Analisa	Lanau	-	-	14,5	-	-	-
Butir	Pasir Halus	-	-	78	-	-	-
Sedimen	Pasir Kasar	-	-	7,5	-	-	-

genus dengan keragaman tinggi yaitu pada substrat BA dengan H indeks sebesar 4,07. Genus diatom yang mendominasi (Di) pada kedua sampel yaitu *Cocconeis* (68,2%), *Flagilaria* (67,0%), *Navicula* (25,3%), *Tursiocola* (17%), *Rhabdonema* (8%) dan *Nitzschia* (7,25%).

Diatom merupakan komponen penting dalam ekologi ekosistem perairan. Diatom berkontribusi dalam produktivitas primer sebagai mediasi antara oksigen dan nutrisi pada substrat dan kolom air. Selain itu, diatom berperan juga sebagai rantai trofik di kondisi perairan. Diatom atau mikroalga berasosiasi dengan substrat keras alami maupun buatan. Diatom dan bakteri merupakan awal dari suksesi pembentukan biofilm dan menjadi awal dari pemicu karang rekrutmen pada substrat keras. Diatom yang berasosiasi pada substrat BA menghasilkan kuantitas dan kualitas yang lebih dibandingkan substrat BT. Sehingga dapat diartikan bahwa penggantian bahan BA dapat

aman digunakan sebagai fungsi penempelan bahkan dapat memberikan hasil yang baik dibandingkan beton biasa. Lokasi yang berada di terumbu marginal atau terumbu karang dengan kondisi perairan yang kurang ideal juga dapat menghasilkan produktivitas primer yang tinggi. Dilihat dari kuantitas dan kualitas penempelan diatom yang terdapat pada substrat. Namun, beban organik dengan konsentrasi yang tinggi atau diatas baku mutu dapat menghambat pertumbuhan tingkat pembuahan telur, perkembangan larva, kelangsungan hidup larva, penempelan dan metamorfosis (Humanes *et al.*, 2017).

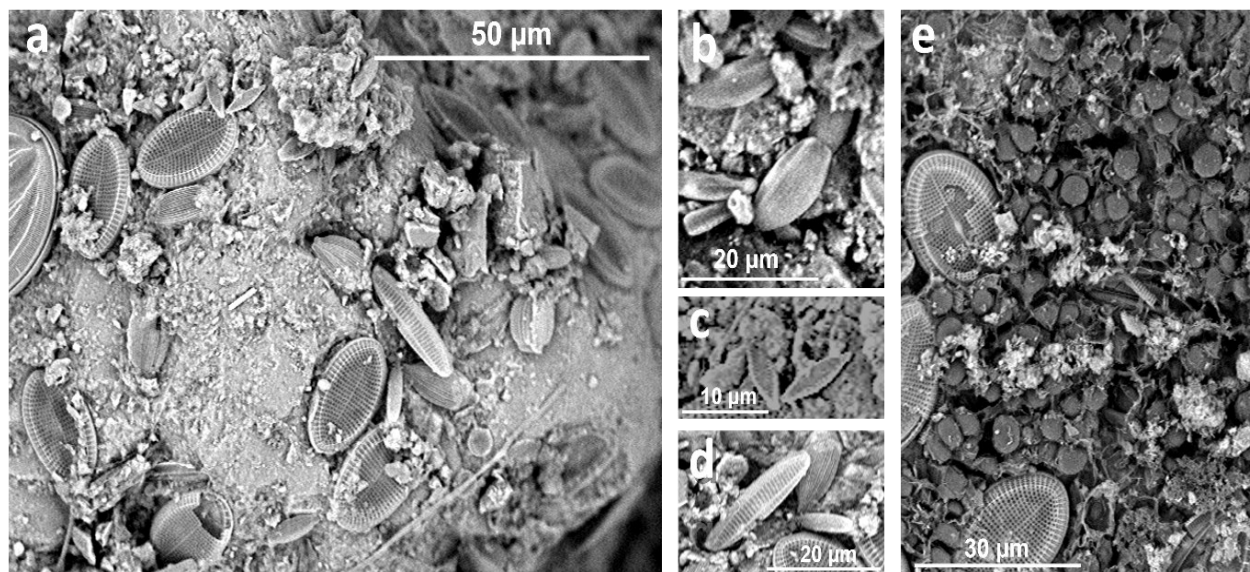
Pengukuran parameter lingkungan dilakukan dengan mengamati parameter fisik, kimia perairan, dan pengamatan substrat sedimen. Pengukuran parameter fisik perairan dilakukan secara insitu. Pengukuran parameter kimia dan analisis butir sedimen dilakukan secara exsitu. Hasil pengukuran parameter lingkungan yang secara intensif yaitu kualitas fisik perairan, uji nitrat, uji phospat, dan zat organik dalam satuan mg/l. Hasil pengujian zat organik total terlihat sangat tinggi yaitu dalam range 7,9 mg/l hingga 41 mg/l. kandungan zat organik sudah melampaui baku mutu Lampiran PP Nomor 22 Tahun 2021. Hari terakhir dilakukan pengukuran klorofil karena di perairan Pulau Panjang, alga hijau terlihat pekat hingga berpengaruh pada kecerahan dan hasil sampel yang menempel pada blok plat beton yang terpasang. Hasil klorofil a sebesar 11,89 mg/m<sup>3</sup>.

Keberhasilan penempelan pada substrat dipengaruhi empat parameter utama kualitas air. Diantaranya yaitu nutrisi anorganik terlarut, partikulat tersuspensi, bahan organik, cahaya, kekeruhan dan sedimentasi (Speare *et al.*, 2019). Turbiditas atau kekeruhan yang telah diukur berkisar 1,04 NTU sampai 8,22 NTU. Baku mutu pada biota laut, konsentrasi Turbiditas PP No 22 Tahun 2021 yaitu 5 NTU sehingga, kekeruhan sudah melewati baku mutu. Kekeruhan diakibatkan antara lain oleh lempung halus dan partikel organik yang tersuspensi di dasar laut (Hanapiah *et al.*, 2019). Kekeruhan dapat mengurangi intensitas cahaya di dalam air untuk jangka waktu yang lama pada siklus deposisi dan resuspensi (Loiola *et al.*, 2019). Dampak kekeruhan dalam penempelan diatom yaitu sebagai pembawa diatom karena kekeruhan tidak hanya membawa partikel resuspensi melainkan juga deposisi seperti biota planktonik dan bakteri (Nenadović *et al.*, 2015). Pada analisis sedimen pada Tabel 3. substrat dasar terdapat 78% pasir halus, 14,5% lanau, dan 7,5% pasir kasar. Pasir halus mendominasi substrat dasar yang berada di perairan Pulau Panjang dengan lanau yang cukup tinggi. Sedimen juga menutupi substrat bagian atas dibandingkan yang samping. Keberadaan turf alga juga dapat menjebak sedimen pada permukaan substrat yang horizontal. Kemudian konsentrasi zat organik di pengambilan sampel terakhir sebesar 41,08 mg/l dengan baku mutu 10 mg/l. Nutrien pendukung yaitu phospat yang masih berada di bawah baku mutu yaitu di rentang 0,018–0,114 mg/L dan nitrat di rentang 0,23–0,44 mg/L. Peningkatan konsentrasi nutrien dapat mempercepat produksi fitoplankton. Sehingga, nutrient yang tinggi ini dapat meningkatkan produktivitas primer. Fenomena ini juga meningkatkan kekeruhan dan mengurangi cahaya masuk ke dasar (Carruthers *et al.*, 2002).

Analisis kuantitatif dilihat dari kelimpahan diatom yang menempel pada substrat geopolymer dan beton biasa. Kelimpahan substrat geopolymer (BA) lebih tinggi yaitu 2535 sel cm<sup>-2</sup> dan substrat beton biasa (BT) sebesar 2535 sel cm<sup>-2</sup>. Kelimpahan diatom paling banyak yaitu pada *Flagilaria* sebesar 1819 sel cm<sup>-2</sup> sedangkan pada beton biasa (BT) pada *Cocconeis* sebesar 50 sel cm<sup>-2</sup>. Proses penempelan mikroorganisme pada substrat keras dipengaruhi oleh tingkat kekasaran permukaan (Taniguchi dan Tokeshi, 2004), konsentrasi nutrien. Ketersediaan cahaya pada permukaan substrat (Nenadović *et al.*, 2015). Kuantitas diatom menunjukkan bahwa kondisi kekasaran, nutrient, dan ketersediaan cahaya mendukung untuk pertumbuhannya.

Analisis kualitatif dilihat dari keragaman diatom yang menempel pada substrat geopolymer (BA) dan substrat beton biasa (BT) pada grafik Gambar 6. Keragaman diatom pada substrat BA lebih tinggi dibandingkan substrat BT yaitu H' indeks mencapai 4,07 dimana keragamannya tinggi. Dilihat pada Tabel 2 kemunculan diatom selalu terlihat hingga sampling T5. Berbeda dengan substrat BT dimana pada sampling T4 dan T5 tidak terlihat kemunculan diatom. Sehingga, keragaman diatom berhubungan dengan kuantitas diatom karena densitasnya.





**Gambar 6.** Visualisasi Mikrograf hasil Mikroskop SEM. a) *Cocconeis* menempel pada substrat BAT2 menjadi diatom yang mendominasi. b) *Flagilaria* yang menempel pada substrat BAT1 menjadi dominan. c) *Navicula* yang menempel pada substrat BAT2. d) *Tursiocola* pada substrat BAT2. e) *Cocconeis* diatas lapisan bakteri Cyanobacter yang berasosiasi pada spons

Genus diatom yang mendominasi (Di) pada kedua sampel yaitu *Cocconeis* (68,2%), *Flagilaria* (67,0%), *Navicula* (25,3%), *Tursiocola* (17%), *Rhabdonema* (8%) dan *Nitzschia* (7,25%). Genus diatom yang mendominasi termasuk bagian dari kelas Bacilliarophyceae. Diatom dengan kelas tersebut paling toleran dan mampu beradaptasi dengan lingkungan tempat hidupnya dibandingkan genera kelas lainnya (Nurfadillah *et al.*, 2012). Kelas Bacilliarophyceae juga memiliki kemampuan reproduksi yang tinggi dan mampu membelah lebih cepat dua kali lipat dari kelas lainnya. Diatom dengan kelas Bacilliarophyceae juga mempunyai kemampuan menempel lebih kuat bersifat kosmopolit, dan mempunyai kemampuan membelah diri menjadi dua bagian yaitu atas dan bawah (Sathyendranath *et al.*, 2004). Sehingga, tidak ada kelas lainnya selain Bacilliarophyceae yang menempel pada permukaan substrat. Diatom dapat dilihat pada suksesi awal pembentukan biofilm yaitu pada sampling awal pada 1 bulan pertama. Pelapisan selanjutnya diawali dengan kemunculan mikro alga yang menempel secara sporadis dan berkembang menjadi lapisan yang semakin meluas menutupi substrat. Lapisan bertambah hingga menutupi permukaan substrat (Hayek *et al.*, 2021). Lapisan mikroalga mulai terlihat pada T3 dengan tutupan yang jarang. Kemudian semakin meluas menutupi permukaan substrat hingga waktu T4 dengan tutupan sedang dan pada T5 semakin meluas dengan tutupan melimpah.

Peningkatan biota yang berperan sebagai Filter Feeders seperti spons, bivalvia, ascidians, bryzoa dan teritip sebagai respons terhadap konsentrasi nutrisi (Costa *et al.*, 2000). Filter feeders bentik paling aktif memompa asimbiotik, memakan berbagai ukuran plankton dengan partikel kecil dan sering mendapat julukan penyeimbang karbon di perairan. Filter feeders juga berkontribusi sebagai keanekaragaman hayati meskipun beberapa khususnya menjadi kompetitor terumbu karang. Biota benthic seperti bulu babi, siput lola, dan teritip pasir sangat melimpah dengan jenis yang dominan. Siput lola menempel pada substrat mulai pada waktu sampling T3. Kompetitor terumbu karang yang dimaksud adalah dapat menggantikan ruang dan menginfeksi terumbu. Kompetitor ruang disebabkan oleh kondisi cahaya rendah, fitoplankton yang tinggi dan konsentrasi zat organik yang tinggi (Fabricius, 2005). Filter feeders yang terdapat di perairan Pulau Panjang yaitu spons pembunuh karang yang menempel pada permukaan sampel. Bakteri cyanobacter telah

terdeteksi yang berasosiasi di spons pada Gambar 6. Komunitas bakteri mengenai spons berkisar 61-98% terdiri dari cyanobacteria dan 15% dari alphaprobacteria (Tang *et al.*, 2011). Pengaruh negatif cyanobacteria yaitu perilaku presettlement larva *Porites asteoides* dan *Pocillopora damicornis* yang belum menetap dan settle pada substrat akan menginfeksi dalam waktu 24 jam dan mati setelah 10 hari. Planula akan berhenti berenang, tenggelam, dan tidak bergerak (Birrell *et al.*, 2008). Hal ini yang menyebabkan karang rekrutment tidak ditemukan pada substrat baru sekalipun.

## KESIMPULAN

Kelimpahan diatom pada substrat geopolymer lebih tinggi dengan densitas 2535 sel cm<sup>-2</sup> sedangkan substrat beton biasa hanya 73 sell cm<sup>-2</sup>. Komposisi diatom pada substrat geopolymer juga memiliki keanekaragaman yang tinggi yaitu dengan H' indeks 4,07 sedangkan pada substrat beton biasa hanya 0,33 dengan keanekaragaman yang rendah. Jenis diatom yang menempel pada substrat seluruhnya masuk kedalam kelas Bacillariophyceae. Kelimpahan diatom pada substrat menandakan bahwa perairan Pulau Panjang memiliki produktivitas primer yang tinggi, sehingga menghasilkan daya dukung kehidupan bentik yang baik. Substrat geopolymer memberikan hasil densitas dan keragaman diatom yang tinggi. Sehingga, beton dengan campuran bahan abu batubara (*fly ash* dan *bottom ash*) dapat diaplikasikan sebagai bahan alternatif untuk substrat keras terumbu buatan secara aman.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Artikel ini adalah bagian dari Tesis Program Magister Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro oleh penulis pertama. Terima kasih disampaikan kepada Kelompok Riset Restorasi Terumbu Karang Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro atas bantuan pengumpulan data sampel.

## DAFTAR PUSTAKA

- Birrell, C., Society, W. C., Willis, B. L., & Diaz-pulido, G. (2008). Effects Of Benthic Algae On The Replenishment Of Corals And The Implications For The Resilience Of Coral Reefs Effects of benthic algae on the replenishment of corals and the implications for the resilience of coral reefs (Issue June). doi: 10.1201/9781420065756.ch2
- Carruthers, T.J.B., Dennison, W.C., Longstaff, B.J., Waycott, M., Abal, E.G., McKenzie, L.J., & Long, W. J. (2002). Seagrass habitats of northeast Australia: models of key processes and controls. *Bulletin of Marine Science*, 71(3), 1153-1169.
- Costa, P.T., Herbst, J.H., McCrae, R.R., & Siegler, I.C. (2000). Personality at midlife: Stability, intrinsic maturation, and response to life events. *Assessment*, 7(4), 365-378. doi: 10.1177/107319110000700405
- Fabricius, K., & De'ath, G. (2001). Environmental factors associated with the spatial distribution of crustose coralline algae on the Great Barrier Reef. *Coral Reefs*, 19(4), 303-309. doi: 10.1007/s003380000120
- Fabricius, K. E. (2005). Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs: Review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin*, 50(2), 125-146. doi: 10.1016/j.marpolbul.2004.11.028
- Fabricius, K.E., & McCorry, D. (2006). Changes in octocoral communities and benthic cover along a water quality gradient in the reefs of Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, 52(1), 22-33. doi: 10.1016/j.marpolbul.2005.08.004
- Faizal, A. (2023). Zonasi Perairan Kepulauan Spermonde Berdasarkan Konsentrasi Nutrient dan Dampaknya Terhadap Ekosistem Terumbu Karang. *Torani*, 6, 126-137.
- Fikri, M., Isdianto, A., & Luthfi, O. M. (2021). Physics Oseanography Around Artificial Reef On The Pantai Of Damas, Trenggalek District, East Java. *Journal of Marine and Coastal Science*, 10(1), 35. doi: 10.20473/jmcs.v10i1.25605
- Hanapiyah, M.F.M., Saad, S., Ahmad, Z., Yusof, M.H., & Khodzori, M.F.A. (2019). Assessment of benthic and coral community structure in an inshore reef in Balok, Pahang, Malaysia. *Biodiversitas*, 20(3),

- 872–877. doi: 10.13057/biodiv/d200335
- Hayek, M., Salgues, M., Souche, J. C., Cunge, E., Giraudel, C., & Paireau, O. (2021). Influence of the intrinsic characteristics of cementitious materials on biofouling in the marine environment. *Sustainability*, 13(5), 1–24. doi: 10.3390/su13052625
- Humanes, A., Fink, A., Willis, B. L., Fabricius, K.E., de Beer, D., & Negri, A.P. (2017). Effects of suspended sediments and nutrient enrichment on juvenile corals. *Marine Pollution Bulletin*, 125(1–2), 166–175. doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.08.003
- Kiyoto, S., Ichino, T., Awano, T., & Yazaki, K. (2022). Improved chemical fixation of lipid-secreting plant cells for transmission electron microscopy. *Microscopy*, 71(4), 206–213. doi: 10.1093/jmicro/dfac018
- Loiola, M., Cruz, I.C.S., Lisboa, D.S., Mariano-Neto, E., Leão, Z.M.A.N., Oliveira, M.D.M., & Kikuchi, R.K.P. (2019). Structure of marginal coral reef assemblages under different turbidity regime. *Marine Environmental Research*, 147, 138–148. doi: 10.1016/j.marenvres.2019.03.013
- Marista, E., Zibar, Z., Raynaldo, A., Shofiyah, S.S., & Saputra, R. (2023). Keanekaragaman Karang dan Jenis Ikan Karang di Perairan Belitung Barat, Kepulauan Bangka Belitung. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 6(1), 30-39. doi: 10.26418/lkuntan.v6i1.60137
- Munasik. (2008). Kondisi terumbu buatan berbahan beton pada beberapa perairan di Indonesia. Eprint UNIP
- Munasik, M., Sabdono, A., Hutapea, E.D., Sugiyanto, S., & Sugianto, D.N. (2021). Coral Recruitment on Artificial Patch Reefs Deployed in The Marginal Reefs: Effect of Multilevel Substrate on Density of Coral Recruit. *Jurnal Segara*, 17(1), p33. doi: 10.15578/segara.v17i1.10064
- Nenadović, T., Šarčević, T., Čižmek, H., Godrijan, J., Pfannkuchen, D. M., Pfannkuchen, M., & Ljubešić, Z. (2015). Development of periphytic diatoms on different artificial substrates in the Eastern Adriatic Sea. *Acta Botanica Croatica*, 74(2), 377–392. doi: 10.1515/botcro-2015-0026
- Nurfadillah, Damar, A., & Adiwilaga, E.M. (2012). Komunitas fitoplankton di perairan Danau Laut Tawar Kabupaten Aceh Tengah , Provinsi Aceh Community of phytoplankton in Lake Laut Tawar , Aceh Tengah , Aceh Province. *Depik*, 1(2), 93–98.
- Rio Indriyantho, B., Hidayati, N., Qomaruddin, M., & Firman Ferdiansah, F. (2022). Analysis of the Effect of Polymer of Paving Block Faba (Fly Ash & Bottom Ash) With Variables of Cement and Fly Ash PLTU TJB Jepara. 13(1), 82–88. doi: 10.34001/jdpt.v12i2
- Sathyendranath, S., Watts, L., Devred, E., Platt, T., Caverhill, C., & Maass, H. (2004). Discrimination of diatoms from other phytoplankton using ocean-colour data. *Marine Ecology Progress Series*, 272, 59–68. doi: 10.3354/meps272059
- Soares, M.deO. (2020). Marginal reef paradox: A possible refuge from environmental changes? *Ocean and Coastal Management*, 185, p.105063. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2019.105063
- Speare, K.E., Duran, A., Miller, M.W., & Burkepile, D.E. (2019). Sediment associated with algal turfs inhibits the settlement of two endangered coral species. *Marine Pollution Bulletin*, 144, 189–195. doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.04.066
- Supriyantini, E., Munasik, M., Sedjati, S., Wulandari, S.Y., Ridlo, A., & Mulya, E. (2020). Kajian Pencemaran Perairan Pulau Panjang, Jepara Berdasarkan Indeks Saprobik dan Komposisi Fitoplankton. *Buletin Oseanografi Marina*, 9(1), 27–36. doi: 10.14710/buloma.v9i1.27276
- Tang, S.L., Hong, M.J., Liao, M.H., Jane, W.N., Chiang, P.W., Chen, C. Bin, & Chen, C.A. (2011). Bacteria associated with an encrusting sponge (*Terpios hoshinota*) and the corals partially covered by the sponge. *Environmental Microbiology*, 13(5), 1179–1191. doi: 10.1111/j.1462-2920.2010.02418.x
- Taniguchi, H., & Tokeshi, M. (2004). Effects of habitat complexity on benthic assemblages in a variable environment. *Freshwater Biology*, 49(9), 1164–1178. doi: 10.1111/j.1365-2427.2004.01257.x
- Taufina, T., Faisal, F., & Lova, S.M. (2018). Rehabilitasi Terumbu Karang Melalui Kolaborasi Terumbu Buatan Dan Transplantasi Karang Di Kecamatan Bungus Teluk Kabung Kota Padang: Kajian Deskriptif Pelaksanaan Corporate Social Responsibility (CSR) PT. Pertamina (Persero) Marketing Operation Region (MOR). *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 24(2), 730-739. doi: 10.24114/jpkm.v24i2.10739
- Wijayanti, D. P., Indrayanti, E., Wirasatriya, A., Haryanto, A., Haryanti, D., Sembiring, A., Fajrianzah, T.

A., & Bhagooli, R. (2019). Reproductive seasonality of coral assemblages in the Karimunjawa Archipelago, Indonesia. *Frontiers in Marine Science*, 6, 1–15. doi: 10.3389/fmars.2019.00195