Pengaruh Faktor Lingkungan terhadap Kondisi Mangrove Hasil Rehabilitasi di Pulau Harapan, Kepulauan Seribu

Alika Tsabita[1], Sunarto[2], Yuniarti MS[2], Wahyuniar Pamungkas[2]

[1]Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran
[2]Departemen Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang KM 21 Jatinangor, 45363, Jawa Barat, Indonesia
Email: alika20005@mail.unpad.ac.id

Abstrak

Pulau Harapan merupakan salah satu wilayah di Kepulauan Seribu yang melakukan rehabilitasi mangrove dengan jenis *Rhizophora stylosa* sejak tahun 2005. Tetapi, pertumbuhan diameter batang mangrove yang cenderung lambat menjadikan rehabilitasinya tidak optimal. Tujuan dilaksanakannya riset ini adalah untuk menganalisis faktor lingkungan yang memengaruhi kondisi mangrove hasil rehabilitasi di Pulau Harapan. Metode yang digunakan yakni survei lapangan untuk mendapatkan data kondisi mangrove, data faktor lingkungan berupa suhu, salinitas, pH, DO, nitrat, fosfat, serta jenis substrat dari ekosistem mangrove. Untuk mengetahui keterkaitan kondisi mangrove dengan faktor lingkungan, dilakukan *Principal Component Analysis*. Terdapat 3 stasiun pengamatan pada penelitian yang ditentukan menggunakan metode *purposive sampling* dengan pertimbangan utama berupa perbedaan kondisi lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mangrove hasil rehabilitasi di Pulau Harapan berada dalam kondisi baik dan sangat padat. Tetapi, jarak penanaman yang terlalu dekat serta tidak dilakukannya penjarangan saat mangrove mulai tumbuh besar menyebabkan ketidakcukupan ruang untuk mangrove dapat tumbuh dengan baik. Kondisi mangrove di Pulau Harapan yang berupa kerapatan dan pertumbuhan, utamanya dipengaruhi oleh substrat pada ekosistem mangrove yang kasar serta kandungan nutrien dengan konsentrasi yang cukup tinggi, dimana konsentrasi fosfat berkisar 0,038 – 0,062 mg/L dan konsentrasi nitrat berkisar 0,059 – 0,461 mg/L. Selain itu, faktor lingkungan lain seperti nilai pH yang berada di bawah baku mutu yang telah ditetapkan serta kondisi perairan Pulau Harapan yang termasuk dalam kategori tercemar ringan turut berpengaruh pada kondisi mangrove.

Kata kunci : Rehabilitasi Mangrove, Kualitas Air, Pulau Harapan

Abstract

The Influence of Environmental Factors on the Condition of Rehabilitated Mangroves on Harapan Island, Thousand Islands

Harapan Island is one of the areas in the Thousand Islands that has been rehabilitating mangroves with the type Rhizophora stylosa since 2005. However, the slow growth of mangrove trunk diameter makes the rehabilitation not optimal. The purpose of this research is to analyze environmental factors that affect the condition of rehabilitated mangroves on Harapan Island. The method used is a field survey to obtain data on mangrove conditions, environmental factor data in the form of temperature, salinity, pH, DO, nitrate, phosphate, and substrate types from mangrove ecosystems. To determine the relationship between mangrove conditions and environmental factors, a Principal Component Analysis was conducted. There are 3 observation stations in the study that are determined using the purposive sampling method with the main consideration being differences in environmental conditions. The results of the study show that the rehabilitated mangroves on Harapan Island are in good condition and very dense. However, the planting distance that is too close and the lack of thinning when the mangroves begin to grow large causes insufficient space for mangroves to grow properly. The condition of mangroves on Harapan Island, which is in the form of density and growth, is mainly influenced by the substrate in the mangrove ecosystem which is rough and the nutrient content with a fairly high concentration, where the phosphate concentration ranges from 0.038 – 0.062 mg/L and the nitrate concentration ranges from 0.059 – 0.461 mg/L. In addition, other environmental

*Corresponding author
http://ejournal.undip.ac.id/index.php/buloma
DOI:10.14710/buloma.v14i2.65378
Diterima/Received : 26-07-2024
Disetujui/Accepted : 09-02-2025

factors such as pH values that are below the predetermined quality standards and the condition of the waters of Harapan Island which are included in the lightly polluted category also affects the condition of mangroves.

Keywords : *Mangrove Rehabilitation, Water Quality, Harapan Island*

PENDAHULUAN

Salah satu ekosistem pesisir yang memberi kontribusi positif dalam hal mengendalikan laju perubahan iklim global serta dinamika ekologi adalah mangrove (Saru *et al*., 2019). Secara umum, mangrove memiliki 3 fungsi utama, yakni fungsi fisik, ekonomis, dan biologis (Sunaryo *et al*., 2018). Meski memiliki berbagai peranan penting bagi lingkungan, Indonesia terus kehilangan sekitar 5,6 % atau sekitar 204,698 ha hutan mangrove setiap tahunnya (Sondak *et al*., 2019).

Tingginya degradasi mangrove dapat disebabkan karena sejumlah tekanan, seperti alih fungsi ekosistem mangrove menjadi kawasan pengembangan serta adanya pencemaran (Salakory *et al*., 2018). Beragam kerugian dan bencana dapat terjadi karena degradasi mangrove ini, seperti abrasi pantai, banjir, serta menurunnya populasi organisme perairan (Kalor & Paiki, 2021). Walaupun ekosistem mangrove dapat pulih melalui regenerasi alami, namun, laju kerusakan mangrove berlangsung cepat dan tidak berbanding lurus dengan laju pemulihan ekosistem secara alami. Sehingga, diperlukan bantuan manusia untuk mempercepat pemulihan ekosistem mangrove (Putro *et al*., 2018).

Salah satu upaya memulihkan ekosistem mangrove yang terdegradasi atau mengalami kerusakan yakni dengan cara restorasi atau rehabilitasi, yang merupakan langkah penting untuk mengurangi dampak negatif pada pulau-pulau kecil (Easteria *et al*., 2022). Meskipun demikian, tak sedikit hasil rehabilitasi ekosistem mangrove yang belum optimal dikarenakan beragam faktor (Matatula *et al*., 2019). Padahal, cepatnya degradasi mangrove di Indonesia memerlukan upaya rehabilitasi yang lebih baik (Djamaluddin, 2020).

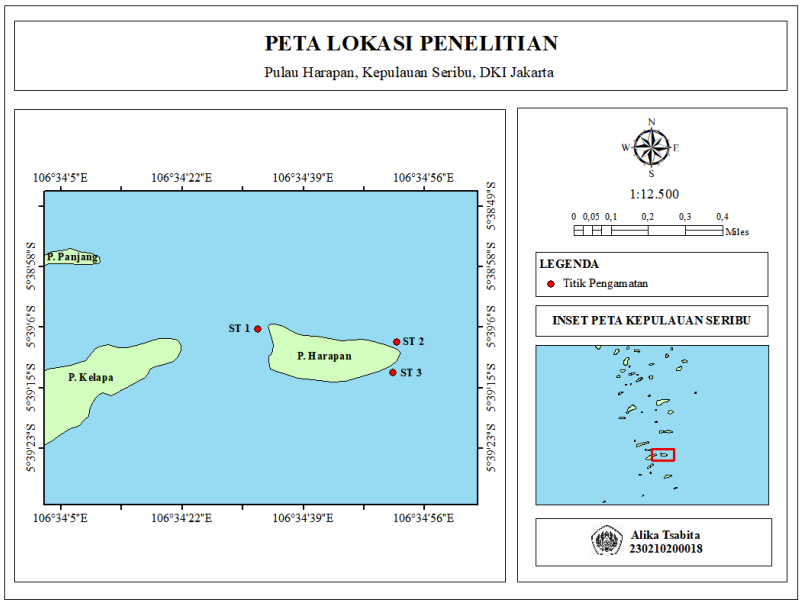
Faktor yang dapat memengaruhi kondisi ekosistem mangrove sendiri berkaitan dengan faktor lingkungan, termasuk kualitas perairan (Matatula *et al*., 2019). Parameter seperti oksigen terlarut dan pH perairan adalah faktor yang mendukung kehidupan mangrove (Tefarani *et al*., 2019). Parameter lain seperti suhu dan salinitas merupakan faktor lingkungan yang memiliki pengaruh terhadap pertumbuhan mangrove (Hariphin *et al*., 2016). Kandungan nutrien seperti nitrat dan fosfat juga menjadi faktor yang memiliki peran penting dalam produktivitas dan pertumbuhan mangrove (Citra *et al*., 2020). Selain itu, ketidaksesuaian substrat juga memengaruhi pertumbuhan mangrove karena dapat menyebabkan sulitnya mangrove untuk menyerap unsur hara (Alongi, 2014).

Pulau Harapan merupakan wilayah yang melakukan rehabilitasi mangrove dengan jenis *Rhizophora stylosa* dan bertujuan untuk konservasi mangrove serta perlindungan area pesisir. Tetapi, rehabilitasi mangrove di pulau ini belum mencapai tahap optimal karena pertumbuhan diameter batang mangrove yang cenderung lambat, dimana rata-rata diameternya adalah < 5 cm. Padahal, tinggi rata-rata mangrovenya sudah dapat dikategorikan sebagai pohon, yakni sekitar 3 m. Idealnya, mangrove yang dikategorikan sebagai tingkat pohon yakni mangrove yang berdiameter ≥ 10 cm dan memiliki tinggi > 1,5 m (Sahami, 2018).

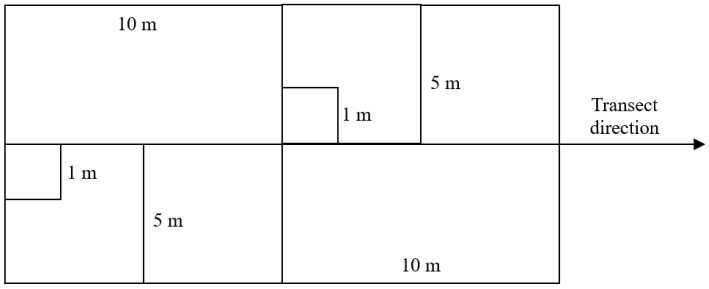
Mengingat berbagai fungsi dari ekosistem mangrove serta memperhatikan pula degradasi ekosistem mangrove di Indonesia, maka penting untuk mengkaji kondisi ekosistem mangrove. Isu utama yang menjadi dasar pentingnya riset ini yakni lambatnya pertumbuhan mangrove hasil rehabilitasi di Pulau Harapan. Tujuan dari riset ini adalah untuk menganalisis faktor lingkungan, khususnya kualitas perairan dan jenis substrat yang memengaruhi kondisi mangrove hasil rehabilitasi di Pulau Harapan.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan pada bulan Februari 2024 di Pulau Harapan, Kepulauan Seribu dengan koordinat 5° 39’ 10” LS dan 106° 34’ 41” BT (Gambar 1). Penelitian dilakukan pada 3 stasiun pengamatan, yang pada penentuannya menggunakan metode *purposive sampling* dengan pertimbangan yakni dilakukan pada kawasan rehabilitasi mangrove dengan perbedaan kondisi lingkungan seperti jarak dengan pemukiman serta terdapat atau tidaknya saluran pembuangan yang dapat memengaruhi parameter yang akan diuji. Materi yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data primer dan sekunder.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian



Gambar 2. Ilustrasi Metode *Transect Line Plot* (Yuliana *et al*., 2019)

Data primer yang digunakan yakni berupa data hasil survei lapangan, yang meliputi data kondisi mangrove, data kualitas perairan yang meliputi suhu, salinitas, pH, dan *dissolved oxygen* (DO). Selain itu, diambil pula sampel air pori sedimen untuk analisis nitrat dan fosfat, serta sampel substrat dari ekosistem mangrove untuk analisis jenis substrat. Sementara data sekunder yang digunakan yakni berupa data tambahan dari pihak Taman Nasional Kepulauan Seribu terkait rehabilitasi mangrove di Pulau Harapan.

Metode Pengambilan Sampel

Pengambilan data kondisi mangrove dilakukan dengan menggunakan metode *transect line plot* (Gambar 2). Selain itu, dilakukan juga pengukuran diameter batang mangrove menggunakan meteran jahit. Pada sepanjang jalur transek dibuat beberapa plot dengan ukuran 10 x 10 m yang dibuat untuk tingkat pohon dan sub petak dengan ukuran 5 x 5 m untuk pancang, serta 2 x 2 m untuk semai (Beki *et al*., 2022).

Sementara itu, untuk pengukuran faktor lingkungan berupa suhu dilakukan menggunakan termometer, salinitas menggunakan refraktometer, pH menggunakan pH meter, dan DO menggunakan DO meter. Pengukuran masing-masing parameter dilakukan sebanyak 3 kali ulangan pada tiap stasiun.

Sampel substrat diambil pada tiap-tiap stasiun menggunakan pipa PVC dengan panjang 50 cm dan diameter 10 cm yang ditancapkan pada substrat mangrove, kemudian sampel substrat yang telah diambil akan diletakkan pada *ziplock*. Selanjutnya, pengambilan air pori sedimen dilakukan dengan diambilnya substrat

menggunakan pipa PVC lalu dikeluarkan dan diperas menggunakan kain kasa secara manual. Pengambilan air pori pada tiap stasiun ini diambil sebanyak 3 kali dari plot yang berbeda lalu disatukan (dihomogenkan) dalam satu botol sampel per stasiun.

Analisis Kondisi Mangrove

Kondisi ekosistem mangrove dianalisis dengan menggunakan data ekosistem mangrove yang telah didapatkan dengan melakukan perhitungan kerapatan mangrove mengikuti perhitungan English *et al*. (1997) sebagai berikut:
Kerapatan Jenis (K)

$$K_i = \frac{\text{Jumlah individu ke- i}}{\text{Luas seluruh petak ukur}}$$

Kerapatan Relatif Jenis (KR)

$$KR_i = \frac{\text{Kerapatan jenis ke - i}}{\text{Kerapatan seluruh jenis}} \times 100\%$$

Kondisi ekosistem mangrove yang dapat dikategorikan baik atau rusak didapatkan dengan membandingkan hasil perhitungan kerapatan mangrove yang diperoleh dengan kriteria kondisi ekosistem mangrove yang mengacu pada Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 201 Tahun 2004 tentang Kriteria Baku dan Pedoman Penentuan Kerusakan Mangrove (Tabel 1).

Analisis Kualitas Perairan

Kualitas perairan dianalisis secara deskriptif komparatif dengan melakukan perbandingan antara pengukuran faktor lingkungan di lapangan dengan kesesuaian untuk faktor tersebut berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 tahun 2021 tentang Baku Mutu Air Laut. Selain itu, dilakukan pula analisis tentang pencemaran air, yang mana penentuan status pencemaran ini ditentukan dengan menggunakan indeks pencemaran menurut Nemerow dan Sumitomo (1970) sebagai berikut:

$$IP_j = \sqrt{\frac{(C_i/L_{ij})_M^2 + (C_i/L_{ij})_R^2}{2}}$$

Keterangan: L_{ij} = Konsentrasi parameter kualitas air i dalam baku mutu peruntukan air j; C_i = Konsentrasi parameter kualitas air i hasil survei; IP_j = Indeks pencemaran bagi peruntukan j; $(C_i/L_{ij})_M$ = Nilai C_i/L_{ij} maksimum; $(C_i/L_{ij})_R$ = Nilai C_i/L_{ij} rata-rata

Adapun kriteria indeks pencemaran berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Penetapan Status Mutu Air adalah sebagai berikut: $0 \leq IP_j \leq 1{,}0$ = Memenuhi baku mutu (kondisi baik); $1{,}0 < IP_j \leq 5{,}0$ = Tercemar ringan; $5{,}0 < IP_j \leq 10$ = Tercemar sedang; $IP_j > 10$ = Tercemar berat

Analisis Jenis Substrat

Metode yang digunakan dalam analisa jenis substrat yakni metode ayak kering dengan menggunakan *sieve shaker*. Dari proses pengayakan, pada kerapatan saringan yang berbeda, sampel akan terpisah sesuai dengan ukurannya masing-masing, kemudian ditimbang berat sampel yang tersisa dari setiap ukuran saringan (Masruroh & Insafitri, 2020). Selanjutnya, data dianalisis dengan bantuan *software* Gradistat yang dijalankan dalam program *Microsoft Excel*.

Keterkaitan Kondisi Mangrove dengan Faktor Lingkungan

Keterkaitan antara faktor lingkungan dengan kondisi mangrove yang Keterkaitan antara faktor lingkungan dengan kondisi mangrove yang dapat diwakilkan oleh data kerapatan mangrove serta rata-rata diameter batang dianalisis menggunakan *Principal Component Analysis* (PCA). Adapun faktor lingkungan yang digunakan dalam PCA yaitu suhu, salinitas, pH, oksigen terlarut (DO), fosfat, nitrat, dan persentase jenis substrat. Dalam

Tabel 1. Kriteria Baku Kondisi Mangrove

Kriteria		Kerapatan (ind/ha)
Baik	Sangat padat	≥ 1.500
	Sedang	≥ 1.000 - < 1.500
Rusak	Jarang	< 1.000

analisisnya, digunakan *software* XLSTAT, yang merupakan merupakan *add-in* statistik untuk program *Microsoft Excel* dengan pengoperasian yang sederhana.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Ekosistem Mangrove

Ketiga stasiun penelitian di Pulau Harapan berada dalam kondisi baik dan sangat padat berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 201 Tahun 2004 tentang Kriteria Baku dan Pedoman Penentuan Kerusakan Mangrove (Tabel 1). Kerapatan relatif jenis pada setiap stasiun menunjukkan angka 100 % karena hanya ada 1 spesies mangrove yang ditanam dengan tujuan rehabilitasi di Pulau Harapan, yakni jenis *Rhizophora stylosa*.

Adapun penanaman dilakukan dengan metode rumpun berjarak, yakni metode penanaman dalam rumpun dengan jarak tanam yang rapat (Pamungkas *et al*., 2019). Metode ini umumnya digunakan di area pesisir pulau untuk menyesuaikan kondisi arus pasang surut yang cukup kuat dan berpotensi menyebabkan hanyutnya mangrove kategori semai (Adinegoro *et al*., 2022). Sementara, untuk tinggi rata-rata mangrovenya sudah dapat dikategorikan sebagai pohon, yakni sekitar 2,5 m, sedangkan diameter rata-rata dari batang mangrove di Pulau Harapan ini masih kurang dari 3 cm sehingga dikategorikan sebagai pancang dan semai, meski sudah dilakukan penanaman sejak lebih dari 10 tahun lalu.

Darwati *et al*. (2021) menyatakan bahwa setidaknya ada pertumbuhan diameter batang mangrove 1 – 2 cm per tahun dalam penelitian yang dilakukannya. Begitu pula Kusmana dan Rifana (2023) menyatakan bahwa terdapat pertumbuhan diameter mangrove kurang lebih 0,20 cm/bulan. Lambatnya pertumbuhan mangrove di Pulau Harapan ini salah satunya terjadi karena pengaruh dari faktor lingkungan serta jarak penanaman pada saat rehabilitasi yang terlalu dekat.

Nilai kerapatan dari ketiga stasiun penelitian menunjukkan bahwasanya mangrove hasil rehabilitasi di Pulau Harapan ini ada pada kondisi baik dan sangat padat dengan kerapatan 11,74–16,91 ind/m^2 atau sekitar 117.400 – 169.100 ind/ha. Adapun berdasarkan hasil di lapangan, jarak antar tegakan mangrove cenderung sangat rapat sehingga cukup sulit untuk dapat masuk ke ekosistem tersebut (Gambar 3).

Jarak tanam antar tegakan mangrove pada saat rehabilitasi yang terlalu dekat menjadi salah satu faktor yang memengaruhi pertumbuhan serta kerapatan yang tinggi di ekosistem mangrove hasil rehabilitasi (Sani *et al*., 2019). Di Pulau Harapan, penanaman mangrovenya dilakukan pada rumpun berukuran 1 m x 4 m dengan jarak antar rumpun sekitar 1 m. Setiap rumpunnya ditanam 500 tegakan mangrove dengan jarak tanam sekitar 5 – 10 cm dan kedalaman tanam sekitar 10 – 15 cm.

Jarak tanam ini biasanya didasarkan pada lokasi dan tujuan. Untuk perlindungan area pesisir seperti di Pulau Harapan, jarak tanamnya biasanya 1 x 1 m dan dapat dijarangkan menjadi 3 x 3 m setelah tanaman mulai tumbuh besar, karena terlalu dekatnya jarak penanaman berpotensi membuat cabang antar pohon bergesekan, yang akhirnya menyebabkan cabang patah (Pamungkas *et al*., 2019).

Tabel 2. Hasil Pengolahan Data Mangrove

Stasiun	Jumlah mangrove (ind)		Kerapatan jenis mangrove (ind/m^2)	Kerapatan relatif jenis (%)	Diameter batang rata-rata (cm)
1	Semai	0	–	–	–
	Pancang	2.012	16,10	100	2,68
	Pohon	0	–	–	–
2	Semai	64	12,80	100	–
	Pancang	1.467	11,74	100	2,50
	Pohon	0	–	–	–
3	Semai	0	–	–	–
	Pancang	2.114	16,91	100	2,83
	Pohon	0	–	–	–

(A) (B) (C)

Gambar 3. Kondisi Mangrove Stasiun 1 (A), Stasiun 2 (B), Stasiun 3 (C)

Di lokasi penelitian, mangrove hasil rehabilitasi terlihat tidak dijarangkan saat mulai tumbuh besar. Sehingga terdapat pula sejumlah tegakan mangrove yang menjadi saling tumpang tindih. Hal tersebut dapat memengaruhi diameter batang rata-rata mangrove pada tiap stasiun yang kurang dari 3 cm. Pertumbuhan diameter mangrove yang lambat umumnya disebabkan karena terlalu rapatnya jarak penanaman antar individu (Alongi, 2018).

Jarak tanam sangat penting untuk menyediakan ruang yang cukup untuk pertumbuhan mangrove dan memengaruhi ketersediaan cahaya serta pengambilan air, nutrisi, dan udara (Islami *et al*., 2022). Oleh karenanya, dalam rehabilitasi mangrove, perlu dilakukan penjarangan dengan harapan pertumbuhan mangrove dapat lebih baik karena tercukupinya ruang tumbuh untuk mangrove tersebut (Sari *et al*., 2023).

Kualitas Perairan pada Ekosistem Mangrove

Pada parameter berupa suhu, salinitas, dan DO sudah sesuai dengan baku mutu perairan, khususnya untuk mangrove menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 tahun 2021, namun, nilai pH berada di bawah baku mutu perairan dan untuk kandungan nutrien pada air pori sedimen berupa nitrat pada dua stasiun pengamatan serta kandungan fosfat di tiap stasiun melebihi baku mutu yang telah ditetapkan (Tabel 3).

Suhu perairan di ketiga stasiun penelitian berkisar 29,00 ℃ – 30,50 ℃, yang sudah sesuai dengan baku mutu yang ditentukan serta dinilai baik bagi ekosistem mangrove, karena suhu optimum bagi pertumbuhan mangrove umumnya berkisar antara 28 ℃ – 31 ℃ (Badu *et al.*, 2022). Suhu tersebut juga berada pada kisaran yang hampir sama dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Mustikasari *et al*. (2019), yang menyatakan bahwa suhu rata-rata perairan di Kepulauan Seribu yakni 28,58 ℃ – 30,25 ℃. Adapun suhu tertinggi tercatat pada stasiun 2, yang memiliki kerapatan mangrove paling kecil dibandingkan dua stasiun lainnya serta masih terdapatnya mangrove kategori semai.

Kerapatan mangrove umumnya berpengaruh terhadap masuknya intensitas cahaya ke ekosistem mangrove, yang mana semakin tinggi kerapatan ekosistem mangrove, maka akan mengurangi intensitas cahaya yang masuk ke ekosistem tersebut (Samson *et al*., 2020). Selain itu, sedikitnya air yang tergenang pada ekosistem mangrove di stasiun 2 jika dibandingkan dengan dua stasiun yang lain pun ikut memengaruhi suhu yang lebih tinggi di stasiun tersebut. Karena volume air yang tergenang pada ekosistem mangrove akan memengaruhi suhu perairan. Semakin sedikit air yang tergenang, maka berakibat pada peningkatan suhu perairan di lokasi tersebut (Dajafar *et al*., 2014).

Salinitas perairan di ketiga stasiun penelitian berada pada kisaran 26 ‰ hingga 27 ‰, yang menunjukkan bahwa salinitas pada ketiga stasiun penelitian tidak berbeda signifikan antar stasiunnya dan memiliki nilai yang sesuai dengan baku mutu. Kisaran salinitas yang didapatkan di ketiga stasiun penelitian tersebut termasuk sesuai bagi pertumbuhan mangrove, yakni 10 – 30 ‰ (Badu *et al*., 2022).

Dalam memengaruhi kehidupan organisme perairan, salinitas ini berkaitan dengan suhu. Peningkatan suhu akan berbanding lurus dengan peningkatan evaporasi, sehingga nilai salinitas akan ikut naik (Arizuna *et al*., 2014). Hal tersebut dibuktikan pula dengan stasiun 3 yang memiliki salinitas terendah ternyata juga memiliki suhu paling rendah dibandingkan stasiun lainnya serta dua stasiun lainnya memiliki salinitas sekaligus suhu yang lebih tinggi dibanding stasiun 3 tersebut.

Tabel 3. Data Kualitas Perairan

Stasiun	Suhu (℃)	Salinitas (‰)	pH	DO (mg/L)	Nitrat (mg/L)	Fosfat (mg/L)
1	29,00	26,00	6,70	5,70	0,427	0,057
2	30,50	26,67	6,70	5,50	0,461	0,038
3	30,00	26,33	6,60	5,70	0,059	0,062
Baku Mutu PP No. 22 Th. 2021	28 – 32	s/d 34	7 – 8,5	> 5	0,06	0,015

Nilai pH di ketiga stasiun penelitian memiliki rentang 6,60 – 6,70, yang menunjukkan bahwa pH di semua stasiun penelitian cenderung asam dan berada di bawah baku mutu. Pada dasarnya, banyak sedikitnya aktivitas yang ada di sekitar atau di suatu perairan dapat memengaruhi nilai pH dari perairan itu sendiri (Ambarwati & Fauzi, 2022). Perubahan nilai pH menjadi asam biasanya disebabkan karena adanya buangan industri dan limbah rumah tangga yang masuk ke perairan (Putri *et al*., 2021). Pada lokasi penelitian, tiap stasiun masih terpengaruh oleh aktivitas manusia termasuk buangan rumah tangga, yang akhirnya menjadi salah satu faktor rendahnya nilai pH.

Kandungan DO di ketiga stasiun penelitian berada pada kisaran 5 – 6 mg/L, yang menunjukkan bahwa salinitas di ketiga stasiun penelitian sesuai dengan baku mutu. Meskipun nilai DO pada tiap stasiun tidak memiliki perbedaan yang signifikan, namun kadar oksigen terlarut terendah ada di stasiun 2 yang dipengaruhi oleh limbah rumah tangga. Pada dasarnya, peningkatan limbah organik di perairan akan menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut, hal ini dikarenakan oksigen yang ada digunakan oleh bakteri untuk menguraikan zat organik menjadi zat anorganik (Megawati *et al*., 2014).

Disamping itu, suhu dan salinitas tertinggi tercatat pada stasiun 2, yang kemudian dapat memengaruhi nilai DO karena meningkatnya kadar salinitas dapat menyebabkan kematian biota, termasuk fitoplankton yang menghasilkan oksigen, akibatnya kandungan oksigen terlarut di perairan dapat menurun (Schaduw, 2018). Peningkatan suhu perairan juga dapat meningkatkan metabolisme dan respirasi biota perairan sehingga berpengaruh pada penurunan oksigen terlarut dalam air (Poedjirahajoe *et al*., 2017).

Kandungan nitrat di stasiun 1, 2, dan 3 masing-masing yakni 0,427 mg/L, 0,461 mg/L, dan 0,059 mg/L. Berdasarkan hasil yang diperoleh, kandungan nitrat di stasiun 1 dan 2 melebihi baku mutu yang terdapat pada PP No. 22 Tahun 2021. Meskipun baku mutu tersebut dirancang untuk air laut secara umum atau tidak khusus diperuntukkan bagi air pori, namun kelebihan nitrat ini juga dibuktikan dengan perairan di stasiun 1 dan 2 yang memiliki bau tak sedap serta kolom air yang cukup keruh. Hal itu disebabkan karena jumlah nitrat yang berlebihan menyebabkan kekurangan oksigen, bau tidak sedap, dan kondisi air yang buruk (Sanjaya *et al*., 2023).

Kandungan nitrat terendah tercatat di stasiun 3 yang dapat dipengaruhi karena jumlah mangrove di stasiun 3 ini lebih banyak daripada stasiun lainnya. Pada umumnya, penurunan kandungan nitrat diikuti dengan kelimpahan mangrove yang lebih besar karena unsur tersebut digunakan oleh akar untuk pertumbuhan (Lestari & Kusmana, 2015). Selain itu, perairan di stasiun 3 ini tidak begitu terpengaruh oleh saluran buangan, dibandingkan dengan stasiun 1 dan 2.

Selanjutnya, kandungan nitrat tertinggi tercatat di stasiun 2 yang perairannya terkena pengaruh dari limbah rumah tangga, karena sumber nitrat sendiri dapat berupa limbah domestik atau rumah tangga (Arnanda, 2023). Adapun kandungan nitrat yang melebihi baku mutu dapat mengakibatkan penurunan kualitas perairan serta akan berdampak negatif bagi biota laut yang ada di perairan tersebut. Hal itu disebabkan karena kandungan nitrat di atas 0,2 mg/L dapat menyebabkan eutrofikasi, yang dapat membahayakan ekosistem perairan setempat (Hamuna *et al*., 2018). Pencemaran air seperti eutrofikasi ini terjadi ketika nutrien masuk ke ekosistem air dalam jumlah berlebih, yang mengakibatkan tidak terkontrolnya pertumbuhan tumbuhan air (Simbolon, 2016).

Kandungan fosfat di ketiga stasiun penelitian berada pada kisaran 0,038 – 0,062 mg/L,

yang menunjukkan kandungan fosfat pada ketiga stasiun lebih tinggi dibandingkan baku mutu perairan, khususnya untuk mangrove menurut PP No. 22 Tahun 2021. Hal tersebut dapat dipengaruhi pula karena adanya aktivitas manusia dan limbah domestik yang mengandung deterjen, dimana, ion fosfat ini sendiri merupakan salah satu komposisi penyusun deterjen, sehingga, keberadaan deterjen dalam perairan dapat meningkatkan kadar fosfat (Nuraya *et al*., 2022). Kandungan fosfat yang berlebihan dalam air laut dapat menyebabkan eutrofikasi, yang menyebabkan pertumbuhan alga secara berlebih. Ketika alga tersebut mati, maka diperlukan oksigen untuk proses penguraiannya, sehingga keseimbangan ekosistem laut akan terganggu karena terjadi penurunan oksigen. Hal tersebut dapat berdampak buruk pada biota laut (Nur *et al*., 2023).

Meskipun menunjukkan angka yang tidak berbeda signifikan, kandungan fosfat terendah tercatat di stasiun 2 dan kandungan fosfat tertinggi tercatat di stasiun 3. Hal ini dapat dipengaruhi karena letak stasiun 3 yang dekat dengan pemukiman menjadikan masih banyaknya aktivitas masyarakat di sekitar perairannya.

Disamping itu, kandungan fosfat di stasiun 3 dipengaruhi pula oleh kerapatan di stasiun 3 yang lebih tinggi dibandingkan stasiun lainnya. Hal itu dikarenakan proses penguraian atau dekomposisi tumbuhan dan organisme mati merupakan salah satu sumber fosfat. Tingginya produktivitas ekosistem mangrove disebabkan oleh keberadaan serasah mangrove. Bakteri pengurai akan menguraikan serasah tersebut menjadi detritus, yang kemudian larut dalam air dan dimanfaatkan oleh organisme akuatik dan mangrove itu sendiri (Komalasari *et al*., 2022).

Kandungan nitrat dan fosfat yang diperoleh dari perairan Pulau Harapan diperkirakan dipengaruhi juga oleh massa air yang kaya nutrien dari Teluk Jakarta yang memasuki perairan Kepulauan Seribu. Perairan Teluk Jakarta sendiri menerima limbah organik hasil aktivitas manusia di kawasan Jabodetabek yang menyebabkan pencemaran perairan. Disamping itu, perairan Teluk Jakarta ini adalah perairan yang sangat subur dan diindikasikan oleh tingginya nilai kandungan unsur hara, utamanya nitrogen, fosfat, dan silikat (Djaelani *et al*., 2011). Hal ini kemudian mengakibatkan fenomena *blooming* fitoplankton terjadi sejak lama dan berulang di perairan Kepulauan Seribu, yang dipengaruhi pula oleh peningkatan kandungan unsur hara di perairan, khususnya nitrat dan ortofosfat (Mursalin *et al*., 2021).

Indeks Pencemaran Perairan Pulau Harapan

Berdasarkan hasil perhitungan, semua stasiun penelitian di Pulau Harapan sudah dalam kondisi tercemar ringan dengan nilai $1{,}0 < IP < 5{,}0$ (Tabel 4). Hal ini dapat disebabkan karena ketiga stasiun penelitian masih terpengaruh oleh aktivitas masyarakat serta adanya limbah rumah tangga. Pada dasarnya, masuknya bahan pencemar, baik organik ataupun anorganik ke badan pesisir dapat menyebabkan penurunan kualitas perairan (Habudin *et al.*, 2022).

Banyaknya zat pencemaran di laut dapat menyebabkan penurunan DO dalam air, sehingga berbagai proses dalam perairan yang membutuhkan oksigen akan ikut terganggu. Selain itu, pencemaran tidak hanya mengancam kehidupan biota dan lingkungan laut, tetapi juga mengurangi keindahan kawasan pesisir (Fernandez, 2023).

Nilai IP tertinggi berada di stasiun 2 yang secara lokasi cukup jauh dengan pemukiman masyarakat, namun terdapat saluran buangan rumah tangga yang mengarah ke perairan di stasiun 2 serta terdapat sampah di sekitarnya, yang kemudian memengaruhi kandungan nitrat di stasiun tersebut. Hal ini dikarenakan sumber nitrat dapat berupa limbah industri dan limbah domestik (Arnanda, 2023). Disamping itu, perairan di stasiun 2 juga memiliki bau yang tak sedap serta air yang lebih keruh dibandingkan dengan dua stasiun lainnya, yang menandakan bahwa perairannya berada pada kondisi tercemar (Bayan *et al.*, 2016).

Sementara, nilai IP tertinggi kedua berada di stasiun 1, yang lokasinya cukup dekat dengan pemukiman serta terdapat saluran buangan. Selain itu, di lokasi stasiun 1 ini juga banyak terdapat sampah, baik di ekosistem mangrove maupun perairannya. Hal tersebut dipengaruhi pula oleh bentuk akar mangrove yang dapat memerangkap sampah sehingga berpotensi menjadi tempat penumpukan sampah (Anna *et al*., 2022).

Selanjutnya, nilai IP terendah berada di stasiun 3 yang terletak di dekat pemukiman masyarakat. Meski memiliki nilai IP yang lebih rendah dibandingkan stasiun lainnya, namun, stasiun 3 ini tetap tergolong ke dalam perairan yang tercemar ringan dan masih terdapat sampah di sekitar perairan dari stasiun tersebut, walaupun jumlah sampahnya lebih sedikit dibandingkan dua stasiun lainnya.

Tabel 4. Nilai Indeks Pencemaran Perairan Pulau Harapan

Stasiun Penelitian	Nilai IP	Status Mutu
1	3,47	Tercemar ringan
2	3,63	Tercemar ringan
3	2,77	Tercemar ringan

Tabel 5. Hasil Analisis Ukuran Butir Sedimen

Stasiun	Persentase (%)				Klasifikasi
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung	
1	2,10	97,90	0,00	0,00	Pasir sedikit kerikil
2	6,20	93,80	0,00	0,00	Pasir kerikilan
3	0,20	99,80	0,00	0,00	Pasir sedikit krikil

Pada dasarnya, salah satu faktor utama penyebab kerusakan mangrove yaitu pencemaran (Suryatini & Dharmadewi, 2022). Adanya pencemaran seperti sampah di sekitar ekosistem mangrove dapat memengaruhi pertumbuhan dari mangrove itu sendiri (Gusti *et al*., 2023). Sampah anorganik yang tidak terbiodegradasi dapat menyebabkan lapisan tanah tidak dapat ditembus oleh akar mangrove dan tidak tembus air, sehingga mengganggu proses peresapan air dan mineral yang diperlukan untuk menyuburkan substrat (Lestari & Kusmana, 2015). Disamping itu, keberadaan sampah dapat menghalangi sirkulasi udara sehingga akar mangrove sulit melakukan respirasi (Fatmalah *et al*., 2023)

Jenis Substrat Ekosistem Mangrove Pulau Harapan

Setiap stasiun penelitian substrat dengan persentase yang berbeda-beda, namun, secara garis besar, jenis substrat yang dominan berada di ekosistem mangrove Pulau Harapan adalah pasir (Tabel 5). Adapun substrat di stasiun 1 dan stasiun 3 diklasifikasikan pasir sedikit kerikil. Sementara, substrat di stasiun 3 memiliki lebih banyak ukuran butir kasar dibandingkan dengan stasiun lainnya dengan persentase kerikil sebanyak 6,2 % dan diklasifikasikan dalam pasir kerikilan.

Di setiap stasiun penelitian, dominansi jenis pasir pada substrat mangrove juga dapat dipengaruhi karena lokasinya berhadapan langsung dengan laut, sehingga mempermudah gelombang dan arus untuk dapat mendistribusikan sejumlah besar pasir di area tersebut. Kondisi arus yang kuat mampu mengangkut pasir, sehingga partikel-partikel pasir akan terakumulasi dan membentuk substrat berpasir (Sihombing *et al*., 2017). Adapun berbagai dinamika perairan, seperti arus, pasang surut, dan gelombang juga ikut memengaruhi proses sedimentasi dalam air (Sihombing *et al*., 2017).

Jenis substrat dapat memengaruhi kelangsungan hidup mangrove, yang mana sebagian besar jenis mangrove tumbuh baik pada substrat berlumpur, tetapi jenis lainnya dapat tumbuh baik pada substrat berpasir, bahkan pecahan karang. Banyak tegakan akan mati jika kurang mampu beradaptasi terhadap substrat ataupun lingkungan yang ada (Masruroh & Insafitri, 2020).

Pada Pulau Harapan, jenis mangrovenya yakni berupa *Rhizopora stylosa* yang dapat hidup di substrat pasir dan lumpur (Adinegoro *et al*., 2022). Jenis substrat ekosistem mangrove di Pulau Harapan yang didominasi oleh pasir dirasa sudah tepat untuk pertumbuhan mangrove jenis *Rhizophora stylosa* yang dapat tumbuh pada substrat berlumpur, namun mempunyai kemampuan hidup pada sedimen yang berkarakter kasar seperti pasir (Piranto *et al*., 2019).

Meski begitu, karena ukuran partikel sedimen yang kecil dan halus, substrat yang didominasi lumpur atau lanau lebih cocok untuk pertumbuhan mangrove karena lebih memudahkan dalam proses penyerapan nutrien pada akar mangrove (Tuhumury & Louhenapessy, 2023). Berbeda dengan tekstur substrat dengan dominansi pasir yang memiliki kemampuan untuk menyimpan unsur hara yang rendah (Adinegoro *et al*., 2022).

Keterkaitan Kondisi Mangrove dengan Faktor Lingkungan

Keterkaitan antara kondisi mangrove dengan parameter lingkungan dianalisis menggunakan *Principal Component Analysis* (PCA). Parameter yang digunakan dalam PCA adalah kondisi mangrove berupa kerapatan dan diameter batangrata-ratanya, serta faktor lingkungan yang meliputi suhu, salinitas, pH, dan DO, nitrat, dan fosfat, serta persentase substrat berupa pasir dari tiap stasiun. PCA dilakukan untuk mengetahui parameter yang paling berpengaruh secara lebih spesifik terhadap masing-masing stasiun.

Berdasarkan hasil *eigenvalues* menunjukkan bahwa pengelompokan cukup dilakukan dengan menggunakan faktor 1 dan 2 yang sudah dapat menjelaskan sebesar 100 % dari variasi total (Tabel 6). Faktor utama 1 (F1) merepresentasikan sekitar 75,26 % dari keragaman data dan faktor utama 2 (F2) merepresentasikan sekitar 24,74 % dari keragaman data.

Selanjutnya, berdasarkan hasil *factor loadings* menunjukkan bahwa faktor utama 1 (F1) memiliki variabel penciri yang meliputi salinitas (-0,735), *dissolved oxygen* (0,973), nitrat (-0,738), fosfat (0,999), pasir (0,996), kerapatan (0,996), serta diameter (0,971). Sedangkan pada faktor utama 2 (F2) memiliki variabel penciri yang terdiri atas suhu (-0,810) dan pH (0,729) (Tabel 7).

Adapun untuk grafik biplot dari PCA memperlihatkan bahwa dari ketiga stasiun penelitian di Pulau Harapan menunjukkan kondisi mangrove berupa pertumbuhan, yang dalam hal ini adalah diameter batang, serta kerapatan mangrove memiliki hubungan erat dengan sejumlah faktor lingkungan seperti DO, nutrien berupa fosfat, serta jenis substrat berupa pasir (Gambar 4). Grafik biplot hasil PCA juga menunjukkan bahwa kerapatan mangrove, DO, dan fosfat berada pada kuadran yang sama, sekaligus menjadi parameter penciri stasiun 1.

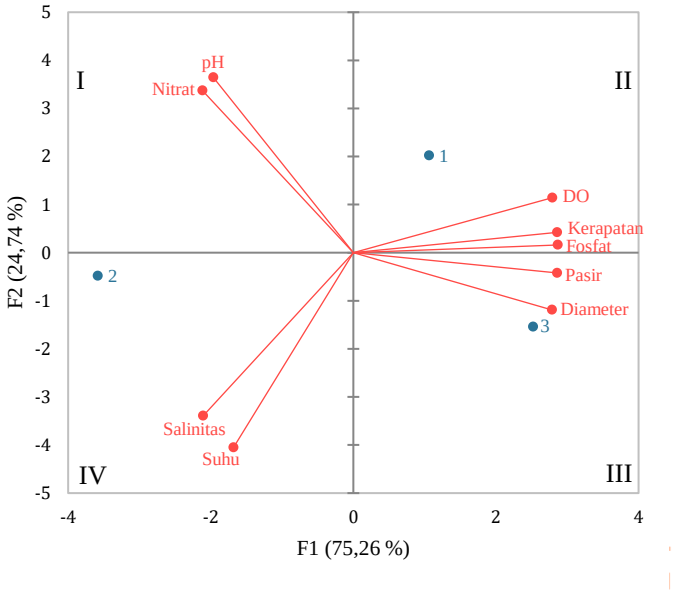
Kerapatan mangrove sendiri berkaitan erat dengan keberadaan fosfat di perairan. Dari ketiga stasiun penelitian, menunjukkan bahwa kandungan fosfat berbanding lurus dengan nilai kerapatan mangrove. Adapun nilai fosfat pada ketiga stasiun penelitian telah melebihi baku mutu yang ditetapkan dan kelebihan nutrien tersebut dapat menyediakan lebih banyak nutrisi bagi bibit mangrove yang memungkinkan lebih banyak bibit tersebut untuk bertahan hidup dan tumbuh sehingga dapat meningkatkan kerapatan, namun di sisi lain, nutrien yang berlebih dapat berakibat pada ketidakseimbangan nutrisi dan dapat mengganggu penyerapan nutrien lain yang diperlukan untuk pertumbuhan mangrove, sekalipun fosfat ini termasuk nutrisi metabolik penting untuk pertumbuhan suatu tanaman, termasuk mangrove (Prasetiyono *et al*., 2022).

Tabel 6. Hasil *Eigenvalues Principal Component Analysis*

	F1	F2
Eigenvalue	6,773	2,227
Variability (%)	75,257	24,743
Cumulative (%)	75,257	100,000

Tabel 7. *Factor Loadings* Hasil *Principal Component Analysis*

	F1	F2
Suhu	-0,586	-0,810
Salinitas	-0,735	-0,678
pH	-0,685	0,729
DO	0,973	0,229
Nitrat	-0,738	0,674
Fosfat	0,999	0,032
Pasir	0,996	-0,084
Kerapatan	0,996	0,084
Diameter	0,971	-0,238



Gambar 4. Grafik Biplot Hasil *Principal Component Analysis*

Selain itu, DO memiliki keterkaitan dengan kerapatan mangrove, karena pola pertumbuhan mangrove bergantung pada kondisi lingkungan termasuk oksigen terlarut (Haya *et al*., 2016). Dari ketiga stasiun penelitian, menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan DO, maka diikuti pula oleh semakin tingginya kerapatan mangrove.

Parameter berupa pasir dan diameter rata-rata mangrove juga berada di kuadran yang sama, sekaligus menjadi parameter penciri stasiun 3. Parameter berupa substrat di stasiun 3 sendiri didominasi oleh pasir dengan persentase paling tinggi dibandingkan dengan dua stasiun lainnya. Meskipun terdapat sedikit persentase kerikil, namun, stasiun 3 ini menjadi lokasi dengan substrat yang lebih halus dibandingkan stasiun lain. Hal tersebut juga turut memengaruhi diameter batang rata-rata mangrove di stasiun 3 yang lebih besar dibandingkan dengan dua stasiun lainnya.

Pada dasarnya, jenis substrat ini memengaruhi nutrien pada ekosistem mangrove, dimana semakin kecil dan halus ukuran partikel, maka akan semakin mudah penyerapan nutrien pada akar mangrove (Tuhumury & Louhenapessy, 2023). Dari ketiga stasiun penelitian, menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase butir yang lebih halus, maka semakin besar pula rata-rata diameter mangrovenya.

Selanjutnya, parameter suhu dan salinitas berada di kuadran yang sama sekaligus menjadi penciri utama stasiun 2. Adapun suhu dan salinitas di stasiun 2 ini lebih tinggi dibandingkan 2 stasiun lainnya. Hal tersebut dapat dipengaruhi pula oleh kerapatan mangrove di stasiun 2 yang lebih rendah dibandingkan dua stasiun lainnya sehingga memengaruhi intensitas cahaya yang masuk ke ekosistem mangrove dan kemudian turut berpengaruh pada kandungan salinitasnya. Dimana umumnya, salinitas air laut akan meningkat seiring dengan peningkatan suhu (Arizuna *et al*., 2014). Adapun dari ketiga stasiun penelitian membuktikan bahwa peningkatan suhu akan diikuti pula oleh peningkatan salinitas.

Selain itu, parameter berupa nitrat dan pH pun berada di kuadran yang sama, yang menandakan bahwa ada hubungan antara kedua parameter tersebut, utamanya adalah pH yang dapat memengaruhi konsentrasi nitrat karena memengaruhi kecepatan nitrifikasi. Pada dasarnya, nitrifikasi berjalan secara optimum pada pH 8 dan akan semakin berkurang seiring dengan rendahnya nilai pH (Permatasari *et al*., 2016). Dalam perairan, mikroorganisme sangat sensitif terhadap perubahan pH. Oleh karena itu, perubahan pH akan memengaruhi berbagai proses biokimia yang terjadi dalam perairan, termasuk nitrifikasi (Pinontoan *et al*., 2023).

Meskipun dari hasil *Principal Component Analysis*, pH dan nitrat tidak memiliki hubungan yang erat dengan kondisi mangrove, serta bukan termasuk penciri utama pada tiap stasiun karena berada dalam kuadran yang berbeda, namun, pada

dasarnya, pH dan nitrat ini tetap memiliki keterkaitan dalam pertumbuhan mangrove. Jika pH cenderung asam, aktivitas dekomposer akan rendah, sehingga menyebabkan kurangnya kandungan hara seperti nitrat dan mineral, yang kemudian akan menghambat pertumbuhan mangrove (Poedjirahajoe *et al.*, 2017).

KESIMPULAN

Mangrove hasil rehabilitasi di Pulau Harapan berada dalam kondisi baik dan sangat padat dengan kerapatan pada kategori pancang berkisar antara 11,74–16,91 ind/m^2. Tetapi, pertumbuhan mangrove hasil rehabilitasinya cenderung lambat berdasarkan rata-rata diameter batangnya. Adapun faktor lingkungan yang memengaruhi kondisi mangrove hasil rehabilitasi di Pulau Harapan utamanya adalah substrat pada ekosistem mangrove yang kasar serta kandungan nutrien berupa nitrat dan fosfat yang melebihi baku mutu. Faktor lain yang turut berpengaruh adalah kondisi perairan Pulau Harapan yang termasuk dalam kategori tercemar ringan dengan nilai indeks 2,77–3,63.

DAFTAR PUSTAKA

Adinegoro, Z.P., Samosir, A.M., & Damar, A. 2022. Kondisi Bioekologi Mangrove dan Pengelolaannya: Studi Kasus Kawasan Konservasi Pulau Pramuka, Pulau Karya dan Pulau Panggang, Taman Nasional Kepulauan Seribu. *Jurnal Pengelolaan Perikanan Tropis*, 6(2): 75–86. doi: 10.29244/jppt.v6i2.42908

Alongi, D.M. 2014. Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annual Review of Marine Science*, 6: 195–219. doi:10.1146/annurev-marine-010213-135020

Alongi, D.M. 2018. Impact of global change on nutrient dynamics in Mangrove Forests. *Forests*, 9(10): 1–13. doi: 10.3390/f9100596

Ambarwati, T., & Fauzi, M. 2022. Kondisi Ekosistem Hutan Mangrove dan Kegiatan Perikanan di Kampung Rawa Mekar Jaya, Kecamatan Sungai Apit, Kabupaten Siak, Provinsi Riau. *Jurnal Sumberdaya Dan Lingkungan Akuatik*, (2): 1–9. doi: 10.31258/jsla.3.2.1-9

Anna, Z., Purba, N.P., & Faizal, I. 2022. Lesson Learned From Marine Debris Management in Pramuka Island and Surrounding Island, Dki Jakarta. *Farmers: Journal of Community Services*, 2(2): 1–6. doi: 10.24198/job.v2i2.43573

Arizuna, M., Suprapto, D., & Muskananfola, M.R. 2014. Kandungan Nitrat dan Fosfat dalam Air Pori Sedimen di Sungai dan Muara Wedung Demak. *Diponegoro Journal of Maquares*, 3(1): p. 7–16. doi: 10.14710/marj.v3i1.4281

Arnanda, R. 2023. Analisis Kadar Nitrat dalam Air Sungai dengan Menggunakan Spektrofotometer UV-Visible. *Jurnal Kolaboratif Sains*, 6(3): p. 181–184. doi: 10.56338/jks.v6i3.3357

Badu, M.M.S., Soselisa, F., & Sahupala, A. 2022. Analisis Faktor Ekologis Vegetasi Mangrove Di Negeri Eti Teluk Piru Kabupaten Sbb. *Jurnal Hutan Pulau-Pulau Kecil*, 6(1): 44–56. doi: 10.30598/10.30598.jhppk.2022.6.1.44

Bayan, I.E., Yulianda, F., & Setyobudiandi, I. 2016. Degradation analysis of mangrove ecological function as macrozoobenthos habitat and its management in the Angke Kapuk Coastal Area, Jakarta. *Bonorowo Wetlands*, 6(1): 1–11. doi: 10.13057/bonorowo/w060101

Beki, Idiawati, N., & Nurahman, Y.A. 2022. Struktur Vegetasi Hutan Mangrove di Kawasan Pesisir Bakau Kabupaten Mempawah. *Manfish Journal*, 2(2): 80–91. doi: 10.31573/manfish.v2i2.382

Citra, L.S., Supriharyono, S., & Suryanti, S. 2020. Analisis Kandungan Bahan Organik, Nitrat dan Fosfat pada Sedimen Mangrove Jenis Avicennia dan Rhizophora di Desa Tapak Tugurejo, Semarang. *Management of Aquatic Resources Journal*, 9(2): 107–114. doi: 10.14710/marj.v9i2.27766

Dajafar, A., Olii, A.H., & Sahami, F. 2014. Struktur vegetasi mangrove di Desa Ponelo Kecamatan Ponelo Kepulauan Kabupaten Gorontalo Utara. *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, 2(2): 66–72. doi: 10.37905/.v2i2.1255

Darwati, H., Nurkalida, & Astiani, D. 2021. The growth of mangrove plants Rhizophora spp in the mangrove area of setapuk besar village, singkawang. *Jurnal Hutan Lestari*, 9: 686–694. doi: 10.26418/jhl.v9i4.53029

Djaelani, A., Damar, A., & Rahardjo, S. 2011. Kajian Kondisi Terumbu Karang dan Kaitannya dengan Proses Eutrofikasi di Kepulauan Seribu. *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan Dan Perikanan Indonesia*, 17(1): 187–194

Djamaluddin, R. 2020. An Assessment of Mangrove Rehabilitation Programs in Bolaang Mongondow Selatan Regency, North

Sulawesi. *Jurnal Ilmiah Platax*, 8(1): 1–14. doi: 10.35800/jip.8.1.2020.27354

Easteria, G., Imran, Z., & Yulianto, G. 2022. Estimasi Stok Karbon Mangrove Rehabilitasi di Pulau Harapan dan Kelapa, Taman Nasional Kepulauan Seribu, Jakarta. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 14(2): 191–204. doi: 10.29244/jitkt.v14i1.39861

English, S., Wilkinson, C., & Baker, V. 1997. *Survey manual for tropical marine resources. Second edition*. Australian Institute of Marine Science, p. 183

Fatmalah, S.F., Sa'adah, N., & Wijaya, N.I. 2023. Dampak Sampah Anorganik terhadap Vegetasi Mangrove Tingkat Semai di Ekosistem Mangrove Wonorejo Surabaya. *Journal Of Tropical Marine Research*, 4(2): p. 82–96. doi: 10.30649/jrkt.v4i2.57

Fernandez, Y.H. 2023. Tingkat Pencemaran Perairan Laut di Pesisir Teluk Kupang, Nusa Tenggara Timur, Indonesia. *Water and Marine Pollution Journal: PoluSea*, 1(1): 24–44. doi: 10.21776/ub.polusea.2023.001.01.3

Gusti, M.M., Wijaya, N.I., & Mahmiah. 2023. Pengaruh Sampah Plastik Terhadap Kelimpahan Semai Mangrove di Tambak Wedi Surabaya. *Jurnal Riset Kelautan Tropis*, 4(1): 42–51. doi: 10.30649/jrkt.v4i1.61

Habudin, Fatmawati, Mahreda, E.S., & Herliwati. 2022. Dampak Pengelolaan Sampah Padat Terhadap Kualitas Air Pantai Batakan, Tanah Laut Kalimantan Selatan. *EnviroScienteae*, 18(3): 58–63. doi: 10.20527/es.v18i3.14799

Hamuna, B., Tanjung, R.H.R., Suwito, S., & Maury, H.K. 2018. Konsentrasi Amoniak, Nitrat Dan Fosfat Di Perairan Distrik Depapre, Kabupaten Jayapura. *Enviro Scienteae*, 14(1): 8–15. doi: 10.20527/es.v14 i1.4887

Hariphin, Linda, R., & PW, E.R. 2016. Analisis Vegetasi Hutan Mangrove Di Kawasan Muara Sungai Serukam Kabupaten Bengkayang. *Protobiont*, 5(3): 66–72. doi: 10.26418/proto biont.v5i3.17066

Haya, N., Zamani, N.P., & Soedharma, D. 2016. Analisis Struktur Ekosistem Mangrove Di Desa Kukupang Kecamatan Kepulauan Joronga Kabupaten Halmahera Selatan Maluku Utara. *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*, 6(1): 79–89. doi: 10.24319/ jtpk.6.79-89

Islami, R.S., Yuliati, & Adriman. 2022. Pengaruh Penanaman Sistem Rumpun Berjarak Terhadap Kelulushidupan dan Pertumbuhan Avicennia Marina di Selat Lalang, Riau. *Jurnal Sumberdaya Dan Lingkungan Akuatik*, 3(1): p. 1–9. doi: 10.31258/jsla.3.1.1-9

Kalor, J.D., & Paiki, K. 2021. Dampak Kerusakan Ekosistem Mangrove terhadap Keanekaragaman dan Populasi Perikanan di Teluk Youtefa Kota Jayapura Provinsi Papua. *Majalah Ilmiah Biologi Biosfera : A Scientific Journal*, 38(1): 39–46. doi: 10.20884/1.mib. 2021.38.1.1349

Komalasari, I.N., Diantari, R., & Maharani, H.W. 2022. Dinamika Nitrat (NO3) dan Fosfat (PO4) Pada Kerapatan Mangrove Yang Berbeda di Pantai Ringgung, Pesawaran, Lampung. *Journal of Aquatic and Fisheries Sciences*, 1(1): p. 16–25. doi: 10.32734/jafs.v1i1.8613

Kusmana, C., & Rifana, H.Z. 2023. Evaluation of the Growth of Mangrove Seedlings as a Result of Restoration at Pulau Rambut Wildlife Reserve, Kepulauan Seribu. *Jurnal Silvikultur Tropika*, 14(2): 119–125. doi: 10.29244/j-siltrop.14.02.119-125

Lestari, F., & Kusmana, C. 2015. The effect of waste on chlorophyll content of leaves and regeneration of mangrove forest at Angke Kapuk Protection Forest, Jakarta. *Bonorowo Wetlands*, 5(2): 77–84. doi: 10.13057/bono rowo/w050203

Masruroh, L., & Insafitri. 2020. Pengaruh Jenis Substrat Terhadap Kerapatan Vegetasi Avicennia marina di Kabupaten Gresik. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan Dan Perikanan*, 1(2): 151–159. doi: 10.21107/ juvenil.v1i2.7569

Matatula, J., Poedjirahajoe, E., Pudyatmoko, S., & Sadono, R. 2019. Keragaman Kondisi Salinitas Pada Lingkungan Tempat Tumbuh Mangrove di Teluk Kupang, NTT. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(3): p.425. doi: 10.14710/jil.17.3.425-434

Megawati, C., Yusuf, M., & Maslukah, L. 2014. Sebaran Kualitas Perairan Ditinjau dari Zat Hara, Oksigen Terlarut, dan pH di Perairan Selat Bali Bagian Selatan. *Jurnal Oseanografi*, 3(2): 142–150

Mursalin, Zulmi, R., Putra, M.D., Handayani, L.D. W., & Nur, I.A. 2021. Blooming Fitoplankton di Perairan Kepulauan Seribu. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan*, 5(1): 652–667. doi: 10.36813/jplb.5.1.652-667

Mustikasari, E., Rustam, A., Salim, H.L., Nugroho,

D.Y., Heriati, A., & Kadarwati, U.R. 2019. Karakteristik Fisis Air Laut dan Dinamika Perairan Kepulauan Seribu. *Jurnal Riset Jakarta*, 12(2): 89–98. doi: 10.37439/jurnal drd.v12i2.5

Nemerow, N.L., & Sumitomo, H. 1970. Benefits of Water Quality Enhancement. Environmental Protection Agency, p. 13–23

Nur, M., Kurniawati, A., & Irawan, H. 2023. Analisis Kandungan Nitrat Phospat dan Amonia di Kawasan Taman Edukasi Mangrove Demang Gedi Kabupaten Purworejo. *Sapa Laut*, 8(4): 251–259.

Nuraya, T., Sari, D.W., & Harfinda, E.M. 2022. Analisis Kandungan Nitrat Dan Fosfat Di Perairan Parit Baru, Kubu Raya Kalimantan Barat. *Manfish Journal*, 2(3): 114–118. doi: 10.31573/manfish.v2i3.457

Pamungkas, R.O., Rachmawati, N., & Susilawati. 2019. Health Identification Male Mangrove Plants (Rhizophora mucronata Lamk) In Betung Village Sub-district of Kusan Hilir District Of Tanah Bumbu Kalimantan Selatan. *Jurnal Sylva Scienteae*, 2(6): 1123–1132. doi: 10.20527/jss.v2i6.1929

Permatasari, R.D., Djuwito, & Irwani. 2016. Pengaruh Kandungan Nitrat dan Fosfat terhadap Kelimpahan Diatom di Muara Sungai Wulan, Demak. *Diponegoro Journal of Maquares*, 5(4): 224–232. doi: 10.14710/marj.v5i4.14411

Pinontoan, M.P., Paulus, J.J.H., Wullur, S., Rompas, R.M., Ginting, E.L., & Pelle, W.E. 2023. Oksigen Terlarut dan pH di Air Sisipan Sedimen Mangrove dan Pesisir di Desa Bulutui Kecmatan Likupang Barat. *Jurnal Pesisir Dan Laut Tropis*, 11(1): 132–138. doi: 10.35800/jplt.11.1.2023.52733

Piranto, D., Riyantini, I., Kurnia, M.U., & Prihadi, D.J. 2019. Karakteristik Sedimen dan Pengaruhnya Terhadap Kelimpahan Gastropoda pada Ekosistem Mangrove Di Pulau Pramuka. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan*, 10(1): 20–28. doi: 10.33087/ jiubj.v10i1.23037

Poedjirahajoe, E., Marsono, D., & Wardhani, F.K. 2017. Penggunaan Principal Component Analysis dalam Distribusi Spasial Vegetasi Mangrove di Pantai Utara Pemalang. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 11(1): 29–42. doi: 10.2214 6/jik.24885

Prasetiyono, E., Bidayani, E., Robin, R., & Syaputra, D. 2022. Analysis of Nitrate and Phosphate In The Location of Effluent Waste Disposal of Pacific White Shrimp (Litopenaeus vannamei) in Bangka Central District, Bangka Belitung Archipelago Province. *Saintek Perikanan : Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*, 18(2): 73–79. doi: 10.14710/ijfst.18.2.73-79

Putri, Y.D., Yuliza, E., & Lizalidiawati, L. 2021. Kajian Kualitas Air dan Indeks Pencemaran Di Perairan Kampung Sejahtera Pulau Baai Kota Bengkulu. *Newton-Maxwell Journal of Physics*, 2(2): 45–53. doi: 10.33369/nmj. v2i2.17597

Putro, M.I.C., Suryono, C.A., & Pribadi, R. 2018. Kajian Kawasan Rehabilitasi Mangrove Di Desa Kartikajaya, Kecamatan Cepiring Dan Desa Margorejo Kecamatan Patebon, Kabupaten Kendal. *Journal of Marine Research*, 7(2): 89–96. doi: 10.14710/ jmr.v7i2.25897

Sahami, F. 2018. Penilaian Kondisi Mangrove Berdasarkan Tingkat Kerapatan Jenis. *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, 6(2): 33–40. doi: 10.37905/.v6i2.5185

Salakory, R.A.Y.B., Harahab, N., & Yanuwiadi, B. 2018. Economic Value of Mangrove Forest Ecosystem Damage in Ambon Baguala District Ambon Maluku Indonesia. *Jurnal Pembangunan Dan Alam Lestari*, 9(2): 71–77. doi: 10.21776/ub.jpal.2018.009.02.02

Samson, E., Sigmarlatu, V., & Wakano, D. 2020. Keanekaragaman dan Kerapatan Jenis Mangrove di Desa Kase Kecamatan Leksula Kabupaten Buru Selatan. *BioWallacea : Journal of Biological Research)*, 7(1): 1055–1063. doi: 10.33772/biowallacea.v7i1.11036

Sani, L.H., Candri, D.A., Ahyadi, H., & Farista, B. 2019. Struktur Vegetasi Mangrove Alami Dan Rehabilitasi Pesisir Selatan Pulau Lombok. *Jurnal Biologi Tropis*, 19(2): 268–276. doi: 10.29303/jbt.v19i2.1363

Sanjaya, C., Pramaningsih, V., Suhelmi, R., & Kurniawan, D. 2023. Kandungan Nitrit, Nitrat, dan Fosfat Air Sungai Karang Mumus dari Hulu sampai Hilir. *EnviroScienteae*, 19(2): 1–7. doi: 10.20527/es.v19i2.14886

Sari, R., Marpaung, S.S.M., Has, D.H., & Daulay, A.P. 2023. Evaluation of Planting Success and Mangrove Habitat Suitability in Various Planting Years in Pasar Rawa Village, Langkat Regency. *Jurnal Biologi Tropis*, 23(4): 317–322. doi: 10.29303/jbt.v23i4.5620

Saru, A., Idrus, R., & Ilham, M. 2019. The

Mangrove Ecosystem Potential for Educational Tour Development Around Pond Education of Hasanuddin University (Unhas) in Mallusetasi District, Barru Regency. *Jurnal Ilmu Kelautan Spermonde*, 5(2): 70–76. doi: 10.20956/jiks.v5i2.8934

Schaduw, J.N. 2018. Distribusi Dan Karakteristik Kualitas Perairan Ekosistem Mangrove Pulau Kecil Taman Nasional Bunaken. *Majalah Geografi Indonesia*, 32(1): p. 40–49. doi: 10.22146/mgi.32204

Sihombing, Y.H., Mukananfola, M.R., & A'ain, C. 2017. Pengaruh Kerapatan Mangrove Terhadap Laju Sedimentasi di Desa Bedono Demak. *Journal of Maquares*, 6(4): 536–545. doi: 10.14710/marj.v6i4.21346

Simbolon, A.R. 2016. Pencemaran Bahan Organik dan Eutrofikasi di Perairan Cituis, Pesisir Tangerang. *Jurnal Pro-Life*, 3(2): p. 109–118. doi: 10.33541/pro-life.v3i2.29

Sondak, C.F.A., Kaligis, E.Y., & Bara, R.A. 2019. Economic valuation of Lansa Mangrove forest, north Sulawesi, Indonesia. *Biodiversitas*, 20(4): 978–986. doi: 10.13057/biodiv/d200407

Sunaryo, B., Yudistyana, R., & Firaldy, A.T. 2018. The Valuation of Mangrove Forest Economy of Community Development Program of Badak LNG. *Economics Development Analysis Journal*, 7(2): 120–127. doi: 10.15294/edaj.v8i2.23410

Suryatini, K.Y., & Dharmadewi, A.A.I.M. 2022. Manfaat Konservasi Hutan Mangrove dan Pemanasan Global. *Jurnal Sembio: Seminar Nasional Biologi Dan Pendidikan Biologi*, 1(1): 53–59. doi: 10.5281/zenodo.7112715

Tefarani, R., Tri Martuti, N.K., & Ngabekti, S. 2019. Keanekaragaman Spesies Mangrove dan Zonasi di Wilayah Kelurahan Mangunharjo Kecamatan Tugu Kota Semarang. *Life Science*, 8(1): 41–53. doi: 10.15294/lifesci.v8i1.29989

Tuhumury, N.C., & Louhenapessy, D.G. 2023. Substrate Characteristics Changes in Mangrove Forests Area as Result of Land Function Shifting and Its Management Effort. *TRITON: Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan*, 19(1): 91–101. doi: 10.30598/TRITONvol19issue1page91-101

Yuliana, E., Hewindati, Y.T., Winata, A., Djatmiko, W.A., & Rahadiati, A. 2019. Diversity and characteristics of mangrove vegetation in Pulau Rimau Protection Forest, Banyuasin District, South Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas*, 20(4): 1215–1221. doi: 10.13057/biodiv/d200438