

**KONSENTRASI SAKSITOKSIN *PARALYTIC SHELLFISH POISONING*  
(PSP) PADA KERANG HIJAU *Perna viridis* (LINNAEUS, 1758) DI  
PERAIRAN LAUT JAWA**

**SKRIPSI**

**Oleh**

**Rizkiya Annisa  
2014221021**



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2024**

## ABSTRAK

### KONSENTRASI SAKSITOKSIN *PARALYTIC SHELLFISH POISONING* (PSP) PADA KERANG HIJAU *Perna viridis* (LINNAEUS, 1758) DI PERAIRAN LAUT JAWA

Oleh

**RIZKIYA ANNISA**

Kerang hijau (*Perna viridis*) merupakan salah satu jenis moluska yang bernilai ekonomis tinggi dan sering dikonsumsi oleh masyarakat sebagai sumber protein hewani. Namun, konsumsi kerang hijau dapat menjadi ancaman kesehatan jika terkontaminasi oleh toksin berbahaya seperti saksitoksin yang menyebabkan *paralytic shellfish poisoning* (PSP). Saksitoksin adalah neurotoksin yang dihasilkan oleh dinoflagellata dan dapat menyebabkan keracunan pada manusia. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsentrasi saksitoksin PSP pada kerang hijau yang dibudidayakan di perairan Pantai Utara Jawa, dengan menggunakan metode *Enzyme-Linked Immunosorbent Assay* (ELISA). Penelitian dilakukan di tiga lokasi perairan, yaitu Karangantu, Kabupaten Serang, Provinsi Banten; Muara Angke, Kotamadya Jakarta Utara, DKI Jakarta; dan Ujungpangkah, Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi saksitoksin pada kerang hijau di ketiga lokasi berada di bawah batas cemaran yang ditetapkan oleh KEP.17/MEN/2004 tentang Sistem Sanitasi Keperangan Indonesia. Selain itu, penelitian ini juga menganalisis hubungan antara kepadatan fitoplankton dengan parameter fisika dan kimia perairan di lokasi pengambilan sampel.

Kata kunci: kerang hijau, saksitoksin, dinoflagellata, fitoplankton, *enzyme-linked immunosorbent assay* (ELISA)

## ABSTRACT

### THE CONCENTRATION OF SAXITOXIN PARALYTIC SHELLFISH POISONING (PSP) IN GREEN MUSSEL *Perna viridis* (LINNAEUS, 1758) IN THE WATERS OF THE JAVA SEA

By

RIZKIYA ANNISA

Green mussels (*Perna viridis*) are a type of mollusca that has high economic value and are often consumed by the public as a source of animal protein. However, the consumption of green mussels can be a health threat if they are contaminated with dangerous toxins such as saxitoxin, which causes paralytic shellfish poisoning (PSP). Saxitoxin is a neurotoxin produced by dinoflagellates and can cause poisoning in humans. This study aimed to analyze the concentration of PSP saxitoxin in green mussels cultivated in the waters of the North Coast of Java, using the Enzyme Linked Immunosorbent Assay (ELISA) method. The research was conducted in three water locations, namely Karangantu, Regency Serang, Province Banten; Muara Angke, Kotamadya North Jakarta, DKI Jakarta; and Ujungpangkah, Regency Gresik, Province East Java. The research results showed that the concentration of saxitoxin in green mussels in the three locations was below the contamination limits set by KEP.17/MEN/2004 concerning the Indonesian Shellfish Sanitation System. Apart from that, this research also analyzed the relationship between phytoplankton density and the physical and chemical parameters of the waters at the sampling location.

Keywords: *green mussels, saxitoxins, dinoflagellates, phytoplankton, enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA)*

Judul Skripsi

: **KONSENTRASI SAKSITOKSIN  
PARALYTIC SHELLFISH POISONING  
(PSP) PADA KERANG HIJAU *Perna  
viridis* (LINNAEUS, 1758) DI PERAIRAN  
LAUT JAWA**

Nama Mahasiswa

: **Rizkiya Annisa**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **2014221021**

Jurusan/Program Studi

: **Perikanan dan Kelautan/IlmU Kelautan**

Fakultas

: **Pertanian**



I. **Komisi Pembimbing**

**Dr. Moh. Muhaemin, S.Pi., M.Si.**  
NIP. 197412122000031002

**Sofian Ansori, S.Si., M.Si.**  
NIP. 199101042015031001

II. **Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan**

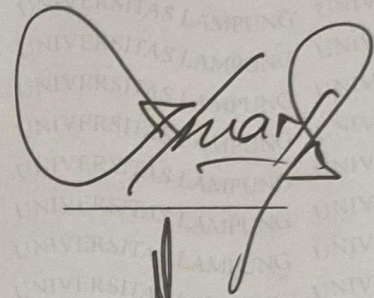
**Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si.**  
NIP. 197008151999031001



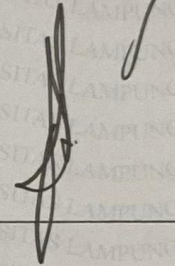
## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

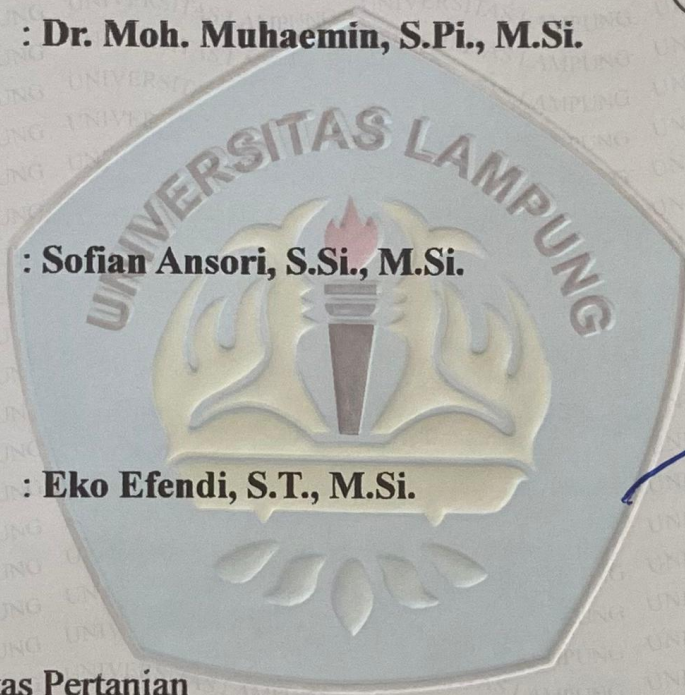
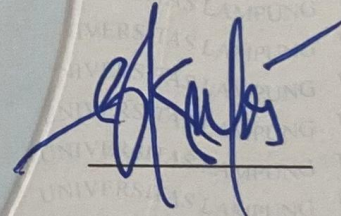
Ketua : **Dr. Moh. Muhaemin, S.Pi., M.Si.**



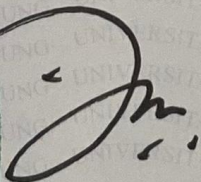
Sekretaris : **Sofian Ansori, S.Si., M.Si.**



Anggota : **Eko Efendi, S.T., M.Si.**



### 2. Dekan Fakultas Pertanian



**Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.**  
NIP. 196411181989021002



## PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rizkiya Annisa  
NPM : 2014221021  
Judul Skripsi : Konsentrasi Saksitoksin *Paralytic Shellfish Poisoning* (PSP)  
Pada Kerang Hijau *Perna viridis* (Linnaeus, 1758) di Perairan  
Laut Jawa

Menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis merupakan hasil karya saya sendiri berdasarkan pengetahuan, pengalaman, dan data yang saya peroleh, dari hasil penelitian yang sudah saya lakukan. Selain itu, semua yang tertulis di dalam skripsi sudah sesuai dengan panduan penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Demikian pernyataan ini saya buat, apabila di kemudian hari terbukti terdapat kecurangan atau Salinan yang berasal dari karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkannya.

Bandar lampung, Oktober 2024



Rizkiya Annisa

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis dilahirkan di Pringsewu, Provinsi Lampung pada tanggal 21 april 2002. Penulis merupakan anak pertama dari dua beraudara, dari pasangan Bapak Yulyus dan Ibu Sriwati.

Penulis menyelesaikan Pendidikan formal dari Taman Kanak-kanak Darmawanita pada tahun 2008, SD Negeri 3 Kuripan pada tahun 2014, MTS Negeri 1 Tanggamus pada tahun 2017, dan SMA Negeri 1 Kotaagung pada tahun 2020. Pada tahun 2020, penulis melanjutkan Pendidikan di perguruan tinggi sebagai mahasiswa Program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif pada organisasi Himpunan Mahasiswa Perikanan Dan Kelautan Universitas Lampung sebagai anggota pada periode 2020-2021. Penulis pernah mengikuti program magang mandiri di Balai Taman Nasional Kepulauan Seribu pada tahun 2022. Penulis Melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Kuripan, Kecamatan Pesisir Utara, Kabupaten Lampung Barat, Provinsi Lampung pada bulan Januari-Februari 2023. Penulis mengikuti kegiatan Praktik Umum (PU) di Balai Pengujian Kesehatan Ikan Dan Lingkungan (BPKIL) Serang pada Februari-Agustus 2023. Penulis juga melakukan penelitian di Balai Pengujian Kesehatan Ikan dan Lingkungan (BPKIL) Serang pada Mei-Agustus 2023.

## PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan karunia, rahmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Sholawat dan salam tetap turunkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita dari zaman kebodohan hingga ke zaman yang berilmu

Kupersembahkan karya ini kepada:

Ayah dan Ibu Tercinta

Karya skripsi ini penulis persembahkan dengan rasa terima kasih kepada ayah dan mamah tercinta. Terima kasih atas segala perjuangan, doa, dukungan, kasih sayang, dan motivasi kepada penulis yang tidak terhitung. Semoga segala ilmu dan karya yang telah dibuat oleh penulis dapat membuat ayah dan mamah bangga, serta segala perjuangan kalian menjadi amal jariah untuk menuju surga-Nya.

Saudara dan orang terdekat

Karya skripsi ini juga penulis persembahkan kepada saudara tercinta (Muhammad Arga Finoza) serta orang-orang terdekat penulis. Terima kasih karena selalu mendampingi, memberikan semangat, dan mendukung penulis. Terima kasih pula sudah menjadi tempat yang nyaman bagi penulis dalam mencurahkan segala keluh dan kesah yang penulis rasakan selama menyelesaikan penelitian dan skripsi ini.



Seluruh Keluarga Besar Ilmu Kelautan 2020

Terima kasih atas pengalaman dan kenangan yang berharga selama perkuliahan.

Terima kasih sudah berjuang bersama dalam senang, susah, tangisan, dan gembira. Semoga kita dapat berjumpa kembali sebagai orang sukses, lebih baik, dan dipenuhi kebahagiaan.

Serta,

Almamater kebanggaan, Universitas Lampung

## MOTO

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap.”

(Q.S Al-Insyirah, 94:6-8)

“Allah tidak membebani seseorang melainkan dengan kesanggupannya.”

(Q.S Al-Baqarah, 2:286)

“Ya Tuhanku, lapangkanlah dadaku, dan mudahkanlah untukku urusanku, dan lepaskanlah kekakuan dari lidahku, agar mereka mengerti perkataanku.”

(QS. Taha, 20: 25-28)

“Aku membahayakan nyawa ibu untuk lahir ke dunia, jadi tidak mungkin aku tidak ada artinya.”

(IK)

“Orang tua di rumah menanti kepulanganmu dengan hasil yang membanggakan, jangan kecewakan mereka. Simpan keluhmu, sebab letihmu tak sebanding dengan perjuangan mereka menghidupimu.”

(Ika DF)

## SANWACANA

Segala puji syukur penulis ucapkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Konsentrasi Saksitoksin *Paralytic Shellfish Poisoning* (PSP) pada Kerang Hijau *Perna viridis* (Linnaeus, 1758) di Perairan Laut Jawa”. Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah berperan dalam penyusunan skripsi, antara lain:

1. Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P, selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung;
2. Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si., selaku Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan, Universitas Lampung;
3. Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T., selaku Ketua Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Lampung;
4. drh. Toha Tusihadi, selaku Kepala Balai Pengujian Kesehatan Ikan dan Lingkungan (BPKIL) Serang;
5. Dr. Moh. Muhaemin, S.Pi., M.Si., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberi arahan dan bimbingan dalam proses penyusunan skripsi;
6. Sofian Ansori, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberi arahan dan bimbingan dalam proses penyusunan skripsi;
7. Eko Efendi, S.T., M.Si. selaku Dosen Penguji yang telah banyak memberikan kritik, saran, serta bimbingan kepada penulis;
8. Niezha Eka Putri, S.Si. dan Tiara Aprina, A. Md. selaku analis di Laboratorium Residu BPKIL Serang yang senantiasa mengajarkan terkait metode ELISA dan senantiasa memberi masukan kepada penulis;



9. Seluruh dosen Jurusan Perikanan dan Kelautan yang telah memberikan ilmu, pengetahuan dan wawasan kepada penulis selama menempuh pendidikan;
10. Yulyus dan Sriwati selaku orang tua penulis sebagai tanda bakti, hormat dan rasa terima kasih, yang telah memberikan kasih sayang, serta ridho, dan cinta kasih yang tiada mungkin dapat kubalas hanya dengan selembar kertas yang tertulis kata persembahan. Terima kasih sebesar-besarnya atas segala bentuk bantuan, semangat, doa, nasihat baik yang selalu diberikan, dan kesabaran serta kebesaran hati menghadapi penulis yang keras kepala. Semoga ini menjadi langkah awal untuk membuat ayah dan ibu bahagia karena kusadar, selama ini belum bisa berbuat lebih;
11. Muhammad Arga Finoza selaku adik kandung laki-laki penulis yang men-doakan, dan memberi semangat pantang menyerah,
12. Teman-teman Program Studi Ilmu Kelautan 2020, keluarga besar, dan teman-teman dekat penulis yang tidak bisa penulis sebutkan namanya satu per satu yang selalu memberi dukungan, bersedia membantu dalam kegiatan pengambilan sampel dan selalu mengingatkan kewajiban dalam menyelesaikan skripsi.

Semoga segala kebaikan mereka diterima dan dibalas oleh Allah SWT. Penulis berharap penyusunan skripsi dapat bermanfaat dalam memberikan informasi kepada para pembaca. Penulis juga menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi, maka segala saran dan kritik yang bersifat membangun sangat dibutuhkan untuk kesempurnaan skripsi.

Bandar Lampung, Oktober 2024

Rizkiya Annisa

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xix
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	3
1.3 Manfaat Penelitian .....	3
1.4 Kerangka Pemikiran.....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
2.1 Kerang Hijau.....	6
2.2 Faktor Lingkungan.....	10
2.3 Budi Daya Kerang Hijau <i>Perna viridis</i> (Linnaeus, 1758) .....	12
2.4 Saksitoksin <i>Paralytic Shellfish Poisoning</i> (PSP).....	13
2.5 <i>Enzyme-Linked Immunosorbent Assay</i> (ELISA) .....	16
2.6 Kondisi dan Gambaran Umum Lokasi Pengambilan Sampel.....	19
2.6.1 Gambaran Umum Perairan Karangantu, Kabupaten Serang, Provinsi Banten.....	20
2.6.2 Gambaran Umum Perairan Muara Angke, Kotamadya Jakarta Utara, DKI Jakarta .....	22
2.6.3 Gambaran Umum Perairan Ujungpangkah, Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur .....	33
<b>III. METODE PENELITIAN</b> .....	26
3.1 Waktu dan Tempat.....	26
3.2 Alat dan Bahan.....	28
3.3 Tahapan Penelitian .....	30
3.3.1 Pengambilan Sampel Kerang Hijau .....	30
3.3.2 Pengambilan Sampel Air.....	30
3.3.3 Pengambilan Data <i>in-situ</i> .....	31
3.4 Analisis Konsentrasi Saksitoksin.....	31
3.4.1 Preparasi Sampel Uji.....	31
3.4.2 Ekstraksi Sampel Uji.....	31
3.4.3 Proses Pengujian Saksitoksin Dengan Elisa <i>Test Kit</i> .....	32
3.5 Analisis Kepadatan Fitoplankton.....	33

3.6 Analisis Data.....	34
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>36</b>
4.1 Konsentrasi Saksitoksin <i>Paralytic Shellfish Poisoning</i> (PSP) Pada Kerang Hijau ( <i>Perna viridis</i> ) .....	36
4.2 Hubungan antara Kepadatan Dinoflagellata dan Diatom terhadap Konsentrasi Saksitoksin di Perairan Karangantu, Kabupaten Serang Provinsi Banten.....	38
4.3 Hubungan antara Kepadatan Dinoflagellata dan Diatom terhadap Konsentrasi Saksitoksin di Perairan Muara Angke, Kotamadya Jakarta Utara, DKI Jakarta.....	42
4.4 Hubungan antara Kepadatan Dinoflagellata dan Diatom terhadap Konsentrasi Saksitoksin di Perairan Ujungpangkah, Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur.....	48
4.5 Total Kepadatan Fitoplankton dan Kaitannya dengan Sebaran Nitrat dan Fosfat.....	52
4.6 Hubungan antara Kepadatan Fitoplankton terhadap Konsentrasi Saksitoksin <i>Paralytic Shellfish Poisoning</i> (PSP).....	57
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>60</b>
5.1 Kesimpulan .....	60
5.2 Saran .....	60
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>61</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>76</b>



**DAFTAR TABEL**

Tabel	Halaman
1. Letak stasiun pengambilan sampel.....	26
2. Alat pengujian S-PSP, kualitas air, dan identifikasi fitoplankton.....	28
3. Bahan pengujian saksitoksin <i>paralytic shellfish poisoning</i> (PSP) .....	29
4. Bahan yang digunakan pada identifikasi kepadatan fitoplankton .....	29
5. Konsentrasi saksitoksin .....	36
6. Data kualitas air <i>in situ</i> di perairan Karangantu .....	79
7. Data kualitas air <i>in situ</i> di perairan Muara Angke.....	79
8. Data kualitas air <i>in situ</i> di perairan Ujungpangkah .....	79

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pemikiran .....	5
2. Anatomi tubuh kerang hijau .....	8
3. Morfologi kerang hijau.....	8
4. Struktur saksitoksin dan jalur biosintesis saksitoksin .....	15
5. Tipe sistem deteksi ELISA Direct, ELISA Indirect, ELISA Sandwich, dan ELISA Biotin Sterptavidin (jenis ELISA <i>modern</i> ).....	18
6. Proses pembacaan pada ELISA reader .....	19
7. Peta lokasi penelitian.....	27
8. Kepadatan fitoplankton jenis dinoflagellata dan diatom perairan Karangantu, Kabupaten Serang, Provinsi Banten .....	38
9. Sebaran spasial kepadatan fitoplankton dan kualitas air di perairan Karangantu, Kabupaten Serang, Provinsi Banten .....	41
10. Kelimpahan fitoplankton jenis dinoflagellata dan diatom perairan Muara Angke, Kotamadya Jakarta Utara, DKI Jakarta .....	42
11. Sebaran spasial kepadatan fitoplankton dan kualitas air di perairan Muara Angke, Kotamadya Jakarta Utara, DKI Jakarta .....	45
12. Kelimpahan fitoplankton jenis dinoflagellata dan diatom perairan Ujungpangkah, Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur .....	48
13. Sebaran spasial kepadatan fitoplankton dan kualitas air di perairan Ujungpangkah, Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur .....	50
14. Sebaran konsentrasi nitrat dan fosfat perairan .....	53

15. Pola hubungan konsentrasi saksitoksin yang terkandung dalam tubuh kerang hijau dan kepadatan fitoplankton.....	58
16. Pengambilan sampel di perairan Karangantu .....	77
17. Pengambilan sampel di perairan Muara Angke.....	77
18. Pengambilan sampel di perairan Ujungpangkah .....	77
19. Sampel pengujian saksitoksin PSP dan identifikasi fitoplankton.....	78
20. Kit ELISA.....	78
21. Pengujian saksitoksin PSP di Laboratorium Obat Dan Residu BPKIL Serang .....	78



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Dokumentasi pengambilan sampel.....	77
2. Dokumentasi pengujian sampel.....	78
3. Hasil pengukuran parameter kualitas air <i>in situ</i> di perairan Karangantu, Muara Angke, dan Ujungpangkah.....	79

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kerang hijau (*Perna viridis*) merupakan salah satu jenis moluska yang banyak ditemukan di perairan Indonesia, termasuk di Laut Jawa (Zahroh *et al.*, 2019). Kerang hijau memiliki nilai ekonomis yang tinggi dan sering dikonsumsi oleh masyarakat sebagai sumber protein hewani. Namun, konsumsi kerang hijau dapat menjadi ancaman kesehatan jika kerang tersebut terkontaminasi oleh toksin berbahaya seperti saksitoksin *paralytic shellfish poisoning* (PSP) (Haryanti *et al.*, 2019). Saksitoksin adalah neurotoksin yang dihasilkan oleh dinoflagellata, sejenis fitoplankton, dan dapat menyebabkan keracunan pada manusia yang mengonsumsi kerang yang terkontaminasi. Kerang hijau (*Perna viridis*) merupakan salah satu jenis kerang yang dikenal memiliki nilai ekonomis dan kandungan gizi yang sangat baik untuk dikonsumsi. Kerang tersebut mengandung air 40,80%; protein 21,9%; lemak 14,5%; karbohidrat 18,5%; dan abu 4,3%. Nilai gizi kerang hijau sebanding dengan daging sapi, telur, daging ayam (Rizki *et al.*, 2023)

*Paralytic shellfish poisoning* (PSP) merupakan keracunan makanan laut yang disebabkan oleh toksik alami yang diproduksi oleh mikroalga. Salah satu jenis kerang yang rentan terhadap kontaminasi saksitoksin penyebab PSP adalah kerang hijau (*Perna viridis*) (Budiawan *et al.*, 2019). Kerang hijau menjadi salah satu komoditas perikanan yang penting di Indonesia, khususnya di perairan Laut Jawa (Rudy *et al.*, 2023). Keberadaan saksitoksin pada kerang hijau dapat membahayakan kesehatan konsumen jika kerang tersebut dikonsumsi.

Mengonsumsi kerang yang mengandung saksitoksin dapat menyebabkan gejala keracunan seperti mati rasa di sekitar mulut, gangguan pencernaan, kelumpuhan saraf, dan bahkan dapat menyebabkan kematian (Safaat *et al.*, 2019). Oleh karena itu, pemantauan konsentrasi saksitoksin pada kerang hijau di perairan Laut Jawa menjadi sangat penting untuk menjamin keamanan pangan dan melindungi kesehatan masyarakat. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji konsentrasi saksitoksin pada kerang hijau di beberapa lokasi di perairan Laut Jawa. Namun, data konsentrasi saksitoksin pada kerang hijau di perairan Laut Jawa masih terbatas dan perlu untuk terus dipantau secara berkala. Selain itu, faktor-faktor yang memengaruhi fluktuasi konsentrasi saksitoksin pada kerang hijau juga perlu dikaji lebih lanjut.

Di Indonesia, kasus keracunan akibat mengonsumsi kerang hijau pernah terjadi, yaitu di Desa Kertasura, Suranenggala Lor dan Suranenggala Kulon, Kecamatan Suranenggala, Kabupaten Cirebon pada tanggal 25 Januari 2018 menyebabkan 32 orang mengalami keracunan (Alster *et al.*, 2020). Oleh karena itu, telaah akumulasi bahan pencemar tersebut sangat penting dilakukan untuk menjamin keamanan pangan produk kekerangan. Saksitoksin dapat ditentukan dengan banyak metode, salah satunya dengan metode ELISA. Metode *Enzyme-linked immunosorbent assay* (ELISA) merupakan metode yang didasarkan pada kerja imunologi yang dikombinasi dengan reaksi enzimatik (Rohima, 2019).

Prinsip kerja ELISA adalah adanya ikatan antigen-antibodi, interaksi sampel mengandung antigen dengan menggunakan konjugat antibodi yang dilabel enzim yang akan bereaksi dengan substrat dan menghasilkan warna yang dapat ditentukan secara kuantitatif dengan pembacaan nilai absorbansi (OD) pada ELISA *plate reader* (Nakiboneka *et al.*, 2019). Berdasarkan latar belakang di atas, maka perlu dilakukan pengujian konsentrasi saksitoksin (PSP) pada sampel kerang hijau (*perna viridis*). Penelitian berlokasi di perairan Pantai Utara Jawa yang diwakili oleh 3 daerah, yaitu; di perairan Karangantu, Kabupaten Serang, Provinsi Banten; perairan Muara Angke, Kotamadya Jakarta Utara, DKI Jakarta; dan perairan Ujungpangkah, Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur yang merupakan perairan



dengan tingkat budi daya kerang hijau tertinggi per provinsi. Pengujian konsentrasi S-PSP, identifikasi fitoplankton penyebab S-PSP di perairan laut Jawa dilakukan di Balai Pengujian Kesehatan Ikan dan Lingkungan (BPKIL) Serang.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis konsentrasi saksitoksin *paralytic shellfish poisoning* (PSP) pada sampel kerang hijau (*Perna viridis*) serta membandingkan hasilnya dengan batas cemaran berdasarkan KEP.17/MEN/2004 tentang Sistem Sanitasi Keperikanan Indonesia.
2. Menganalisis kepadatan fitoplankton dari kelompok dinoflagellata dan diatom.
3. Mengetahui keterkaitan antara kepadatan fitoplankton kelompok dinoflagellata dengan konsentrasi saksitoksin *paralytic shellfish poisoning* (PSP) dalam tubuh kerang hijau.

## 1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut;

1. Memberikan kontribusi dalam pengembangan dan pengujian metode deteksi saksitoksin yang lebih efektif dan efisien, yang dapat digunakan dalam penelitian-penelitian selanjutnya serta membantu meningkatkan keamanan produk perikanan, khususnya kerang hijau, sehingga dapat mencegah kerugian ekonomi akibat produk yang tercemar.
2. Mengurangi risiko keracunan makanan akibat konsumsi kerang hijau yang terkontaminasi saksitoksin dengan menyediakan data yang dapat digunakan untuk mengatur dan memantau kualitas kerang yang dipasarkan serta meningkatkan kesadaran tentang pengetahuan masyarakat mengenai bahaya saksitoksin.
3. Menyediakan data ilmiah yang dapat digunakan untuk pengelolaan sumber daya laut yang lebih baik, termasuk pengendalian populasi dinoflagellata penyebab saksitoksin dan mendukung pembuatan kebijakan lingkungan yang

lebih efektif untuk melindungi ekosistem laut dari pencemaran dan perubahan lingkungan yang dapat meningkatkan risiko kontaminasi saksitoksin.

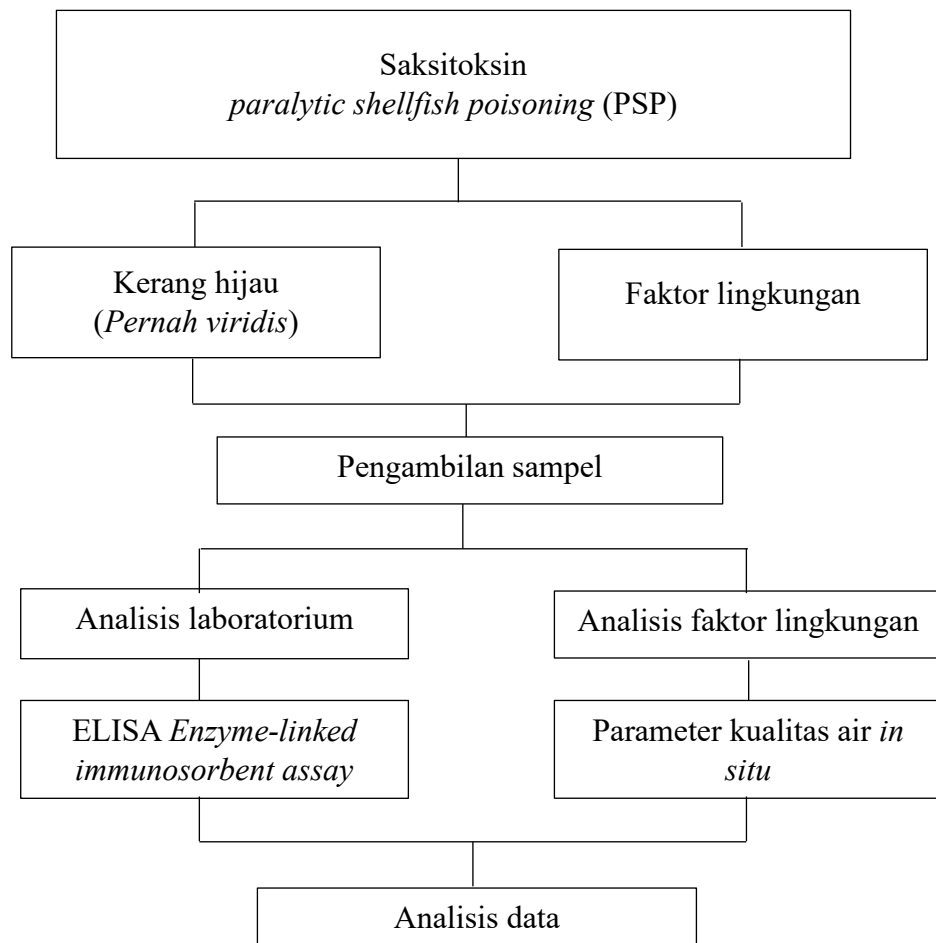
#### 1.4 Kerangka Pemikiran

Perairan Laut Jawa ditetapkan sebagai salah satu Wilayah Pengelolaan Perikanan Republik Indonesia (WPP-RI) dalam Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 1 Tahun 2009. Pulau Jawa memiliki peran penting bagi perekonomian secara nasional. Budi daya kerang hijau telah berkembang pesat di perairan Karangantu; Muara Angke; dan Ujungpangkah. Usaha budidaya menjadi salah satu sumber penghidupan ekonomi bagi masyarakat pesisir yang mendiami di kawasan perairan tersebut.

Teknologi budi daya yang sederhana dan mudah diterapkan oleh masyarakat pesisir serta tidak memerlukan biaya operasional yang tinggi karena tidak membutuhkan pakan dan tidak membutuhkan tenaga kerja yang banyak untuk pengelolannya (Junaidi *et al.*, 2021). Namun, budi daya kerang hijau memerlukan lokasi yang bebas dari pencemaran dan kegiatan antropogenik yang berpotensi mencemari dan memperkaya (eutrofikasi) perairan di sekitarnya (Sagita *et al.*, 2017). Eutrofikasi menjadi salah satu pendorong *blooming* alga beracun (HABs) (Putri *et al.*, 2018). Kerang hijau merupakan organisme *filter feeder*. Kerang hijau menyerap semua partikel dan substansi yang larut di dalam air, memilih makanannya berda-sarkan bentuk, ukuran dan kepadatan, tidak berdasarkan kualitas atau nilai gizi, sehingga cemaran yang terjadi di perairan sangat berpengaruh pada kerang hijau (Yaqin *et al.*, 2022). Salah satu cemaran secara alami yang dapat terjadi adalah produksi senyawa saksitoksin senyawa kimia hasil metabolisme dari jenis fitoplakton HAB (*harmful algae bloom*) oleh dinoflagellata *Alexandrium sp*, *Gymnodinium sp* dan *Pyrodinium sp*, penyebab toksin *paralytic shellfish poisoning* (PSP) yang dapat terakumulasi ke dalam tubuh kerang serta mengakibatkan terjadinya kerusakan sistem saraf dan menyebabkan kematian bagi manusia yang mengonsumsi kerang mengandung PSP (Grattan *et al.*, 2016). Pada interaksinya dengan lingkungan, HAB

melepaskan senyawa saksitoksin ke badan air sebagai hasil dari proses proliferasi dan agregasi.

Senyawa yang terakumulasi di biota-biota air, terutama biota seperti kekerangan, yang bersifat sebagai *filter feeder* (Brosnahan *et al.*, 2017). Kondisi keracunan saksitoksin yang disebabkan konsumsi kekerangan disebut dengan *paralytic shellfish poisoning*. Oleh karena itu, telaah akumulasi bahan pencemar sangat penting dilakukan untuk menjamin keamanan pangan produk kekerangan. Kerangka pemikiran pada penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka pemikiran

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Kerang Hijau *Perna viridis* (Linnaeus, 1758)

Kerang hijau (*Perna viridis*) merupakan salah satu jensi kerang yang termasuk dalam golongan binatang lunak (*Mollusca*), bercangkang dua (*Bivalvia*). Dengan insang berlapis-lapis (*lamellibranchia*), berkaki kapak (*Pelecypoda*), termasuk ke dalam organisme *filter feeder* mencari makan dengan cara menyaring semua makanan yang masuk kedalam mulutnya. Taksonomi *Perna viridis* (Linnaeus, 1758) menurut Poutiers (1987), Carpenter dan Niem (1998) sebagai berikut;

Phylum	: Mollusca
Class	: Bivalvia
Subclass	: Pteriomorphia
Ordo	: Mytiloida
Superfamily	: Mytiloidea
Family	: Mytilidae
Genus	: <i>Perna</i>
Spesies	: <i>Perna viridis</i> (Linnaeus, 1758)

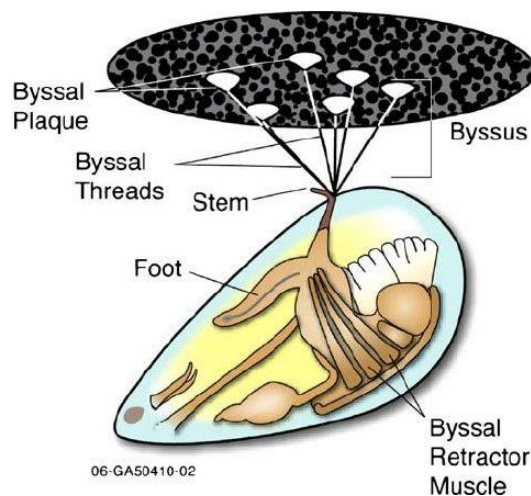
Kerang hijau termasuk ke dalam organisme dioecious, yaitu organisme yang memiliki organ kelamin (reproduksi) yang terpisah antara kerang hijau jantan dan betina. Namun, ditemukan juga bahwa kerang hijau bersifat hermafrodit, yaitu memiliki organ reproduksi jantan dan betina dalam satu individu. Kerang hijau merupakan hewan ovipora, yang menghasilkan banyak telur dan sperma berukuran mikroskopis. Telur dan sperma tersebut dilepaskan oleh kerang jantan dan betina yang telah dewasa dan dibiarkan bercampur untuk terjadi pembuahan.

Telur yang telah dibuahi akan menetas dalam waktu 24 jam. Pembuahan kerang hijau berlangsung secara internal, yaitu sperma akan bercampur dengan air masuk melalui sifon inhalan untuk membuahi sel telur. Telur mengalami pembelahan di bagian marsupium dengan tahap blastula - gastrula - zigot - larva - kerang muda - kerang dewasa (Rizki *et al.*, 2023).

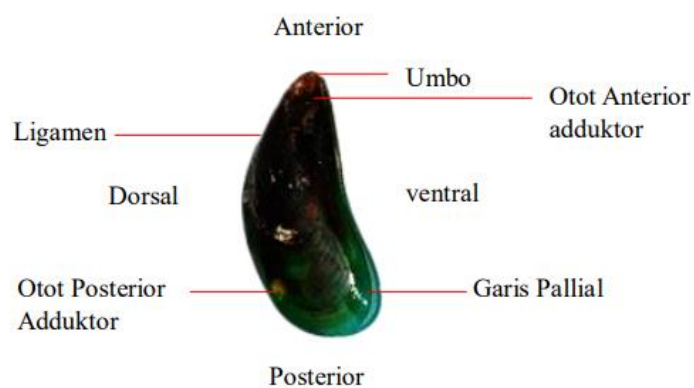
Larva kerang hijau bersifat planktonik, melayang di air dan terbawa arus lebih kurang selama dua minggu. Stadia larva kerang hijau mengalami perubahan cara hidup dari planktonik menjadi sessil (tinggal diam, menempel), pada saat itu apabila mereka tidak mendapatkan substrat maka mereka akan segera mati. Kecepatan tumbuh kerang hijau berkisar antara 0,7 – 1,0 cm per bulan. Setelah berumur 6-7 bulan, kerang hijau sudah dapat di panen (Hutami *et al.*, 2015). Proses penempelan kerang hijau sangat dipengaruhi gerakan air, jumlah bahan organik, kimia perairan dan distribusi makanan (Noor *et al.*, 2014). Budi daya kerang hijau memerlukan substrat yang baik yang digunakan sebagai tempat menempel dengan sempurna dan tidak terbawa arus. Substrat yang baik akan mendukung tingkat penempelan benih kerang hijau, sehingga diperlukannya aplikasi substrat pada budi daya kerang hijau untuk mengetahui jenis substrat yang baik untuk budidaya kerang hijau.

Secara internal, jaringan gonad dari kerang jantan dewasa secara seksual berwarna krem-putih, sedangkan kerang betina berwarna kemerahan, kerang betina dewasa memiliki daging berwarna oranye, sementara kerang jantan dewasa memiliki daging putih (Ariyanti *et al.*, 2018). Kerang hijau memiliki bentuk kaki kecil seperti bentuk lidah, dengan alur pada permukaan ventral yang terus menerus sampai lubang byssal, dalam lubang tersebut, sekresi kental memancarkan, melewati alur dan pengerasan secara bertahap pada saat kontak dengan air laut. Byssal sangat kuat dan elastis yang berfungsi menahan kerang pada substrat keras (Arifin *et al.*, 2021). Kehidupan kerang hijau dipengaruhi oleh substrat. Substrat adalah bagian dasar atau tempat organisme menempel dan tumbuh, jenis substrat kerang hijau umumnya yaitu pasir, pasir berlumpur, batu karang dan karang mati (Maul *et al.*, 2021). Kerang hijau memiliki insang berlapis-lapis dan berjumlah dua pasang,

dalam insang banyak mengandung pembuluh darah, di dalam rongga tubuhnya terdapat berbagai alat dalam seperti saluran pencernaan yang menembus jantung, alat pere-daran, dan alat ekskresi (ginjal). Alat pernapasan kerang berupa insang dan bagian mantel. Insang kerang berbentuk W dengan banyak lamella yang mengandung banyak batang insang. Pertukaran O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> terjadi pada insang dan sebagian mantel. Mantel terdapat di bagian dorsal meliputi seluruh permukaan dari cang-kang dan bagian tepi (Musfiroh *et al.*, 2015). Anatomi tubuh kerang hijau di tunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Anatomi tubuh kerang hijau  
Sumber: Silverman (2007)



Gambar 3. Morfologi kerang hijau  
Sumber: Asikin (1982)



Lapisan dalam dan luar pada cangkang kerang hijau terdiri dari protein, sedangkan lapisan tengah merupakan mineral dengan *nanospheres amorf* yang berkarbonasi Ca-Mg fosfat (ACCP). *Nanospheres* dapat bertindak sebagai stabilizer pH untuk memfasilitasi mineralisasi awal kerang, dan juga memberikan perlindungan yang lebih baik untuk kerang kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) (Hikmah *et al.*, 2015). Kerang hijau tergolong dalam organisme sesil yang hidupnya bergantung pada ketersediaan fitoplankton dan material yang kaya akan kandungan organik, diatom dan detritus adalah makanan utama kerang hijau (Rudy, 2023). Menurut Tan (1975) kerang hijau juga lebih menyukai diatom dibandingkan dengan dinoflagelata sebagai makanannya.

Kerang hijau melakukan penyaringan yang bersifat total, tidak selektif, dan tidak hanya pada beberapa jenis makanan saja. Kerang hijau merupakan *filter feeder*, artinya untuk mendapatkan makanan dalam air adalah dengan cara menyaring air di perairan tersebut. Oleh karena itu, kerang hijau akan memfiltrasi seluruh zat-zat yang dibawa oleh air terutama yang berasal dari limbah (Hutami *et al.*, 2015). Air masuk ke dalam tubuh kerang hijau melalui sifon inhalan (saringan bagi air untuk masuk) di ujung posterior. Kemudian air mengalir di antara filamen insang atau melalui ostia saluran kecil yang mengalirkan air ke dalam rongga tubuh ke dalam insang antara 2 lamella (saluran air menuju rongga supra branchia), dan akhirnya keluar melalui sifon exhalant (saringan bagi air keluar) di ujung anterior (Ningsih *et al.*, 2021).

Dinoflagellata merupakan *transvector* utama yang mengakumulasi racun saksitoksin pada kerang hijau. Kerang terakumulasi toksin dari organisme dinoflagellata saat makan dan racun akan disimpan dalam tubuh kerang di organ pencernaan dan jaringan lunak tanpa membahayakan tubuh kerang hijau. Menurut Saleudin (1983), bahwa orientasi dan rangsangan kerang hijau terhadap makanan dipengaruhi oleh proses kemoresepsi. Kerang hijau membentuk suatu karakteristik dan tahapan terkoordinasi atas respon-respon khusus terhadap rangsangan-rangsangan kimiawi dari makanan. Tahapan tersebut dimulai dari fase-fase penstimulasian, orientasi, dan pergerakan menuju sumber rangsangan yang kemudian berakhir di

fase konsumsi. Kemampuan kerang hijau bertahan hidup terhadap beberapa jenis racun terutama racun yang berasal dari alga atau fitoplankton yang menjadi makanan utama kerang dipengaruhi oleh mekanisme detoksifikasi atau toleransi terhadap racun melalui proses biokimia di dalam tubuh kerang hijau. Kerang hijau memiliki sistem filtrasi yang efisien untuk menyaring air dan memisahkan partikel makanan dari zat beracun melalui proses ekskresi atau akumulasi racun di bagian tubuh yang tidak memengaruhi organ vital (Sandra *et al.*, 2015).

## 2.2 Faktor Lingkungan

Faktor-faktor lingkungan yang memengaruhi kelangsungan hidup kerang hijau (*Perna viridis*) antara lain adalah suhu, salinitas, pH, oksigen terlarut, dan kedalaman. Pencemaran limbah organik ke perairan mengakibatkan gangguan pada keseimbangan organisme dan keadaan yang tidak diinginkan dapat memicu terjadinya ledakan populasi fitoplankton yang dapat berbahaya bagi organisme perairan (Widyastuti *et al.*, 2015). Menurut Handayani (2021) aktivitas manusia di sekitar perairan seperti, pembuangan limbah rumah tangga maupun industri ke perairan menjadi penyebab utama terjadinya eutrofikasi, akumulasi bahan-bahan organik di suatu perairan sering menyebabkan terjadinya eutrofikasi dan memicu terjadinya *blooming* alga. Intensitas cahaya yang memadai serta suhu perairan yang hangat juga dapat memicu munculnya fitoplankton HABs di perairan berkembang dengan pesat sehingga terjadi dominansi.

Kerang hijau bersifat poikilotermik, yaitu laju metabolisme tubuh meningkat seiring dengan meningkatnya suhu. Suhu juga mempunyai peranan penting pada pertumbuhannya, yakni dalam aktivitas makan dan fisiologi energetik. Kerang hijau mempunyai toleransi terhadap suhu antara 10-35°C. Respon yang cepat terhadap penurunan suhu adalah menurunnya laju filtrasi. Laju filtrasi meningkat dengan meningkatnya suhu sampai batas optimumnya, yaitu 35 °C. Kerang hijau dapat membentuk koloni padat pada kondisi suhu yang optimal, terkadang dengan ribuan individu per meter persegi, suhu optimum bagi kehidupan kerang hijau (*Perna viridis*) berkisar antara 27-32 °C (Fitriah *et al.*, 2018).

Pertumbuhan kerang hijau di perairan dipengaruhi oleh salinitas dan kepadatan fitoplankton. Hubungan antara perubahan salinitas terhadap perubahan laju filtrasi kerang hijau adalah pada metabolisme dan osmoregulasinya, adanya perubahan salinitas menjadikan perubahan aktivitas metabolisme normalnya. Pada kondisi tersebut kerang hijau berusaha beradaptasi mempertahankan kondisi tubuh terhadap lingkungannya sehingga membutuhkan energi yang lebih besar dari kondisi normalnya. Perubahan salinitas meningkatkan respirasi kerang hijau, yang berarti meningkat pula laju filtrasinya, karena pada waktu respirasi partikel makanan ikut terserap (Hutami *et al.*, 2015). Salinitas optimum untuk hidup kerang hijau berkisar antara 23-35‰, osmoregulasi kerang hijau yang merespon perubahan salinitas dengan meningkatkan respirasinya, volume air yang masuk melalui insang semakin bertambah, mengakibatkan respirasi tertentu akan berdampak pada tingginya laju filtrasi (Entya *et al.*, 2015). Metabolisme dipengaruhi oleh tingkat osmotik lingkungan, sedangkan tekanan osmotik lingkungan dipengaruhi oleh tingkat salinitas. Toleransi terhadap perubahan salinitas antara 27-35‰ di perairan Indonesia kerang hijau dapat ditemukan pada perairan pesisir, daerah mangrove dan muara sungai.

Kadar pH perairan merupakan salah satu parameter lingkungan yang berpengaruh terhadap proses kehidupan dan susunan spesies, organisme hidup membutuhkan pH optimum. Menurut KEP.51/MEN/2004 pH optimum untuk kehidupan kerang hijau (*Perna viridis*) berkisar antara 7-12 kerang hijau memiliki sensitivitas terhadap perubahan pH di lingkungan air tempat untuk hidup. Fluktuasi pH yang ekstrem dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangan kerang hijau, perubahan pH dapat memengaruhi organisme lain dalam ekosistem perairan tempat budi daya kerang hijau, seperti fitoplankton dan zooplankton (Silaban *et al.*, 2021). Hal tersebut dapat memengaruhi rantai makanan dan ketersediaan sumber daya makanan bagi kerang.

Oksigen terlarut merupakan salah satu parameter kimia air berperan pada kehidupan biota perairan (Azizid *et al.*, 2020). Penurunan oksigen terlarut dapat mengurangi efisiensi pengambilan oksigen bagi biota perairan sehingga menurunkan

kemampuannya untuk hidup normal (Anas *et al.*, 2017). Beberapa biota perairan masih mampu bertahan hidup dengan konsentrasi oksigen 3 mg/L, namun konsentrasi minimum yang masih dapat diterima sebagian besar biota untuk hidup baik adalah 5 mg/L (Malwa *et al.*, 2023).

Kerang hijau tumbuh baik pada kedalaman kurang dari 10 m dan hidup selama kurang lebih tiga tahun, di perairan yang kaya akan mikroorganisme dan fitoplankton serta bahan organik yang tersuspensi. Kedalaman dapat memengaruhi pertumbuhan, reproduksi, dan kesehatan kerang hijau (Kurniawan *et al.*, 2023). Substrat berlumpur cenderung untuk mengakumulasi bahan organik, yang berarti bahwa tersedia cukup banyak nutrisi untuk organisme di tempat tersebut, Analisis kualitas air perlu dilakukan untuk mengetahui kondisi habitat yang baik atau layak bagi organisme akuatik, khususnya kerang hijau.

### **2.3 Budi Daya Kerang Hijau *Perna viridis* (Linnaeus, 1758)**

Budi daya kerang hijau harus memperhatikan parameter fisika kimia yang sesuai, lokasi budi daya juga sebaiknya bebas dari pencemaran, jauh dari daerah permukiman, industri, serta pelabuhan. Faktor dari lingkungan yang mempengaruhi laju filtrasi antara lain oksigen terlarut, derajat keasaman, salinitas, dan suhu. Keberhasilan usaha budi daya sangat ditentukan oleh lokasi budi daya dan kondisi lingkungan yang ideal, sehingga aktivitas budi daya yang dilakukan berwawasan lingkungan dan berkelanjutan. Suatu lokasi budi daya baik digunakan jika memenuhi syarat untuk kehidupan kultivar, salah satunya perairan dengan karakteristiknya lebih tenang (Haryanti *et al.*, 2019). Menurut Murdinah (2008), bahwa budi daya kerang hijau merupakan budi daya yang ramah lingkungan sebab tidak menghasilkan limbah, tidak memerlukan pakan dan banyak diminati masyarakat sebagai sumber protein hewani yang harganya relatif lebih terjangkau.

Budi daya kerang hijau banyak ditemukan di perairan Indonesia bagian barat (Sudradjat 2016). Perairan laut Pulau Jawa wilayah yang dijadikan kawasan pembudidayaan kerang hijau salah satunya terletak di perairan Karangantu; muara

angke; ujungpangkah. Budi daya kerang hijau (*Perna viridis*) di perairan tersebut menggunakan metode rakit apung sederhana yang terbuat dari bambu dan drum pelampung dengan tali seba-gai media penempelan bibit serta dengan metode tali rentang (Warli, 2016). Metode yang digunakan adalah metode rakit tancap atau rak ukuran 10x30 m<sup>2</sup> berupa tonggak kayu atau bambu yang ditancapkan ke dasar perairan. Metode yang sederhana dan mudah diterapkan di perairan tersebut yang dasar perairannya pasir berlumpur (Sudrajat, 2016).

Keberhasilan usaha budi daya sangat ditentukan oleh lokasi budi daya dan kondisi lingkungan yang ideal, sehingga aktivitas budi daya yang dilakukan berwawasan lingkungan dan berkelanjutan. Suatu lokasi budi daya baik digunakan jika memenuhi syarat untuk kehidupan kultivar, salahsatunya perairan dengan karakteristiknya lebih tenang (Haryanti *et al.*, 2019). Tingginya aktivitas antropogenik di sekitar lokasi budi daya tersebut menimbulkan kekhawatiran akan munculnya pengaruh buruk bagi kualitas perairan yang digunakan untuk budi daya. Pengaruh buruk yang perlu diwaspadai adalah kemungkinan munculnya *blooming* fitoplankton berbahaya HABs (*harmfull algae blooms*) yang dapat meningkatkan resiko cemaran toksin (Maskur, 2022).

#### **2.4 Saksitoksin *Paralytic Shellfish Poisoning* (PSP)**

Saksitoksin merupakan salah satu neurotoksin yang dapat menyebabkan keracunan kerang *paralytic shellfish poisoning* (PSP) (Arnich *et al.*, 2018). Saksitoksin dapat diproduksi oleh *cyanobacteria* kelompok bakteri air tawar yang disebut *blue green alga*, alga dapat tumbuh dengan cepat menghasilkan ledakan populasi yang disebut *red tide*. Di perairan laut saksitoksin (PSP) dihasilkan oleh organisme dinoflagellata yang meliputi *Alexandrium acatenella*, *Alexandrium catenella*, *Alexandrium cohorticula*, *Alexandrium fundyense*, *Alexandrium minutum*, *Alexandrium tamarense*, *Gymnodinium catenatum*, dan *Pyrodinium bahamense*. Mengonsumsi kerang yang telah terakumulasi oleh saksitoksin PSP dapat menyebabkan keracunan. Saksitoksin mengikat saluran natrium yang diatur tegangannya (*voltage-gated sodium channels*) pada serabut saraf dan sel otot.

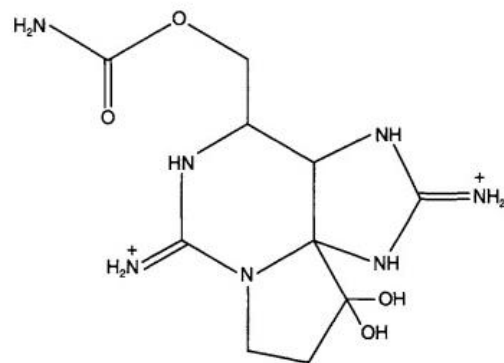
Manusia yang mengalami keracunan PSP akan tampak gejala saksitoksin setelah pemaparan 15 menit hingga 10 jam dengan gejala anggota tubuh (wajah, lengan, dan kaki) kaku, sakit kepala, gangguan otot, dan lesu. Efek toksin PSP dapat menyebabkan paralisis pada otot dan pernapasan hingga mencapai kematian pada 2 hingga 24 jam. Berdasarkan Permen KP No 17 Tahun 2004, kandungan PSP yang diperbolehkan yaitu sebesar 800  $\mu\text{g}/\text{kg}$  daging segar. Selain itu, jumlah kerang yang dikonsumsi juga akan menjadi penentu terjadinya keracunan pada manusia.

Mikroalga yang ditangkap oleh kerang langsung dicerna lewat saluran pencernaan, sedangkan untuk masuknya toksin PSP ke dalam daging kerang hijau memerlukan proses absorpsi oleh daging lewat dinding saluran pencernaan sehingga kadarnya menjadi relatif lebih rendah. Keracunan kerang parolitik disebabkan oleh beberapa alkaloid trisiklik guanidin yang terkait secara struktural yang ditemukan pada beberapa spesies dinoflagellata laut, Toksin PSP, saksitoksin memblok saluran natrium yang diatur tegangan pada saraf mielin dan nonmyelin, mengakibatkan relaksasi otot polos pembuluh darah, depresi potensial otot jantung, dan penghambatan transmisi impuls aksonal ke tulang otot Sylvers & Gobler (2021). Berikut merupakan struktur saksitoksin penyebab keracunan kerang PSP Gambar 4.

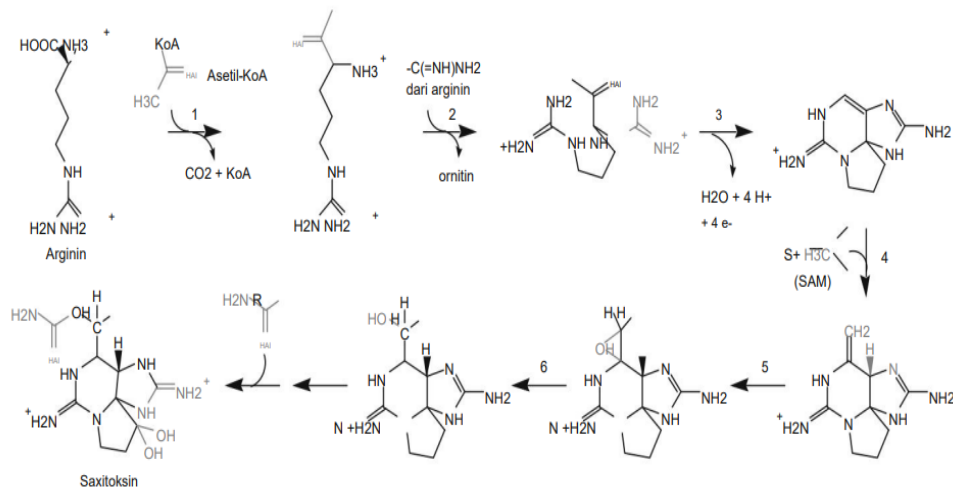
Saksitoksin merupakan cairan tidak berwarna dengan bau yang sangat kuat (seperti asam) dengan densitas 1,0 gram/mL. Saksitoksin beracun dan dapat menyebabkan iritasi pada kulit, mata, pernapasan, dan mulut. Efek saksitoksin pada manusia dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti umur dan jenis kelamin, ketahanan tubuh terhadap dosis saksitoksin yang termakan dan kondisi kesehatan. Saksitoksin memiliki nilai  $\text{LD}_{50}$  pada berat 263 g/kg. Saksitoksin akan larut dalam air dan metil alkohol, akan tetapi kurang larut dalam etil alkohol dan asam asetat, dan tidak bisa larut dalam larutan organik (nonpolar). Senyawa tergolong mudah terhidrolisis pada larutan basa dan toksinnya tidak aktif setelah dididihkan selama 34 jam pada Ph 3. Saksitoksin tidak dapat dihilangkan dari makanan laut baik dengan proses pemanasan hidrolisis (Alster *et al.*, 2020).



## (a). Struktur saksitoksin



## (b). Jalur biosintesis saksitoksin



Gambar 4. Struktur saksitoksin dan jalur biosintesis saksitoksin.  
Sumber: Cusick & Sayler (2013)

Saksitoksin adalah senyawa induk yang terbentuk secara alami menyediakan inti perhidropurin trisiklik dengan rantai samping metil O-karbamoilasi. Biosintesis racun PSP bersifat kompleks dan melibatkan reaksi biokimia yang jarang terjadi pada jalur metabolisme lainnya. Saksitoksin termasuk kondensasi Claisen dari asam amino menjadi asam karboksilat, transfer middleino, heterosiklisasi inkonvensional, dan O-karbamoila. Saksitoksin (STX) dan 58 analognya yang terdokumentasi adalah alkaloid neurotoksik lingkungan, yang memengaruhi penyakit manusia yaitu keracunan kerang parolitik (Vilariño *et al.*, 2018).

Saksitoksin yang tertelan oleh kerang hijau akan mengikat saluran  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Ca}^{2+}$  yang digerakkan oleh tegangan secara reversible menyebabkan paralisis pada sistem saraf melalui penghambatan saluran natrium, menghalangi pori saraf, menghentikan transmisi impuls saraf, kontraksi otot menyebabkan paralisis otot, dan kegagalan pernapasan. Berbagai enzim yang mengkatalisis reaksi dekarboksilasi, deaminasi, siklisasi, metilasi, dan oksidasi untuk membentuk produk akhir, saxitoksin, dari prekursor awal, yaitu arginin (Adeva *et al.*, 2017). Saksitoksin merupakan toksin neuro yang terkenal yang diproduksi oleh beberapa spesies dinoflagellata (Camacho *et al.*, 2021).

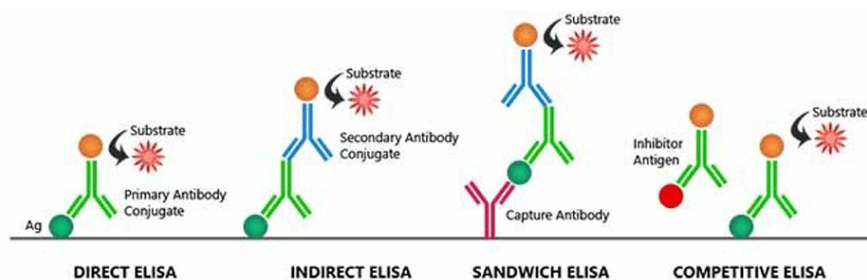
## **2.5 Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA)**

*Enzyme linked immunosorbent assay* (ELISA) merupakan salah satu metode yang banyak digunakan untuk deteksi antibodi berdasarkan prinsip ikatan antigen dan antibodi spesifik (Mufidah *et al.*, 2015). Metode ELISA didasarkan pada kerja imunologi yang dikombinasi dengan reaksi enzimatik, reaksi enzimatik antara enzim dan reaktan digunakan untuk menandakan adanya reaksi yang kemudian dapat diukur secara kualitatif berdasarkan pada perubahan warna dalam sistem rohoma & Nurminabari (2018). Keunggulan metode tersebut adalah teknik pengerjaan yang relatif sederhana, ekonomis, dan memiliki sensitivitas yang cukup tinggi Ningsih & wahid (2022). Pada tahun 1971, Peter Perlmann dan Eva Engvall memperkenalkan teknik ELISA dalam bidang imunologi (ELISA konvensional) yang pada waktu itu bertujuan untuk menganalisis interaksi antigen dengan antibodi di dalam suatu sampel yang ditandai dengan menggunakan indikator enzim sebagai pelapor (*reporter*), label (*signal*) (Maryam *et al.*, 2020).

Prinsip dasar ELISA yaitu salah satu komponen antigen (Ag) atau antibodi (Ab) yang menempel pada fase padat *microtiter plate* akan bereaksi menjadi molekul Ag-Ab (Santosa, 2020). Antigen akan bereaksi dengan antibodi spesifik dan dideteksi dengan antibodi sekunder berlabel enzim melalui inkubasi dan pemisahan reagen terikat dan bebas menggunakan langkah pencucian (Ghurafa *et al.*, 2019). Pengembangan warna dilakukan menggunakan substrat kromogenik sesuai

dengan keberadaan antigen. Reaksi enzim-substrat biasanya selesai dalam 30-60 menit. Reaksi berhenti dengan penambahan larutan yang tepat, misalnya, natrium hidroksida, asam klorida, asam sulfat, natrium karbonat, dan natrium azida, untuk reaksi individu. Terakhir, produk berwarna atau neon dideteksi menggunakan pembaca *plate microtiter* atau *ELISA reader* (Farida *et al.*, 2022).

Tahapan pengujian ELISA menurut Crowther (2001) di antaranya adsorpsi antigen atau antibodi pada fase padat, penambahan sampel dan reagen, inkubasi, pemisahan dengan reaktan, penambahan reagen enzim, penambahan enzim pendeteksi, dan pembacaan hasil. Dalam penelitian dengan metode ELISA didasarkan oleh nilai absorbansi. Penggunaan metode ELISA lebih sensitif dan akurat sehingga dapat digunakan lebih mudah dan cepat untuk penelitian, prinsip dasar reaksi ELISA adalah mereaksikan antigen dengan antibodi yang berlabel enzim yang kemudian ditambah dengan substrat sehingga akan dihidrolisis menjadi presipitat warna yang dapat dideteksi menggunakan *ELISA reader* (Ulfa *et al.*, 2017). Pada tahapan akhir teknik ELISA selalu ditambah dengan *stop solution* yang berfungsi untuk menghentikan reaksi. Bahan asam kuat biasanya digunakan sebagai larutan *stop solution*. Berdasarkan konfigurasi dalam sistem deteksi, metode ELISA dibagi menjadi beberapa tipe yaitu ELISA Direct, ELISA Indirect, ELISA Sandwich, dan ELISA Biotin Sterptavidin (jenis *ELISA modern*). Disajikan pada Gambar 5.

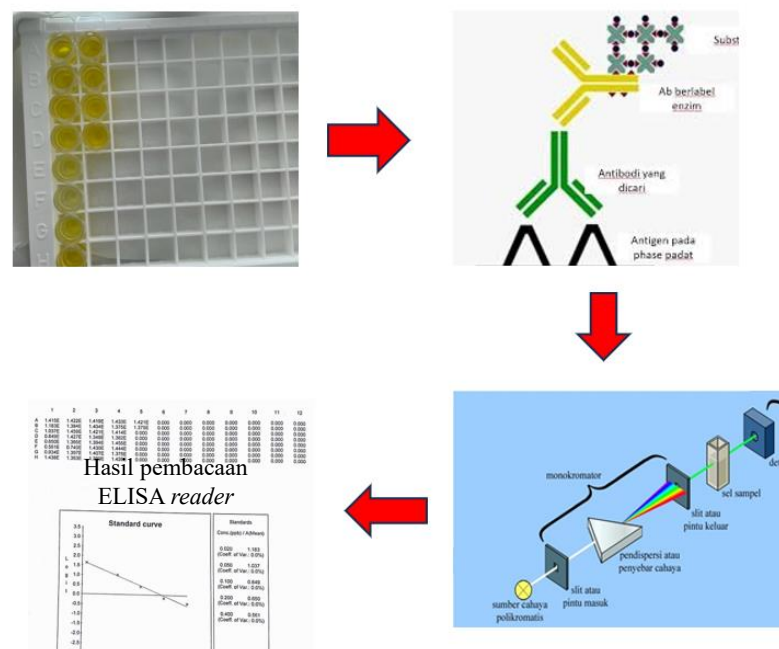


Gambar 5. Tipe sistem deteksi ELISA Direct, ELISA Indirect, ELISA Sandwich, dan ELISA Biotin Sterptavidin (jenis *ELISA modern*).

Sumber: Cusick & Saylor (2013)

Salah satu metode aplikasi teknologi *immunoassay* terbaru ialah untuk mendeteksi toksin, residu antibiotik, dan pestisida berbahaya yang bisa saja terdapat pada bahan pangan dan air yang digunakan oleh hewan dan manusia, serta dalam cairan biologi dan jaringan individu tertentu yang dicurigai telah memakan senyawa tersebut. Metode konfigurasi ELISA yang biasanya digunakan untuk analisis toksin pada hewan yaitu ELISA kompetitif. ELISA kompetitif pada dasarnya ialah kompetisi antigen yang sudah dikenal (*enzyme labelled competing antigen*) dengan antigen yang tidak dikenal untuk berikatan dengan antibodi yang dilekatkan atau telah melekat pada fase solid (Bagus *et al.*, 2017).

ELISA kompetitif terbagi menjadi dua jenis, ELISA kompetitif langsung dan ELISA kompetitif tidak langsung. Secara garis besar ada dua jenis teknik ELISA yaitu kompetitif dan nonkompetitif. Teknik kompetitif menggunakan konjugat antibodi-enzim atau antigen-enzim. Teknik nonkompetitif menggunakan antibodi primer dan sekunder. Antibodi sekunder pada teknik nonkompetitif dikonjugasikan dengan enzim yang berfungsi sebagai signal (Farida *et al.*, 2022).



Gambar 6. Proses pembacaan pada ELISA reader

Sampel dan standar yang telah dimasukkan pada *microplate* sesuai dengan enceran standar dan nomor sampel akan bereaksi dengan antigen pada fase padat, antibodi sekunder, dan substrat. Absorbansi sampel dan enceran standar dibaca pada ELISA *reader*. Absorbansi sampel dan enceran standar dibaca pada ELISA *reader*. Antibodi adalah bahan kimia khusus yang mampu mengikat antigen spesifik. Antibodi spesifik dapat diukur menggunakan antigen yang telah ditentukan dan hal tersebut merupakan dasar dalam berbagai uji biologi diagnostik termasuk ELISA. Hasil dari uji ELISA, diperoleh dari pengukuran absorbansi menggunakan ELISA *reader* (Santoso *et al.*, 2021). Prinsip kerja ELISA *reader* berbasis kolorimetri, yaitu intensitas cahaya yang diserap dalam larutan berwarna dengan gelombang tertentu merupakan nilai absorbansi yang terbaca. Alat ELISA *reader* tergolong alat yang mahal dan sulit diadakan di laboratorium ataupun perguruan tinggi yang memiliki dana minimum (Hindun *et al.*, 2018)

## **1.6 Kondisi dan Gambaran Umum Lokasi Pengambilan Sampel**

Lokasi pengambilan sampel dilakukan pada tiga wilayah di perairan Pulau Jawa dan memiliki karakteristik lingkungan sekitar perairan yang berbeda di setiap wilayahnya. Kondisi dan gambaran umum lokasi pengambilan sampel sebagai berikut.

### **1.6.1 Gambaran Umum Karangantu, Kabupaten Serang, Provinsi Banten**

Secara administratif perairan Karangantu termasuk dalam wilayah Kecamatan Kasemen, Kota Serang, Provinsi Banten. Kota Serang terletak antara  $5^{\circ}99' - 6^{\circ}22$  LS (lintang selatan)  $106^{\circ} 54'07'' - 106^{\circ} 05'25''$  BT (bujur timur). Berdasarkan posisi geografisnya, sebelah utara Kota Serang berbatasan dengan Laut Jawa, dan sebelah timur selatan dan barat berbatasan dengan Kabupaten Serang. Kota Serang terdiri dari 6 kecamatan dan 66 kelurahan, yaitu: Kecamatan Curug, Kecamatan Walantaka, Kecamatan Cipocok Jaya, Kecamatan Serang, Kecamatan Kesemen dan Kecamatan Taktakan.

Kota Serang memiliki wilayah pesisir yang luas sepanjang batas wilayah Kota Serang disebut Teluk Banten. Lokasi pesisir Kota Serang terletak di Kecamatan Kesemen Kota Serang yang terkoneksi langsung dengan Laut Jawa. Kecamatan Kesemen memiliki ciri khas di wilayahnya yaitu objek wisata ziarah dan budayanya, wisata alam, dan objek wisata dan produk yang banyak ditekuni oleh masyarakat Kecamatan Kesemen yaitu bidang perikanan laut dan tambak. Pelabuhan Karangantu merupakan Kawasan Pelabuhan yang berada di Kecamatan Kesemen dan berbatasan langsung dengan Laut Jawa terdiri dari kawasan daratan seluas 2,50 ha dan kawasan perairan laut seluas 6,12 ha serta wilayah pengoperasian kawasan daratan seluas 1.414,78 ha serta wilayah pengoperasian kawasan perairan laut seluas 9.664,72 ha dengan batas-batas dalam koordinat geografis.

Karangantu merupakan wilayah potensi perikanan dan pelabuhan tertua yang ada di Kota Banten, sejak zaman Kesultanan Banten berdiri. Zaman dahulu banyak didatangi oleh berbagai kapal-kapal besar dalam bentuk perdagangan, baik dari Persia, Cina, Arab, Portugis, Inggris, dan Belanda yang melakukan hubungan perdagangan dengan Kesultanan Banten (Prasadi *et al.*, 2016). Saat ini Pelabuhan Karangantu hanya berfungsi menjadi pelabuhan ikan dan tempat berlabuhnya kapal-kapal kecil para nelayan yang bermukim di kawasan pesisir (Pradani *et al.*, 2020). Pelabuhan Karangantu memiliki sumberdaya alam dan sumber daya buatan yang sangat potensial khususnya potensi laut dan pesisir yang dapat dijadikan sebagai industri kepelabuhan seperti pelabuhan jalur laut atau pelabuhan tempat penyeberangan dan pesisir yang kaya akan beragam ekosistem serta memiliki wisata bahari, pantai, kuliner, dan wisata budaya Banten Lama.

Pelabuhan Karangantu merupakan perairan yang berperan penting bagi masyarakat sekitar. Pelabuhan Karangantu yang berdekatan dengan lokasi pengambilan sampel digunakan sebagai pusat aktivitas lalu lintas kapal nelayan. Di pelabuhan Karangantu dapat menjadi tempat sandar dan berlabuh bagi kapal-kapal nelayan yang memulai atau mengakhiri perjalanan mereka, serta tempat untuk melakukan kegiatan bongkar muat hasil tangkapan ikan (Bachruddin *et al.*, 2020). Sebagai alur lalu lintas kapal nelayan, pelabuhan Karangantu memiliki peran penting



dalam menyediakan aksesibilitas bagi nelayan untuk mengakses perairan yang subur, seperti perairan Karangantu tersebut, serta untuk mengangkut hasil tangkapan mereka ke pasar atau fasilitas pengolahan ikan terdekat.

Aktivitas lalu lintas kapal nelayan di Pelabuhan Karangantu mencakup kegiatan seperti pemeliharaan dan perbaikan kapal, pengisian bahan bakar, pengisian persediaan, dan transaksi perdagangan antara nelayan dengan pihak-pihak lain yang terlibat dalam rantai pasokan ikan. Sebagai pusat aktivitas nelayan, penting untuk memperhatikan pengelolaan pelabuhan dengan baik, termasuk dalam hal pengaturan lalu lintas kapal, infrastruktur yang memadai, keamanan, dan kebersihan, untuk mendukung kelancaran operasi nelayan serta keberlanjutan sumber daya perikanan di sekitar perairan Karangantu (Dharmawan *et al.*, 2021). Selain aktivitas di perairan terdapat berbagai aktivitas daratan sekitar perairan seperti permukiman, pertanian, dan industri rumah tangga yang memiliki aliran air berhubungan dengan perairan Karangantu (Saptanto *et al.*, 2021).

### **1.6.2 Gambaran Umum Perairan Muara Angke, Kotamadya Jakarta Utara, DKI Jakarta**

Secara administratif pemerintahan, Muara Angke terletak di Kelurahan Pluit, Kecamatan Penjaringan, Kotamadya Jakarta Utara. Secara geografis, letak Kota Administrasi Jakarta Utara berada pada posisi  $106^{\circ}20'00''$  BT dan  $06^{\circ}10'00''$  LS. Luas wilayah Kota Administrasi Jakarta Utara mencapai  $146,66$  Km<sup>2</sup> atau mencapai 22,06% dari luas total wilayah DKI Jakarta. Wilayah Kota Administrasi Jakarta Utara memiliki perbatasan sebelah utara dengan Laut Jawa. Di sebelah timur, berbatasan dengan Kabupaten Dati II Bekasi. Di sebelah selatan, berbatasan dengan Kota Jakarta Pusat dan Jakarta Timur, dan sebelah barat dengan Kota Tangerang.

Pelabuhan Muara Angke ( $6^{\circ}6'21''$  LS;  $106^{\circ}46'29,8''$  BT) adalah pelabuhan kapal ikan atau nelayan di Jakarta. Ditandai dengan dioperasikannya penunjang kebutuhan nelayan seperti pelelangan ikan (struktur dan fasilitasnya). Secara

administratif pemerintahan, Muara Angke terletak di Kelurahan Kapuk Muara, Kecamatan Penjaringan, Kotamadya Jakarta Utara. Fasilitas pokok pelabuhan terdiri dari alur pelayaran (sebagai jalan kapal sehingga dapat memasuki daerah pelabuhan dengan aman dan lancar), penahan gelombang (*breakwater* untuk melindungi daerah pe-dalaman pelabuhan dari gelombang, terbuat dari batu alam, batu buatan dan din-ding tegak kolam pelabuhan (berupa perairan untuk bersandarnya kapal-kapal yang berada di pelabuhan) dan dermaga (sarana dimana kapal kapal bersandar untuk memuat dan menurunkan barang atau untuk mengangkut dan menurunkan penumpang) (Kurniawan *et al.*, 2023).

Kerusakan ekosistem yang diakibatkan bahan pencemar merupakan permasalahan lain yang dihadapi oleh nelayan di Muara Angke apabila terjadi hujan pembuangan limbah panas oleh PLTU di Muara Angke. Jika terjadi hujan, limpasan air sungai akan membawa bahan organik tinggi dari daratan yang dapat menurunkan tingkat oksigen terlarut dalam laut (Larasita *et al.*, 2020). Pencemar utama di Teluk Jakarta berupa pencemar antropogenik yaitu sebanyak 71 kontaminan organik telah berhasil diidentifikasi yang bersumber dari air sungai adalah bahan kimia yang digunakan dalam rumah tangga. bahan produk perawatan pribadi, obat farmasi dan *flame retardants* (plastik dan limbah textil) ditemukan dalam konsentrasi yang sangat tinggi, terutama pada wilayah muara. Konsentrasi residu deterjen (*alkilbenzena linear*) (LABs) dan bahan kimia yang digunakan untuk pembuatan kertas (*diisopropylnaphthalenes*) (DIPN) yang sangat tinggi pada sampel jaringan dari ikan dan kerang spesies ekonomis penting di Teluk Jakarta (Andaru *et al.*, 2016)

Kawasan Muara Angke memiliki geomorfologi dipengaruhi oleh hasil endapan Sungai-sungai yang mengalir di wilayah tersebut, endapan-endapan tersebut umumnya membentuk endapan *elluvial* pantai dengan permukaan tanah datar dan subur karena dipengaruhi endapan sungai yang mengandung sedimen dan bahan bahan organik, namun tekstur tanah lunak sehingga daya dukung tanah rendah dan proses intrusi air laut tinggi. Kawasan Muara Angke memiliki permukaan tanah datar, kondidi air permukaan terdiri dari payau, kolam tambak, rawa-rawa, Kali

Angke dan laut (Koagouw *et al.*, 2022). Kawasan Muara Angke diapit oleh dua anak Sungai yaitu Kali Angke dan Kali Adem, kondisi airnya tidak baik karena banyak polutan yang mencemari sungai, namun Kali Adem dan Kali Angke masih banyak digunakan oleh sebagian masyarakat Muara Angke untuk aktivitas sehari-hari (Mardianto *et al.*, 2022).

### **1.6.3 Gambaran Umum Perairan Ujungpangkah, Gresik, Provinsi Jawa Timur**

Lokasi Kabupaten Gresik terletak di sebelah barat laut Kota Surabaya yang merupakan Ibukota Provinsi Jawa Timur dengan luas wilayah 1.191,25 km<sup>2</sup>, secara geografis, wilayah Kabupaten Gresik terletak antara 112° sampai 113° bujur timur dan 7° sampai 8° lintang selatan. Wilayah Kabupaten Gresik sebelah utara berbatasan dengan Laut Jawa, sebelah timur berbatasan dengan Selat Madura dan Kota Surabaya, sebelah selatan berbatasan dengan Kabupaten Sidoarjo, dan Kabupaten Mojokerto, serta sebelah barat berbatasan dengan Kabupaten Lamongan. Sebagian wilayah Kabupaten Gresik merupakan daerah pesisir pantai dengan panjang pantai 140 km, 69 km di daratan Pulau Jawa memanjang mulai dari Kecamatan Kebomas, Gresik, Manyar, Bungah, Sidayu, Ujungpangkah, dan Panceng serta 71 km di Kecamatan Sangkapura dan tambak yang berada di Pulau Bawean. Kecamatan Ujungpangkah merupakan salah satu kecamatan di Kabupaten Gresik dengan luas wilayah sekitar 9.483,230 ha. Secara geografis Kecamatan Ujungpangkah terletak 6,84° – 6,97° lintang selatan dan 112,52° – 112,52° bujur timur.

Ujungpangkah merupakan muara dari Sungai Bengawan Solo yang merupakan salah satu sungai terpanjang di Indonesia. Secara administrasi, daerah tersebut masuk ke dalam wilayah Kecamatan Ujungpangkah, Kabupaten Gresik. Berdasarkan data pemantauan yang dilakukan oleh LAPAN menggunakan citra satelit jenis tutupan lahan di kawasan Ujungpangkah relatif tetap dan didominasi oleh tambak dan hutan mangrove. Ekosistem mangrove di Kecamatan Ujungpangkah memegang peran yang sangat penting bagi kehidupan makhluk hidup di sekitarnya. Pengelolaan dan pemanfaatan ekosistem mangrove oleh masyarakat

cenderung mengarah ke konversi lahan menjadi tambak, baik itu dari berupa hutan maupun tanah timbul. Penebangan pohon di hutan mangrove menjadi salah satu penyebab terjadinya abrasi. Selain abrasi, terjadi juga akresi atau penambahan daratan di sekitar muara Bengawan Solo yang berasal dari sedimentasi. Sedimentasi terus terjadi di ekosistem mangrove Kecamatan Ujungpangkah dari aliran Sungai Bengawan Solo (Ali *et al.*, 2021).

Tipe pantai di Kecamatan Ujungpangkah merupakan pantai dengan substrat berlumpur. Salah satu faktor utama terjadinya abrasi pantai di Kecamatan Ujungpangkah ialah karena pengurangan tumbuhan mangrove di sempadan pantai karena aktivitas konversi lahan menjadi tambak (Prasetyo *et al.*, 2017). Akresi yang terjadi di Kecamatan Ujungpangkah merupakan akibat dari akumulasi sedimentasi yang membentuk daratan. Kawasan perairan estuari adalah salah satu bagian wilayah pesisir yang memiliki karakteristik semi tertutup, terhubung dengan laut dan secara konstan mendapatkan pasokan air tawar yang berasal dari sungai. Sifat perairan estuari yang cenderung tenang dan jauh dari pengaruh gelombang menyebabkan material padat tersuspensi seperti sedimen yang terbawa aliran sungai mudah diendapkan. Aliran sungai yang bermuara di perairan estuari tidak hanya membawa sedimen, namun senyawa-senyawa kimia yang dapat memengaruhi kualitas air. Kondisi lingkungan perairan estuari yang cukup ekstrim tentu saja berpengaruh terhadap struktur komunitas biota perairan yang hidup di dalamnya terutama plankton dan benthos (Pendapatan *et al.*, 2023).

## II. METODE PENELITIAN

### 3.1 Waktu Dan Tempat

Penelitian dilakukan pada bulan Mei 2023 hingga Agustus 2023. Lokasi pengambilan sampel terletak di Karangantu, Kabupaten Serang, Provinsi Banten; Muara Angke, Kotamadya Jakarta Utara, DKI Jakarta; dan Ujungpangkah, Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur. Identifikasi kepadatan dinoflagellata dan diatom serta pengujian sampel kerang hijau dilakukan di Laboratorium Patologi dan Laboratorium Residu, Balai Pengujian Kesehatan Ikan dan Lingkungan (BPKIL) Serang. Selanjutnya, analisis data dilakukan di Laboratorium Oseanografi, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Pengambilan sampel dilakukan di 6 stasiun (Gambar 7). Pengambilan sampel meliputi pengambilan sampel kerang hijau dan sampel air. Pengambilan sampel kerang hijau dilakukan di stasiun 1-4, sedangkan sampel air dilakukan di stasiun 1-6. Letak stasiun pengambilan sampel disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Letak stasiun pengambilan sampel

St	Karangantu	Muara Angke	Ujungpangkah
1	106,17556°BT, 5.99694°LS	106,77028°BT, 6,09889° LS	112,48694°BT, 6,89306°LS
2	106,17111° BT, 5.99639°LS	106,77111°BT, 6,09889° LS	112,48861°BT, 6,88806°LS
3	106,16611°BT, 5.99333°LS	106,77111°BT, 6,09806°LS	112,49556°BT, 6,89389°LS
4	106,17833°BT, 5.98472°LS	106,76944°BT, 6,09833°LS	112.49861°BT, 6,89194°LS
5	106,16806°BT, 5.97583°LS	106,77056°BT, 6,09722°LS	112.49111°BT, 6,88611°LS
6	106,16694°BT, 6.02306°LS	106,77056°BT, 6,10222°LS	112,49139°BT, 6,90194°LS



### 3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan pada penelitian terdiri dari alat yang digunakan saat pengambilan data *in situ* dan langsung di lapangan. Pengambilan sampel kerang dan sampel air, serta alat dan bahan yang digunakan di laboratorium untuk analisis konsentrasi S-PSP dan identifikasi fitoplankton disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Alat pengujian S-PSP, kualitas air, dan identifikasi fitoplankton.

No	Alat	Kegunaan
1	<i>Coolbox</i> (5L)	Wadah untuk menyimpan sampel.
2	<i>Freezer</i>	Wadah untuk menyimpan sampel.
3	Talenan	Alat sebagai alas pada saat memotong sampel kerang hijau.
4	Pisau bedah	Alat pemotong daging kerang hijau.
5	<i>Blender</i>	Alat penghalus sampel daging kerang.
6	Spatula	Alat untuk mengambil sampel yang sudah halus.
7	Tabung <i>centrifuge</i>	Wadah sampel kerang hijau.
8	Timbangan analitik	Alat untuk menimbang sampel.
9	Gelas piala	Tempat buangan dan wadah untuk membuat reagen.
10	Labu ukur dan tutup	Wadah untuk membuat larutan.
11	ELISA reader (450 nm)	Alat untuk membaca <i>plate</i> ELISA guna menentukan konsentrasi saksitoksin dalam sampel.
12	Komputer	Alat untuk pengaplikasian software ELISA dan menyimpan data hasil pembacaan ELISA.
13	<i>Sedgewick rafter</i>	Wadah untuk menghitung kepadatan fitoplankton.
14	<i>Micropipette</i> dan pipet tetes	Alat untuk mengambil atau memindahkan larutan.
15	Plankton net	Alat untuk menyaring sampel air.
16	<i>Cover glass</i>	Alat untuk menutup <i>Sedgewick rafter</i> .
17	<i>Microskop inverted</i>	Alat untuk pengamatan fitoplankton.
18	DO meter	Alat untuk mengukur pH, do, dan suhu.
19	Refraktometer	Alat untuk mengukur salinitas.
20	<i>Depth</i> meter	Alat untuk mengukur kedalaman.
21	<i>Filter Millipore Millex</i>	Alat untuk menyaring larutan.



Bahan pengujian saksitoksin *paralytic shellfish poisoning* (PSP) adalah sebagai berikut.

Tabel 2. Bahan pengujian saksitoksin *paralytic shellfish poisoning* (PSP)

No	Bahan	Kegunaan
1	Sampel kerang hijau	Sampel uji.
2	Akuabides	Bahan untuk pengenceran larutan.
3	Methanol 80%	Reagen dalam pengujian.
4	Larutan standar ELISA kit saksitoksin PSP merek Eurofins ( <i>made in USA</i> )	Sebagai standar untuk pengujian saksitoksin PSP.
5	Larutan control ELISA kit saksitoksin PSP merek Eurofins ( <i>made in USA</i> )	Sebagai control untuk pengujian saksitoksin PSP.
6	<i>Diluent concentrate 10x</i>	Sebagai bahan pelarut pada sampel kerang hijau.
7	<i>HRP-conjugate</i>	Sebagai bahan untuk pengujian saksitoksin PSP.
8	<i>Antibody solution</i>	Sebagai bahan antibody dalam pengujian saksitoksin PSP.
9	<i>5x wash buffer</i>	Sebagai bahan untuk mencuci sumuran ( <i>well</i> ).
10	<i>Color solution</i>	Sebagai bahan untuk <i>color</i> pada pengujian saksitoksin PSP.
11	<i>Stop solution</i>	Sebagai bahan untuk menghentikan reaksi pengujian.

Bahan yang digunakan pada identifikasi kepadatan fitoplankton adalah sebagai berikut

Tabel 3. Bahan yang digunakan pada identifikasi kepadatan fitoplankton

No	Bahan	Kegunaan
1	Sampel air plankton	Sampel yang diamati.
2	Akuades	Bahan untuk membilas peralatan yang telah digunakan setelah digunakan.
3	Iodin 2%	Bahan untuk mengawetkan sampel air plankton.

### 3.3 Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan melalui 2 tahapan, yaitu pengambilan data secara langsung dan analisis di laboratorium. Pengambilan data secara langsung dilakukan pada parameter kualitas air meliputi suhu, salinitas, pH, dan oksigen terlarut. Analisis di laboratorium meliputi pengamatan kepadatan fitoplankton. Analisis di laboratorium juga dilakukan untuk mengetahui konsentrasi saksitoksin *paralytic shellfish poisoning* (PSP) pada kerang hijau.

#### 3.3.1 Pengambilan Sampel Kerang Hijau

Sampel kerang hijau diambil berdasarkan titik stasiun yang telah ditentukan yaitu stasiun 1-4 yang berada tepat di wilayah budi daya kerang hijau. Pada masing-masing stasiun, sampel kerang hijau akan diambil sebanyak 1 kg kemudian dimasukkan ke dalam *plastic zip* dan diberi label atau kode sampel. *Plastic zip* yang berisi sampel kerang hijau disimpan ke dalam *coolbox* yang berisi *ice gel*, agar membantu mempertahankan suhu kerang hijau mencegah terjadi pembusukan sebelum dilakukannya pengujian di laboratorium.

#### 3.3.2 Pengambilan Sampel Air

Pengambilan sampel air dilakukan dengan tujuan untuk mengidentifikasi serta menganalisis jumlah fitoplankton. Sampel air yang digunakan untuk melakukan identifikasi fitoplankton diambil menggunakan *water sampler* sebanyak 5 liter dan menyaringnya menggunakan alat plankton net. Air yang tersaring ditampung pada botol polietilen atau botol sampel yang berada di bagian bawah plankton net. Kemudian, hasil penyaringan air yang lolos dalam plankton net akan masuk ke dalam botol polietilen 100 mL. kemudian, ditambahkan pengawet iodine dengan konsentrasi 2% sebanyak 1 mL dengan tujuan untuk mengawetkan sampel plankton. Sampel air yang telah diberi iodine kemudian disimpan ke dalam wadah *coolbox*, pemberian label pada setiap sampel dilakukan dengan teliti dan jelas untuk ke-mudian dianalisis di laboratorium.

### 3.3.3 Pengambilan Data *In-Situ*

Data *in-situ* merupakan data yang langsung diperoleh dari lokasi penelitian pada stasiun 1-6, yang dilakukan bersamaan dengan pengambilan sampel sejak Mei 2023 hingga Agustus 2023. Data kualitas air *in-situ* yang diambil meliputi parameter, suhu, salinitas, pH, oksigen terlarut, dan kedalaman. Data pH, oksigen terlarut, dan suhu, diukur menggunakan alat DO meter (mengukur dari tiga parameter tersebut), sedangkan salinitas diukur menggunakan alat refraktometer dan kedalaman diukur menggunakan alat *depth* meter.

### 3.4 Analisis Konsentrasi Saksitoksin

Prosedur pengujian saksitoksin *paralytic shellfish poisoning* (PSP) mengacu pada saksitoksin (PSP) ELISA *test kit* dengan merek Eurofins.

#### 3.4.1 Preparasi Sampel Uji

Prosedur kerja tahap preparasi sampel kerang hijau sebagai berikut:

1. sampel kerang hijau disimpan dalam *freezer* pada suhu  $-20^{\circ}\text{C}$  sebelum dilakukannya preparasi;
2. sampel kerang hijau yang diuji dipisahkan daging dan organ dalam lainnya dari cangkang; dan
3. daging dan organ dalam kerang hijau dihaluskan bersamaan menggunakan *blender*.

### 3.4.2 Ekstraksi Sampel Uji

Prosedur kerja pada tahap ekstraksi sampel kerang hijau uji saksitoksin sebagai berikut:

1. sampel kerang hijau sebanyak 1,0 g dimasukkan ke dalam tabung *centrifuge*;
2. larutan methanol 80% sebanyak 6 mL (sebagai pelarut) ditambahkan ke dalam tabung *centrifuge* berisi sampel kerang hijau dan dihomogenkan menggunakan *vortex mixer* selama 1 menit;
3. setelah homogen, sampel di-*centrifuge* pada kecepatan 3.000g selama 10 menit untuk memisahkan endapan sampel kerang dan supernatan;
4. supernatan (lapisan atas) pada sampel diambil sebanyak 6 mL dan dimasukkan ke labu ukur ukuran 10 mL;
5. larutan metanol 80% sebanyak 2 mL ditambahkan lagi ke dalam tabung *centrifuge* berisi sisa endapan sampel dan dihomogenkan menggunakan *vortex mixer* selama 1 menit;
6. setelah homogen, sampel di-*centrifuge* pada kecepatan 3000g selama 10 menit untuk memisahkan endapan sampel dan supernatan;
7. supernatan pada sampel diambil sebanyak 2 mL dan dimasukkan ke dalam labu ukur 10 mL yang sama pada poin 4;
8. metanol 80% ditambahkan ke dalam labu ukur berisi supernatan sampai tepat pada tanda tera, labu ukur ditutup dan dihomogenkan;
9. labu ukur berisi supernatan disaring menggunakan *syringe filter millipore millex-IMF PES 0.22 µm*. Supernatan yang telah disaring selanjutnya dimasukkan ke dalam tabung *centrifuge* 15 mL;
10. supernatan hasil saringan dimasukkan sebanyak 10 mL ke dalam *microtube* 1 mL;
11. larutan 10x *diluent buffer* diencerkan 1 kali dengan akuades (1:100) dibuat terlebih dahulu;
12. larutan *diluent buffer* 1kali pengenceran sebanyak 990 µL ditambahkan ke dalam *microtube* yang sama pada poin 10, di-*vortex* selama 1 menit; dan
13. hasil ekstrak sampel diambil sebanyak 50 µL atau 0,05 mL untuk dipakai pada proses pengujian ELISA.

### 3.4.3 Proses Pengujian Saksitoksin dengan ELISA *Test Kit*

Prosedur kerja pada tahap pengujian ELISA *test kit* sebagai berikut:

1. *well* atau sumuran sebanyak 11 buah diletakkan ke dalam *microtiter plate* yang dialasi tisu pada bagian bawah;
2. larutan standar dan kontrol saksitoksin sebanyak 50  $\mu\text{L}$  dimasukkan ke dalam 7 buah sumuran, susunan standar dimulai dari konsentrasi terendah sampai konsentrasi tertinggi. Larutan standar dan kontrol dimasukkan pada *microtiter plate* urutan no 1-7;
3. hasil ekstrak sampel sebanyak 50  $\mu\text{L}$  dimasukkan ke dalam 4 sumuran, pada *microtiter plate* urutan no 8-11;
4. larutan *enzyme conjugate solution* ditambahkan sebanyak 50  $\mu\text{L}$  ke dalam 11 sumuran;
5. larutan *antibody solution* ditambahkan sebanyak 50  $\mu\text{L}$  ke dalam 11 sumuran;
6. *microtiter plate* dihomogenkan manual, dengan cara digoyangkan perlahan selama 30 detik;
7. *microtiter plate* diinkubasi selama 30 menit pada suhu ruang 20 - 25°C;
8. *microtiter plate* dicuci, cairan di 11 sumuran dibuang dengan cara mengetukkan *microtiter plate* ke tisu hingga dipastikan kering. Sumuran dicuci sebanyak 3 kali menggunakan 5x *wash solution* dengan 1 kali pengenceran sebanyak 250  $\mu\text{L}$ ;
9. *color solution* ditambahkan sebanyak 100  $\mu\text{L}$  ke semua sumuran, diaduk manual dengan cara digoyangkan perlahan selama 30 detik;
10. *microtiter plate* diinkubasi kembali selama 30 menit pada suhu ruang 20-25°C;
11. *stop solution* ditambahkan sebanyak 100  $\mu\text{L}$  ke dalam setiap sumuran; dan
12. nilai absorbansi setiap *well* dibaca menggunakan ELISA *reader* pada panjang gelombang 450 nm.

### 3.5 Analisis Kepadatan Fitoplankton

Fitoplankton diidentifikasi menggunakan mikroskop dan diidentifikasi jenisnya menggunakan buku identifikasi fitoplankton air laut. Prosedur pengujiannya sebagai berikut:

1. sampel air yang diidentifikasi fitoplankton diambil sebanyak 1 mL menggunakan pipet tetes dan diteteskan ke dalam *sedgewick rafter*, ditutup menggunakan *coverglas*, kemudian diamati menggunakan mikroskop dengan perbesaran 20x dan 40x. Fitoplankton diidentifikasi dan dihitung jumlah setiap jenisnya.
2. fitoplankton yang telah diamati selanjutnya dihitung kepadatannya dengan persamaan (1) (Effendi, 1997 dalam Tarigan, 2019).

$$N = \frac{B \times n}{A \times C} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

N = jumlah kepadatan plankton (ind/L)

A = volume sampel air yang disaring (L)

B = volume sampel air yang tersaring (mL)

C = volume sampel air dalam sedgewick rafter (1 mL)

n = jumlah sel tercacah

### 3.6 Analisis Data

Sumber data yang diperoleh terdapat dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data lapangan yang diperoleh secara langsung dengan mengoperasikan alat di laboratorium. Data berupa konsentrasi saksitoksin *paralytic shellfish poisoning*, kepadatan fitoplankton, dan kualitas air *in situ*. Data sekunder diperoleh berupa data nitrat dan fosfat tahun 2023 pada bulan Mei sampai dengan Agustus 2023 dari *website* Marine Copernicus ([www.data.marine.copernicus](http://www.data.marine.copernicus)).

Data kepadatan dinoflagellata dan diatom dianalisis secara deskriptif. Data konsentrasi saksitoksin *paralytic shellfish poisoning* yang diperoleh dibandingkan dengan data standar baku mutu kandungan S-PSP (KepMen KP No. 17 tahun 2004) tentang Sistem Sanitasi Kekekangan Indonesia. Analisis sebaran fosfat, nitrat, dan kepadatan fitoplankton dan sebaran parameter kualitas air (suhu, salinitas, pH, DO) diperoleh menggunakan *software* ArcMap 10.8. Hubungan antara konsentrasi saksitoksin dan kepadatan fitoplankton dianalisis menggunakan regresi linier sederhana, persamaan (2). Pada hubungan tersebut fitoplankton merupakan variabel dependen, sedangkan kepadatan konsentrasi saksitoksin independen.

$$y = a + bx \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

y= variabel dependen

x= variabel independen

a= *intercept* (konstanta)

b= *slop* (koefisien regresi)

## IV. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Simpulan

Simpulan dari penelitian, yaitu:

1. Konsentrasi saksitoksin *paralytic shellfish poisoning* (PSP) pada kerang hijau (*Perna viridis*) di perairan Karangantu, Kabupaten Serang Provinsi Banten, perairan Muara Angke, Kotamadya Jakarta Utara DKI Jakarta, dan Perairan Ujungpangkah Gresik Provinsi Jawa Timur, berada di bawah ambang batas maksimum baku mutu sanitasi kekerangan KEP.17/MEN/2004.
2. Kepadatan fitoplankton kelompok dinoflagellata dan diatom, termasuk dalam kategori rendah dan belum dapat dikategorikan sebagai kondisi HABs, sehingga bisa dikatakan tidak terjadi *booming* alga.
3. Konsentrasi saksitoksin *paralytic shellfish poisoning* (PSP) dalam tubuh kerang hijau memiliki korelasi yang positif dengan kepadatan fitoplankton kelompok dinoflagellata.

### 5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh maka saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Meskipun konsentrasi saksitoksin PSP berada di bawah ambang batas, penting untuk tetap mengonsumsi kerang hijau dalam jumlah yang wajar dan tidak berlebihan.
2. Melakukan penelitian jangka panjang untuk memahami dinamika musiman dan tahunan dari fitoplankton serta hubungan dengan konsentrasi saksitoksin PSP di tubuh kerang hijau.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A., Nurjanah, Hidayat, T., & Chairunisah, R. 2017. Karakteristik kimiawi dari daging kerang tahu, kerang salju dan keong macan. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*. 28(1): 78–84.  
DOI: <https://doi.org/10.6066/Jtip.2017.28.1.78>
- Adeva-Andany, M. M., López-Maside, L., Donapetry-García, C., Fernández-Fernández, C., & Sixto-Leal, C. 2017. Enzymes involved in branched-chain amino acid metabolism in humans. In *Amino Acids*, 49(6): 1005–1028. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00726-017-2412-7>
- Ali, M., Sulistiono, Imran, Z., & Simanjuntak, C. P. H. 2021. The potential development of ecotourism based on mangrove ecosystem in Ujung Pangkah of Gresik Regency, East Java Province, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 800(1).  
DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/800/1/012054>
- Alifuddin, M., Apri Arisandi. 2020. Kepadatan fitoplankton di pesisir kaliangget kabupaten sumenep. *Jurnal ilmiah kelautan dan perikanan*, 1(4). DOI: <https://doi.org/10.21107/jjuvenil.v1i4.9038>
- Alster, P., Madetko, N., Kozirowski, D., & Friedman, A. 2020. Progressive Supranuclear Palsy—Parkinsonism Predominant (PSP-P)—A Clinical Challenge at the Boundaries of PSP and Parkinson’s Disease (PD). In *Frontiers in Neurology*, 11. DOI: <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.00180>
- Anas, P., Jubaedah, I., Sudino, D. 2017. Kualitas Air dan Beban Limbah Karamba Jaring Apung di Waduk Jatiluhur Jawa Barat
- Anggraini Yusanti. 2020. Kadar nitrat dan fosfat perairan rawa banjiran desa sedang kecamatan suak tapeh kabupaten banyuasin. *Jurnal Ilmu-ilmu Perikanan dan Budidaya Perairan*, 15(1): 37-41.  
DOI: <https://doi.org/10.31851/jipbp.v15i1.4407>

- Arif, D., & Bambang, s., Haeruddin. 2018. Analisis kesuburan perairan berdasarkan kelimpahan fitoplankton, nitrat dan fosfat di perairan sungai bengawan solo kota surakarta. *Jurnal Of Maquares*, 7(1):1-8. DOI: <https://doi.org/10.14710/marj.v7i1.22519>
- Arifin, A. A., Suryono, C. A., & Setyati, W. A. 2021. Amankah Mengonsumsi Kerang Hijau *Perna viridis* L nnaeus, 1758 (Bivalvia: Mytilidae) yang ditangkap di Perairan Morosari Demak? *Journal of Marine Research*, 10(3): 377–386. DOI: <https://doi.org/10.14710/jmr.v10i3.31650>
- Arifin, A. A., Suryono, C. A., & Setyati, W. A. 2021. Amankah mengonsumsi kerang hijau *Perna viridis* L Nnaeus, 1758 (bivalvia: mytilidae) yang ditangkap di perairan Morosari Demak. *Journal Of Marine Research*, 10(3): 377–386. DOI: <https://doi.org/10.14710/jmr.v10i3.31650>
- Arifin, N., Siregar, S. H., 2018. Struktur Komunitas Diatom Epifit pada Pelepah *Nypa Fruticans* di Sekitar Pulau Cawan Kabupaten Indragiri Hilir Provinsi Riau. *Jurnal perikanan dan kelautan*. 23(1). <https://jpk.ejournal.unri.ac.id/index.php/JPK/article/view/6425>
- Ariyanti, A. 2018. Perbandingan kadar kolagen cangkang kerang darah (anadara granosa) dengan cangkang kerang hijau (*Mytilus viridis*) Di Bandengan, Kendal, Jawa Tengah. *Jurnal Pharmascience*, 5(2): 134–142. DOI: <http://dx.doi.org/10.20527/jps.v5i2.5795>.
- Arizuna, M., Suprpto, D., Program, M. R. M. 2015. Kandungan nitrat dan fosfat dalam air pori sedimen di sungai dan muara sungai wedung demak. *Journal Of Maquares*. 3(1). <http://ejournal-s1.undip.ac-.id/index.php/maquares>
- Arnich, N., Thebault, A. 2018. Dose-response modeling of *paralytic shellfish* (PSP) toxicity in humans. *Poison*. 10(141): 1-20. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins-10040141>.
- Arnich, N., Thebault, A. 2018. Dose-response modeling of *paralytic shellfish* (PSP) toxicity in humans. *Poison*, 10(141): 1-20. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins-10040141>.
- Asikin. 1982. Kerang Hijau. Pt. Penebar Swadaya. Jakarta. 41 hlm
- Astriana, B. H., Putra, A. P., & Junaidi, M. 2022. Kelimpahan fitoplankton sebagai indikator kualitas perairan di perairan laut Labangka, Kabupaten Sumbawa. *Jurnal Perikanan Unram*, 12(4): 710–721. DOI: <https://doi.org/10.29303/jp-.v12i4.400>
- Astriana, B. H., Putra, A. P., & Junaidi, M. 2022. Kelimpahan fitoplankton sebagai indikator kualitas perairan di perairan laut Labangka, Kabupaten Sumbawa. *Jurnal Perikanan Unram*, 12(4): 710–721. DOI: <https://doi.org/10.29303/jp-.v12i4.400>

- Azizid Daroini, T., Apri Arisandi Program Studi Ilmu Kelautan, dan, Pertanian, F., Trunojoyo Madura Jl Raya Telang, U., Kamal, K., & Madura, B. 2020. Analisis bod (biological oxygen demand) di perairan desa prancak kecamatan sepulu, bangkalan, 1(4):558-566. DOI: <https://doi.org/10.21107/jjuvenil.v1i4.9037>
- Bachruddin, D. T., Fernanto, G., Darma, B. A., & Oktaviana, O. 2020. Kebijakan Pemerintah Provinsi Banten dalam Peningkatan Cakupan Akta Kelahiran di Wilayah Kabupaten Serang dan Kota Serang. *Jurnal Kebijakan Pembangunan*, 15(2), 151–162. DOI: <https://doi.org/10.47441/jkp.v15i2.122>
- Bagus, D. I., Suardana, K., & Si, M. 2017. *Diktat Immunologi Dasar Sistem Imun*.
- Barokah, G. R., Putri, A. K., & Gunawan, G. 2017. Kelimpahan fitoplankton penyebab HAB (*Harmful Algal Bloom*) di perairan Teluk Lampung pada musim Barat dan Timur. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 11(2): 115. DOI: <https://doi.org/10.15578/jpbkp.v11i2.302>
- Bin Sallih, K. 2005. *Mussel farming in the state of sarawak, malaysia: a feasibility study*. 1(2): 1-44. <https://www.grocentre.is/ftp/moya/gro/index/publication/mussel-farming-in-the-state-of-sarawak-malaysia-a-feasibility-study>
- Brosnahan, M. L., Ralston, D. K., Fischer, A. D., Solow, A. R., & Anderson, D. M. 2017. Bloom termination of the toxic dinoflagellate *Alexandrium Catenella*. *Limnology and Oceanography*, 62(6): 2829–2849. DOI: <https://doi.org/10.2307-/26628799>
- Brosnahan, M. L., Ralston, D. K., Fischer, A. D., Solow, A. R., & Anderson, D. M. 2017. *Bloom termination of the toxic dinoflagellate Alexandrium catenella*, 62(6). DOI: 2829–2849. DOI: <https://doi.org/10.2307/26628799>
- Budiawan, Febriana, N. H., & Suseno, H. 2019. The Ability of Green Mussels (*Perna viridis*) to Accumulate Plutonium Through Sea Water Pathway. *Jurnal Kimia Valensi*, 5(1): 63–71. DOI: <https://doi.org/10.15408/jkv.v5i1.7730>
- Budiawan, Febriana, N. H., & Suseno, H. 2019. The ability of green mussels (*Perna viridis*) to accumulate plutonium through sea water pathway. *Jurnal Kimia Valensi*. 5(1): 63–71. DOI: <https://doi.org/10.15408/jkv.v5i1.7730>
- Camacho-Muñoz, D., Praptiwi, R. A., Lawton, L. A., & Edwards, C. 2021. High value phycotoxins from the dinoflagellate prorocentrum. *Frontiers in Marine Science*, 8:1-20. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.638739>

- Cho, S., & Cho, B. K. 2021. Elucidation of the Algicidal Mechanism of the Marine Bacterium *Pseudoruegeria* sp. M32A2M Against the Harmful Alga *Alexandrium catenella* Based on Time-Course Transcriptome Analysis. *Frontiers in Marine Science*, 8.  
DOI: <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.728890>
- Choirun A., Sari, S.H., Iranawati, F. 2015. Identifikasi fitoplankton spesies *Harmfull Algae Bloom* (HAB) saat kondisi pasang di perairan Pesisir Brondong, Lamongan, Jawa Timur. *Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan*, 25(2): 58-66. <https://www.neliti.com/publications/106193/identifikasi-fitoplankton-spesies-harmfull-algae-bloom-hab-saat-kondisi-pasang-d>
- Cross, W. F., Hood, J. M., Benstead, J. P., Hury, A. D., & Nelson, D. 2015. Interactions between temperature and nutrients across levels of ecological organization, In *Global Change Biology*.21(3):1025–1040. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.12809>
- Crowther, J.R. 2001. Methods in molecular biology, the ELISA guidebook international atomic energy agency animal production & health section wagramer str. 5 1400 Vienna Austria. *Human Press*, 5(16).  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1007/-978-1-60327-254-4\\_2](http://dx.doi.org/10.1007/-978-1-60327-254-4_2)
- Cusick, K. D., & Sayler, G. S. 2013. An overview on the marine neurotoxin, saxitoxin: Genetics, molecular targets, methods of detection and ecological functions. In *Marine Drugs*, 11(4): 991–1018.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/md11040991>
- Cusick, K. D., & Sayler, G. S. 2013. An overview on the marine neurotoxin, saxitoxin: genetics, molecular targets, methods of detection and ecological Functions. In *Marine Drugs*. 11(4): 991–1018.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/md11040991>
- Dewanti, a. Dewa, N. Elok Faiqoh. 2018. Hubungan Kelimpahan dan Keanekaragaman Fitoplankton dengan Kelimpahan dan Keanekaragaman Zooplankton di Perairan Pulau Serangan, Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*. 4(2):324-335.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.24843/jmas.2018.v4.i02.324-335>
- Dharmawan, A., & Handrianto, D. 2021. Strategi Pemberdayaan Nelayan Tangkap Dalam Meningkatkan Pembangunan Pariwisata Di Pelabuhan Perikanan Nusantara (Ppn) Karangantu Kota Serang, Banten. *Jurnal Kebijakan Pembangunan Daerah*, 5(2). <http://pipp.djpt.kkp.go.id/>,
- Diah Permatasari, R. 2016. The effects of nitrate and phosphate concentration on the diatom abundance at wulan estuary, demak. In *Diponegoro Journal Of Maquares*. 5 (4). <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/maquares>

- Diah Permatasari, R., Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, I., & Perikanan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, J. 2016. The effects of nitrate and phosphate concentration on the diatom abundance at wulan estuary, Demak. *diponegoro journal of maquares*, 5(4). <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/maquares>
- Dzakwan, A. Z., Endrawati, H., & Ario, R. 2023. Analisis konsentrasi nitrat dan fosfat terhadap kelimpahan fitoplankton di Perairan Sengkarang Pekalongan. *Journal of Marine Research*, 12(4): 571–578. DOI: <https://doi.org/10.14710/jmr.v12i4.35259>
- Dzakwan, A. Z., Endrawati, H., & Ario, R. 2023. Analisis konsentrasi nitrat dan fosfat terhadap kelimpahan fitoplankton di perairan Sengkarang Pekalongan. *Journal of Marine Research*. 12(4): 571–578. DOI: <https://doi.org/10.14710/jmr.v12i4.35259>
- Effendi. 1997. Biologi Perikanan. Yayasan Pustaka Nusantara. Yogyakarta. 163 hlm.
- Entya Hutami, F., Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, H., Perikanan Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan, J., & Diponegoro Jl Soedarto, U. 2015. Laju filtrasi kerang hijau (*Perna viridis*) terhadap skeletonema costatum pada berbagai tingkat. In *Diponegoro Journal Of Maquares*. 4(1):125-130. DOI: <https://doi.org/10.14710/marj.v4i1.7823>
- Entya Hutami, F., Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, H., Perikanan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, J., & Diponegoro Jl Soedarto, U. 2015. Laju filtrasi kerang hijau (*Perna viridis*) terhadap skeletonema costatum pada berbagai tingkat salinitas. *Of Maquares*, 4(1). <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/maquares>
- Farida, N., Rakhmina, D., Elyn Herlina, T., P. 2022. Perbandingan sensitivitas, spesifisitas metode elisa dan ict pada diagnosis laboratorium igm, igg sars-cov-2 comparison of igm, igg sars-cov-2 laboratory diagnosis result using elisa and ict method. *Jurnal Kesehatan*, 5(1): 2597-7520.
- Fauziah, A., Arifin, M. Z., Widodo, A., Cahyanurani, A. B., Halim, A. M., & Aonullah, A. A. 2023. The effects of Chaetoceros sp. meal as a feed supplement on color expression, growth performance and survival rate of discus ( *Symphysodon discus*). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1273(1). DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1273/1/012006>
- Firdaus, M. R., & Wijayanti, L. A. S. 2019. Fitoplankton dan siklus karbon global. *OSEANA*. 44(2):35–48. DOI: <https://doi.org/10.14203/oseana.2019.vol.44no.2.39>

- Ghurafa, R., Lukman, D. W., & Latif, H. 2019. Indirect enzyme linked immunosorbent assay sebagai metode untuk melacak bruselosis pada sapi perah (indirect enzyme immunosorbent assay (ELISA) as method for detect brucellosis in dairy cow). *Jurnal Veteriner*, 20(1), 30. DOI: <https://doi.org/10.19087/jveteriner.2019.20.1.30>
- Ghurafa, R., Lukman, D. W., & Latif, H. 2019. Indirect enzyme linked immunosorbent assay sebagai metode untuk melacak bruselosis pada sapi perah (Indirect Enzyme Immunosorbent Assay (I-Elisa) as method for detect brucellosis in dairy cow). *Jurnal Veteriner*. 20(1):30. DOI: <https://doi.org/10.19087/jveteriner.2019.20.1.30>
- Grattan, L. M., Holobaugh, S., & Morris, J. G. 2016. Harmful algal blooms and public health. In *Harmful Algae* (Vol. 57, pp. 2–8). Elsevier B.V. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hal.2016.05.003>
- Grattan, L. M., Holobaugh, S., & Morris, J. G. 2016. *Harmful algal blooms and public health*. In *Harmful Algae*. 57: 2–8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hal.2016.05.003>
- Grebner, W., Berglund, E. C., Berggren, F., Eklund, J., Haradóttir, S., Andersson, M. X., & Selander, E. 2019. Induction of defensive traits in marine plankton-new. *Copepodamide Structures*. 64(2): 820–831. DOI: <https://doi.org/10.2307/2662-9547>
- Gurning, L. F. P., Nuraini, R. A. T., & Suryono, S. 2020. Kelimpahan fitoplankton penyebab *harmful algal bloom* di perairan Desa Bedono, Demak. *Journal Of Marine Research*. 9(3):251–260. DOI: <https://doi.org/10.14710/jmr.v9i3.27483>
- Hamuna, B., R Tanjung, R. H., Maury, H. K. 2018. Konsentrasi amoniak, nitrat dan fosfat di perairan DISTRIK depapre, kabupaten jayapura. *Jurnal Enviro Scienteeae*. 14(1).8-15. DOI: <http://dx.doi.org/10.20527/es.v14i1.4887>
- Hamuna, B., Tanjung, R. H., Maury, H. K., Alianto., J. 2018. Kajian Kualitas Air Laut dan Indeks Pencemaran Berdasarkan Parameter Fisika-Kimia Di Perairan Distrik Depapre, Jayapura. *Jurnal ilmu kealutan dan perikanan*. 16:35–43. DOI: <https://doi.org/10.14710/jil.16.135-43>
- Handayani. 2021. Pengaruh kandungan deterjen pada limbah rumah tangga terhadap kelangsungan hidup udang galah (*macrobracium rosenbergii*). *Jurnal sebatik*, 24(1). <https://jurnal.wicida.ac.id/index.php/sebatik/article/view/937>
- Hanifah, D. N., Wulandari, S. Y., Maslukah, L., & Supriyantini, E. 2018. Sebaran horizontal konsentrasi nitrat dan fosfat anorganik di Perairan Muara Sungai Kendal Kabupaten Kendal. *Journal of Tropical Marine Science*. 1(1): 27–32. DOI: <https://doi.org/10.33019/jour.trop.mar.sci.v1i1.654>

- Haryanti, R., Fahrudin, A., Handoko Adi Susanto, Dan, Studi Pengelolaan Sumberdaya Pesisir Dan Lautan, P., Perikanan Dan Ilmu Kelautan, F., & Pertanian Bogor, I. 2019. Kajian kesesuaian lahan budidaya kerang hijau (*Perna viridis*) di perairan Laut Utara Jawa, Desa Ketapang Kabupaten Tangerang, Provinsi Banten. *Journal of Aquaculture and Fish Health*. 8(3): 184. DOI: <http://dx.doi.org/10.20473/jafh.-v8i3.15131>
- Hattenrath-Lehmann, T. K., Smith, J. & Gobler, C. J. 2015. The effects of elevated CO<sub>2</sub> on the growth and toxicity of field populations and cultures of the saxitoxin-producing dinoflagellate, *Alexandrium Fundyense*. *Limnology and Oceanography*. 60(1): 198–214. DOI: <https://doi.org/10.2307/26955958>
- Herawati, V. E., Hutabarat, J, & Radjasa, O. K. 2014. Nutritional Content of *Artemia* sp. Fed with *Chaetoceros calcitrans* and *Skeletonema costatum*. *Journal of Biosciences*, 21(4), 166–172. DOI: <https://doi.org/10.4308/hjb.21.4.166>
- Hijau Yang Dibudidayakan, K., Rudy, M., & Firmani, U. 2023. Identifikasi ektoparasit dan kompetitor sidayu kabupaten Gresik. *Jurnal Perikanan Pantura (JPP)*, 6(2).
- Hikmah, S., Sari, J., Ika, L., Fakultas, H., Dan, P., Kelautan, I., & Brawijaya, U. 2015. Kelayakan kualitas perairan sekitar mangrove center tuban untuk aplikasi alat pengumpul kerang hijau (*Perna viridis* L.). *Journal Of Life Science*, 2(1):60-68. DOI: <http://dx.doi.org/10.21776/ub.rjls.2015.002.01.8>
- Hikmah, S., Sari, J., Ika, L., Fakultas, H., Dan, P., Kelautan, I., & Brawijaya, U. 2015. *Kelayakan Kualitas Perairan Sekitar Mangrove Center Tuban Untuk Aplikasi Alat Pengumpul Kerang Hijau (Perna Viridis L.)*.
- Hindun, S., Rusdiana, T., Abdasah, M., & Hindritiani, R. 2021. Potensi limbah kulit jeruk nipis (*Citrus auronfolia*) sebagai inhibitor tirosinase. *Jurnal Veteriner*, 22(1): 79-85. DOI: <http://dx.doi.org/10.19087/jveteriner.2021.22.1.79>
- Hutami, F. E., Supriharyono., Haeruddin. 2015. Laju Filtrasi Kerang Hijau (*Perna viridis*) Terhadap *Skeletonema Costatum* Pada Berbagai Tingkat Salinitas. Diponegoro. *Journal Of Maquares Management Of Aquatic Resources*, 4(1): 125-130. DOI: <https://doi.org/10.14710/marj.v4i1.7823>
- Irawan, R., Hendro Susanto, R., Moh Rasyid Ridho. 2017. Analisis kualitas perairan di sungai komering desa ulak jermun kabupaten ogan komering ilir sebagai dasar pengelolaan budidaya ikan sistem keramba. *Jurnal Akuakultur Rawa Indonesia*, 5(2):182-194. <https://ejournal.unsri.ac.id/index.php/jari/article/view/7142>

- Jacob, A. M., Nurul Ulma, R., Puspitasari, S., & Hidayat, T. 2014. Komposisi kimia kupang merah (*Musculista Senhausia*) segar dan rebus chemical compositions of fresh and boiled red mussel (*Musculista Senhausia*). 3(3): 241-249. DOI: <https://doi.org/10.13170/depik.3.3.2151>
- Januar, H. I., Dwiwitno, D., Annisah, U., & Putri, A. K. 2019. Variasi temporal kadar saksitoksin dalam kekerangan dari perairan Tanjung Balai, Sumatra Utara. *Jurnal Pascapanen Dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*. 14(2): 85. DOI: <https://doi.org/10.15578/jpbkp.v14i2.613>
- Joni Haryadi. 2017. Dampak manajemen pakan dari kegiatan budidaya ikan nila (*oreochromis niloticus*) di keramba jaring apung terhadap kualitas perairan danau maninjau. *Jurnal Prosiding Forum Inovasi Teknologi Akuakultur*. 10(1): 621-631
- Jubaedah, S., Wulandari, Y., Zainuri, M., Maslukah, L., Dwi, D., & Ismunarti, H. 2021. Pola Sebaran Bahan Organik di Perairan Muara Sungai Jajar, Demak, Jawa Tengah. In *Indonesia Journal of Oceanography*. 3(3). DOI: <https://doi.org/10.14710/ijoce.v3i3.11442>
- Junaidi, M., Cokrowati, N., & Diniarti, N. 2021. Peningkatan produktivitas keramba jaring apung dengan budidaya kerang mutiara sistem terintegrasi di kabupaten Lombok Utara. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan Ipa*. 4(2): 124-131. DOI: <https://doi.org/10.29303/jpmpi.v4i2.696>
- Kesaulya, I., Rumohaira, D. R., & Saravanakumar, A. 2022. The Abundance of *Gonyaulax polygramma* and *Chaetoceros* sp. Causing Blooming in Ambon Bay, Maluku. *Ilmu Kelautan: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 27(1), 13–19. DOI: <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.27.1.13-19>
- Koagouw, W., Phadmacanty, N. L. P. R., Iskandar, M. R., Hindarti, D., & Arifin, Z. 2022. Metals in green mussels: Is there any effect on their reproduction A preliminary study of Muara Angke, Jakarta Bay. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1027(1). DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1027/1/012004>
- Krakhmalnyi, A. F., & Zarei Darki, B. 2018. Protoperidinium hormusum sp. nov. (Dinoflagellata) from the strait of Hormuz. *Algologia*, 28(3), 350–357. DOI: <https://doi.org/10.15407/alg28.03.350>
- Kremer, C. T., Thomas, M. K., & Litchman, E. 2017. Temperature- and size-scaling of phytoplankton population growth rates: Reconciling the Eppley curve and the metabolic theory of ecology. *Limnology and Oceanography*, 62(4):1658–1670. DOI: <https://doi.org/10.1002/lno.10523>



- Kumaji, S. S., Katili, A. S., & Lalu, P. 2019. Identifikasi mikroalga epilitik sebagai biomonitoring lingkungan perairan sungai bulango provinsi gorontalo. In *Jambura Edu Biosfer Journal*, 1(1).  
DOI: <https://doi.org/10.34312/jebj.v1i1.2042>
- Kurniawan, C. J., & Rilatupa, J. E. D. 2023. Tempat pengolahan perikanan adaptif di pasar ikan Muara Angke, Jakarta. *Jurnal Sains, Teknologi, Urban, Perancangan, Arsitektur (Stupa)*, 4(2), 2041–2054.  
DOI: <https://doi.org/10.24912/stupa.v4i2.21739>
- Kurniawan, E. Taufik, B. & Agung, C. 2023. Analisis kelayakan budidaya kerang hotate (*mizuhopecten yessoensis*) di teluk funka, hokkaido, jepang. *Jurnal Unhas Mataram*, 17(3). DOI: <https://doi.org/10.35327/gara.v17i3.546>
- Kusuma, R. N., Alamsjah, M. A., & Agustono. 2023. Effectiveness of cultivation *Chaetoceros calcitrans* with liquid organic fertilizer *Gracilaria* sp. against growth rate and nutritional content of *Artemia* sp. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1273(1).  
DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1273/1/012027>
- Larasita, I. Dela, Rahardjo, P., & Deliyanto, B. 2020. Rencana penataan kampung nelayan kamal muara sebagai kampung wisata (objek studi: kampung nelayan, Kelurahan Kamal Muara, Jakarta Utara). *Jurnal Sains, Teknologi, Urban, Perancangan, Arsitektur (Stupa)*, 2(2), 2545.  
DOI: <https://doi.org/10.24912/stupa.v2i2.8873>
- Mahmudah Noor, N., Wijayanti, H., & Hudaidah, S. 2015. Pengaruh perbedaan jenis tali terhadap tingkat penempelan benih kerang hijau (*perna viridis*). *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Budidaya Perairan*, 4(1): 471-478. DOI: <https://dx.doi.org/10.23960/jrtbp.v4i1.1353p471-478>
- Marañón, E., Lorenzo, M. P., Cermeño, P., & Mouriño-Carballido, B. 2018. Nutrient limitation suppresses the temperature dependence of phytoplankton metabolic rates. *ISME Journal*. 12(7):1836–1845.  
DOI: <https://doi.org/10.1038/s41396-018-0105-1>
- Mardianto, A., & Halim, M. 2022. Strategi adaptasi kampung terhadap kenaikan air laut dan penurunan tanah di Muara Angke. *Jurnal Sains, Teknologi, Urban, Perancangan, Arsitektur (Stupa)*, 3(2), 2347.  
DOI: <https://doi.org/10.24912/stupa.v3i2.12335>
- Marenda, P. R. & Rikardo, H. 2022. Oksigen Terlarut di Perairan Bolaang Mongondow Timur, Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmiah Platax*. 10(1):216-223.  
<https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/platax/article/view/40434/36679>

- Maryam, S., Suhaenah, A., & Amrullah, N. F. 2020. Uji aktivitas penghambatan enzim  $\alpha$ -glukosidase ekstrak etanol biji buah alpukat sangrai (*persea americana mill.*) *Secara In Vitro*, 12(1): DOI: <https://doi.org/10.56711/jifa.v12i1.619>
- Maryam, S., Suhaenah, A., & Amrullah, N. F. 2020. *Uji aktivitas penghambatan enzim  $\alpha$ -glukosidase ekstrak etanol biji buah alpukat sangrai (persea americana mill.) Secara in vitro*, 12(1).
- Maskur, F. 2022. Memitigasi Cemaran Biotoksin Produk Perikanan Dalam <https://bisnisindonesia.id/article/memitigasi-cemaran-biotoksin-produkperikanan> Diakses Pada 26 Desember 2023.
- Maul Sandy, A., Yasidi, F. 2021. Komposisi Jenis Dan Distribusi Makroalga Berdasarkan Tipe Substrat di Perairan Pantai Kampa Desa Wawobili Kabupaten Konawe Kepulauan. *Jurnal Manajemen Sumber Daya Perairan*. 6(1): 19-36. <https://ojs.uho.ac.id/index.php/JMSP/issue/view/1715>
- Meirinawati, H., & Muchtar, M. 2017. Fluktuasi nitrat, fosfat dan silikat di perairan pulau bintan. 13(3). <http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/segara>
- Melinda Nurmalitasari1 & Sudarsono. 2023. Keanekaragaman plankton dan tingkat produktivitas primer antara dua musim di perairan kabupaten Bantul. *Jurnal Kingdom*.9(1):16-34. DOI: <http://dx.doi.org/10.21831/kingdom.v9i1.18156>
- Memenuhi, U., Madya, A., Kesehatan, A., Ulfah, M. A., & Judul, H. 2017. *Pemeriksaan Hbsag Pada Perawat Di Rumah Sakit Permata Blora Jawa Tengah Karya Tulis Ilmiah*.
- Menteri Kelautan Dan Perikanan (KKP). 2004. Baku Mutu Standar Mutu Keperangan. Kep. Men. Kelautan dan Perikanan No.17 Tahun 2004
- Mertens, K. N & Matsuoka, K. 2017. The cyst-theca relationship of the dinoflagellate cyst *Trinovantedinium pallidifulum*, with erection of *Protoperidinium lousianensis* sp. nov. and their phylogenetic position within the Conica group. *Palynology*, 41(1–2), 183–202. DOI: <https://doi.org/10.1080/01916122.2016.1147219>
- Mufidah, T., Wibowo, H., Didik Subekti. 2015. Pengembangan metode elisa dan teknik deteksi cepat dengan imunostik terhadap antibodi anti aeromonas hydrophila pada ikan mas (*Cyprinid Carpio*). *Jurnal Riset Akuakultur*, 10(4): 553-565. DOI: <http://dx.doi.org/10.15578/jra.10.4.2015.553-565>

- Muhaemin, M., Alfya Rahmadita, D., Suwiryono, J., & Mayaguezz, H. 2023. Variabilitas konsentrasi dan sebaran n-anorganik (amonia, nitrit, dan nitrat) terlarut di Perairan Kalianda dan Perairan Anyer-Panimbang. *Journal of Marine Research*. 12(4); 737–745.  
DOI: <https://doi.org/10.14710/jmr.v12i4.38566>
- Muhammad Rizki, A., T. 2023. Penanganan kerang hijau (*Perna viridis*) sebagai olahan produk kamaboko. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Perairan*, 7(1): 30-37. DOI: <https://doi.org/10.36355/semahjpsp.v7i1.992budiawa>
- Mujib, A. S., Damar, A., & Wardiatno, Y. 2016. Spatial distribution of planktonic dinoflagellate in makassar waters, south sulawesi. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 7(2). DOI: <https://doi.org/10.28930/jitkt.v7i2.11033>
- Murdinah. 2008. Pengolahan kerang hijau (*Mytilus viridis*) menggunakan bahan pewarna alami. Prosiding seminar widyakarya nasional pangan dan gizi ix lipi. *Jurnal Squalen*. 4 (2): 61-71.
- Musfiroh, I., Emawati, E., & Aprianto, R. 2015. *Analisis Timbal dalam Kerang Hijau, Kerang Bulu, dan Sedimen di Teluk Jakarta*, 2(3).
- Musfiroh, I., Emawati, E., & Aprianto, R. 2015. Analisis timbal dalam kerang hijau, kerang bulu, dan sedimen di Teluk Jakarta. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Science and Technology*. 2(3): 105-111.  
DOI: <https://doi.org/10.24198/ijpst.v2i3.-7907>
- Naik, Ganesh R. 2017. Advances in principal component analysis: research and development. Kingswood, australia: bens research group, marcs institute. *Research and Development*. 7(252). DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-10-6704-4>
- Nakiboneka, R., Mugaba, S., Auma, B. O., Kintu, C., Lindan, C., Nanteza, M. B., Kaleebu, P., & Serwanga, J. 2019. Interferon gamma (ifn- $\gamma$ ) negative Cd4+ and cd8+ t-cells can produce immune mediators in response to viral antigens. *Vaccine*. 37(1): 113–122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2018.11.024>
- Nakiboneka, R., Mugaba, S., Auma, B. O., Kintu, C., Lindan, C., Nanteza, M. B., Kaleebu, P., & Serwanga, J. 2019. Interferon gamma (IFN- $\gamma$ ) negative CD4+ and CD8+ T-cells can produce immune mediators in response to viral antigens. *Vaccine*, 37(1), 113–122.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2018.11.024>
- Nasiri, A., Molazadeh, P., Khanjani, N., & Rahimi, M. R. 2015. Adsorption of Lead by Microalgae *Chaetoceros sp.* and *Chlorella Sp.* from Aqueous Solution *Chlorella Sp.* from Aqueous Solution. *Journal of Community Health Research*, 4(2). <https://www.researchgate.net/publication/309154946>

- Ningsih, I. R., Efendi, E., & Darma, Y. 2021. Laju filtrasi kerang hijau (perna viridislinn. 1758) yang berbeda ukuran pada berbagai tingkat salinitas terhadap mikroalga Chaetoceros calcitrans (Paulsen. 1968). In *Biospecies*, 14(2).
- Ningsih, I. R., Efendi, E., & Darma, Y. 2021. Laju filtrasi kerang hijau (perna viridislinn. 1758) yang berbeda ukuran pada berbagai tingkat salinitas terhadap mikroalga chaetoceros calcitrans. *Biospecies*. 14(2): 37-43. DOI: <https://doi.org/-10.22437/biospecies.v14i2.4194>
- Ningsih, I. R., Efendi, E., & Darma, Y. 2021. Laju filtrasi kerang hijau (*Perna viridis* linn 1758) yang berbeda ukuran pada berbagai tingkat salinitas terhadap mikroalga chaetoceros calcitrans (paulsen. 1968). In *Biospecies*. 14(2). DOI: <https://doi.org/10.22437/biospecies.v14i2.4194>
- Ningsih, I., & Wahid, M. H. 2022. Leptospirosis ditinjau dari aspek mikrobiologi. *Ekotonia. Jurnal Penelitian Biologi, Botani, Zoologi Dan Mikrobiologi*, 7(1): 31-43. DOI: <https://doi.org/10.33019/ekotonia.v7i1.3141>
- Noor, Nuning Mahmudah. 2014. Prospek pengembangan usaha saha budidaya kerang hijau (perna viridis) di Pulau Pasaran, Bandar Lampung. *Jurnal Aquasains Ilmu Perikanan dan Sumberdaya Perairan*, 3(2): 239-246. <https://jurnal.fp.unila.ac.id/index.php/JPBP/article/view/718>
- Nurjijar, S. Dahril,, T. & Harjoyudanto Y. 2022. Abundance of phytoplankton as a determinant of water quality in the coastal area of dumai barat district, dumai city, riau province. *Journal of multidisciplinary science*. <https://ijoms.internationaljournalallabs.com/index.php/ijoms/article/download/223/395/1558>
- Oktaviani, A., Yusuf, M., Maslukah, L., Ilmu Kelautan, J., Perikanan dan Ilmu Kelautan, F., Diponegoro Jl Soedarto, U. H., & Semarang, T. 2015. *Sebaran Konsentrasi Nitrat dan Fosfat Di Perairan Muara Sungai Banjir Kanal Barat, Semarang*, 4(1). <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jose.50275Telp/fax>
- Oktaviani, A., Yusuf, M., Maslukah, L., T. 2015. Sebaran konsentrasi nitrat dan fosfat di perairan muara sungai banjir kanal barat, semarang. *Journal Of Oceanograph*, 4(1): 85-92. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/joce>
- Panggabean, L. S., Prastowo, P., William, M. J., Psr, I., & Medan, V. 2017. Pengaruh jenis fitoplankton terhadap kadar oksigen di air. *Jurnal Biosains*, 3(2). DOI: <https://doi.org/10.24114/jbio.v3i2.7535>
- Paulsen. 1968. The rate of green sheel (*Perna viridis* Linn. 1758) a different size at a different salinity level of microalga chaetoceros calcitrans (Paulsen. 1968). In *Biospecies*. 14(2): 37-43.

- Poutiers, J.M. 1998. In Carpenter, K.E., And Niem, V.H. The Living Marine Resources of The Western Central Pacific. *Seaweeds, Corals, Bivalves and Gastropods*, 1(1): 420-430. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/index/index>
- Pradani, R. A., Herlambang, S., & Santoso, S. 2020. Studi integrasi wisata religius dan wisata bahari (objek studi: kawasan banten lama dan pelabuhan karangantu). *Jurnal Sains, Teknologi, Urban, Perancangan, Arsitektur (Stupa)*, 2(2), 2743. DOI: <https://doi.org/10.24912/stupa.v2i2.8951>
- Prasadi, O., Setyobudiandi, I., Butet, N. A., & Nuryati, S. 2016. Karakteristik Morfologi Famili Arcidae di Perairan yang Berbeda (Karangantu dan Labuan, Banten). *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 17(1): 29. DOI: <https://doi.org/10.29122/jtl.v17i1.1462>
- Prasetyo, A., Santoso, N., & Prasetyo, L. B. 2017. Degradation of Mangrove Ecosystem in Ujung Pangkah Subdistrict Gresik District East Java Province. *Journal of Tropical Silviculture*, 8(2), 130–133. DOI: <https://doi.org/10.29244/j-siltrop.8.2.130-133>
- Prasetyo, L. D., Supriyantini, E., & Sedjati, S. 2022. Pertumbuhan mikroalga chaetoceros calcitrans pada kultivasi dengan intensitas cahaya berbeda. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(1):59–70. DOI: <https://doi.org/10.14710/buloma.v11i1.31698>
- Prihardianto, M., Chilmawati, D. 2023. Pola pertumbuhan *thalassiosira sp.* Pada media walne dengan rasio n/p berbeda, 7(2): 196-206. DOI: <https://doi.org/10.14710/sat.v7i2.17283>
- Prihatin, A., Setyono, P., & Sunarto, S. 2018. Sebaran Klorofil a, Nitrat, Fosfat dan Plankton Sebagai Indikator Kesuburan Ekosistem Mangrove Tugurejo Semarang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 16(1), 68. <https://doi.org/10.14710/jil.16.1.68-77>
- Puji Rahayu, Sri Hastuti, Lestari Lakshmi Widowati. 2018. Profil Kelulushidupan dan Pertumbuhan Kerang Hijau (*Perna viridis*) pada Posisi Compound Structure yang Berbeda di Timbulsloko, Sayung, Demak. *Journal of Aquaculture Management and Technology*, 13(1): 1-10.
- Rahmah, N., Zulfikar, A., & Apriadi, T. 2022. Kelimpahan fitoplankton dan kaitannya dengan beberapa parameter lingkungan perairan di estuari Sei Carang Kota Tanjungpinang. *Journal Of Marine Research*, 11(2): 189–200. DOI: <https://doi.org/10.14710/jmr.v11i2.32945>
- Raunsai, E. K., dan Koirewoa, D. C. 2016. Plankton sebagai parameter kualitas air perairan Teluk Yos Sudarso dan sungai Anafre Kota Jayapura Papua. *Jurnal Biologi*, 8(2):1-12. <https://ejournal.uncen.ac.id/index.php/NG/article/view/957>

- Rizal, A. C., Ihsan, Y. N., Afrianto, E., Lintang, D., & Yuliadi, P. S. 2017. Pendekatan status nutrien pada sedimen untuk mengukur struktur komunitas makrozoobentos di wilayah muara sungai dan pesisir pantai Rancabuaya, Kabupaten Garut. In *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 8(2): 7-16. <https://jurnal.unpad.ac.id/jpk/article/view/15482/7271>
- Rohima, I. E. 2019. Identifikasi Protein Hewani Pada Produk Bumbu Instan Impor dengan Metode ELISA (Enzyme Linked Immunosorbent Assay). *Pasundan Food Technology Journal*, 5(3). DOI: <https://doi.org/10.23969/pftj.v5i3.1265>
- Rohima, I. E. 2019. Identifikasi Protein Hewani Pada Produk Bumbu Instan Impor Dengan Metode Elisa (*Enzyme Linked Immunosorbent Assay*). *Pasundan Food Technology Journal*. 5(3). DOI: <https://doi.org/10.23969/pftj.v5i3.1265>
- Rohima, I. E., & Nurminabari, I. S. 2018. Identifikasi protein hewani pada produk bumbu instan dengan metode ELISA (*Enzyme Linked Immunosorbent Assay*). In *Pasundan Food Technology Journal*. 5(7): 167-169. DOI: <https://doi.org/10.239-69/pftj.v5i3.1265>
- Romdhoni Fauzan Karil, A., Yusuf, M., Maslukah, L. 2015. Studi sebaran konsentrasi nitrat dan fosfat di perairan teluk ujungbatu jepara. *Journal of Oceanography*, 4(2): 386-392. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/joce/article/view/8383>
- Romdhoni Fauzan Karil, A, F. (2015). *Studi Sebaran Konsentrasi Nitrat Dan Fosfat Di Perairan Teluk Ujungbatu Jepara*. 4(2). <http://ejournals1.undip.ac.id/index.php/joseJl.Prof.Sudarto,SHTembalangTlp./Fax>.
- Rudy, U, F. 2023. Identifikasi ektoparasit dan kompetitor kerang hijau (*Perna viridis*) yang dibudidayakan dalam bagan tancap di laut jawa Kecamatan Sidayu Kabupaten Gresik. *Jurnal Perikanan Pantura*, 6(2): 352-272. DOI: <http://dx.doi.org/10.30587/jpp.v6i2.6337>
- Safaat, M., Diah, &, & Wulandari, A. 2019. Toksisitas nanopartikel terhadap biota dan lingkungan laut. *Jurnal Kelautan Nasional*, 16(1): 1-13. DOI: <http://dx.doi.org/10-.15578/jkn.v16i1.9051>
- Safitri, I., & Sari Juane Sofiana, M. 2022. Pengaruh proses pemanggangan terhadap penurunan logam timbal (pb) dalam daging kerang kepah (*Polymesoda Erosa*). *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 8(2): 179-185. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/OSEANOLOGIA/article/view/53347>

- Sagita, A., Kurnia, R., & Sulistiono, D. 2017. Budidaya kerang hijau (*perna viridis*) dengan metode dan kepadatan berbeda di Perairan Pesisir Kuala Langsa, Aceh. *Jurnal Riset Akuakultur*, 12(1):57–68. DOI: <http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/jra>
- Saleuddin, A. S. M. Dan Kari M. Wilbur. 1983. *The Mollusca: Physiology Part 2*, Academic Press. London. Hal 67-103
- Salwiyah, Irnawati, Indrayani. 2020. Keanekaragaman dan Kelimpahan Fitoplankton Di Danau Motonuno Desa Lakarinta Kecamatan Lohia Kabupaten Muna, Sulawesi Tenggara. *Jurnal Manajemen Sumber Daya Perairan*, 5(2): 81-90
- Samudera, L. N. G., Widianingsih, W., & Suryono, S. 2021. Struktur komunitas fitoplankton dan parameter kualitas air di Perairan Paciran, Lamongan. *Journal of Marine Research*, 10(4): 493–500. DOI: <https://doi.org/10.14710/jmr.v10i4.31663>
- Sandra Aprianti, N., Sulardiono, B. 2015. Kajian tentang fitoplankton yang berpotensi sebagai HABS (*harmful algal blooms*) di muara sungai Plumbon, Semarang. *Diponegoro Journal Of Maquares*. 4(3). DOI: <https://doi.org/10.14710/marj.v4i3.9330>
- Santoso, K., Herowati, U. K., & Sukmawinata, E. 2021. Comparison of colorimetric-based rabies postvaccination antibody titer detection using ELISA reader and mobile phone camera. *Jurnal Veteriner*, 22(1): 79–85. DOI: <https://doi.org/10.19087/jveteriner.-2021.22.1.79>
- Saribu, M. D., A. Mulyadi, dan I. Nurrachmi. 2017. Studi kelimpahan diatom (*baccillariophyta*) planktonik dengan konsentrasi nitrat dan fosfat di perairan Belawan Provinsi Sumatera Utara. *Journal of Aquatic Sciences*, 2(1); 1-11. DOI: <https://doi.org/10.31258/ajoaas.2.1.1-11>
- Sathishkumar, R. S., Sahu, G., Mohanty, A. K., Arunachalam, K. D., & Venkatesan, R. 2021. First report of *Protoperidinium steinii* (*Dinophyceae*) bloom from the coastal marine ecosystem – an observation from tropical Indian waters. *Oceanologia*, 63(3):391–402. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2021.04.003>
- Shohibuddin, M., Cahyono, E., & Bahri, A. D. 2017. Undang-Undang Desa Dan Isu Sumberdaya Alam: Peluang Akses Atau Ancaman Eksklusi. <https://www.researchgate.net/publication/326032465>. Diakses pada 23 desember 2023
- Silaban, R., Silubun, D. T., & Jamlean, A. A. R. 2021. Aspek ekologi dan pertumbuhan kerang bulu (*anadara antiquata*) di perairan letman, kabupaten maluku tenggara. *Journal of Marine Science and Technology*, 14(2): 120–131. DOI: <https://doi.org/10.21107/jk.v14i2.10325>

- Silverman, H.G And Roberto, F.F. 2007. Understanding marine mussel adhesion. *Journal of marine biotechnology*. 9(6): 66-81.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10126-007-9053-x>
- Simon I. Patty, M. Pandu. Husen Rifai, dan Nebuchadnezzar. 2019. Kajian Kualitas Air dan Indeks Pencemaran Perairan Laut di Teluk Manado Ditinjau Dari Parameter Fisika-Kimia Air Laut. *Jurnal Ilmu Kelautan Kepulauan*. 2 (2):1-13. DOI: <https://doi.org/10.33387/jikk.v2i2.1387>
- Sinno-Tellier, S., Abadie, E., Guillotin, S., Bossée, A., Nicolas, M., & Delcourt, N. 2023. Human shellfish poisoning: Implementation of a national surveillance program in France. *Frontiers in Marine Science*, 9.
- Sulastri. 2018. Fitoplankton Danau-Danau Di Pulau Jawa, Keanekaragaman dan Perannya Sebagai Bioindikator Perairan. Lipi Press. Jakarta
- Suryadi, L. penta febri, Haris, A., & Yanuarita, D. 2022. Hubungan kandungan nitrat dan fosfat perairan terhadap densitas zooxantellae pada polip karang acropora loisetteae yang ditransplantasikan di Perairan Kabupaten Bone. *JST. Jurnal Sains Dan Teknologi*, 11(2):411–418.
- Sylvers, L. H., Gobler, C. J. 2021. Mitigation of harmful algal blooms caused by alexandrium catenella and reduction in saksitoksin accumulation in bivalves using cultivable seaweeds. *Journal Elsevier Harmfull Algae*. 5(1):105. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hal.2021.102056>
- Tan, W. H. 1975. Eggs and larva development in the green mussels, mytilus viridis linnaeus. *The Veliger*, 18(2): 151-155.  
<https://www.biodiversitylibrary.org/part/97586>
- Tarigan, I. L. 2019. Dasar-Dasar Kimia Air Makanan dan Minuman. Media Nusa Creative. Malang. 264 hlm.
- Tropis, J. P., Kusumawati, I., Setyowati, M., & Salena, I. Y. 2018. Composition identification of the marine debris in the coastal of west aceh. *Jurnal Perikanan Tropis*. 5(1): 69-75.  
<http://jurnal.utu.ac.id/jptropis/article/view/1026>
- Umasugi, S., Ismail, I. 2021. Kualitas perairan laut desa jikumerasa kabupaten buru berdasarkan parameter fisik, kimia dan biologi. *Jurnal Biologi, Pendudukan dan Terapan*, 8(1).  
DOI: <https://doi.org/10.30598/biopendixvol8issue1page29-35>
- Umri, S. M., Syahfitri, A. I., Retnawaty, F., & Febriani, N. (2021). Prosiding sainstekes pemetaan sebaran konsentrasi fosfat di desa buluh cina sungai Kampar. DOI: <https://doi.org/10.37859/sainstekes.v2i0.2878>



- Usup, G., Chui Pin, L., Ahmad, A., Po Teen B A Program, L., Laut, S., Pengajian, P., Sekitaran, S., Alam, S., Sains, F., & Teknologi, D. 2002. Alexandrium (Dinophyceae) species in Malaysian waters. In *Harmful Algae*, 1.
- Van De Waal, D. B., & Litchman, E. 2020. Multiple Global Change Stressor Effects On Phytoplankton Nutrient Acquisition In A Future Ocean. In *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 375(1798). DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0706>
- Vilariño, N., Louzao, M. C., Abal, P., Cagide, E., Carrera, C., Vieytes, M. R., & Botana, L. M. 2018. Human poisoning from marine toxins: Unknowns for optimal consumer protection. In *Toxins*, 10(8). DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins10080324>
- Wang, X., Yin, Z., Chen, J., & Liu, J. 2023. Phytoplankton Carbon Utilization Strategies and Effects on Carbon Fixation. In *Water (Switzerland)*, 15(11). DOI: <https://doi.org/10.3390/w15112137>
- Weliyadi, E. 2022. Dinoflagellata Community Structure In The Waters Of Juara Permai Village, Tarakan City. *Sriwijaya Journal of Environment*, 7(2):100–109. DOI: <https://doi.org/10.22135/sje.2022.7.2.100-109>
- Weng, Q., Zhang, R., & Zhou, B. 2023. An Occurrence and Exposure Assessment of Paralytic Shellfish Toxins from Shellfish in Zhejiang Province, China. *Toxins*, 15(11). DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins15110624>
- Widyastuti, E., & Nuning S. 2015. Pengaruh limbah organik terhadap status tropik, rasio n/p serta kelimpahan fitoplankton di waduk panglima besar soedirman Kabupaten Banjarnegara. 8(1): 33-42. DOI: <http://dx.doi.org/10.-20884/1.mib.2015.32.1.293>
- Yanasari, N., Samiaji, J., & Siregar, S. H. 2017. Struktur Komunitas Fitoplankton Di Perairan Muara Sungaitohor Kabupaten Kepulauan Meranti Provinsi Riau. <https://www.neliti.com/id/publications/183316/structure-of-phytoplankton-community-in-sungaitohor-kepulauan-meranti-district-r>
- Yaqin, K., Nirwana, N., & Rahim, S. W. 2022. Konsentrasi Mikroplastik pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Perairan Mandalle Pangkajene Kepulauan, Sulawesi Selatan. *Jurnal Akuatiklestari*, 5(2). DOI: <https://doi.org/10.31629/akuatiklestari.v5i2.4204>
- Yaqin, K., Nirwana, N., & Rahim, S. W. 2022. Konsentrasi mikroplastik pada kerang hijau (*Perna viridis*) di perairan mandalle pangkajene kepulauan, Sulawesi Selatan. *Jurnal Akuatiklestari*. 5(2). DOI: <https://doi.org/10.31629/akuatiklestari-.v5i2.4204>

- Yuni Krisnawati. 2018. Mikroalga Divisi Bacillariophyta yang Ditemukan di Danau Aur Kabupaten Musi Rawas. *Jurnal Biologi*, 6(1):30–35. DOI: <https://doi.org/10.25077/jbioua.6.1.30-35.2018>
- Zahroh, A., Riani, E., & Anwar, S. 2019. Analysis of water quality for green mussel cultivation in Cirebon Regency, West Java. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 9(1): 86–91. DOI: <https://doi.org/10.29244/jpsl.9.1.86-91>
- Zainuri, M., Indriyawati, N., Syarifah, W., & Fitriyah, A. 2023. Korelasi Intensitas Cahaya Dan Suhu Terhadap Kelimpahan Fitoplankton Di Perairan Estuari Ujung Piring Bangkalan. *Buletin Oseanografi Marina*. 12(1):20–26. DOI: <https://doi.org/10.14710/buloma.v12i1.44763>
- Zheng, G., & Tan, Z. (2024). Contamination Status and Risk Assessment of Paralytic Shellfish Toxins in Shellfish along the Coastal Areas of China. *Marine Drugs*, 22(2):64. DOI: <https://doi.org/10.3390/md22020064>