

PERFORMA DAN KARAKTER MORFOLOGIS KEPITING BAKAU YANG TERPAPAR LOGAM BERAT DI EKOSISTEM MANGROVE PASSO

(Morphological Performance and Characteristics of Mud Crab Exposed to Heavy Metals in The Passo Mangrove Ecosystem)

Laura Siahainenia* dan Debby A. J. Selanno

Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Pattimura

laura.siahainenia@gmail.com, debby_st@yahoo.co.id

Corresponding author*

ABSTRAK: Kepiting bakau (*Scylla* spp.) merupakan salah satu komoditas perikanan potensial yang banyak diminati karena rasanya yang enak dan bergizi serta memiliki nilai ekspor. Ekosistem mangrove Passo merupakan salah satu daerah penangkapan kepiting di pesisir Teluk Ambon, namun penelitian sebelumnya menunjukkan habitat dan sampel kepiting mangrove tercemar oleh logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) (Selanno & Siahainenia, 2021). Penelitian dilakukan di ekosistem mangrove Passo, pada bulan Mei-Oktober 2022. Penelitian ini bertujuan menganalisis performa dan karakter morfologis kepiting bakau yang tercemar logam berat. Sampling kepiting bakau menggunakan metode purposive sampling. Performa dan karakter morfologis kepiting bakau dianalisis menggunakan metode deskriptif-komparatif. Sampel kepiting bakau yang tertangkap di ekosistem mangrove Passo menunjukkan kelainan struktur morfologi dan kehadiran organisme ektoparasit.

Kata Kunci: Morfologi, kepiting bakau, Passo, logam berat, ektoparasit

ABSTRACT: Mud crab (*Scylla* spp.) is one of the potential fishery commodities which is in great demand because it is delicious and nutritious and export value. Mangrove ecosystem in Passo is one of the mud crabs fishing grounds on the coast of Ambon Bay, but previous studies showed the mud crab specimens and its habitat were polluted by heavy metals lead (Pb) and cadmium (Cd) (Selanno & Siahainenia, 2021). The Research was carried out in the Passo mangrove ecosystem, in May-Oktober 2022. The aim of the research was to analyze the performance and morphological characters of mud crabs contaminated with heavy metals in the Passo mangrove ecosystem. Sampling of mud crabs using purposive sampling method. The appearance and morphological characters of mud crabs were analyzed using descriptive-comparative methods. Mangrove crab specimens caught in the Passo mangrove ecosystem showed the abnormalities of morphological structural and the presence of ectoparasite organisms.

Keywords: Morphology, mud crab, Passo, heavy metal, ectoparasite

PENDAHULUAN

Ekosistem mangrove merupakan bagian dari ekosistem pesisir yang menempati zona

intertidal terutama pada kawasan muara sungai, laguna dan pantai semi tertutup (Khairunnisa *et.al*, 2020). Ekosistem mangrove yang menyebar pada perairan laut tropis dan subtropis

memiliki berbagai manfaat ekologis dan ekonomis, antara lain pelindung daratan dari aksi gelombang, pelindung garis pantai dan muara sungai dari erosi dan abrasi, mereduksi pasokan sedimen, unsur hara, dan aliran air tawar yang masuk ke laut, penyerap karbon dan pendukung produktivitas perikanan karena merupakan habitat pembesaran, mencari makan, berlindung dan berkembang biak bagi berbagai organisme (Kariada & Irsadi, 2014; Imran & Efendy, 2016; Kadir *dkk.*, 2019; Yonvitner *dkk.*, 2019).

Kepiting bakau (*Scylla* spp.) merupakan salah satu organisme bentos penghuni ekosistem mangrove (R. Pratiwi, 2011), yang dalam subfilum Crustacea, kelas Malacostaca, Ordo Dekapoda Famili Poortunidae, Genus *Scylla*. Dikenal empat spesies *Scylla* yaitu *S. serrata*, *S. tranquebarica*, *S. paramamosain* dan *S. olivacea* (Keenan *et al.*, 1998). Kepiting bakau menjadikan ekosistem mangrove sebagai habitat alami utamanya untuk berlindung, kopulasi dan mencari makan (Yunus & Siahainenia, 2019). Ekosistem mangrove menyediakan substrat lunak dengan kandungan serasah yang tinggi serta berbagai organisme sebagai pakan alami kepiting bakau. Kepiting bakau merupakan komoditi perikanan potensial, karena bernilai ekonomis (lezat) (Fujaya, 2011) dan eksklusif, bernilai ekspor (Fujaya, 2011), dengan harga jual yang cukup tinggi. Harga kepiting bakau di pasar online nasional mencapai Rp. 100.000-200.000/kg, Sedangkan di Maluku mencapai Rp. 100.00-150.000/kg (Siahainenia, 2021).

Ekosistem mangrove Passo merupakan ekosistem mangrove terluas di Teluk Ambon Dalam (TAD) (Pramudji, 1987). Berdasarkan data citra satelit Landsat-7 ETM tahun 2006 luas hutan mangrove di pesisir Teluk Ambon kurang dari 34 ha. Hutan mangrove terluas terdapat di Passo, dengan ketebalan 200 m dari garis pantai (Suyadi, 2009). Ekosistem mangrove Passo dijadikan target daerah penangkapan kepiting bakau di Teluk Ambon, namun beberapa hasil penelitian mencatat adanya pencemaran logam berat timbal (Pb), cadmium (Cd), dan merkuri (Hg) pada air dan sedimen di perairan TAD (Tuahatu & Rahalus, 2009; Siahainenia *dkk.*, 2014; Selanno *et al.*, 2014), bahkan kandungan logam berat Pb dan Cd tidak saja terdeteksi pada air dan sedimen tetapi juga pada daging kepiting

bakau yang tertangkap pada ekosistem mangrove Passo (Selanno & Siahainenia, 2021).

Kondisi ini diakibatkan ekosistem mangrove Passo terletak pada perairan semi tertutup yang sempit dan dangkal (luas $\pm 12,1$ km²; kedalaman ± 44 m), dan merupakan muara serta lokasi dari berbagai aktivitas antropogenik, seperti pelabuhan/dermaga, transportasi laut, penambatan kapal rusak, penambangan pasir dan batu, lahan pertanian, penangkapan dan budidaya perikanan, industri, pembukaan lahan atas untuk pemukiman, perkantoran, hotel dan restoran, serta areal pembuangan limbah, termasuk bahan pencemar (Siahainenia *dkk.*, 2014; Retraubun *et al.*, 2021). Berbagai aktivitas tersebut telah memberikan tekanan ekologis terhadap ekosistem pesisir dan laut termasuk sumberdaya hayati di dalamnya. Pembangunan dan pencemaran merupakan aktivitas antropogenik yang menyebabkan degradasi ekosistem mangrove (Eddy *dkk.*, 2019) termasuk sumberdaya hayati yang dikandungnya.

Secara alami logam berat berperan dalam proses metabolisme, namun pada konsentrasi berlebih akan berubah menjadi racun (Amin *dkk.*, 2011). Kepiting bakau merupakan salah satu bioindikator pencemaran, karena mampu mengakumulasi logam berat tetapi pada konsentrasi tertentu kandungan logam berat akan meracuni sehingga dapat menyebabkan non-kematian (sublethal) seperti gangguan pertumbuhan, perilaku dan karakteristik morfologi, bahkan kematian (lethal) (Effendi *dkk.*, 2012).

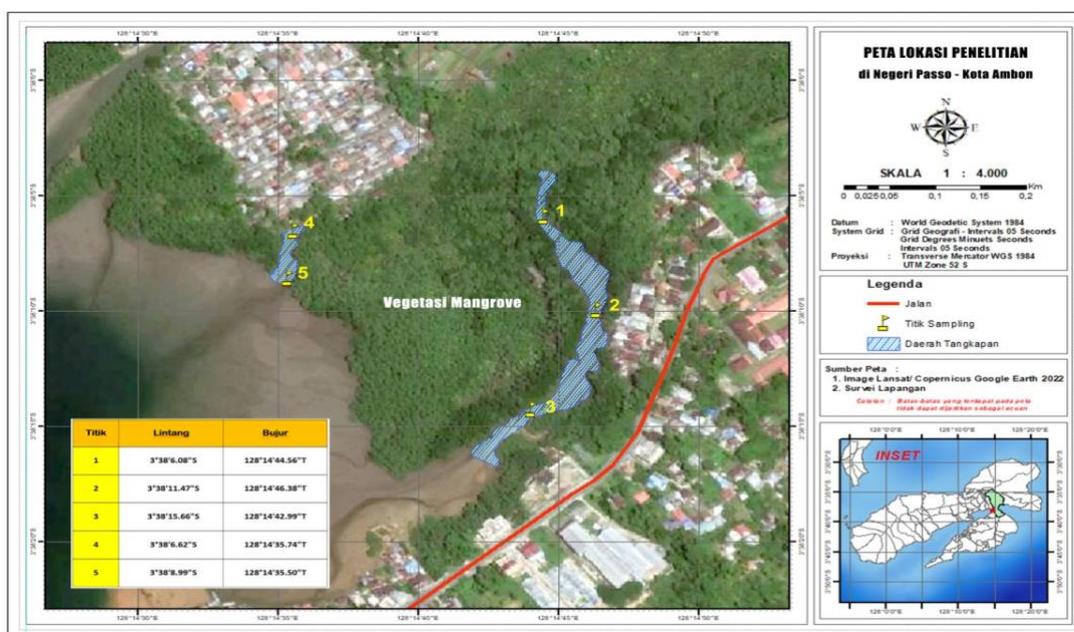
Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis performa dan karakter morfologis dari specimen kepiting bakau yang terindikasi terpapar logam berat Pb dan Cd pada ekosistem mangrove Passo. Hasil penelitian ini sangat penting mengingat pencemaran logam berat baik pada habitat maupun pada tubuh kepiting bakau akan sangat berbahaya bagi keberlanjutan populasinya di alam, maupun bagi manusia yang mengkonsumsinya. Sebagai komoditi perikanan unggulan penyangga ekonomi masyarakat, populasi kepiting bakau harus lestari dan berkelanjutan, serta aman dan sehat untuk dikonsumsi.

METODE PENELITIAN

Penelitian berlangsung pada bulan Juni-September 2022 di ekosistem mangrove Passo (Gambar 1). Stasiun penelitian ditetapkan berdasarkan hasil penelitian sebelumnya (Selanno & Siahainenia, 2021), yang menunjukkan konsentrasi logam berat timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) pada kolom air, sedimen dan daging kepiting bakau berkisar pada nilai rendah hingga tinggi (kandungan Pb pada air = 0,006 mg/l; pada sedimen = 23,4 mg/l; dan pada daging kepiting bakau = 0,435 mg/kg; kandungan Cd pada air = 0,001 mg/l; pada sedimen = 1,99 mg/l; dan pada daging kepiting bakau = <0,4 mg/kg). Lokasi penelitian yang ditetapkan merupakan habitat alami kepiting bakau, sehingga menjadi target daerah penangkapan, yang terletak pada daerah muara sungai dan creek, sehingga berpotensi akumulasi bahan organik dan anorganik dari lahan atas. Selain itu lokasi penelitian merupakan bagian ujung terdalam kawasan Teluk Ambon Dalam, yang relatif sempit dan tertutup, sehingga berpotensi pada akumulasi limbah darat maupun laut.

Pengumpulan data kepiting bakau menggunakan metode purposive sampling. Kepiting bakau ditangkap pada tiap stasiun menggunakan alat tangkap bubu berukuran 90x60x30 cm yang ditempatkan pada tiap stasiun secara acak. Sampel kepiting bakau yang tertangkap dibawa ke laboratorium untuk diidentifikasi diobservasi dan dianalisis. Spesies kepiting bakau yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Scylla serrata*, yang merupakan spesies dominan di ekosistem mangrove Passo. Sebagai control dilakukan observasi dan analisis terhadap specimen kepiting bakau asal Dusun Wael Seram Bagian Barat, dengan asumsi berasal dari lingkungan yang relatif alami dan bebas bahan pencemar.

Parameter yang digunakan untuk menganalisis performa dan karakter morfologis adalah warna tubuh, kelainan anggota tubuh, kehadiran organisme ektoparasit dan pengukuran morfometrik. Parameter warna tubuh dan kelainan anggota tubuh diamati secara visual, difoto dan dibandingkan dengan sampel control. Kehadiran organisme ektoparasit diamati secara visual.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian di ekosistem mangrove Passo

HASIL DAN PEMBAHASAN

Logam berat tergolong bahan pencemar kerana bersifat relatif stabil dan susah terurai (Hasni dkk., 2020). Logam berat yang masuk ke perairan bersumber dari debu vulkanik, pengikisan bebatuan serta kegiatan antropogenik, berupa pembuangan limbah, baik domestik maupun industri (Maddusa dkk., 2017); (Simbolon, 2018). Peningkatan sumber logam berat di alam akan menambah tingkat pencemaran logam berat di kolom air dan sedimen perairan, yang selanjutnya akan terakumulasi pada komponen-komponen rantai makanan dalam ekosistem perairan tersebut, sehingga menyebabkan keracunan pada organisme penghuni (Sembe, 2015); (Simbolon & Purbonegoro, 2021).

Organisme perairan sangat berperan dalam proses absorpsi senyawa logam berat dari perairan dan sedimen, diantaranya kelompok molusca dan crustacean. Salah satu organisme crustacea yaitu kepiting bakau (*Scylla spp.*), sering digunakan dalam kajian ekotoksikologi. Hal ini disebabkan 1. kepiting bakau merupakan organisme bentos yang memiliki kebiasaan membenamkan diri dalam lumpur, 2. merupakan penghuni hutan mangrove dan muara sungai yang open access dan mendapat dampak berbagai aktivitas antropogenik baik dari perairan maupun lahan atas; 3. mampu mengakumulasi logam berat; serta merupakan specimen yang mudah diperoleh (Vijayavel et al., 2009).

Dalam prosesnya, bahan pencemar termasuk senyawa logam berat, masuk ke dalam kolom air dan terdeposit dalam sedimen, dan selanjutnya masuk ke tubuh organisme melalui organ pernapasan dan pencernaan, serta permukaan tubuh. Senyawa logam berat masuk ke dalam tubuh organisme melalui proses biokonsentrasi, bioakumulasi, dan biomagnifikasi (Simbolon, 2019), dan selanjutnya terakumulasi dalam tubuh organisme (Azamana et al., 2015). Hal yang sama dikatakan oleh Pratiwi (2020), bahwa logam berat yang masuk ke dalam tubuh organisme serta diabsorpsi diseluruh saluran pencernaan dan pernapasan, kemudian didistribusikan keseluruh tubuh dan selanjutnya terakumulasi pada organ tubuh organisme tersebut.

Senyawa logam berat sangat berbahaya bagi organisme perairan serta manusia yang mengkonsumsi organisme tersebut. Menurut Pratiwi, (2020), dampak logam berat pada kesehatan manusia adalah menghalangi kerja enzim sehingga menyebabkan proses metabolisme tubuh menjadi terganggu. Kondisi ini selanjutnya dapat mengakibatkan kanker dan mutasi gen.

Tercatat beberapa senyawa logam berat yang sangat berbahaya bagi manusia yaitu timbal, tembaga, merkuri, kadmium, dan krom (Pratiwi, 2020). Menurut Rizkiana dkk. (2017), timbal adalah salah satu logam berat yang dihasilkan oleh penggunaan cat, aktivitas docking kapal, dan limbah bahan bakar. Sementara menurut Pratiwi (2020), cadmium bersumber dari berbagai aktivitas antropogenik berupa industri, pertanian dan rumah tangga. Peningkatan sumber logam berat di alam akan menambah tingkat pencemaran logam berat di kolom air dan sedimen perairan, yang selanjutnya akan terakumulasi pada komponen-komponen rantai makanan dalam ekosistem perairan tersebut, sehingga menyebabkan keracunan pada organisme penghuni (Sembe, 2015); (Simbolon & Purbonegoro, 2021).

Performa dan karakter Morfologis

Hasil analisis deskriptif terhadap sampel kepiting bakau yang tertangkap pada ekosistem mangrove Passo terlihat pada Tabel 1. Gambaran dalam Tabel 1 memperlihatkan kelainan pertumbuhan dan kecacatan organisme kepiting bakau yang tertangkap pada ekosistem mangrove Passo, yang merupakan salah satu lokasi penangkapan kepiting bakau di Teluk Ambon Dalam, namun telah terindikasi tercemar logam berat timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) baik pada kolom air, sedimen maupun biota (kepiting bakau) (Selanno & Siahainenia, 2021). Kelainan dan kecacatan kepiting bakau terlihat jelas pada performa kusam atau kurang cerah warna kulit (exoskeleton) pada karapaks, capit maupun kaki jalan dan kaki renang. Kondisi ini terdeteksi pada 65% sampel kepiting bakau yang diobservasi. Hal ini juga nampak pada kecerahan lensa mata. Selain itu terjadi pigmentasi berlebihan pada abdomen flap (50% dari sampel yang diobservasi). Performa kelainan dan

kecacatan juga nampak pada pertumbuhan karapaks dan capit yang tidak sempurna serta dan duri-duri pada ruas cheliped yang tereduksi. Sebanyak 30% sampel kepiting bakau yang diobservasi menunjukkan kelainan pertumbuhan pada karapaks maupun capit dan cheliped.

Performa yang berbeda ditunjukkan melalui performa kepiting bakau (sampel kontrol) asal Dusun Wael Seram Bagian Barat, salah satu lokasi penangkapan kepiting bakau di Pulau

Seram Maluku, yang masih alami dan relatif bebas bahan pencemar (Tabel 2). Gambaran pada Tabel 2 menunjukkan sebanyak 96% specimen kepiting bakau yang diobservasi memiliki warna exoskeleton dari karapaks dan kaki serta bola mata yang cerah dengan tampilan yang sehat; 100% sampel memiliki pertumbuhan karapaks, cheliped dan kaki jalan dan kaki renang yang sempurna, serta tidak ditemukan adanya reduksi duri pada cheliped.

Tabel 1. Performa dan karakter morfologis kepiting bakau yang terpapar logam berat

PERFORMA		
Kecerahan exoskeleton	Kelainan pada struktur morfologis	Kehadiran ektoparasit/organisme pembor
		
		
		
KARAKTER		
65% sampel kepiting bakau memperlihatkan exoskeleton karapaks, capit maupun kaki-kaki tidak cerah atau kusam 55% sampel menunjukkan bola mata tidak cerah berwarna hitam keputihan, tangkai mata tidak tegak 50% sampel menunjukkan pigmentasi berlebihan pada abdomen flap, cenderung menghitam	30% sampel menunjukkan adanya kelainan pada pertumbuhan karapaks, capit dan duri pada bagian cheliped	Pada 42% sampel teridentifikasi adanya organisme penempel baik pada karapaks, abdomen maupun pada kaki-kaki jalan.

Tabel 2. Performa dan karakter morfologi kepiting bakau kontrol

PERFORMA		
Kecerahan exoskeleton	Kelainan pada struktur morfologis	Kehadiran ektoparasit/organisme pembor
		
		
		
KARAKTER		
96% sampel kepiting bakau menunjukkan exoskeleton karapaks, capit maupun kaki-kaki nampak cerah dan mengkilat Bola mata cerah berwarna hitam kecoklatan dengan tangkai mata tegak berdiri 97% sampel menunjukkan <i>abdomen flap</i> relatif bersih, dengan pigmentasi minimal	100% sampel menunjukkan pertumbuhan karapaks, capit maupun kaku-kaki sempurna (tidak terlihat adanya kelainan pertumbuhan)	Tidak teridentifikasi adanya organisme penempel baik pada karapaks, abdomen maupun pada kaki-kaki jalan.

Kepiting bakau tergolong kelompok crustacean yang mengalami proses ganti kulit/exoskeleton (moulting/ecdysis) dalam tahap pertumbuhannya. Proses molting pada organisme crustacea terdiri atas tiga tahap yaitu sebelum moulting (Pre-ecdysis), moulting (Ecdysis), dan pasca moulting (Post-ecdysis) (Kittaka & Booth, 2000 dalam Trijoko & Nurcholis, 2018). Peristiwa moulting umumnya disertai pertambahan volume dan bobot tubuh, dengan demikian dibutuhkan energi dan nutrisi

yang cukup, baik sebagai makanan cadangan saat moulting berlangsung maupun bagi pembentukan exoskeleton baru. Keberhasilan pembentukan exoskeleton baru sangat dipengaruhi oleh komponen penyusun seperti kalsium karbonat, kitin, dan protein (Romano et al., 2007). Padahal ketika logam berat seperti Pb terakumulasi dalam tubuh organisme dan didistribusikan ke seluruh jaringan tubuh, senyawa ini akan mengikat protein eritrosit dalam plasma darah atau hemolimph, dan sisanya

diangkut sebagai ion bebas. Salah satu tempat akumulasi Pb adalah tulang/exoskeleton karena Pb memiliki sifat kimiawi yang mirip dengan kalsium di tulang, sehingga dapat mensubstitusi kalsium di tulang (Riani, 2012). Dengan demikian senyawa Pb dapat meningkatkan pembentukan kalsium bagi pembentukan exoskeleton namun dalam konsentrasi berlebih akan mempengaruhi dalam konsentrasi berlebih akan mempengaruhi fungsi organ hepatopankreas. Selain sebagai penyimpan kalsium, organ hepatopankreas juga berfungsi untuk detoksifikasi, produksi enzim pencernaan, menyimpan hasil metabolisme, metabolisme lemak dan karbohidrat sebagai cadangan energy, serta mengedarkan nutrisi melalui hemolimph ke bagian-bagian tubuh untuk mendukung berbagai proses fisiologis termasuk pembentukan exoskeleton baru (Musallamah, 2012). Kerusakan organ hepatopankreas dapat disebabkan oleh bahan pencemar yang masuk dalam tubuh organisme. Bahan pencemar termasuk logam Pb dan Cd akan berikatan dengan gugus sulfidril dan membentuk ikatan metaloenzim dan metaloprotein. Ikatan metaloenzim dan metaloprotein akan mengakibatkan malfungsi enzim pada organel sel (Baršienė et al., 2008).

Jika organ hepatopankreas mengalami kerusakan maka akan terjadi gangguan sistem metabolisme lemak dan karbohidrat, kegagalan pembentukan enzim, serta kegagalan transport nutrisi. Dengan demikian proses fisiologis dan pertumbuhan organisme akan terhambat. Kondisi ini membuktikan kerentanan organ hepatopankreas terhadap paparan bahan pencemar (Sousa & Petriella, 2005). Kondisi ini menyebabkan berkurangnya kadar kalsium bagi pembentukan exoskeleton baru. Dengan demikian akan terjadi kegagalan pembentukan struktur morfologis.

Gambaran lainnya dari performa dan karakter morfologis dari specimen kepiting bakau yang terpapar logam berat adalah pada kehadiran organisme ektoparasit pada bagian dorsal (karapaks) dan bagian ventral abdomen dari struktur morfologis kepiting bakau, sehingga menyebabkan kerusakan pada struktur morfologis specimen tersebut (membuat lobang

pada exoskeleton karapaks dan tulang dada). Sebanyak 42% sampel kepiting bakau yang diobservasi menunjukkan kehadiran organisme ektoparasit pada bagian karapaks dan abdomen. Sementara pada semua sampel kontrol, tidak ditemukan organisme ektoparasit baik pada bagian dorsal maupun ventral dari struktur morfologis kepiting bakau.

Umumnya parasit digunakan juga sebagai bioindikator pencemaran logam berat karena parasit dapat mendeteksi dan berespon terhadap paparan logam berat di perairan, bahkan lebih cepat dibandingkan inangnya. Pietrock dan Marcogliese (2003) dalam Hasni dkk. (2020) menunjukkan beberapa hasil penelitian tentang sensitivitas parasit terhadap logam berat. Organisme parasit yaitu Cestoda dapat mengakumulasi logam dengan konsentrasi yang tinggi. Infeksi ektoparasit yang meningkat biasanya memberi indikasi kualitas air tercemar (Hasni dkk., 2020)

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan berdasarkan hasil penelitian ini adalah kepiting bakau yang terpapar logam berat memiliki performa dan karakter morfologis berbeda dibandingkan kepiting bakau yang hidup pada lingkungan yang relatif masih alami dan relatif bebas bahan pencemar. Performa dan karakter morfologis kepiting bakau yang terpapar logam berat menunjukkan kelainan dan kecacatan terlihat jelas pada performa kusam atau kurang cerahnya warna kulit (exoskeleton) pada karapaks, capit maupun kaki jalan dan kaki renang, kecerahan lensa mata, pigmentasi berlebihan pada abdomen flap, pertumbuhan karapaks dan capit yang tidak sempurna serta dan duri-duri pada ruas cheliped yang tereduksi, serta kehadiran organisme ektoparasit pada bagian karapaks dan abdomen tubuh kepiting bakau. Perlu dilakukan kegiatan advokasi bagi masyarakat tentang optimalisasi pemanfaatan TPS, sehingga tidak terjadi pencemaran di lingkungan perairan yang merupakan habitat organisme laut ekonomis penting seperti kepiting bakau. Selain itu perlu disosialisasikan tentang

performa dan karakter morfologis kepiting bakau yang terpapar logam berat.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, B., Afriyani, E., & Saputra M.A. 2011. Distribusi Spasial Logam Pb dan Cu pada Sedimen dan Air Laut permukaan di Perairan Tanjung Buton Kabupaten Siak Provinsi Riau. *Jurnal Teknobiologi* 2(1): 1–8.
- Baršienė, J., Andreikėnaitė, L., Garnaga, G., & Rybakovas, A. 2008. Genotoxic and cytotoxic effects in the bivalve mollusks *Macoma balthica* and *Mytilus edulis* from the Baltic Sea. *Ekologija* 54(1): 44–50. <https://doi.org/10.2478/v10055-008-0009-x>
- Eddy, S., Iskandar, I., Ridho, M. R., & Mulyana, A. 2019. Restorasi Hutan Mangrove Terdegradasi Berbasis Masyarakat Lokal. *Jurnal Indobiosains* 1(1): 1–13.
- Effendi, F., Tresnaningsih, E., Sulistomo, A. W., Wibowo, S., & Hudoyo, K. 2012. *Penyakit Akibat Kerja Karena Paparan Logam Berat*. Kementerian Kesehatan. Jakarta. 42 hal.
- Azamana, F., H. Juahira, K. Yunus, A. Azid, Mohd K. A. Kamarudin, Mohd E. Toriman, A. D. Mustafa, M. A. Amran, C. N. C. Hasnam, A. S. M. Saudi. 2015. Heavy Metal in Fish: Analysis and Human Health—a Review. *Jurnal Teknologi* 1(5): 137–141.
- Fujaya, Y. 2011. Pertumbuhan dan Molting Kepiting Bakau Yang Diberi Dosis Vitomolot Berbeda. *Jurnal Akuakultur Indonesia* 10(1): 24–28.
- Hasni, Nur, I., Idris, M., & Kurnia, A. 2020. Akumulasi Logam Berat Merkuri (Hg) serta Tingkat Serangan Parasit Pada Kepiting Bakau (*Scylla serrata*) di Perairan Desa Tunas Baru Kecamatan Rarowatu Utara Kabupaten Bombana Sulawesi Tenggara. *Media Akuatika: Jurnal Ilmiah Jurusan Budidaya Perairan* 5(1): 13–23.
- Imran, A., & Efendy, I. 2016. Inventarisasi Mangrove di Pesisir Pantai Cemara Lombok Barat. *Jurnal Pendidikan Mandala* 1(1): 105–112.
- Kadir, M. A., Wibowo, E. S., Abubakar, S., & Akbar, N. 2019. Manfaat Mangrove Bagi Peruntukan Sediaan Farmasitika di Desa Mamuya Kecamatan Galela Timur Kabupaten Halmahera Timur (Tinjauan Etnofarmakologis). *Jurnal Enggano* 4(1): 12–25. <https://doi.org/10.31186/jenggano.4.1.12-25>
- Kariada, N., & Irsadi, A. 2014. Peranan Mangrove Sebagai Biofilter Pencemaran Air Wilayah Tambak Bandeng Tapak, Semarang. *Jurnal Manusia Dan Lingkungan* 21(2): 188–194.
- Keenan, C. P., Davie, P. J. F., & Mann, D. L. 1998. A Revision of The Genus *Scylla* de Haan, 1833 (Crustacea: Decapoda: Brachyura: Portunidae). *Raffles Bulletin of Zoology* 46: 217–245 pp.
- Khairunnisa, C., Thamrin, E., & Prayogo, H. 2020. Keanekaragaman Jenis Vegetasi Mangrove Di Desa Dusun Besar Kecamatan Pulau Maya Kabupaten Kayong Utara. *Jurnal Hutan Lestari* 8(2): 325–336. <https://doi.org/10.26418/jhl.v8i2.40074>
- Maddusa, S. S., Papatungan, M. G., Syarifuddin, A. R., Maambuat, J., Alla, G. 2017. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb), Merkuri (Hg), Zink (Zn) dan Arsen (As) Pada Ikan dan Air Sungai Tondano, Sulawesi Utara. *Al - Sihah : Public Health Science Journal* 9(2): 153–159. DOI: <https://doi.org/10.24252/as.v9i2.3766>
- Musallamah. 2012. Pengaruh Paparan Timbal (Pb) Terhadap Perubahan Histopatologis Hepatopankreas Udang Galah (*Macrobrachium rosenbergii* De Mann). *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Pramudji. 1987. Kondisi Hutan Mangrove di Daerah Pantai Teluk Ambon. *Teluk Ambon: Biologi Perikanan, Oseanografi dan Geologi*, 34–40. Balai Penelitian Sumberdaya Laut, Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Pratiwi, D. (2020). Dampak Pencemaran Logam Berat (Timbal, Tembaga, Merkuri, Kadmium, Krom) Terhadap Organisme Perairan Dan Kesehatan Manusia. *Jurnal Akuatek*, 1(1), 59–65.
- Pratiwi, R. (2011). Biologi kepiting Bakau (*Scylla* Spp.) di Perairan Indonesia. *Oseana XXXVI* (1): 1–11.
- Retraubun, A. S. W., Selanno, D. A. J., Siahainenia, L., Tubalawony, S., Chr Tuhumury, N., & Sandhy, D. A. 2021. Coastal zone management of Passo Village of Ambon Municipal, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 805(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/805/1/012020>
- Riani, E. 2012. *Perubahan Iklim dan Kehidupan Akuatik (Dampak pada Bioakumulasi Bahan Berbahaya Beracun dan Reproduksi)*. (1st ed.; IPB Press, Ed.). Bogor.
- Rizkiana, L., Karina, S., Nurfadillah. 2017. Analisis Timbal (Pb) Pada Sedimen dan Air Laut di Kawasan Pelabuhan Nelayan Gampong Deah Glumpang Kota Banda Aceh. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan dan Perikanan Unsyiah*

- 2(1): 89–96.
- Romano, P., Fabritius, H., & Raabe, D. 2007. The Exoskeleton of the Lobster *Homarus americanus* as an Example of a Smart Anisotropic Biological Material. *Acta Biomaterialia* 3(3): 301–309. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2006.10.003>
- Selanno, D. A. J., & Siahainenia, L. 2021. *Biokonsentrasi Logam Pb (Timbal) dan Cd (Cadmium) pada Kepiting Bakau Scylla spp. di Ekosistem Mangrove Passo dan Waiheru*. Laporan Penelitian. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Pattimura. (Tidak Dipublikasikan)
- Selanno, D. A. J., Tuahatu, J. W., Tuhumury, N. C., & Hatulesila, G. I. 2014. Analysis of Lead (Pb) Content in the Mangrove Forest Area in Waiheru District, Ambon. *Aquatic Science and Technology* 3(1): 59–69. <https://doi.org/10.5296/ast.v3i1.6545>
- Sembe, D. T. 2015. *Toksikologi Lingkungan: Dampak Pencemaran dari Berbagai Bahan Kimia Dalam Kehidupan Sehari-Hari* (1st ed.). Jogjakarta: Andi Jogjakarta.
- Siahainenia, L. 2021. Potensi Kepiting Bakau dan Prospeknya di Maluku: Evaluasi Penyebab Penurunan Produksi. In V. J. Pical & A. M. Tapotubun (Eds.), *Maluku Sebagai Lumbung Ikan Nasional* (1st ed., pp. 75–94). Balai Pustaka.
- Siahainenia, L., Tuahatu, J. W., & Tuhumury, N. C. 2014. *Potensi Sumberdaya dan Kualitas Lingkungan Eksisting Ekosistem Mangrove dan Lamun Teluk Ambon Yang Telah dan Akan Mendapat Tekanan Ekologis*. Laporan Penelitian. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Pattimura. (Tidak Dipublikasikan)
- Simbolon, A. R. 2018. Analisis Risiko Kesehatan Pencemaran Timbal (Pb) Pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Perairan Cilincing Pesisir DKI Jakarta. *Oseanologi Dan Limnologi Di Indonesia* 3(3): 197. <https://doi.org/10.14203/oldi.2018.v3i3.207>
- Simbolon, A. R. 2019. Bioakumulasi Kadmium dan Merkuri pada Kerang Hijau, serta Analisis Multi Medium Risiko Kesehatan di Kawasan Pemukiman Pesisir. *Riset Akuakultur*, 14(2), 119–126.
- Simbolon, A. R., & Purbonegoro, T. 2021. Bioakumulasi Merkuri (Hg) pada Lamun *Enhalus acoroides* dan Mangrove *Rhizophora apiculata* di Pulau Pari, Kepulauan Seribu. *OLDI (Oseanologi Dan Limnologi Di Indonesia)* 6(3): 137. <https://doi.org/10.14203/oldi.2021.v6i3.369>
- Sousa, L.G & A.M. Petriella. 2005. Functional Morphology of The Hepatopancreas of *Palaemonetes argentinus* (Crustacea: Decapoda): Influence of Environmental Pollution. *Revista de Biología Tropical* 55(1), 79–86. <https://doi.org/10.15517/rbt.v55i0.5808>
- Suyadi. 2009. Kondisi Hutan Mangrove di Teluk Ambon: Prospek dan Tantangan *Jurnal Ilmu-Ilmu Hayati - LIPI* 9(5): 481–490.
- Trijoko, T., & Nurcholis, H. A. 2018. Pengaruh Molting Terhadap Struktur dan Perkembangan Cangkang Pada Lobster Hijau Pasir (*Panulirus homarus* L., 1758). *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology* 11(2): 167. <https://doi.org/10.21107/jk.v11i2.3797>
- Tuahatu, J. W., & Rahalus, S. 2009. Kandungan Logam Berat Plumbum (Pb) dan Cadmium (Cd) Pada Sedimen di Perairan Teluk Ambon Dalam. *Seminar Nasional Tahunan VI Hasil Penelitian Perikanan Dan Kelautan*,. http://www.faperta.ugm.ac.id/semnaskan/abstrak/prosiding2009/BDP/evaluasi_lahan_lingkungan.php
- Vijayavel, K., Gopalakrishnan, S., Thriagarajan, R., & Thilagam, H. 2009. Immunotoxic Effects of Nickel in The Mud Crab *Scylla serrata*. *Fish Shellfish Immunol* 26(1): 133–139. <https://doi.org/DOI: 10.1016/j.fsi.2008.02.015>
- Yonvitner, Wahyudin, Y., Mujio, & Trihandoyo, A. 2019. Biomasa Mangrove dan Biota Asosiasi di Kawasan Pesisir Kota Bontang. *Jurnal Biologi Indonesia* 15(1): 123–130. <https://doi.org/10.47349/jbi/15012019/123>
- Yunus, M., & Siahainenia, L. 2019. Keterkaitan Karakteristik Habitat Dengan Kepadatan Kepiting Bakau Pada Ekosistem Mangrove Desa Evu Kecamatan Hoat Soarbay Kabupaten Maluku Tenggara. *TRITON: Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan* 15(2): 58–68. <https://doi.org/10.30598/tritonvol15issue2page58-68>