

**STUDI AKUMULASI LOGAM BERAT (Pb, Cd, As) PADA UDANG
JERBUNG (*Fenneropenaeus merguensis*) DARI TAMBAK
TRADISIONAL**

**Study of Accumulation of Heavy Metals (Pb, Cd, As) in Cultivation Banana
Shrimp (*Fenneropenaeus merguensis*) from Traditional Shimp Pond**

Muhammad Syahrian¹, Nuning Vita Hidayati², Mirna Fitriani³, Boedi Setya Rahardja⁴ dan
Sapto Andriyono^{5*}

1Program Studi Akuakultur, Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Airlangga Kampus
C Universitas Airlangga Surabaya 60115

2Jurusan Pengelolaan Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan,
Universitas Jenderal Soedirman, Jl. Dr Soeparno, Karangwangkal, Banyumas, Jawa Tengah
53122.

3Program Studi Akuakultur, Jurusan Perikanan, Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya,
Indralaya Indah, Kec. Indralaya, Kabupaten Ogan Ilir, Palembang 30862.

4Departemen Akuakultur, Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Airlangga Kampus C
Universitas Airlangga, Surabaya 60115.

5Departemen Kelautan, Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Airlangga Kampus C
Universitas Airlangga, Surabaya 60115

*Korespondensi email : sapto.andriyono@fpk.unair.ac.id

(Received 30 Maret 2023; Accepted 5 Juni 2023)

ABSTRAK

Lamongan merupakan wilayah pesisir yang memiliki potensi dalam pengembangan produk perikanan khususnya air laut dan air payau. Selain sebagai lokasi tambak budidaya, wilayah pesisir utara kawasan ini juga banyak digunakan sebagai sentra industri. Akibatnya, pencemaran perairan menjadi salah satu isu penting yang perlu dilakukan penelitian lebih mendalam. Salah satu pencemaran yang sangat membahayakan bagi makhluk hidup adalah pencemaran logam berat seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), dan arsenik (As). Logam berat tersebut tergolong polutan yang tidak dapat terdegradasi. Jika terakumulasi di lingkungan perairan akan berpotensi merusak rantai makanan dan menjadi kontaminan bagi organisme akuatik. Pada penelitian ini digunakan udang jerbung (*Fenneropenaeus merguensis*) sebagai objek penelitian. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui adanya akumulasi logam berat pada udang jerbung yang dianalisis menggunakan *Geo-Accumulation Index* (Igeo), *Contamination Factor Index* (CF), dan *Bio-Concentration Factor* (BCF). Penelitian yang dilakukan dengan metode study observation dengan rancangan deskriptif. Sampel udang jerbung yang didapat diujikan di Laboratorium Unit Pelayanan Terpadu Pengujian Mutu dan Pengembangan Produk Kelautan dan Perikanan (UPT PMP2KP). Hasil yang didapat dari pengujian laboratorium menunjukkan akumulasi logam berat pada udang jerbung dengan nilai 0,0465 mg/kg untuk timbal (Pb); 0,0035 mg/kg untuk kadmium (Cd), dan 0,8229 mg/kg untuk arsenik. Pada pemeriksaan sampel air diperoleh nilai 0,0158 mg/kg akumulasi logam berat arsenik (As),

sedangkan untuk pemeriksaan pada sedimen menunjukkan hasil tertinggi adalah 12,30 mg/kg untuk logam berat timbal (Pb) dan terendah 0,0171 mg/kg untuk logam berat kadmium (Cd).

Kata Kunci: Akumulasi, Arsen, Logam Berat, Timbal, Kadmium.

ABSTRACT

Lamongan is a coastal area with the potential to develop fishery products, especially sea and brackish water. Apart from being a location for aquaculture ponds, the northern coastal area of this area is also widely used as an industrial centre. As a result, water pollution has become an important issue that requires more in-depth research. One of the pollutants that is very dangerous for living things is heavy metal pollution such as lead (Pb), cadmium (Cd), and arsenic (As). These heavy metals are classified as pollutants that cannot be degraded. If it accumulates in the aquatic environment, it will potentially damage the food chain and become a contaminant for aquatic organisms. In this study, the banana prawn (*Fenneropenaeus merguensis*) was used as the research object. This study aims to determine the accumulation of heavy metals in banana prawns which were analysed using the Geo-Accumulation Index (Igeo), Contamination Factor Index (CF), and Bio-Concentration Factor (BCF). The research was conducted using the study observation method with a descriptive design. The samples obtained for the banana prawn were tested at the Laboratory of the Integrated Service Unit for Quality Testing and Development of Marine and Fishery Products (UPT PMP2KP). The results obtained from laboratory tests showed the accumulation of heavy metals in jerbung shrimp with a value of 0.0465 mg/kg for lead (Pb); 0.0035 mg/kg for cadmium (Cd), and 0.8229 mg/kg for arsenic. Examination of water samples obtained a value of 0.0158 mg/kg of heavy metal accumulation of arsenic (As). In comparison, examination of sediments showed the highest result was 12.30 mg/kg for heavy metal lead (Pb) and the lowest was 0.0171 mg/kg for the heavy metal cadmium (Cd).

Key words: Accumulation, Arsenic, Banana Shrimp, Cadmium, Heavy Metals, Lead

PENDAHULUAN

Udang merupakan salah satu komoditas perikanan yang bernilai ekonomi tinggi dalam kegiatan budidaya di Indonesia (Astuti & Ariestyani, 2013). Salah satu spesies udang yang saat ini dikembangkan adalah udang jerbung (*Fenneropenaeus merguensis*) (Kusrini *et al.*, 2016). Udang jerbung memiliki potensi sebagai alternatif budidaya udang seperti udang vannamei. Habitat terbaik budidaya udang jerbung adalah Laut Arafuru, namun saat ini telah dikembangkan di wilayah pesisir Utara Pulau Jawa seperti Kabupaten Lamongan sebagai alternatif (KKP, 2019).

Lamongan merupakan wilayah pesisir yang memiliki potensi dalam pengembangan produk perikanan khususnya air laut dan air payau. Pada tahun 2011 sebesar 25.313 Ha lahan di daerah Lamongan khusus dipergunakan untuk pengembangan tambak perikanan payau (Rahayu & Muntalim, 2017). Selain banyak digunakan sebagai lokasi tambak budidaya, wilayah pesisir Jawa Timur juga banyak digunakan sebagai sentra industri yang mana akan membuang banyak limbah dan dapat mempengaruhi kualitas air pada perairan. Pencemaran dapat berasal dari kegiatan industri berupa limbah cair, padat, gas, maupun limbah B3 (Bahan Berbahaya Beracun) (Hakim, 2016).

Logam berat merupakan salah satu limbah B3 yang memiliki sifat racun dan berbahaya bagi makhluk hidup. Logam berat tergolong polutan yang tidak dapat terdegradasi dan jika

terakumulasi di lingkungan perairan akan berpotensi merusak rantai makanan dan menjadi kontaminan bagi organisme akuatik. Pada wilayah dengan aktivitas industri yang tinggi memiliki kecenderungan kandungan logam berat yang berbahaya bagi kawasan sekitarnya, karena air tidak hanya tergenang namun juga mengalir ke wilayah lainnya (Mustafa *et al.*, 2019). Penelitian dilakukan untuk mengetahui akumulasi logam berat terhadap komoditas udang jerbung hasil budidaya di Brondong, Lamongan, Jawa Timur. Udang jerbung yang merupakan udang yang menjadi sumber pendapatan harian bagi masyarakat local di Lamongan. Hasil tangkapan dan budidaya di tambak tradisional banyak menjadi dikonsumsi oleh masyarakat local. Oleh karena itu, keamanan pangan jenis udang ini perlu dilakukan penelitiannya terhadap akumulasi pencemaran logam berat dikawasan pesisir tersebut.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Pengambilan sampel dilakukan di tambak pribadi milik salah satu warga setempat dengan komoditas udang jerbung yang dibudidayakan secara tradisional di Kecamatan Brondong, Lamongan, Jawa Timur. Pemeriksaan akumulasi logam berat dari udang jerbung di Laboratorium Unit Pelayanan Terpadu Pengujian Mutu dan Pengembangan Produk Kelautan dan Perikanan Surabaya, serta PT. Angler BioChemLab. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan November 2021 hingga Maret 2022.

Metode Penelitian

Penelitian menggunakan metode observasi. Data diperoleh dari hasil uji yang dibandingkan dengan baku mutu. Pengujian logam berat pada sampel udang jerbung dilakukan di laboratorium PMP2KP Surabaya. Data pendukung berupa data kualitas air meliputi nilai DO, salinitas, suhu, dan nilai pH. Pengukuran DO menggunakan DO meter (Lutron DO-5510), sementara Salinitas diukur menggunakan Hand Refraktometer (Atago S-10E). Suhu dan pH air dilakukan dengan Thermometer raksa dan pH meter (Smart Sensor Pen pH Meter). Pengujian kandungan logam berat pada udang jerbung di laboratorium UPT PMP2KP Surabaya, Sedangkan sampel sedimen dan sampel air dilakukan di PT. Angler BioChemLab. Seluruh penukaran konsentrasi logam berat pada sampel dilakukan dengan metode Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS). Sementara itu, pengukuran insitu parameter kualitas air diantaranya salinitas, pH, suhu dan kecerahan di Tambak Tradisional di Brondong, Lamongan. Hasil identifikasi logam berat dianalisis secara kuantitatif dengan perhitungan beberapa parameter meliputi Geoaccumulation (I_{geo}), Contamination Factor (CF), dan Index dan Bioconcentration Factor (BCF).

Parameter Penelitian

Geo Accumulation Index.

Parameter *Geo Accumulation Index* (I_{geo}) secara umum banyak digunakan untuk melakukan verifikasi besarnya kontaminasi elemen individu seperti logam pada sedimen perairan. Perhitungan I_{geo} menurut Kim *et al* (2018) dengan persamaan sebagai berikut.

$$(I_{geo}) = \log_2 \left[\frac{C_n}{1.5 B_n} \right]$$

Keterangan :

I_{geo} : Indeks geo-akumulasi

C_n : Konsentrasi terukur dari logam (n) dalam sampel

Bn : Konsentrasi normal suatu logam berat pada sedimen di perairan sesuai dengan *Marine Sediment Quality Standards* WAC 173-204-320 adalah Pb = 450 mg/kg, Cd = 5,1 mg/kg, dan As = 57 mg/kg. Konstanta 1,5 mencakup kemungkinan variasi nilai latar belakang logam di lingkungan.

Hasil dari perhitungan Igeo, menurut dapat dibedakan menjadi tujuh, yaitu: tidak tercemar ($I_{geo} \leq 0$), tidak tercemar *s/d* tercemar sedang ($0 < I_{geo} < 1$), tercemar sedang ($1 < I_{geo} < 2$), tercemar sedang *s/d* tercemar berat ($2 < I_{geo} < 3$), tercemar berat ($3 < I_{geo} < 4$), tercemar berat *s/d* tercemar sangat berat ($4 < I_{geo} < 5$), tercemar sangat berat ($5 < I_{geo}$).

Contamination Factor Index.

Parameter *Contamination Factor* (CF) digunakan untuk melakukan evaluasi terhadap tingkat kontaminasi tanah, serta untuk menyimpulkan input antropogenik alami yang mempengaruhi nilai kontaminasi. CF dihitung mengacu pada penelitian sebelumnya Hidayati *et al* (2020) dengan menggunakan rumus :

$$CF = C_{soil} / C_{background}$$

Nilai CF dikategorikan sebagai berikut: $CF < 1$: derajat kontaminasi rendah, $1 \leq CF < 3$: derajat kontaminasi sedang, $3 \leq CF \leq 6$: derajat kontaminasi cenderung tinggi, $CF > 6$: derajat kontaminasi sangat tinggi (Said *et al.*, 2019).

Bio-concentration factor.

Parameter *Bio-concentration factor* (BCF) atau faktor biokonsentrasi merupakan kemungkinan adanya konsentrasi kimia dalam organisme yang berasal dari lingkungannya (Lombardo *et al.*, 2010). Dalam (Fu & de Souza, 2009), analisis faktor biokonsentrasi dilakukan dengan menggunakan rumus :

$$BCF = \frac{\text{Concentration of shrimp (mg/kg)}}{\text{Concentration in water or sediment (mg/kg)}}$$

Apabila nilai faktor biokonsentrasi (BCF) < 1 , berarti organisme memiliki kemampuan menyerap tetapi tidak dapat mengakumulasi logam berat. Sebaliknya jika nilai faktor biokonsentrasi (BCF) > 1 , berarti organisme tersebut memiliki kemampuan memakumulasi logam berat dalam tubuhnya (Tao *et al.*, 2012).

HASIL

Hasil pengujian logam berat timbal dan kadmium (Pb, Cd) pada udang jerbung hasil budidaya menunjukkan nilai tidak melampaui ambang batas BPOM RI No 23 (2017) pada Tabel 1, sedangkan untuk logam berat arsenik (As) terukur melampaui ambang batas. Hasil pengujian logam berat arsenik (As) pada sampel air melampaui Keputusan Kementerian Negara Lingkungan Hidup No. 51 Tahun (2004) pada Tabel 2. Sedangkan untuk hasil pengujian ketiga logam berat (Pb, Cd, As) pada sampel sedimen tidak menunjukkan nilai yang melampaui baku mutu ANZECC pada Tabel 3.

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Kandungan Logam Berat pada Udang Jerbung

Parameter	Hasil Uji (mg/kg)	*BMC	Deskripsi
Timbal (Pb)	0,0463	0,20 mg/kg	Tidak Melampaui
Kadmium (Cd)	0,0035	0,10 mg/kg	Tidak Melampaui
Arsenik (As)	0,8229	0,25 mg/kg	Melampaui

*BMC = Batas maksimum cemaran berdasarkan BPOM RI No 23 (2017)

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Logam Berat pada Air

Parameter	Results	Standard Quality**	Satuan	Keterangan
Timbal (Pb)	ND*	0,008	mg/kg	Tidak Melampaui
Kadmium (Cd)	ND*	0,001	mg/kg	Tidak Melampaui
Arsenik (As)	0,0158	0,012	mg/kg	Melampaui

*ND = Not Detected

**Baku mutu berdasarkan KepMen LH No. 51 Tahun (2004)

Hasil pemeriksaan logam berat pada udang jerbung hasil budidaya tambak tradisional menunjukkan bahwa akumulasi logam berat Pb dan Cd tidak melewati batas maksimum cemaran. Sedangkan untuk logam berat jenis arsenik (As) memiliki nilai yang melewati batas cemaran logam berat menurut (BPOM RI No 23, 2017). Hasil pemeriksaan logam berat pada sampel air menunjukkan hasil diatas baku mutu KepMen LH No. 51 Tahun (2004) untuk logam berat As, sedangkan untuk hasil pengukuran logam berat Pb dan Cd tidak terdeteksi adanya akumulasi logam berat pada sampel air. Hasil pemeriksaan logam berat pada sampel sedimen menunjukkan nilai yang sesuai dengan baku mutu berdasarkan ANZECC.

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Logam Berat pada Sedimen

Parameter Logam Berat	Hasil Uji	Baku Mutu*	Satuan	Keterangan
Timbal (Pb)	12,3	50	mg/kg	Tidak Melampaui
Kadmium (Cd)	0,17	1,5	mg/kg	Tidak Melampaui
Arsenik (As)	3,74	20	mg/kg	Tidak Melampaui

*Baku mutu berdasarkan ANZECC (*Australian and New Zealand Environment and Conservation Council, Interim Sediment Quality Guidelines*) ISQG-low (Trigger value).

Selain pengujian logam berat pada media pemeliharaan (air) dan substrat tambak, pengukuran parameter kualitas air juga dilakukan. Hal ini dilakukan untuk memastikan kondisi pemeliharaan udang jerbung pada tambak tradisional di Brondong Lamongan dalam kondisi yang sesuai dengan kebutuhan biologis udang. Hasil pengukuran disajikan pada Tabel 5 sekaligus sejumlah referensi dan penelitian terdahulu terkait kondisi optimal pada pemeliharaan udang jerbung.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Kualitas Air Media Pemeliharaan

Parameter Kualitas Air	Pengukuran insitu	Nilai Optimal
Suhu (°C)	32,67	28-32 (Ghufron <i>et al.</i> , 2018)
pH	6,86	7,5-8,5 (Ghufron <i>et al.</i> , 2018)
Salinitas (ppt)	30,00	15-25 (Ghufron <i>et al.</i> , 2018)
Oksigen terlarut (mg/L)	6,78	>3 (Suwoyo <i>et al.</i> , 2018)

Kecerahan (m)	0,49	0,2 – 0,4 (Ghufron <i>et al.</i> , 2018)
---------------	------	------------------------------------------

Parameter penelitian ini merupakan hasil perhitungan beberapa index pencemaran yang dilakukan untuk menjamin keamanan produk udang jerbung yang dikonsumsi oleh masyarakat. Parameter ini meliputi Igeo yang menunjukkan kondisi tingkat pencemaran yang terjadi dikawasan pesisir tambak di Brondong Lamongan. Selain itu, parameter lainnya secara lengkap disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Indeks Logam Berat pada Udang Jerbung

<i>Geo-Accumulation Index (Igeo)</i>		
Timbal (Pb)	0,0054	Tidak tercemar <i>s/d</i> tercemar sedang
Kadmium (Cd)	0,0067	Tidak tercemar <i>s/d</i> tercemar sedang
Arsenik (As)	0,0131	Tidak tercemar <i>s/d</i> tercemar sedang
<i>Contamination Factor Index (CF)</i>		
Timbal (Pb)	0,0273	Kontaminasi rendah
Kadmium (Cd)	0,0335	Kontaminasi rendah
Arsenik (As)	0,0656	Kontaminasi rendah
<i>Bio-concentration Factor (BCF) (Sediment)</i>		
Timbal (Pb)	0,0037	Terserap tapi tidak terakumulasi
Kadmium (Cd)	0,0204	Terserap tapi tidak terakumulasi
Arsenik (As)	0,22	Terserap tapi tidak terakumulasi
<i>Bio-concentration Factor (BCF) (Water)</i>		
Timbal (Pb)	*TDD	**TD
Kadmium (Cd)	*TDD	**TD
Arsenik (As)	5,2465	Terserap dan terakumulasi

*TDD : Tidak Dapat Dihitung

**TD : Tidak Diketahui

PEMBAHASAN

Logam berat yang terakumulasi pada udang jerbung dan juga perairan tambak budidaya diduga berasal dari bahan cemaran limbah industri yang ada di daerah Lamongan seperti pertambangan batu dan pasir, industri pengolahan logam, pabrik cat, limbah sisa pengecatan pada kapal-kapal nelayan, serta limbah hasil industri pelapisan logam (Istarani & P, Ellina, 2014).

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis dari tiga indeks yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Geo-Accumulation Index*, *Contamination Factor Index*, dan *Bio-Concentration Factor* menunjukkan bahwa nilai setiap indeks mewakili sumber dan tingkat pencemaran dari ketiga logam berat yang diteliti. Pada Tabel 4, indeks geoakumulasi (Igeo) tertinggi pada logam berat arsenik (As) dengan nilai 0,0131 dan terendah 0,0054 untuk logam berat timbal (Pb). Analisis indeks faktor kontaminasi (CF) tertinggi pada logam berat arsenik (As) dengan nilai 0,0656 dan terendah 0,0273 untuk logam berat timbal (Pb). Analisis faktor biokonsentrasi (BCF) dilakukan dengan perbandingan sampel sedimen dan air, untuk perbandingan dengan sampel sedimen nilai tertinggi adalah 0,22 untuk logam berat arsenik (As) sedangkan nilai terendah adalah 0,0037 untuk logam berat timbal (Pb). Pada pemeriksaan pada sampel air, tidak terdeteksi adanya akumulasi logam berat timbal (Pb) dan cadmium (Cd) sehingga tidak dapat dianalisis dengan perhitungan indeks. Untuk nilai BCF logam berat arsenik dengan perbandingan sampel air adalah 5,2465.

Perhitungan indeks geoakumulasi logam berat Pb, Cd, As menunjukkan tidak tercemar s/d tercemar sedang, sehingga sedimen dalam perairan dapat dikatakan masih dalam keadaan normal. Hasil serupa juga ditemui pada penelitian yang dilaksanakan di perairan Matras, Sungailiat, Bangka yang juga menunjukkan hasil tidak tercemar (Nugraha *et al.*, 2022). Hasil perhitungan indeks faktor kontaminasi menunjukkan ketiga logam berat Pb, Cd, As memiliki tingkat kontaminasi yang rendah pada perairan. Penelitian serupa yang menggunakan indeks CF sebagai analisis data adalah penelitian Hidayati *et al* (2014) yang melakukan pengamatan pada perairan Segara Anakan, Cilacap dengan hasil Pb dan Cd berturut-turut 0,86 dan 10,8. Kemudian untuk hasil perhitungan faktor biokonsentrasi berdasarkan hasil uji sampel sedimen menunjukkan ketiga logam berat dapat terserap pada udang jerbung namun tidak terakumulasi, sedangkan jika mengacu pada hasil uji sampel air menunjukkan logam berat Pb dan Cd tidak diketahui tingkat akumulasinya, dan logam berat arsenik (As) menunjukkan hasil dapat terserap dan terakumulasi pada udang jerbung. Penelitian tentang logam berat arsenik (As) pada udang memang jarang dilakukan, namun ada penelitian serupa yang menggunakan BCF sebagai analisis data, yaitu penelitian Putri *et al* (2019) yang memperoleh hasil perhitungan BCF logam berat timbal (Pb) sebesar 9,137 yang masih tergolong dalam kategori akumulatif rendah.

Pengukuran kualitas air dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kondisi air pada budidaya udang jerbung. Parameter kualitas air yang diamati antara lain suhu, derajat keasaman (pH), salinitas, oksigen terlarut, dan kecerahan. Hasil rata-rata kualitas air serta perbandingan dengan nilai optimum dapat dilihat pada Tabel 5.

Seluruh hasil pengukuran kualitas air kecuali untuk indikator pH dan salinitas berada dalam rentan kondisi yang optimal sesuai dengan penelitian dari (Ghufron *et al.*, 2018; Suwoyo *et al.*, 2018). Penurunan pH perairan dapat disebabkan oleh masuknya nutrien dari sungai-sungai yang ada disekitar tambak serta merupakan pasokan air tawar untuk tambak budidaya tersebut. Nutrien tersebut berkumpul pada muara sehingga mempengaruhi nilai pH perairan pesisir (Safitri & Putri, 2013). Sedangkan untuk nilai salinitas yang lebih rendah dapat disebabkan karena lokasi yang berdekatan dengan pesisir dan muara sungai, sehingga memperoleh asupan air tawar dari mulut sungai yang bercampur di daerah muara. Selain itu, curah hujan yang tinggi juga menjadi salah satu faktor berubahnya nilai salinitas pada perairan karena air laut yang bercampur dengan air hujan (Pratama *et al.*, 2016).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian kadar akumulasi logam berat terhadap udang jerbung dan pembahasannya, maka dapat disimpulkan bahwa udang jerbung hasil budidaya yang diambil dari salah satu tambak tradisional di Brondong Lamongan mengandung akumulasi logam berat dengan nilai 0,0463 mg/kg timbal (Pb); 0,0035 mg/kg kadmium (Cd), dan 0,8229 mg/kg arsenik (As). Namun demikian, kuantitas akumulasi logam berat yang terdapat pada udang jerbung tergolong rendah berdasarkan perhitungan indeks geoakumulasi (Igeo), indeks faktor kontaminasi (CF), dan faktor biokonsentrasi (BCF). Dari pengujian tersebut menunjukkan bahwa udang jerbung hasil budidaya salah satu tambak tradisional di Brondong, Lamongan dapat dikonsumsi oleh masyarakat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada seluruh kontributor dan kolaborator yang terlibat dalam kegiatan penelitian ini khususnya petambak kerapu di Bondong Lamongan

yang memberikan kesempatan dan diskusi yang dalam terkait kegiatan budidaya yang dilakukan selama ini. Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih atas dukungan hibah penelitian Kemendikbut No.1365/UN3.15/PT/2021 tentang keamanan pangan dalam mengatasi stunting di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, I. R., & Ariestyani, F. (2013). Potensi dan Prospek Ekonomis Udang Mantis di Indonesia. *Media Akuakultur*, 8, 39–44.
- BPOM RI. (2017). *Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2017 Tentang Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan Olahan*. Jakarta.
- Fu, M., & de Souza, C. E. (2009). State Estimation For Linear Discrete-Time Systems Using Quantized Measurements. *Automatica*, 45(12), 2937–2945.
- Ghufron, M., Lamid, M., Sari, P. D. W., & Suprpto, H. (2018). Teknik Pembesaran Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) Pada Tambak Pendampingan PT Central Proteina Prima Tbk di Desa Randutatah, Kecamatan Paiton, Probolinggo, Jawa Timur. *Journal of Aquaculture and Fish Health*, 7(2), 70–77. <https://doi.org/10.20473/jafh.v7i2.11251>
- Hakim, A. L. (2016). *Bioakumulasi Logam Berat Kadmium (Cd) pada Udang Windu (Penaeus monodon) di Tambak Tradisional Kecamatan Jabon, Kabupaten Sidoarjo*. Doctoral dissertation, Universitas Airlangga.
- Hidayati, N. V., Siregar, A. S., Sari, L. K., & Putra, G. L. (2014). Pendugaan Tingkat Kontaminasi Logam Berat Pb, Cd dan Cr Pada Air dan Sedimen di Perairan Segara Anakan, Cilacap. *Omni-Akuatika*, 10(1).
- Hidayati, N. V., Prudent, P., Asia, L., Vassalo, L., Torre, F., Widowati, I., Sabdono, A., Syakti, A. D., & Doumenq, P. (2020). Assessment of The Ecological and Human Health Risks From Metals in Shrimp Aquaculture Environments in Central Java, Indonesia. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 41668–41687.
- Istarani, F. F., & P, Ellina, S. . (2014). Studi Dampak Arsen (As) dan Kadmium (Cd) Terhadap Penurunan Kualitas Lingkungan. *Jurnal Teknik ITS*, 3(1), 53–58.
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup. (2004). *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut*.
- Kim, B. S. M., Angeli, J. L. F., Ferreira, P. A. L., de Mahiques, M. M., & Figueira, R. C. L. (2018). Critical Evaluation of Different Methods to Calculate the Geoaccumulation Index for Environmental Studies: A New Approach for Baixada Santista–Southeastern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 548–552.
- KKP. (2019). Potensi Budidaya Udang Jerbung. Balai Besar Perikanan Budidaya Air Payau Jepara. *Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya. Kementerian Perikanan Dan Kelautan Indonesia*, 4–8.
- Kusrini, E., Hadie, W., Alimuddin, A., Sumantadinata, K., & Sudradjat, A. (2016). Di Morfometrik Udang Jerbung (*Fenneropenaeus merguensis de Man*) dari Beberapa Populasi di Perairan Indonesia. *Jurnal Riset Akuakultur*, 4, 15–21.
- Lombardo, A., Roncaglioni, A., Boriani, E., Milan, C., & Benfenati, E. (2010). Assessment and Validation of the CAESAR Predictive Model for Bioconcentration Factor (BCF) in Fish. *In Chemistry Central Journal*, 4(1), 1–11.
- Mustafa, A., Hasnawi, H., Tarunamulia, T., Selamat, M. B., & Samawi, M. F. (2019). Distribusi Polutan Logam Berat di Perairan Pantai yang digunakan untuk Memasok Tambak Udang Terdekat dan Mitigasinya di Kecamatan Jabon Provinsi Jawa Timur.

Jurnal Riset Akuakultur, 14(2), 127–138.

- Nugraha, M. A., Pamungkas, A., Syari, I. A., Sari, S. P., Umroh, U., Utami, E., Akhrianti, I., & Priyambada, A. (2022). Penilaian Pencemaran Logam Berat Cd, Pb, Cu, dan Zn pada Sedimen Permukaan Perairan Matras, Sungailiat, Bangka. *Jurnal Kelautan Tropis*, 25(1), 70–78.
- Pratama, D. R., Yusuf, M., & Helmi, M. (2016). Kajian kondisi dan sebaran kualitas air di perairan selatan Kabupaten Sampang, Provinsi Jawa Timur. *Journal of Oceanography*, 5(4), 479–488.
- Putri, Y. P., Fitriyanti, R., & Emilia, I. (2019). Analisis Kandungan Timbal (Pb) pada Udang Putih (*Penaeus merguensis*) sebagai Kontribusi Perhitungan Ocean Health Index (OHI). *Sainsmat: Jurnal Ilmiah Ilmu Pengetahuan Alam*, 8(2), 58–69.
- Rahayu, A. P., & Muntalim, M. (2017). Evaluasi Tingkat Kelayakan Kualitas Air dan Pencemaran pada Tambak Polikultur Berdasarkan Kepadatan Plankton di Desa Pelangwot Kecamatan Laren Kabupaten Lamongan. *Grouper: Jurnal Ilmiah Fakultas Perikanan Universitas Islam Lamongan*, 8(2), 6–14.
- Safitri, M., & Putri, M. R. (2013). *Kondisi Keasaman (pH) Laut Indonesia*. Prosiding Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan. ITB. Bandung.
- Said, I., Salman, S. A., & Elnazer, A. A. (2019). Multivariate Statistics and Contamination Factor to Identify Trace Elements Pollution in Soil Around Gerga City, Egypt. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(1), 1–6.
- Suwoyo, H. S., Fahrur, M., & Syah, R. (2018). Pengaruh Jumlah Titik Aerasi Pada Budidaya Udang Vaname, *Litopenaeus vannamei*. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(3), 727–738.
- Tao, Y., Yuan, Z., Xiaona, H., & Wei, M. (2012). Distribution and Bioaccumulation of Heavy Metals in Aquatic Organisms of Different Trophic Levels and Potential Health Risk Assessment from Taihu Lake, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 81, 55–64.