

Pengujian Toksisitas *Lethal Concentration 50 (LC50)* Terhadap Udang Windu (*Penaeus monodon*) Menggunakan Larutan Acuan Toksikan Kalium Klorida (KCl)

Toxicity Testing of Lethal Concentration 50 (LC50) Towards Tiger Prawns (Penaeus monodon) Using Reference Toxicant Potassium Chloride (KCl)

Purnama¹, Rindi Ramadani¹, Retno Puji Lestari² dan Andriantoro²

¹Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sriwijaya, Jl. Palembang - Prabumulih KM.32 Kabupaten Ogan Ilir, Kode Pos 30862, Sumatera Selatan

²Pusat Standardisasi Instrumen Kualitas Lingkungan Hidup, Kawasan BJ Habibie BRIN Gedung 210 Jl. Raya Serpong Tangerang Selatan.153114 Banten

E-mail: pa4406508@gmail.com

Diterima 22 September 2023, direvisi 9 Oktober 2023, disetujui 11 Oktober 2023

ABSTRAK

Pengujian Toksisitas *Lethal Concentration 50 (LC50)* Terhadap Udang Windu (*Penaeus monodon*) Menggunakan Larutan Acuan Toksikan Kalium Klorida (KCl). Nilai toksisitas akut LC50 merupakan konsentrasi senyawa kimia di dalam air yang dapat menyebabkan 50% kematian pada hewan uji dalam suatu pengujian. Penggunaan hewan uji yang tepat dipersyaratkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2021 Tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun pasal 202 untuk pengujian LC50 yang berasal dari limbah *tailing* di perairan laut. Laboratorium toksikologi Pusat Standardisasi Instrumen Kualitas Lingkungan Hidup melakukan pengujian LC50 hewan uji terhadap udang windu (*Panaeus monodon*) menggunakan larutan acuan toksikan kalium klorida (KCl). Pengujian dilakukan pada tanggal 29 Mei – 31 Juli 2023 menggunakan metode *static non-renewal test* sesuai EPA-821-R-02-012 (2002) *Methods for Measuring the Acute Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater and Marine Organisms*. Hewan uji yang digunakan adalah larva udang windu PL (*post larvae*) 8-18 yang dipaparkan dalam wadah berisi 5 (lima) konsentrasi larutan KCl yang berbeda. Parameter fisika dan kimia kualitas air yang diukur adalah oksigen terlarut, pH, suhu, dan salinitas pada waktu pengujian 0 dan 96 jam. Nilai pH larutan berkisar 7,5 -7,9, konsentrasi oksigen terlarut sebesar 6,6-7,1 mg/L, konsentrasi salinitas 24,3-26,7 psu, dan suhu larutan berkisar 27,0 – 29,7°C. Pengujian dilakukan dalam 3 (tiga) kali ulangan dan tiap-tiap wadah berisi 10 ekor hewan uji. Udang pada wadah uji diamati secara berulang pada 48 dan 96 jam. Hasil pengujian toksisitas berdasarkan jumlah hewan yang mati pada tiap konsentrasi dianalisis menggunakan *EPA Probit Analysis Program version 1.5* untuk menghitung nilai LC50 dengan derajat kepercayaan 95%. Hasil pengujian menunjukkan variasi konsentrasi LC50 pada 0,232 - 0,474 g/L.

Kata kunci: Pencemaran udara, deposisi basah, pH, keasaman, *ion chromatography*.

ABSTRACT

Toxicity Testing of Lethal Concentration 50 (LC50) Towards Panaeus monodon Using Reference Toxicant Potassium Chloride (KCl). *Lethal concentration 50 (LC50) is the amount of chemical substance suspended in the aquatic environment required to kill 50% of the test animals during observation period. The specific testing animals is required in the regulation of the Ministry of Environment and Forestry of the Republic of Indonesia Number 6 of 2021 concerning Procedures and Requirements for Management of Hazardous and Toxic Waste Article 202 for LC50 testing originated from tailing waste. The laboratory of toxicology of the Center for Standardization of Environmental Quality Instruments carried out the LC50 testing using tiger prawns (Penaeus monodon) using reference toxicant of potassium chloride (KCl). Testing was conducted on May 29th to July 21th, 2023 using the static non-renewal test method according to EPA-821-R-02-012 (2002) Methods for Measuring the Acute Toxicity of Effluents and*

Receiving Waters to Freshwater and Marine Organisms. The test animals used was tiger prawns PL (post larvae) 8-18, which were exposed in plastic containers consist of 5 (five) different concentrations of KCl solution. The physical and chemical water quality parameters measured were dissolved oxygen, pH, temperature, and salinity at 0 and 96 hours. The pH value ranged from 7.5 to 7.9, the concentration of dissolved oxygen was 6.6 to 7.1, the salinity level was 24.3-26.7 psu, and the temperature of solution was 27.0 to 29.7°C. Testing was carried out in 3 (three) duplications and each container contained 10 test animals. Tiger prawns in the testing contains were observed at 48 and 96 hours. The results of toxicity testing based on the number of died animals at each concentration were analyzed using EPA Probit Analysis Program version 1.5 to calculate the LC50 value with a confidence level of 95%. Testing result showed the variation of LC50 level on 0.232 - 0.474 g/L.

Keywords: Air pollution, wet deposition, pH, acidity, ion chromatography.

1. Pendahuluan

Pencemaran di laut terjadi akibat adanya peningkatan aktivitas masyarakat yang membuang limbah ke laut. Hal ini dapat mengganggu keseimbangan dan kelestarian pesisir dan laut. Limbah baik bersifat B3 maupun non B3 yang masuk ke laut akan berdampak pada kehidupan di laut seperti kerusakan terumbu karang, mangrove, padang lamun, estuaria dan lain-lain. Penanggulangan kerusakan akibat pencemaran membutuhkan waktu pemulihan yang sangat lama dan teknologi yang memadai serta dana yang sangat besar dalam menyelesaikan permasalahan pencemaran limbah ini (Katiandagho, 2020). Salah satu sumber pencemaran di laut adalah akibat adanya logam berat. Logam berat merupakan polutan berbahaya karena tidak dapat terdegradasi, terakumulasi di lingkungan, berpotensi untuk mencemari rantai makanan, dan cenderung menjadi kontaminan bagi organisme akuatik. Logam berat (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Pb, dan Zn) merupakan salah satu polutan penting di lingkungan alami karena toksisitas, persistensi, dan bioakumulasinya (Mustafa *et al.*, 2019).

Uji toksisitas bertujuan untuk mendeteksi efek toksik suatu zat pada sistem biologi serta untuk memperoleh

data dosis khusus dari hewan uji. Nilai *lethal concentration 50* (LC50) merupakan konsentrasi senyawa kimia di dalam air yang dapat menyebabkan 50% kematian pada suatu populasi hewan uji (CCOHS, 2023). Larva udang digunakan untuk pengujian LC50 pada limbah *tailing* karena sifatnya yang peka terhadap bahan uji, memiliki waktu siklus hidup yang lebih cepat, dan mudah dibiakkan (Yustianti *et al.*, 2013). Membran kulit larva udang yang sangat tipis menyebabkan terjadinya difusi zat dan lingkungan sehingga mempengaruhi metabolisme dalam tubuhnya (Nuralifah *et al.*, 2021). Dalam PermenLHK No 06 Tahun 2021 tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun pasal 201 mempersyaratkan pengujian derajat keasaman (pH), total konsentrasi zat pencemar, toksikologi LC50, dan teratogenitas untuk kegiatan penurunan kadar. Uji toksikologi LC50 dilakukan dengan ketentuan menggunakan hewan uji post larvae udang (*Penaeus sp*) berumur 10-15 (sepuluh sampai dengan lima belas) hari; dan diuji selama 96 (sembilan puluh enam) jam (KLHK, 2021).

Udang windu (*Panaeus monodon*) memiliki ciri-ciri dimana bagian kepala dilindungi oleh karapas (cangkang kepala), *rostrum* (moncong) yang tajam melengkung.

Rostrum bagian atas terdapat 7 atau 8 gerigi dan bagian bawah 2 atau 3 gerigi (Pratiwi, 2018). Jenis udang windu memiliki daya tahan sangat kuat terhadap salinitas, dan suhu (Yuniarso, 2006). Benih udang bersifat *euryhaline* (mudah beradaptasi dengan salinitas) (Pratiwi, 2018). Penggunaan *Artemia sp.* sebagai pakan alami menyebabkan pertumbuhan larva udang berlangsung dengan baik (Perdana *et al.*, 2021)

Kajian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi pendahuluan mengenai performa laboratorium toksikologi dalam pengujian parameter LC50 menggunakan hewan uji larva udang. Hal ini dibutuhkan untuk mendukung kinerja laboratorium pengujian dalam rangka pemenuhan baku mutu lingkungan terutama limbah B3 yang berasal dari *tailing* (KLHK, 2021).

2. Metodologi

2.1 Lokasi

Kegiatan pengujian LC50 menggunakan hewan uji udang windu dilakukan di laboratorium Toksikologi

PSIKLH Serpong pada tanggal 29 Mei – 31 Juli 2023.

2.2 Metode Pengujian

Pengujian mengacu pada metode static non-renewal test sesuai USEPA EPA-821-R-02-012 (2002), dimana selama pengujian berlangsung tidak dilakukan pembaruan larutan ataupun pemindahan hewan uji (USEPA, 2002).

2.2.1 Alat

Alat yang akan digunakan antara lain, akuarium, batang pengaduk kaca, gelas piala, conductivitymeter, DO meter, gelas tabung, gelas ukur, kaca pembesar, mika, pengaduk magnetik, pH meter, pipet, salinometer, saringan dan timbangan analitik.

2.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan adalah acuan toksikan KCl, aquades, udang windu (*Panaeus monodon*), pakan *artemia*, dan contoh uji limbah. Bahan yang digunakan dalam pembuatan pakan artemia (genus krustasea air/udang air asin) adalah aquades, NaCl, dan telur *artemia*.



(a) sebelum menetas



(b) setelah menetas

Sumber: PSIKLH (2023)

Gambar 1. Pembuatan pakan artemia

2.2.3 Hewan uji

Hewan uji yang digunakan adalah udang windu (*Panaeus monodon*) yang berasal dari pembibitan yang baik, sehat, dan tidak cacat. Udang uji diperoleh dari usia benur PL (*post larvae*) 8-18 yang menandakan usia udang setelah 8-18 hari lepas dari larva.

2.2.4 Prosedur

2.2.4.1 Pengukuran parameter fisika dan kimia air

Parameter kualitas air yang diukur adalah oksigen terlarut, pH, suhu, dan salinitas pada waktu pengujian 0 dan 96 jam

2.2.4.2 Persiapan larutan acuan toksikan KCl

Dilakukan pembuatan larutan baku KCl 4 g/L, setelah itu dilakukan pengenceran larutan baku sehingga diperoleh rentang konsentrasi kerja 0,125 g/L-1 g/L.

2.2.4.3 Persiapan dan aklimatisasi hewan uji

Udang ditempatkan dalam akuarium berisi air laut dan diaerasi. Hewan uji aktif bergerak lurus ke depan dan memiliki sifat karnivora. Proses aklimatisasi berlangsung selama 7 hari.

2.2.4.4 Pengujian awal

Sebelum pengujian, wadah mika disiapkan dan diisi dengan masing-masing 250 mL konsentrasi larutan kerja KCl, kemudian diisi dengan 10 ekor udang. Udang dipaparkan pada rentang konsentrasi kurva geometri (contoh 1, 10, 100 mg/L, dan seterusnya) selama 96 jam untuk memprediksi konsentrasi larutan yang digunakan pada pengujian utama.

2.2.4.5 Pengujian utama

Hewan uji udang sebanyak 10 ekor dimasukkan ke dalam wadah yang diisi larutan uji dengan 5 (lima) rentang konsentrasi untuk 3 kali pengulangan.



Sumber: PSIKLH (2023)

Gambar 2. Aklimatisasi hewan uji



Sumber: PSIKLH (2023)

Gambar 3. Pengujian LC50

Udang pada wadah uji diamati secara berulang pada 48 dan 96 jam. Pengujian dilakukan sebanyak 3 (tiga) seri pengamatan. Apabila ditemukan udang mati, maka harus dipindahkan lalu dicatat. Data dikumpulkan selama pengujian untuk membentuk kurva konsentrasi-respon.

2.2.4.6 Analisis data

Hasil pengujian toksisitas berdasarkan jumlah hewan yang mati pada tiap konsentrasi dianalisis menggunakan *EPA Probit Analysis Program version 1.5* untuk menghitung nilai LC50 dengan derajat kepercayaan 95%.

3. Hasil dan Pembahasan

Melalui percobaan pendahuluan diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Pengujian KCl pada percobaan pendahuluan

Konsentrasi (mg/L)	Jumlah udang (ekor)	Jumlah kematian udang 24 jam (ekor)
0	10	9
0,25	10	9
0,5	10	6
1	10	10
2	10	10
4	10	10

Penggunaan usia hewan uji dinyatakan dalam PerMenLHK No 6 tahun 2021, semakin dewasa usia hewan uji maka semakin aktif juga Bergeraknya. Udang muda cenderung lebih pasif dan bergerak dengan lambat, seiring dengan bertambahnya usia. Udang mengalami perubahan fisik dan fisiologi yang mempengaruhi tingkat energi dan kebutuhan mereka untuk bergerak.

Rata-rata dari jumlah kematian udang 24 jam pada uji pendahuluan mencapai 54%. Dalam hasil uji pendahuluan toksisitas akut didapatkan salinitas dengan kisaran 23,1 - 28,5 ppt sedangkan kondisi yang dibutuhkan oleh syarat kelangsungan hidup udang adalah 34 + 2 ppt. Pertumbuhan udang yang baik membutuhkan kondisi air yang tepat termasuk konsentrasi garam yang sesuai. Penggunaan larutan KCl yang terlalu tinggi dapat menyebabkan stres pada udang serta dapat mengganggu pertumbuhan dan kesehatan udang (Dwiono *et al.*, 2018). Kelangsungan hidup udang dipengaruhi oleh salinitas. Penurunan salinitas menyebabkan peningkatan kematian udang karena tingkat konsumsi cenderung tinggi (Hadi *et al.*, 2018). Salinitas rendah ini dapat dipengaruhi oleh faktor eksternal antara lain cuaca, angin, dan suhu ruang (Patty *et al.*, 2020).

Pengukuran parameter fisika kimia selama pengujian menunjukkan rata-rata nilai pH 7,5 -7,9, konsentrasi oksigen

Tabel 2. Hasil Pengujian Utama

Konsentrasi (mg/L)	Jumlah total udang* (ekor)	Jumlah kematian udang pada 3 ulangan (ekor)						
		48			96			
0	90	0	0	1	0	1	2	
0,25	90	10	2	2	16	6	4	
0,5	90	13	1	1	13	10	2	
1	90	30	5	2	30	17	7	
2	90	30	9	17	30	22	19	
4	90	30	15	30	30	28	30	

Catatan: * Jumlah udang tiap percobaan sebanyak 10 ekor dengan 3x replikasi. Pengujian dilakukan 3x sehingga jumlah total udang yang digunakan dalam percobaan sebanyak 90 ekor.

Sumber: Data Primer (2023)

terlarut 6,6-7,1 mg/L, konsentrasi salinitas 24,3-26,7 psu, dan temperatur larutan berkisar 27,0 – 29,7oC. Lingkungan akuatik selama pengujian masih memenuhi persyaratan. Nilai pH 6,4 dapat menurunkan laju pertumbuhan sebesar 60%, sementara nilai pH tinggi (9,0–9,5) menyebabkan peningkatan konsentrasi amonia, secara tidak langsung dapat membahayakan kehidupan udang (Boyd, 1982).

Hasil pengamatan pada uji toksisitas selama 96 jam menunjukkan waktu pemaparan yang semakin lama menyebabkan persentase kematian semakin tinggi. Dalam pengujian tersebut ternyata masih ditemukan kematian hewan uji pada pengamatan 0 jam, hal ini masih masuk dalam persyaratan keberhasilan pengujian dimana di akhir pengamatan konsentrasi kontrol masih terdapat $\geq 90\%$ hewan uji (USEPA, 2002). Bertambahnya persentase kematian pada pemaparan waktu tertentu akan mempengaruhi nilai LC50 (Jabarsyah, 2016). Pemberian KCl dalam salinitas tinggi dapat mempengaruhi kemampuan udang untuk mengatur keseimbangan air dan garam dalam tubuhnya. Konsentrasi kalium yang tinggi dalam air dapat menyebabkan stres osmotik pada udang dan mengganggu fungsi normal dari sistem osmoregulasi udang. Perubahan salinitas menyebabkan laju osmoregulasi meningkat sehingga laju beban osmotik, konsumsi oksigen dan

tingkat stress meningkat (Widodo *et al.*, 2011).

Penentuan nilai LC50 dari jumlah kematian pada masing-masing waktu pemaparan 24, 48, 72 dan 96 jam dapat dilakukan melalui analisis probit, yaitu dengan perhitungan secara manual dan dengan menggunakan *software* EPA *Probit Analysis* (Anggraini *et al.*, 2019). Data analisis masing-masing pengujian dapat dilihat pada Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5.

Hasil analisis Probit dari ketiga pengujian menunjukkan bahwa konsentrasi LC50 dari KCl berkisar antara 0,232-0,474 mg/L. Hasil uji variasi yang berjauhan dapat disebabkan oleh usia awal uji satu dan lainnya selisih 2 hari. Ketahanan PL udang yang lebih dewasa lebih kuat dibandingkan dengan pengujian yang awal. Dengan bervariasinya nilai LC50 tersebut, diketahui bahwa ketahanan masing-masing individu hewan uji bervariasi, dimana jenis larva udang merupakan organisme yang sensitif terhadap lingkungan.

Secara ideal, akomodasi dan lingkungan saat pengujian harus terjaga dan diusahakan seseragam mungkin. Kondisi wadah pengujian yang digunakan harus bebas kontaminan, dan volume media larutan harus lebih besar dari 250 mL karena dilakukan pengukuran parameter fisika kimia.

Tabel 3. Analisis Probit Pengujian Pertama

	<i>Point</i>	<i>Estimated LC/EC Values and Confidence Limits</i>		
		<i>Exposure</i>	<i>95% Confidence Limits</i>	
		<i>Conc.</i>	<i>Lower</i>	<i>Upper</i>
LC/EC	1.00	0.232	0.079	0.365
LC/EC	5.00	0.232	0.079	0.365
LC/EC	10.00	0.232	0.079	0.365
LC/EC	15.00	0.232	0.079	0.365
LC/EC	50.00	0.232	0.079	0.365
LC/EC	85.00	0.232	0.079	0.365
LC/EC	90.00	0.232	0.079	0.365
LC/EC	95.00	0.232	0.079	0.365
LC/EC	99.00	0.232	0.079	0.365

Tabel 4. Analisis Probit Pengujian Kedua

	<i>Point</i>	<i>Estimated LC/EC Values and Confidence Limits</i>		
		<i>Exposure</i>	<i>95% Confidence Limits</i>	
		<i>Conc.</i>	<i>Lower</i>	<i>Upper</i>
LC/EC	1.00	0.095	0.013	0.174
LC/EC	5.00	0.143	0.031	0.227
LC/EC	10.00	0.177	0.050	0.262
LC/EC	15.00	0.204	0.068	0.289
LC/EC	50.00	0.377	0.248	0.466
LC/EC	85.00	0.695	0.553	1.222
LC/EC	90.00	0.803	0.620	1.656
LC/EC	95.00	0.995	0.725	2.630
LC/EC	99.00	1.487	0.956	6.376

Tabel 5. Analisis Probit Pengujian Ketiga

	<i>Poin</i>	<i>Estimated LC/EC Values and Confidence Limits</i>		
		<i>Exposure</i>	<i>95% Confidence Limits</i>	
		<i>Conc.</i>	<i>Lower</i>	<i>Upper</i>
LC/EC	1.00	0.305	0.176	0.364
LC/EC	5.00	0.347	0.232	0.398
LC/EC	10.00	0.372	0.267	0.418
LC/EC	15.00	0.390	0.294	0.433
LC/EC	50.00	0.474	0.424	0.521
LC/EC	85.00	0.578	0.525	0.730
LC/EC	90.00	0.605	0.545	0.801
LC/EC	95.00	0.649	0.573	0.923
LC/EC	99.00	0.738	0.628	1.211

Di dalam lingkungan akuatik, KCl menyebabkan keracunan untuk ikan menggunakan tes statik LC50 terhadap *Pimephales promelas* atau di Indonesia

dikenal dengan sejenis ikan cere yaitu sebesar 880 mg/L untuk pengujian 96 jam berdasarkan pedoman OECD 203, sementara terhadap *Daphnia magna* (kutu air) sebesar

440 - 880 mg/L untuk pengujian 48 jam berdasarkan pedoman OECD 202. Selain itu juga dapat menyebabkan keracunan ganggang hijau (*Desmodesmus subspicatus*) pada konsentrasi 100 mg/L, dan keracunan bakteri (Supelco, 2021).

Pengujian LC50 menggunakan udang windu ini menjadi penting karena merupakan persyaratan dalam pembuangan limbah B3 yang telah diolah. Limbah yang telah dilakukan netralisasi atau penurunan kadar racun sebagaimana dimaksud dalam Pasal 201 dapat dilakukan dumping (pembuangan) jika memenuhi persyaratan antara lain pH berkisar 7-10, hasil uji toksikologi LC50 >30.000 ppm, dan tidak menunjukkan sifat teratogenitas (KLHK, 2021).

4. Simpulan

Berdasarkan analisis data dapat disimpulkan bahwa konsentrasi LC50 larutan KCl yang diujikan terhadap udang windu (*Penaeus monodon*) berkisar 0,232–0,474 mg/L. Variasi konsentrasi LC50 tersebut diakibatkan oleh sensitifitas masing-masing individu hewan uji. Pengaruh KCl terhadap udang dapat bervariasi tergantung pada salinitas air tempat mereka hidup. Dalam lingkungan air laut, penggunaan KCl dapat memiliki beberapa pengaruh osmoregulasi terhadap udang.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dalam kegiatan ini, yaitu PSIKLH-KLHK yang menyediakan fasilitas, sumber daya, dan dana pemantauan, serta seluruh tim yang melakukan sampling dan analisis di masing-masing laboratorium.

6. Kepengarangan

Seluruh penulis merupakan suatu kesatuantimtakterpisah yang memberikan kontribusi dalam tiap bagiannya. Penulis pertama dan kedua melakukan pengujian,

pengolahan, dan penyusunan tulisan. Penulis ketiga melakukan penyempurnaan naskah dan melengkapi referensi sementara penulis keempat melakukan verifikasi data awal, dan membantu interpretasi data.

Daftar Pustaka

- Anggraini, D. A., Effendi, H., & Krisanti, M. (2019). Uji toksisitas akut (LC50) limbah pengeboran minyak bumi terhadap *Daphnia magna*. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan*, 272-284.
- Boyd, C. E. (1982). *Water quality management for pond fish culture*: Elsevier Scientific Publishing Co.
- CCOHS. (2023). Canadian Centre for Occupational Health and Safety: LC50 Testing.
- Dwiono, A., Widigdo, B., & Soewardi, K. (2018). Pengaruh komposisi mineral air tanah terhadap fisiologi dan histologi udang vaname *Litopenaeus vannamei*. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(3), 535-546.
- Hadi, F. R., Riyantini, I., Subhan, U., & Ihsan, Y. N. (2018). Efek cekaman salinitas rendah perairan terhadap kemampuan adaptasi udang vaname (*Litopenaeus vannamei*). *Jurnal Perikanan Kelautan*, 9(2).
- Jabarsyah, A. (2016). Median Lethal Concentration (LC50) Test of Oil Base Mud (OBMS) on Tiger Prawn (*Penaeus monodon* Fab). *Jurnal Harpodon Borneo*, 9(2).
- Katiandagho, I. C. (2020). Pertanggungjawaban Negara terhadap pencemaran laut di wilayah teritorial Indonesia menurut UNCLOS 1982. *Lex Privatum*, 8(2).
- KLHK. (2021). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2021 Tentang Tata Cara dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*. Jakarta.
- 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.
- Nuralifah, N., Parawansah, P., & Nur, H. (2021). Uji toksisitas akut ekstrak air dan ekstrak etanol daun kacapiring (*Gardenia jasminoides* Ellis) terhadap larva *Artemia salina* Leach dengan metode Brine Shrimp Lethality Test (BSLT). *Indonesian Journal of Pharmaceutical Education*, 1(2), 98-106.
- Patty, S. I., Huwae, R., & Kainama, F. (2020). Variasi musiman suhu, salinitas dan kekeruhan air laut di perairan Selat Lembeh, Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmiah Platax*, 8(1), 110-117.
- Perdana, P. A., Lumbessy, S. Y., & Setyono, B. D. H. (2021). Pengkayaan pakan alami *Artemia* sp. dengan *Chaetoceros* sp. pada budidaya post larva udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*). *Journal of Marine Research*, 10(2), 252-258.
- Pratiwi, R. (2018). Aspek Biologi dan Ablasi Mata pada Udang Windu *Penaeus monodon* Suku Penaeidae (Decapoda: Malacostraca). *Oseana*, 43(2), 34-47.
- Supelco. (2021). KCl: Material Saety Data Sheet.
- USEPA. (2002). *Method for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms (Fifth Edition)*. EPA-821-R-02-012. Washington DC: USEPA.
- Widodo, A. F., Pantjara, B., Adhiyudanto, N. B., & Rachmansyah, R. (2011). Performansi fisiologis udang vaname, *Litopenaeus vannamei* yang dipelihara pada media air tawar dengan aplikasi kalium. *Jurnal Riset Akuakultur*, 6(2), 225-241.
- Yuniarso, T. (2006). Peningkatan kelangsungan hidup, pertumbuhan, dan daya tahan udang windu (*Penaeus monodon* fab.) stadium pl 7-pl 20 setelah pemberian silase artemia yang telah diperkaya dengan silase ikan.
- Yustianti, Y., Ibrahim, M., & Ruslaini, R. (2013). Pertumbuhan dan sintasan larva udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) melalui substitusi tepung ikan dengan tepung usus ayam. *Jurnal Mina Laut Indonesia*, 1(1), 93-103.