

EVALUASI TOKSISITAS AKUT DAN SUB-AKUT DARI INSEKTISIDA LAMBDA-CYHALOTHRIN PADA IKAN PATIN *Pangasianodon hypophthalmus*

Moh. Burhanuddin Mahmud^{1*}, Yuni Puji Hastuti¹, Kuku Nirmala¹, Eddy Supriyono¹, dan Wildan Nurussalam¹

¹Departmen Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Jalan Agatis 16680

(Naskah diterima: 02 Agustus 2024; Revisi final: 30 September 2024; Disetujui publikasi: 30 September 2024)

ABSTRAK

Lambda-cyhalothrin adalah insektisida beracun yang seringkali digunakan untuk mengendalikan hama di lahan pertanian. Insektisida ini sangat beracun terhadap organisme akuatik dan berpotensi mengganggu keseimbangan metabolisme dan fisiologi ikan budidaya. Ikan patin (*Pangasianodon hypophthalmus*) merupakan salah satu jenis ikan air tawar yang sangat rentan terpapar Lambda-cyhalothrin karena letak sistem budidaya yang berdekatan dengan lahan pertanian. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek toksisitas akut Lambda-cyhalothrin dan efek sub-akut terhadap organ tubuh ikan patin. Ikan patin diperoleh dari pembudidaya ikan di Bogor, Jawa Barat, dengan berat dan Panjang rata-rata $8,59 \pm 0,47$ g dan $7,52 \pm 0,83$ cm. Bahan toksikan yang digunakan adalah insektisida Lambda-cyhalothrin. Ikan yang diuji dipelihara dalam akuarium berukuran $30 \times 30 \times 30$ cm³ yang diisi air sebanyak 20 L. Penelitian dibagi menjadi tiga tahap, yaitu uji nilai kisaran, uji toksisitas akut LC₅₀-96 jam, dan uji sub akut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa LC₅₀-96 jam Lambda-cyhalothrin pada ikan patin adalah $5,2 \mu\text{g L}^{-1}$. Hasil uji sub akut dengan taraf perlakuan $2,6 \mu\text{g L}^{-1}$ menunjukkan pertumbuhan minimal 0,688% dan berdampak nyata ($P < 0,05$) terhadap kadar glukosa yang mencapai $148,16 \text{ mg dL}^{-1}$. Kesimpulan penelitian ini adalah Lambda-cyhalothrin bersifat merugikan terhadap ikan patin yang menyebabkan kerusakan yang nyata pada insang, usus, dan hati yang dibuktikan dengan adanya hiperplasia, proliferasi, vakuolisasi, kongesti, fusi, nekrosis, *cloudy swelling* dan inflamasi.

KATA KUNCI: glukosa; histologi; Lambda-cyhalothrin; pertumbuhan; toksisitas

ABSTRACT: Evaluation of Acute And Sub-Acute Toxicities of Lambda-cyhalothrin Insecticide on Striped Catfish *Pangasianodon hypophthalmus*

*Lambda-cyhalothrin is a toxic insecticide frequently used to control pests in agricultural settings. This insecticide is very toxic to aquatic organisms and can potentially disrupt the balance of metabolism and physiology of farmed fish. Striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*) is one of farmed freshwater fish species highly susceptible to being exposed to Lambda-cyhalothrin due to the common shared location of the farming system with agricultural land. This study aimed to determine the acute toxicity effects of Lambda-cyhalothrin and the sub-acute effects on the organs of the striped catfish. The striped catfish was obtained from fish*

*Korespondensi: Departmen Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga
Email: burhanuddinmahmud96@gmail.com

farmers in Bogor, West Java, with an average weight and length of 8.59 ± 0.47 g and 7.52 ± 0.83 cm, respectively. The toxicant material used was Lambda-cyhalothrin insecticide. The tested fish were reared in aquarium sized $30 \times 30 \times 30$ cm³ filled with 20 L of water. This study was divided into three stages, i.e., range value test, acute toxicity test (96h-LC₅₀), and sub-acute test. The result showed that 96h-LC₅₀ of Lambda-cyhalothrin on striped catfish was $5.2 \mu\text{g L}^{-1}$. The results of the sub-acute test with a treatment level of $2.6 \mu\text{g L}^{-1}$ showed minimal growth at 0.688% and a significant impact ($P < 0.05$) on glucose levels, which reached $148.16 \text{ mg dL}^{-1}$. This study concludes that Lambda-cyhalothrin insecticide is detrimental to striped catfish, causing noticeable damage to the gill, intestine, and liver, as evidenced by hyperplasia, proliferation, vacuolization, congestion, fusion, necrosis, cloudy swelling, and inflammation.

KEYWORDS: glucose; growth; histology; Lambda-cyhalothrin; toxicity

PENDAHULUAN

Aplikasi pestisida dalam penanggulangan hama pada sektor pertanian dapat meningkatkan hasil produksi, namun secara tidak langsung menimbulkan kekhawatiran terhadap penurunan kualitas lingkungan. Pestisida tidak hanya mengancam hama tanaman tetapi juga organisme nontarget (Li *et al.*, 2017; Riaz *et al.*, 2018; Stehle & Schulz, 2015; Tang *et al.*, 2018; Yao *et al.*, 2023). Pestisida, khususnya insektisida merupakan bahan kimia yang sangat toksik bagi organisme akuatik. Keberadaan insektisida berpotensi mengganggu keseimbangan ekosistem perairan dan dapat memengaruhi metabolisme maupun fisiologi biota budidaya (Lay *et al.*, 2024; Li *et al.*, 2017; Malaj *et al.*, 2014; Stehle & Schulz, 2015; Tang *et al.*, 2018). Hampir semua jenis insektisida tidak bersifat selektif dan mempunyai spektrum yang luas sebagai racun sehingga merupakan sumber pencemaran yang potensial khususnya bagi sumber daya dan lingkungan perairan.

Insektisida dapat menemukan jalan ke badan air melalui limpasan (Ariyani *et al.*, 2020; Riaz *et al.*, 2018; Werner & Young, 2018; Yao *et al.*, 2023). Beberapa wilayah di Indonesia yang memiliki curah hujan sangat tinggi memiliki kemungkinan terjadinya limpasan sisa pestisida ke sungai. Pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh bahan kimia mendapat perhatian lebih karena dapat memengaruhi sebagian besar ekosistem perairan (David & Kartheek, 2014).

Sejumlah penelitian menyebutkan adanya konsentrasi insektisida golongan piretroid seperti Lambda-cyhalothrin, sipermetrin, dan deltametrin dalam beberapa aliran sungai di daerah perkotaan dan pertanian (Ariyani *et al.*, 2020; Delgado-Moreno *et al.*, 2011; Zheng *et al.*, 2016). Bahkan, dalam beberapa penelitian dikemukakan bahwa konsentrasi LC₅₀ dapat menyebabkan toksisitas terhadap organisme akuatik dengan tingkat letal konsentrasi < 1 ppb (Amweg *et al.*, 2005; Delgado-Moreno *et al.*, 2011; Salako *et al.*, 2020; Wakil *et al.*, 2024).

Piretroid dikembangkan karena adanya kekhawatiran terhadap potensi resistensi hama dan toksisitas terhadap organisme nontarget. Pengembangan ini dilakukan untuk menggantikan pestisida generasi lama seperti organoklorin, organofosfat, dan karbamat (Denholm *et al.*, 2002; Orso *et al.*, 2023; Yao *et al.*, 2023). Piretroid memiliki potensi efektivitas yang lebih baik daripada organofosfat dan organoklorin (Ariyani *et al.*, 2020; Denholm *et al.*, 2002; Khalil *et al.*, 2020). Kelebihan insektisida golongan piretroid seperti efektivitas yang tinggi dengan konsentrasi penggunaan yang rendah, memiliki stabilitas terhadap cahaya dan afinitas adsorpsi yang tinggi pada tanaman dan toksisitas yang rendah pada populasi burung dan mamalia (Başer *et al.*, 2003; Richterová *et al.*, 2014).

Lambda-cyhalothrin merupakan insektisida sintetik dari analog bahan kimia piretroid, senyawa insektisida ini diperoleh mirip dengan piretrin yaitu senyawa insektisida alami yang dihasilkan oleh bunga krisan *Chrysanthemum*

cinerariaefolium (He *et al.*, 2008). Senyawa ini memiliki pengaruh terhadap sistem saraf dan menimbulkan efek *paralysis* hingga kematian pada hewan akuatik (Feng *et al.*, 2024; Hardy, 2022; Lin *et al.*, 2022; Richterová *et al.*, 2014). Pada beberapa penelitian terbaru telah ditemukan bahwa piretroid memiliki risiko toksisitas yang lebih besar dibandingkan pestisida generasi lama pada organisme akuatik (Geissen *et al.*, 2015; Stehle & Schulz, 2015; Velmurugan *et al.*, 2007). Lambda-cyhalothrin juga digunakan dalam pengendalian nyamuk melalui penyemprotan secara langsung ke dalam perairan (Velmurugan *et al.*, 2007). Pengaruh terbesar disebabkan oleh bioakumulasi bahan toksik yang berlebihan. Faktor yang menyebabkan kerentanan ikan terhadap piretroid sintesis adalah sifat lipofilisitas dari Lambda-cyhalothrin yang dapat terakumulasi dalam jaringan yang kaya lemak seperti hati, ginjal, lemak tubuh, dan kulit (Viran *et al.*, 2003). Selain itu, tingkat penyerapan yang sangat tinggi terjadi pada insang ikan dan kulit (Polat *et al.*, 2002).

Proses pemaparan insektisida pada tubuh ikan melalui penyerapan secara langsung melalui kulit, insang, dan sistem pencernaan. Ikan yang terpapar akan mengalami gangguan fisiologis seperti stres oksidatif, stres hematologis, dan perubahan biokimia (Chatterjee *et al.*, 2021; Devi & Gupta, 2024; Ganiyat *et al.*, 2023; Habeeba & David, 2016; Velmurugan *et al.*, 2007; Vester *et al.*, 2019; Yao *et al.*, 2023). Beberapa penelitian terhadap pengaruh insektisida Lambda-cyhalothrin dilaporkan dapat menyebabkan kerusakan insang, usus, dan hati dari ikan *Cirrhinus mrigala* berupa nekrosis, fusi pada lamella insang, kongesti serta hipertropi, dan juga pada ikan air tawar (Hamed *et al.*, 2023; Kaval Oğuz *et al.*, 2023; Velmurugan *et al.*, 2007). Kumar *et al.* (2007) menyebutkan perbandingan katabolisme asam amino dan detoksifikasi amonia pada *Canna punctatus* dan *Clarias batrachus* akibat paparan Lambda-cyhalothrin.

Ikan patin (*Pangasianodon hypophthalmus*) memiliki habitat pada perairan sungai yang tersebar dari Vietnam, Thailand, dan Kamboja

(Phuong & Oanh, 2010). Anatomi ikan patin sesuai untuk digunakan sebagai ikan target untuk penelitian toksisitas Lambda-cyhalothrin. Tubuh ikan patin yang tidak memiliki sisik akan memudahkan masuknya bahan toksik ke dalam tubuh ikan. Analisis histologi dapat digunakan sebagai biomarker pemantauan lingkungan perairan. Pengamatan tersebut dilakukan melalui pengamatan terhadap organ-organ penting dalam sistem metabolisme (Camargo & Martinez, 2007). Dampak negatif penggunaan insektisida piretroid berbahan aktif Lambda-cyhalothrin terhadap ikan patin dan lingkungan budidaya dapat diantisipasi dengan mengetahui kuantitatif toksisitasnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi toksisitas akut dan sub-akut Lambda-cyhalothrin pada ikan patin.

BAHAN DAN METODE

Bahan uji yang digunakan adalah insektisida berbahan aktif Lambda-cyhalothrin $25.281 \times 10^4 \mu\text{g L}^{-1}$ yang telah dianalisis kandungan bahan aktif di Laboratorium Saraswati Indo Genetech (SIG), bentuk formulasi berupa cairan dan mudah larut dalam air. Hewan uji yang digunakan adalah ikan patin bobot $8,59 \pm 0,47$ g dan panjang $7,52 \pm 0,83$ cm, diperoleh dari petani daerah Kemang, Kabupaten Bogor.

Penelitian ini menggunakan wadah akuarium berukuran $(30 \times 30 \times 30) \text{ cm}^3$ yang telah dibersihkan dengan air mengalir dan dikeringkan. Akuarium yang telah bersih diisi dengan air tawar sebanyak 20 L dari stok air yang telah ditampung pada bak stok. Biota uji yang digunakan diaklimatisasi selama 7 hari pada akuarium berukuran $(100 \times 40 \times 60) \text{ cm}^3$. Pemberian pakan dilakukan dengan metode *ad satiation* dan diberhentikan sehari sebelum pengujian untuk meminimalkan kebutuhan oksigen dan pengeluaran feses yang berlebih.

Uji Nilai Kisaran

Uji nilai kisaran merupakan uji yang dilakukan pada rentang konsentrasi yang lebar untuk mengetahui batas atas (A) dan batas

bawah (B). Batas atas adalah konsentrasi yang menyebabkan 100% kematian ikan patin dalam waktu 24 jam. Batas bawah adalah konsentrasi yang tidak memberi dampak kematian setelah pemaparan selama 48 jam. Uji nilai kisaran dilakukan selama 48 jam dengan menggunakan 21 akuarium berukuran (30x30x30) cm³ yang diisi dengan 20 L air. Pergantian air dilakukan dengan interval 24 jam dan konsentrasi Lambda-cyhalothrin akan diperbarui sesuai konsentrasi awal pemeliharaan (Kumar *et al.*, 2007). Konsentrasi yang digunakan adalah 10⁻¹, 10⁰, 10¹, 10², 10³ dan 10⁴ µg L⁻¹ (USEPA, 2002). Selain itu disiapkan akuarium kontrol yang tidak menggunakan insektisida Lambda-cyhalothrin. Pengujian dilakukan menggunakan tiga ulangan.

Larutan Lambda-cyhalothrin 10⁶ µL disiapkan dengan melarutkan 39555,3—µL (39,56 mL) larutan baku Lambda-cyhalothrin ke dalam 10⁶ µL (1 L) air media. Pembuatan larutan diperoleh menggunakan rumus perhitungan pengenceran (1):

$$V_1 \times C_1 = V_2 \times C_2 \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

V₁ = Volume larutan stok (µL), V₂ = Volume air media (µL), C₁ = Konsentrasi larutan (25,281x10⁴) (µg L⁻¹), dan C₂ = Konsentrasi larutan yang diinginkan (µg L⁻¹)

Pembuatan larutan stok (konsentrasi insektisida Lambda-cyhalothrin 10⁶ µg L⁻¹ dalam 10⁶ µL (1 L) air media).

$$\begin{aligned} V_1 \times C_1 &= V_2 \times C_2 \\ V_1 \times 25,281 \times 10^4 \mu\text{g L}^{-1} &= 10^6 \mu\text{L} \times 10^6 \mu\text{g L}^{-1} \\ V_1 &= 39555,3 \mu\text{L} \text{ (39,56 mL)} \end{aligned}$$

Selama dilakukan pemaparan, performansi ikan patin diamati dan dilakukan analisis kualitas air yaitu suhu, pH dan oksigen terlarut setiap hari. Selain itu, respons ikan patin setelah dilakukan pemaparan juga diamati. Pengamatan dilakukan pada jam ke-0, 2, 4, 6, 12, 24, dan 48. Hasil yang diperoleh sebagai ambang batas bawah dan ambang batas atas akan dimasukkan ke dalam persamaan logaritma untuk mendapatkan konsentrasi

insektisida Lambda-cyhalothrin yang akan digunakan pada uji akut.

Uji Toksisitas Akut

Uji toksisitas akut dilakukan untuk mengetahui konsentrasi bahan aktif pestisida yang menimbulkan efek kematian ikan patin pada kisaran 50% (USEPA, 2002). Uji toksisitas akut mengacu pada Wells (2009). Penentuan dosis uji akut didasarkan pada uji nilai kisaran melalui perhitungan ambang batas atas dan ambang batas bawah. Ikan uji tidak diberi makan selama pemaparan pestisida untuk menghindari pencemaran air akibat sisa pakan dan akumulasi feses. Ikan patin yang mati pada saat pengujian harus diambil agar tidak mempengaruhi perlakuan. Pengamatan parameter kualitas air seperti pH, suhu, dan oksigen terlarut dilakukan setiap hari untuk mengetahui kondisi kualitas air selama pengujian.

Uji toksisitas akut dilakukan selama 96 jam dengan menggunakan 18 akuarium berukuran (30x30x30) cm³ yang diisi air sebanyak 20 L. Masing-masing akuarium diisi ikan patin sebanyak 10 ekor. Pergantian air dilakukan dengan interval 24 jam dan konsentrasi Lambda-cyhalothrin akan diperbarui sesuai konsentrasi awal pemeliharaan (Kumar *et al.*, 2007). Uji toksisitas akut dilakukan menggunakan tiga ulangan dengan pengamatan mortalitas pada jam ke-0, 2, 4, 6, 8, 12, 24, 48, 72, dan 96 setelah aplikasi. Penentuan nilai LC₅₀-96 dilakukan menggunakan analisis probit. Analisis ini didasarkan pada pengujian konsentrasi masing-masing bahan kimia yang digunakan pada pemeliharaan organisme akuatik.

Uji Sub-Akut

Uji sub-akut bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi insektisida Lambda-cyhalothrin terhadap pertumbuhan, histologi, dan respons fisiologis ikan. Uji sub-akut dilakukan dengan empat perlakuan konsentrasi insektisida Lambda-cyhalothrin, yaitu kontrol, 10%, 30%, dan 50% dari nilai LC₅₀-96 dengan

tiga kali ulangan (Wells, 2009). Hewan uji adalah ikan patin yang ditebar sebanyak 10 ekor per akuarium dengan pemberian pakan dengan metode *ad satiation*. Pengujian menggunakan akuarium (30x30x30) cm³ sebanyak 12 buah dan diisi air sebanyak 20 L. Pergantian air dilakukan dengan interval 24 jam dan konsentrasi Lambda-cyhalothrin akan diperbarui pada keadaan awal pemeliharaan (Kumar *et al.*, 2007). Uji sub-akut dilakukan selama 30 hari. Percobaan dilakukan dengan mengikuti rancangan acak lengkap (RAL). Seluruh kegiatan dalam penelitian ini mengikuti protokol etik untuk kesejahteraan hewan untuk penelitian pada Institut Pertanian Bogor dan SNI 01-6483.5-2002 (Badan Standardisasi Nasional, 2002).

Parameter Uji yang Diamati

Survival rate (SR) dihitung dengan membandingkan jumlah ikan patin pada awal tebar (H0) dan akhir pemeliharaan (H30) pada uji sub-akut. Penghitungan SR dapat menggunakan rumus (2) sebagai berikut (Goddard, 1996):

$$SR\% = \frac{N_0}{N_t} \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan: SR = *Survival rate*, N_0 = Jumlah ikan patin pada H0 uji subletal, dan N_t = Jumlah ikan patin pada H30 uji subletal

Parameter kinerja pertumbuhan *specific growth rate* dihitung pada hari ke-30 dengan rumus perhitungan (3) sebagai berikut (Hopkins, 1992):

$$SGR\% \left(\% \text{hari}^{-1} \right) = \sqrt{\frac{W_t}{W_0}} - 1 \times 100 \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan: SGR = *Specific growth rate*, W_0 = Bobot rata-rata awal perlakuan, W_t = Bobot rata-rata akhir perlakuan, dan t = Periode pemeliharaan

darah dilakukan sebagai indikator stres sekunder akibat insektisida Lambda-cyhalothrin. Pengukuran glukosa dilakukan di akhir pemeliharaan uji sub-akut dengan membandingkan perlakuan dengan kontrol. Perhitungan kadar glukosa menggunakan rumus (4) (Wedemeyer & Yasutake, 1977):

$$\text{Glukosa} \left(\text{mg dL}^{-1} \right) = \frac{Au (Cs)}{As} \times 100 \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan: Au = Absorbansi sampel, Cs = Konsentrasi sampel, dan As = Absorbansi standar

Pengamatan kerusakan jaringan dilakukan pada akhir uji sub-akut. Pengamatan dilakukan dengan pembuatan preparat histologi. Proses pembuatan preparat dilakukan dengan pemeriksaan organ seperti insang, usus, dan hati (Bruno *et al.*, 2006). Perubahan patologis yang sesuai diklasifikasikan ke dalam beberapa pola. Pola-pola ini merupakan sedikit variasi dari klasifikasi dan selaras dengan rekomendasi (Marni, 2011), yang mengusulkan klasifikasi ini untuk evaluasi histopatologi studi eksperimental. Perhitungan persentase dilakukan menggunakan lima lapang pandang yang berbeda dengan rumus (5):

$$P(\%) = \frac{\Sigma KS}{\Sigma TS} \times 100 \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan: P = Persentase sel yang mengalami nekrosis, ΣKS = Jumlah sel nekrosis pada lima lapang pandang, dan ΣTS = Jumlah sel total pada lima lapang pandang

Skoring hasil persentase organ insang, usus dan hati mengacu pada Marni (2011) disajikan pada Tabel 1.

Parameter kualitas air yang dianalisis berupa suhu, oksigen terlarut atau *dissolve oxygen* (DO), pH, alkalinitas, *total ammonia nitrogen* (TAN), dan nitrit-N.

Analisis Data

Data penelitian uji letal LC₅₀-96 dianalisis

Pemeriksaan kadar glukosa dalam

Tabel 1. Skor kondisi sel nekrosis dari ikan patin yang terpapar Lambda-cyhalothrin
Table 1. Cell necrosis condition score of striped catfish exposed to the Lambda-cyhalothrin treatments

Nekrosis <i>Necrosis</i>	Skor <i>Score</i>	Derajat kerusakan <i>Degree of deterioration</i>
$P < 20\%$	0	Normal <i>Normal</i>
$20\% \leq P < 40\%$	1	Rusak ringan <i>Slightly damaged</i>
$40\% \leq P < 60\%$	2	Rusak sedang <i>Moderately damaged</i>
$60\% \leq P < 80\%$	3	Rusak berat <i>Badly damaged</i>
$P \geq 80\%$	4	Rusak sangat berat <i>Very badly damaged</i>

menggunakan analisis probit pada aplikasi SPSS versi 24 dengan selang kepercayaan 95%. Data parameter utama ditabulasi menggunakan *software* Microsoft Excel 2019 dan dianalisis statistik dengan uji ANOVA menggunakan SPSS versi 24, kemudian data diuji lanjut menggunakan uji Duncan.

HASIL DAN BAHASAN

Uji Nilai Kisaran

Uji nilai kisaran terdiri dari tujuh perlakuan dengan menggunakan metode logaritmik berbasis 10. Perlakuan yang digunakan yaitu 0 (kontrol), 10^{-1} , 10^0 , 10^1 , 10^2 , 10^3 , dan $10^4 \mu\text{g L}^{-1}$. Data mortalitas ikan selama uji nilai kisaran tersaji pada Tabel 2.

Berdasarkan pada hasil uji nilai kisaran diperoleh nilai ambang batas bawah pada konsentrasi $10^0 \mu\text{g L}^{-1}$ karena selama periode pemaparan hingga jam ke-48, jumlah hewan uji yang mengalami kematian tidak lebih dari 50%, sedangkan nilai ambang atas terdapat pada konsentrasi $10^1 \mu\text{g L}^{-1}$ karena selama periode pemaparan menyebabkan kematian hewan uji sebanyak 100% dalam kurun waktu 24 jam. Berdasarkan data Tabel 2 maka konsentrasi Lambda-cyhalothrin yang digunakan pada uji toksisitas akut LC_{50-96} berada pada nilai ambang batas 10^0 dan $10^1 \mu\text{g L}^{-1}$.

Uji Toksisitas Akut

Konsentrasi yang digunakan pada uji toksisitas akut berasal dari perhitungan logaritma pada uji nilai kisaran dengan nilai ambang batas 10^0 dan $10^1 \mu\text{g L}^{-1}$. Berdasarkan nilai perhitungan logaritma diperoleh konsentrasi untuk uji toksisitas akut sebesar 0 (kontrol), 1,5, 2,5, 3,9, 6,1, dan $9,5 \mu\text{g L}^{-1}$. Mortalitas ikan patin meningkat seiring dengan penambahan konsentrasi Lambda-cyhalothrin selama periode pemaparan. Nilai LC_{50-96} yang diperoleh menggunakan analisis probit dari data mortalitas sebesar $5,2 \mu\text{g L}^{-1}$ (Gambar 1).

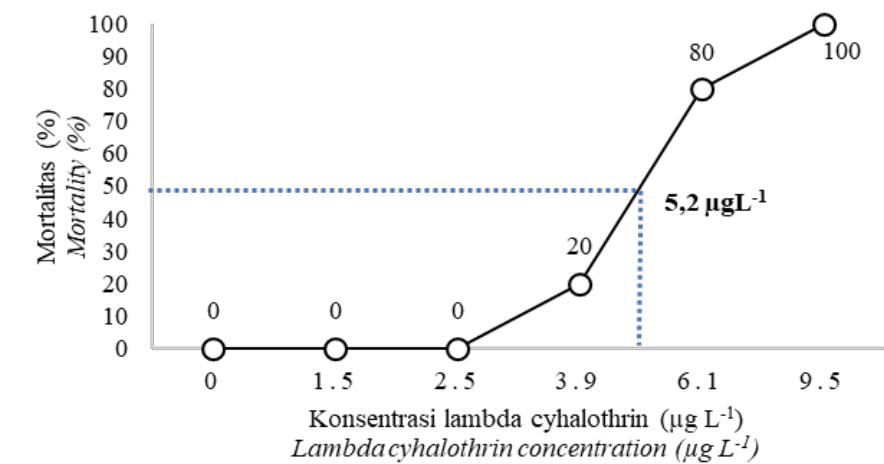
Nilai LC_{50-96} yang diperoleh dari uji toksisitas akut selanjutnya digunakan sebagai acuan dalam penentuan konsentrasi Lambda-cyhalothrin pada uji sub-akut. Uji sub-akut pada penelitian menggunakan empat perlakuan konsentrasi yaitu 0 (Kontrol), 0,52, 1,6, dan $2,6 \mu\text{g L}^{-1}$.

Uji Sub-Akut

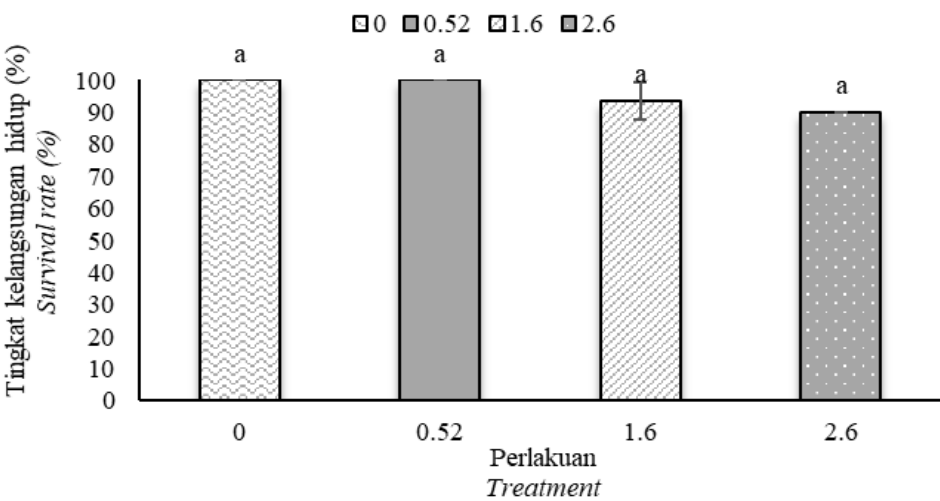
Tingkat kelangsungan hidup perlakuan 0 $\mu\text{g L}^{-1}$ (kontrol) dan $0,52 \mu\text{g L}^{-1}$ tidak mengalami kematian. Sedangkan, pada perlakuan $2,6 \mu\text{g L}^{-1}$ terdapat satu kematian setiap pengulangan ditunjukkan pada Gambar 2. Analisis statistik ragam (ANOVA) pada tingkat kelangsungan

Tabel 2. Mortalitas ikan patin uji nilai kisaran toksisitas insektisida Lambda-cyhalothrin
Table 2. Striped catfish mortality after exposed to different toxicity range values of Lambda-cyhalothrin insecticide

Konsentrasi (µg L ⁻¹) Concentration (µg L ⁻¹)	Ikan Fish	Mortalitas pada jam- (%) Mortality at hour- (%)								
		0	2	4	6	8	12	24	36	48
0 (Kontrol)	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0 (Control)	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10 ⁻¹	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10 ⁰	10	0	0	0	0	0	0	0	10	20
10 ¹	10	0	0	0	10	50	80	100	100	100
10 ²	10	0	0	30	100	100	100	100	100	100
10 ³	10	0	100	100	100	100	100	100	100	100
10 ⁴	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100



Gambar 1. Mortalitas (%) ikan patin pada uji toksisitas akut LC₅₀-96 Lambda-cyhalothrin
Figure 1. Mortality (%) of striped catfish in acute toxicity test LC₅₀-96 of Lambda-cyhalothrin



Gambar 2. Tingkat kelangsungan hidup dari uji sub-akut Lambda-cyhalothrin pada ikan patin *Pangasianodon hypophthalmus*. Superskrip yang berbeda menyatakan perbedaan yang signifikan pada tingkat kepercayaan 95% (P<0,05)
Figure 2. Survival rate of striped catfish *Pangasianodon hypophthalmus* after Lambda-cyhalothrin sub-acute test. Different superscripts indicate significant differences at 95% confidence level (P<0.05)

hidup tidak menunjukkan perbedaan nyata ($P>0,05$) pada setiap perlakuan.

Tingkat pertumbuhan spesifik tertinggi didapatkan pada perlakuan tanpa penambahan insektisida dan terendah pada perlakuan $2,6 \mu\text{g L}^{-1}$ dengan masing-masing $2,5 \pm 0,2\%$ dan $0,7 \pm 0,3\%$ ditunjukkan pada Gambar 3. Analisis statistik ragam (ANOVA) menunjukkan perbedaan nyata ($P<0,05$) antara $0 \mu\text{g L}^{-1}$ (kontrol) dengan perlakuan $2,6 \mu\text{g L}^{-1}$.

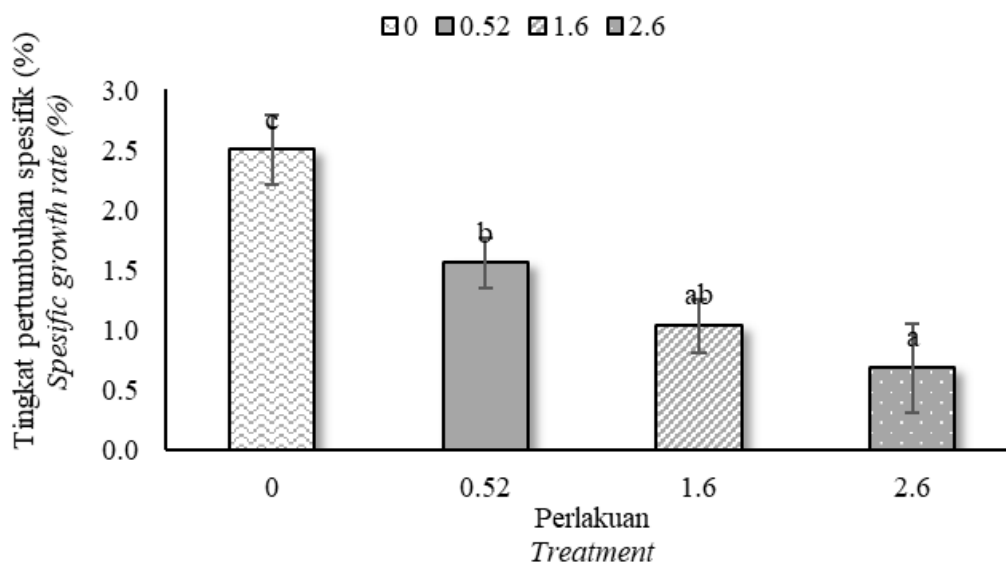
Konsentrasi glukosa tertinggi didapatkan pada perlakuan $2,6 \mu\text{g L}^{-1}$ dan terendah pada $0 \mu\text{g L}^{-1}$ (kontrol) dengan masing-masing nilai $148,16 \pm 32,7 \text{ mg dL}^{-1}$ dan $73,2 \pm 3,1 \text{ mg dL}^{-1}$ ditunjukkan pada Gambar 4. Analisis statistik ragam (ANOVA) pada konsentrasi glukosa menunjukkan perbedaan nyata ($P<0,05$) antara perlakuan $2,6 \mu\text{g L}^{-1}$ dibandingkan dengan kontrol.

Pengamatan histologi organ insang, usus, dan hati dilakukan pada akhir pemeliharaan

uji sub-akut. Pemberian insektisida Lambda-cyhalothrin selama 30 hari mengakibatkan kerusakan pada organ insang, usus, dan hati seperti ditemukan adanya nekrosis (NK), *cloudy swelling* (sel hati tampak keruh) (CS), proliferasi (PL), *hyperplasia* (HP), inflamasi (IF), dan hemoragi (HI).

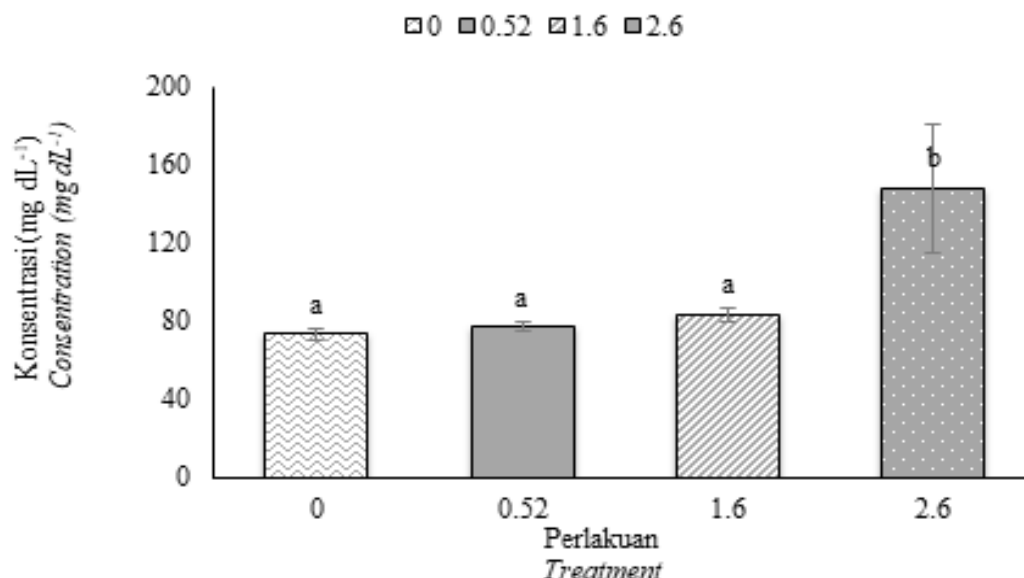
Struktur jaringan organ insang pada perlakuan kontrol terlihat normal dengan struktur sel berderet dengan sempurna. Lamella primer dan sekunder tertata dengan teratur pada setiap epitel jaringan organ insang. Struktur jaringan organ insang ikan patin tidak menunjukkan adanya kerusakan jaringan ditunjukkan pada Gambar 5.

Semakin tinggi konsentrasi insektisida Lambda-cyhalothrin yang diberikan menyebabkan kerusakan jaringan yang lebih besar (Rahman & Hasan, 2019). Berdasarkan pengamatan secara mikroskopis ditemukan bahwa terjadi pembengkakan jaringan akibat penambahan sel secara terus-menerus



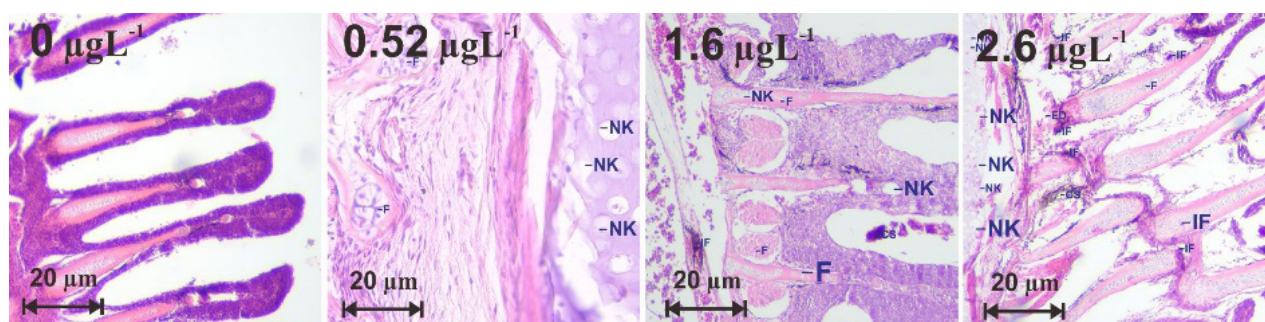
Gambar 3. Tingkat pertumbuhan spesifik dari uji sub-akut Lambda-cyhalothrin pada ikan patin *Pangasianodon hypophthalmus*. Superskrip yang berbeda menyatakan perbedaan yang signifikan pada tingkat kepercayaan 95% ($P<0,05$)

Figure 3. Specific growth rate of striped catfish *Pangasianodon hypophthalmus* after Lambda-cyhalothrin sub-acute test. Different superscripts indicate significant differences at 95% confidence level ($P<0.05$)



Gambar 4. Konsentrasi glukosa dari uji sub-akut Lambda-cyhalothrin pada ikan patin *Pangasianodon hypophthalmus*. Superskrip yang berbeda menyatakan perbedaan yang signifikan pada tingkat kepercayaan 95% ($P < 0.05$)

Figure 4. Glucose concentration of striped catfish *Pangasianodon hypophthalmus* after Lambda cyhalothrin sub-acute test. Different superscripts indicate significant differences at 95% confidence level ($P < 0.05$)



Gambar 5. Struktur histologi organ insang dari uji sub-akut Lambda-cyhalothrin pada ikan patin *Pangasianodon hypophthalmus*. Nekrosis (NK) dan inflamasi (IF)

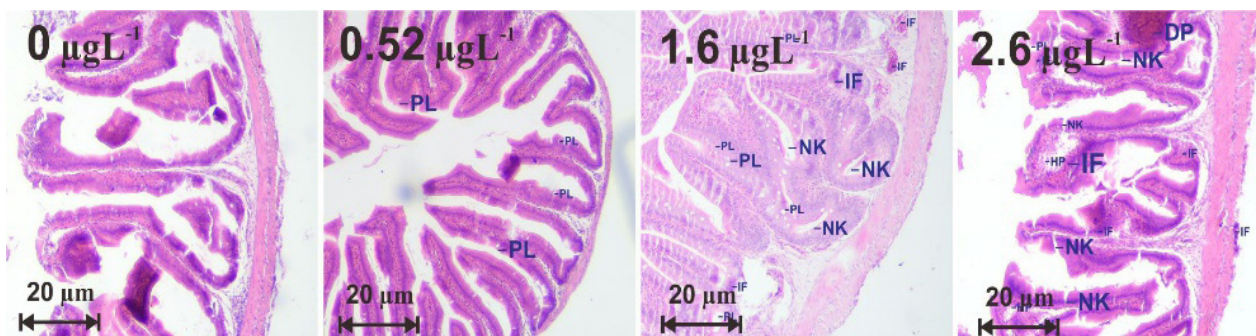
Figure 5. Histology structure of gill organ of striped catfish *Pangasianodon hypophthalmus* after Lambda-cyhalothrin sub-acute test. Necrosis (NK) dan inflamasi (IF)

(hyperplasia), pembendungan pembuluh darah (kongesti), peleburan lamella akibat tekanan hyperplasia (fusi), kematian sel (nekrosis), cloudy swelling, dan peradangan (inflamasi).

Struktur jaringan organ usus pada perlakuan kontrol terlihat normal dari pada perlakuan dengan penambahan insektisida Lambda-cyhalothrin ditunjukkan pada Gambar 6. Semakin tinggi konsentrasi

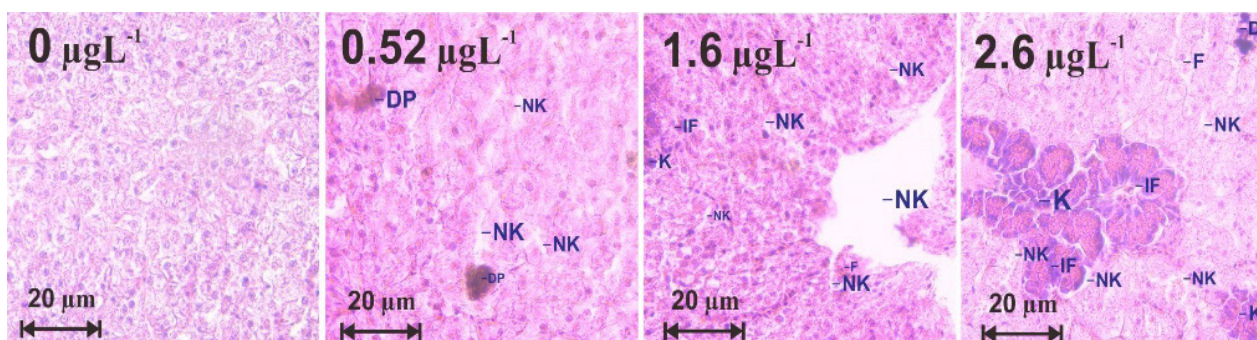
insektisida Lambda-cyhalothrin yang diberikan menyebabkan kerusakan jaringan yang lebih besar. Berdasarkan pengamatan secara mikroskopis ditemukan bahwa terjadi hiperplasia, peningkatan sel goblet (proliferasi), nekrosis, inflamasi, dan cloudy swelling.

Struktur jaringan organ hati pada perlakuan kontrol terlihat normal dari pada perlakuan dengan penambahan insektisida Lambda-



Gambar 6. Struktur histologi organ usus dari uji sub-akut Lambda-cyhalothrin pada ikan patin *Pangasianodon hypophthalmus*. Nekrosis (NK), cloudy swelling (DP), proliferasi (PL), dan inflamasi (IF)

Figure 6. Histology structure of intestinal organ of striped catfish *Pangasianodon hypophthalmus* after Lambda-cyhalothrin sub-acute test. Necrosis (NK), cloudy swelling (DP), proliferation (PL), and inflammation (IF)



Gambar 7. Struktur histologi organ hati dari uji sub-akut Lambda-cyhalothrin pada ikan patin *Pangasianodon hypophthalmus*. Nekrosis (NK), cloudy swelling (DP), kongesti (K), dan inflamasi (IF)

Figure 7. Histology structure of liver organ of striped catfish *Pangasianodon hypophthalmus* after Lambda-cyhalothrin sub-acute test. Necrosis (NK), cloudy swelling (DP), congestion (K), and inflammation (IF)

cyhalothrin ditunjukkan pada Gambar 7. Semakin tinggi konsentrasi insektisida Lambda-cyhalothrin yang diberikan menyebabkan kerusakan jaringan yang lebih besar. Berdasarkan pengamatan secara mikroskopis ditemukan bahwa terjadi hiperplasia, vakuolasi, nekrosis, inflamasi, dan cloudy swelling.

Berdasarkan pengukuran parameter suhu, oksigen terlarut, pH, TAN-N, nitrit-N, dan alkalinitas diketahui masing-masing perlakuan masih berada dalam batas toleransi dan tidak mempengaruhi kematian ikan patin selama pemeliharaan uji sub-akut. Pengukuran parameter kualitas air suhu, oksigen terlarut, pH, TAN-N, nitrit-N, dan alkalinitas disajikan pada Tabel 3.

Mortalitas ikan patin meningkat seiring dengan penambahan konsentrasi Lambda cyhalothrin yang lebih besar selama periode pemaparan (Tabel 2). Hal ini dapat terjadi karena menurut (Yekeen *et al.*, 2013) insektisida Lambda cyhalothrin merupakan jenis racun dengan daya toksik yang sangat tinggi. Insektisida ini sangat toksik terhadap hewan non-target seperti organisme akuatik meskipun termasuk golongan insektisida yang mudah terurai di alam. Beberapa studi menjelaskan bahwa Lambda cyhalothrin menginduksi stres pada ikan melalui paparan terhadap insang. Hal ini menyebabkan ikan kesulitan untuk bernafas dengan normal. Selain itu, sekresi mukus yang berlebihan

Tabel 3. Variasi kualitas air dalam media pemeliharaan selama uji sub-akut Lambda cyhalothrin pada ikan patin *Pangasianodon hypophthalmus*Table 3. Water quality variations in the rearing media during the sub-acute test of Lambda cyhalothrin on striped catfish *Pangasianodon hypophthalmus*

Parameter Parameter	Perlakuan ($\mu\text{g L}^{-1}$) Treatment				Baku mutu Quality standard
	0 (Kontrol) 0 (Control)	0,52	1,6	2,6	
Suhu ($^{\circ}\text{C}$) Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	27,3-30,4	27,3-30,6	27,2-30,7	27,5-30	27-33 ¹
Oksigen terlarut (mg L^{-1}) Dissolved oxygen (mg L^{-1})	6,1-7,4	6,2-7,3	6-7,4	6,1-7,4	>3,2 ¹
pH Acidity	7,09-7,36	7,01-7,76	6,93-7,71	6,87-7,73	5,6-7,2 ¹
TAN-N (mg L^{-1})	0,42-0,89	0,5-0,61	0,4-0,69	0,34-0,79	0,03-5,5 ¹
Nitrit-N (mg L^{-1}) Nitrite-N (mg L^{-1})	0,36-0,82	0,59-0,8	0,37-0,73	0,11-0,95	0-1,04 ¹
Alkalinitas (mg L^{-1}) Alkalinity (mg L^{-1})	42,1-48,8	46,2-57,3	48,5-51,3	42,2-68,4	40,2-67,3 ¹

Keterangan: ¹Nguyen (2016)Note: ¹Nguyen (2016)

dengan reaksi pernafasan yang tidak teratur diperlihatkan setelah terpapar oleh Lambda cyhalothrin (Richterová *et al.*, 2014). Dalam pengamatan penelitian secara visual dalam uji LC₅₀-96 yang telah dilakukan muncul beberapa gejala abnormal seperti ikan berenang tidak menentu, hiperaktif, kehilangan keseimbangan dan memunculkan mulutnya kepermukaan air. Hal tersebut juga dilaporkan telah terjadi pada beberapa penelitian yang mempengaruhi perilaku beberapa spesies ikan seperti ikan lele dumbo *Clarias gariepinus* (Yekeen *et al.*, 2013) dan ikan mas *Cyprinus carpio* (Richterová *et al.*, 2014).

Pengaruh insektisida Lambda cyhalothrin pada ikan dapat menghambat stimulasi sistem saraf dengan mengikat protein yang mengatur *voltage-gated sodium channel*. Gerbang ini merupakan saluran yang menghubungkan ion dalam memasuki akson untuk menyebabkan eksitasi sehingga apabila dibiarkan terbuka, pelepasan ion yang terus menerus akan mengakibatkan kelumpuhan (He *et al.*, 2008; Lin *et al.*, 2022; Shafer *et al.*, 2005). Penghambatan ini dapat terjadi pada otak maupun *neuromuscular junction* pada otot-otot yang menggerakkan operkulum dan tapis insang. Stimulasi yang terjadi terus-menerus mengakibatkan ikan kehilangan kendali terhadap sistem saraf dan tidak dapat menghasilkan gerakan yang

terkoordinasi (Burr, 2004; Vester *et al.*, 2019). Konduksi saraf ini dapat mengakibatkan berkurangnya pola makan, kehilangan kontrol otot, kelumpuhan dan akhirnya kematian.

Nilai LC₅₀-96 insektisida Lambda cyhalothrin terhadap ikan patin yang diperoleh menggunakan analisis probit sebesar 5,2 $\mu\text{g L}^{-1}$ (Gambar 1). Nilai LC₅₀-96 pada ikan lele dumbo adalah sebesar 325 $\mu\text{g L}^{-1}$ (Yekeen *et al.*, 2013), pada ikan mas mrigal *Cirrhinus mrigala* sebesar 3 $\mu\text{g L}^{-1}$ (Velmurugan *et al.*, 2007), dan 28,84 mg L^{-1} pada ikan lele *Clarias batrachus* (Saravanan *et al.*, 2009). Efek polutan terhadap ikan juga dipegaruhi oleh lama waktu pemaparan dan konsentrasi polutan. Selain itu, insektisida Lambda cyhalothrin diketahui sebagai insektisida yang sangat beracun bagi organisme akuatik termasuk ikan (hewan non-target) (Habeeba & David, 2016; Islam *et al.*, 2019; Khalil *et al.*, 2020; Rahman & Hasan, 2019; Salako *et al.*, 2020).

Pada masa pemeliharaan ikan patin selama 30 hari dilakukan pengukuran parameter kualitas air pada awal, tengah, dan akhir pemeliharaan. Berdasarkan hasil pengukuran parameter kualitas air, nilai parameter fisika-kimia air masih berada pada batas aman untuk pemeliharaan ikan patin (Tabel 3) (Nguyen, 2016). Semakin tingginya konsentrasi perlakuan mengakibatkan berkurangnya nafsu makan ikan sehingga pada

perlakuan $2,6 \mu\text{g L}^{-1}$ tidak ada perubahan signifikan terhadap penambahan berat badan. Paparan insektisida Lambda cyhalothrin memberikan pengaruh nyata terhadap *specific growth rate* ikan patin. Performa pertumbuhan yang buruk pada perlakuan $2,6 \mu\text{g L}^{-1}$ diduga akibat adanya perubahan sistem metabolisme dan adanya stres.

Nilai glukosa meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi insektisida Lambda cyhalothrin pada perlakuan. Peningkatan nilai glukosa dapat dikaitkan dengan stress fisiologis yang disebabkan paparan insektisida Lambda cyhalothrin. Penyebab utama peningkatan glukosa, diduga akibat terjadinya peningkatan glukogenesis dan glikogenolisis serta penghambatan glukogenolisis dan glikogenesis selama pemeliharaan (Yekeen *et al.*, 2013). Proses pernafasan yang terganggu menginduksi pelepasan glikogen intraseluler untuk menanggulangi berkurangnya energi akibat stres. Hormon hiperglikemia dilepaskan untuk mendegradasi glikogen sehingga glukosa dalam darah meningkat dan terjadi hiperglikemia (Conde-Sieira & Soengas, 2016), hal tersebut mirip dengan pengamatan yang dilaporkan (Yekeen *et al.*, 2013) untuk ikan lele dumbo yang terpapar insektisida Lambda cyhalothrin. Insektisida Lambda cyhalothrin memiliki keterkaitan terhadap adanya produksi stres oksidatif pada organisme akuatik (Richterová *et al.*, 2014). Stres oksidatif ini dipicu dengan peningkatan radikal bebas dari pelepasan senyawa sianohidrin yang terurai menjadi sianida dan aldehida (Fouzai *et al.*, 2023). Akumulasi radikal bebas akan mengakibatkan oksidasi fosfolipid yang menghasilkan lipid peroksida. Efek sitotoksik dari lipid peroksida dapat menghilangkan integritas membran dan menyebabkan apoptosis dan nekrosis sel (Kou *et al.*, 2024). Paparan insektisida Lambda cyhalothrin dengan konsentrasi yang berbeda dapat mempengaruhi kerusakan jaringan insang, usus, dan hati ikan patin. Kerusakan yang dialami pada pengamatan histologi jaringan pada akhir penelitian berupa penambahan sel secara terus-menerus (hiperplasia),

pembendungan pembuluh darah (kongesti), peleburan lamela akibat tekanan hiperplasia (fusi), kematian sel (nekrosis), *cloudy swelling*, dan peradangan (inflamasi). Pengamatan yang sama telah dilakukan (Alalibo *et al.*, 2019) pada efek Lambda cyhalothrin terhadap insang ikan tilapia *Sarotherodon melanotheron* yang mengalami nekrosis, hiperplasia, dan kongesti pada jaringannya. Efek Lambda cyhalothrin juga dilaporkan oleh (Velmurugan *et al.*, 2007) terhadap ikan mas mrigal yang mengalami nekrosis, hiperplasia, dan fusi.

KESIMPULAN

Kematian ikan patin cenderung meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi Lambda cyhalothrin. Demikian pula pada uji sub-akut, konsentrasi Lambda cyhalothrin yang tinggi menunjukkan kelangsungan hidup dan pertumbuhan yang rendah. Analisis glukosa mengindikasikan bahwa tingkat stres pada ikan patin juga meningkat pada konsentrasi tinggi. Paparan insektisida ini pada konsentrasi $2,6 \mu\text{g L}^{-1}$ mengakibatkan kerusakan sel pada organ penting seperti insang, usus, dan hati.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pembimbing akademik, laboran laboratorium lingkungan, kesehatan, dan nutrisi ikan hingga manuskrip ini dapat terpublikasi.

KONTRIBUSI PENULIS

MBM: Konseptualisasi, kurasi data, analisis, investigasi, dan penulisan draf orisinal. YPH: Konseptualisasi, metodologi, supervisi, validasi, penulisan-reviu, dan *editing*. ES: Konseptualisasi, metodologi, supervisi, validasi, penulisan-reviu, dan *editing*. KN: Konseptualisasi, metodologi, supervisi, validasi, penulisan-reviu, dan *editing*. WN: Konseptualisasi, metodologi, supervisi, validasi, penulisan-reviu, dan *editing*.

PENDANAAN

Penelitian ini didanai secara mandiri oleh penulis tanpa dukungan finansial dari lembaga atau organisasi manapun.

PERNYATAAN KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan dalam proses riset dan publikasi dari tulisan ini.

DAFTAR ACUAN

- Alalibo, K., Patricia, U. A., & Ransome, D. E. (2019). Effects of Lambda Cyhalothrin on the behaviour and histology of gills of *Sarotherodon melanotheron* in brackish water. *Scientific African*, 6, e00178. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00178>
- Amweg, E. L., Weston, D. P., & Ureda, N. M. (2005). Use and toxicity of pyrethroid pesticides in the Central Valley, California, USA. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 24(4), 966–972. <https://doi.org/10.1897/04-146R1.1>
- Ariyani, M., Pitoi, M. M., Koesmawati, T. A., Maulana, H., Endah, E. S., & Yusiasih, R. (2020). Pyrethroid residues on tropical soil of an Indonesian tea plantation: Analytical method development, monitoring, and risk assessment. *Sustainable Environment Research*, 30(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s42834-020-00055-7>
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 01-6483.5-2002. Ikan patin siam (Pangasius hypophthalmus) - Bagian 5: Produksi kelas pembesaran di kolam*. Badan Standardisasi Nasional.
- Başer, S., Erkoç, F., Selvi, M., & Koçak, O. (2003). Investigation of acute toxicity of permethrin on guppies *Poecilia reticulata*. *Chemosphere*, 51(6), 469–474. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00033-X](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00033-X)
- Bruno, D., Nowak, B., & Elliott, D. (2006). Guide to the identification of fish protozoan and metazoan parasites in stained tissue sections. *Diseases of Aquatic Organisms*, 70, 1–36. <https://doi.org/10.3354/dao070001>
- Burr, S. A. (2004). Structure-activity and interaction effects of 14 different pyrethroids on voltage-gated chloride ion channels. *Toxicological Sciences*, 77(2), 341–346. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfh027>
- Camargo, M. M. P., & Martinez, C. B. R. (2007). Histopathology of gills, kidney and liver of a neotropical fish caged in an urban stream. *Neotropical Ichthyology*, 5(3), 327–336. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252007000300013>
- Chatterjee, A., Bhattacharya, R., Chatterjee, S., & Saha, N. C. (2021). □ cyhalothrin induced toxicity and potential attenuation of hematological, biochemical, enzymological and stress biomarkers in *Cyprinus carpio* L. at environmentally relevant concentrations: A multiple biomarker approach. *Comparative Biochemistry and Physiology. Toxicology & Pharmacology : CBP*, 250, 109164. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2021.109164>
- Conde-Sieira, M., & Soengas, J. L. (2016). Nutrient sensing systems in fish: impact on food intake regulation and energy homeostasis. *Frontiers in Neuroscience*, 10, 603. <https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00603>
- David, M., & Kartheek, R. (2014). Sodium cyanide induced histopathological changes in kidney of fresh water fish *cyprinus carpio* under sublethal exposure. *International Journal of Pharmaceutical, Chemical and Biological Sciences*, 4(3), 634-639.
- Delgado-Moreno, L., Lin, K., Veiga-Nascimento, R., & Gan, J. (2011). Occurrence and toxicity of three classes of insecticides in water and sediment in two Southern California

- Coastal Watersheds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(17), 9448–9456. <https://doi.org/10.1021/jf202049s>
- Denholm, I., Devine, G. J., & Williamson, M. S. (2002). Insecticide resistance on the move. *Science*, 297(5590), 2222–2223. <https://doi.org/10.1126/science.1077266>
- Devi, M. S., & Gupta, A. (2024). Sub-lethal effects of deltamethrin and permethrin resulted in ultrastructural alterations in scales and oxygen uptake changes of *Anabas testudineus* (Bloch, 1792). *Aquatic Toxicology*, 272, 106939. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2024.106939>
- Feng, J., Xu, X., Huang, W., Gong, H., Sun, X., Liu, J., Xu, C., & Liu, W. (2024). Enantioselective toxicity of tetramethrin to different developmental stages of zebrafish (*Danio rerio*). *Toxics*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/toxics12020146>
- Fouzai, C., Trabelsi, W., Bejaoui, S., Marengo, M., Ghribi, F., Chetoui, I., Mili, S., & Soudani, N. (2023). Dual oxidative stress and fatty acid profile impacts in *Paracentrotus lividus* exposed to lambda-cyhalothrin: Biochemical and histopathological responses. *Toxicological Research*, 39(3), 429–441. <https://doi.org/10.1007/s43188-023-00174-4>
- Ganiyat, A. M., Caleb, O. J., Dezi, A. D., & Adamu, M. (2023). Glutathione attenuated lambda-cyhalothrin-induced alteration of serum total cholesterol concentration and oxidative stress parameters in rats. *Toxicology Research*, 12(1), 33–38. <https://doi.org/10.1093/toxres/tfac080>
- Geissen, V., Mol, H., Klumpp, E., Umlauf, G., Nadal, M., Van Der Ploeg, M., Van De Zee, S. E. A. T. M., & Ritsema, C. J. (2015). Emerging pollutants in the environment: A challenge for water resource management. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(1), 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.03.002>
- Goddard, S. (1996). *Feed management in intensive aquaculture*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4613-1173-7>
- Habeeba, U., & David, M. (2016). Studies on acute and behavioral toxicity of lambda cyhalothrin on freshwater fish *Cyprinus carpio*. *International Journal of Toxicology and Applied Pharmacology*, 6(1), 1–6.
- Hamed, M., Said, R., Soliman, H., Osman, A., & Martyniuk, C. (2023). Immunotoxicological, histopathological, and ultrastructural effects of waterborne pyrogallol exposure on African catfish (*Clarias gariepinus*). *Chemosphere*, 349, 140792. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140792>
- Hardy, N. B. (2022). Delaying quantitative resistance to pesticides and antibiotics. *Evolutionary Applications*, 15(12), 2067–2077. <https://doi.org/10.1111/eva.13497>
- He, L. -M., Troiano, J., Wang, A., & Goh, K. (2008). Environmental chemistry, ecotoxicity, and fate of lambda-cyhalothrin. In D. M. Whitacre (Ed.), *Reviews of environmental contamination and toxicology* (pp. 71–91). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-0-387-77030-7_3
- Hopkins, K. D. (1992). Reporting fish growth: a review of the basics¹. *Journal of the World Aquaculture Society*, 23(3), 173–179. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1992.tb00766.x>
- Islam, S. M. M., Rahman, M. A., Nahar, S., Uddin, M. H., Haque, M. M., & Shahjahan, M. (2019). Acute toxicity of an organophosphate insecticide sumithion to striped catfish *Pangasianodon hypophthalmus*. *Toxicology Reports*, 6, 957–962. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2019.09.004>
- Kaval Oğuz, E., Alkan, Z., Oguz, A. R., Azizoğlu, B. E., & Örgü, E. (2023). Histopathological determination of changes in tissues of Lake Van Fish (*Alburnus tarichi* (Güldenstädt, 1814)) exposed to Esfenvalerate. *Chemistry and Ecology*, 40(1), 22-35. <https://doi.org/10.1080/02757540.2023.2290182>
- Khalil, S. R., Elhakim, Y. A., Abd El-fattah, A. H., Ragab Farag, M., Abd El-Hameed, N. E., &

- EL-Murr, A. E. (2020). Dual immunological and oxidative responses in *Oreochromis niloticus* fish exposed to lambda cyhalothrin and concurrently fed with Thyme powder (*Thymus vulgaris* L.): Stress and immune encoding gene expression. *Fish & Shellfish Immunology*, 100, 208–218. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.03.009>
- Kou, Y., Zhang, W., Zhang, Y., Ge, X., & Wu, Y. (2024). Toxic effects of trace metal(loid) mixtures on aquatic organisms. *Science of The Total Environment*, 948, 174677. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174677>
- Kumar, A., Sharma, B., & Pandey, R. S. (2007). Preliminary evaluation of the acute toxicity of cypermethrin and λ -cyhalothrin to *Channa Punctatus*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 79(6), 613–616. <https://doi.org/10.1007/s00128-007-9282-8>
- Lay, J., Vogel, J., Belden, J., Brown, G., & Storm, D. (2024). Water quality and the first-flush effect in roof-based rainwater harvesting, Part I: Water quality and soil accumulation. *Water*, 16, 1402. <https://doi.org/10.3390/w16101402>
- Li, H., Cheng, F., Wei, Y., Lydy, M. J., & You, J. (2017). Global occurrence of pyrethroid insecticides in sediment and the associated toxicological effects on benthic invertebrates: An overview. *Journal of Hazardous Materials*, 324(Part B), 258–271. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.10.056>
- Lin, M. -H., Lin, J. -F., Yu, M. -C., Wu, S. -N., Wu, C. -L., & Cho, H. -Y. (2022). Characterization in potent modulation on voltage-gated Na(+) current exerted by deltamethrin, a pyrethroid insecticide. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(23). <https://doi.org/10.3390/ijms232314733>
- Malaj, E., Von Der Ohe, P. C., Grote, M., Kühne, R., Mondy, C. P., Usseglio-Polatera, P., Brack, W., & Schäfer, R. B. (2014). Organic chemicals jeopardize the health of freshwater ecosystems on the continental scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(26), 9549–9554. <https://doi.org/10.1073/pnas.1321082111>
- Marni, N. A. (2011). *Pengaruh salinitas terhadap produksi dan gambaran patologi ikan mas (Cyprinus carpio)* [Tesis, Institut Pertanian Bogor]. Institut Pertanian Bogor.
- Nguyen, N. (2016). *Improving sustainability of striped catfish (Pangasianodon hypophthalmus) farming in the Mekong Delta, Vietnam through recirculation technology*. Wageningen University. <https://doi.org/10.18174/394644>
- Orso, G., Imperatore, R., Coccia, E., Rinaldi, G., Cicchella, D., & Paolucci, M. (2023). A deep survey of fish health for the recognition of useful biomarkers to monitor water pollution. *Environments*, 10, 219. <https://doi.org/10.3390/environments10120219>
- Phuong, N. T., & Oanh, D. T. H. (2010). Striped catfish aquaculture in Vietnam: A decade of unprecedented development. In S. S. De Silva & F. B. Davy (Eds.), *Success stories in Asian aquaculture*(pp. 131–147). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3087-0_7
- Polat, H., Erkoç, F. Ü., Viran, R., & Koçak, O. (2002). Investigation of acute toxicity of beta-cypermethrin on guppies *Poecilia reticulata*. *Chemosphere*, 49(1), 39–44. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00171-6](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00171-6)
- Rahman, M., & Hasan, M. (2019). Changes in haematological parameters of silver barb (*Barbonymus gonionotus*) due to exposure of pesticides, lamda-cyhalothrin and dimethoate. *Journal of Global Biosciences*, 8, 6368–6381.
- Riaz, G., Tabinda, A. B., Kashif, M., Yasar, A., Mahmood, A., Rasheed, R., Khan, M. I., Iqbal, J., Siddique, S., & Mahfooz, Y. (2018). Monitoring and spatiotemporal variations of pyrethroid insecticides in surface water, sediment, and fish of the river Chenab Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research International*, 25(23), 22584–22597. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-22584-2>

doi.org/10.1007/s11356-018-1963-9

- Richterová, Z., Máchová, J., Stará, A., Tumová, J., Velíšek, J., Ševčíková, M., & Svobodová, Z. (2014). Effects of cyhalothrin-based pesticide on early life stages of common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Biochemistry Research International*, 2014, 107373. <https://doi.org/10.1155/2014/107373>
- Salako, A. F., Amaeze, N. H., Shobajo, H. M., & Osuala, F. I. (2020). Comparative acute toxicity of three pyrethroids (Deltamethrin, cypermethrin and lambda-cyhalothrin) on guppy fish (*Poecilia reticulata* Peters, 1859). *Scientific African*, 9, e00504. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00504>
- Saravanan, R., Revathi, K., & Murthy, P. B. (2009). Lambda cyhalothrin induced alterations in *Clarias batrachus*. *Journal of Environmental Biology*, 30(2), 265-270.
- Shafer, T. J., Meyer, D. A., & Crofton, K. M. (2005). Developmental neurotoxicity of pyrethroid insecticides: critical review and future research needs. *Environmental Health Perspectives*, 113(2), 123-136. <https://doi.org/10.1289/ehp.7254>
- Stehle, S., & Schulz, R. (2015). Agricultural insecticides threaten surface waters at the global scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(18), 5750-5755. <https://doi.org/10.1073/pnas.1500232112>
- Tang, W., Wang, D., Wang, J., Wu, Z., Li, L., Huang, M., Xu, S., & Yan, D. (2018). Pyrethroid pesticide residues in the global environment: An overview. *Chemosphere*, 191, 990-1007. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.115>
- United States Environmental Protection Agency. (2002). *Method for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organism. Fifth edition*. United States Environmental Agency.
- Velmurugan, B., Selvanayagam, M., Cengiz, E. I., & Unlu, E. (2007). Histopathology of lambda-cyhalothrin on tissues (gill, kidney, liver and intestine) of *Cirrhinus mrigala*. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 24(3), 286-291. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2007.07.001>
- Vester, A. I., Chen, M., Marsit, C. J., & Caudle, W. M. (2019). A neurodevelopmental model of combined pyrethroid and chronic stress exposure. *Toxics*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/toxics7020024>
- Viran, R., Ünlü Erkoç, F., Polat, H., & Koçak, O. (2003). Investigation of acute toxicity of deltamethrin on guppies (*Poecilia reticulata*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 55(1), 82-85. [https://doi.org/10.1016/S0147-6513\(02\)00096-9](https://doi.org/10.1016/S0147-6513(02)00096-9)
- Wakil, W., Kavallieratos, N. G., Eleftheriadou, N., Haider, S. A., Qayyum, M. A., Tahir, M., Rasool, K. G., Husain, M., & Aldawood, A. S. (2024). A winning formula: Sustainable control of three stored-product insects through paired combinations of entomopathogenic fungus, diatomaceous earth, and lambda-cyhalothrin. *Environmental Science and Pollution Research International*, 31(10), 15364-15378. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-31824-1>
- Wedemeyer, G. A., & Yasutake, W. T. (1977). *Clinical methods for the assessment of the effects of environmental stress on fish health (Technical Paper 89)*. U.S. Fish and Wildlife Service.
- Wells, P. G. (2009). Aquatic toxicology: concepts, practice, new directions. In B. Ballantyne, T. C. Marrs, T. Syversen, D. A. Casciano, & S. C. Sahu (Eds.), *General, applied and systems toxicology*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470744307.gat092>
- Werner, I., & Young, T. M. (2018). Pyrethroid insecticides—Exposure and impacts in the aquatic environment. In D. A. Dellasala, & M. I. Goldstein (Eds.), *Encyclopedia of the anthropocene* (pp. 119-126). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12->

809665-9.09992-4

- Yao, R., Yao, S., Ai, T., Huang, J., Liu, Y., & Sun, J. (2023). Organophosphate pesticides and pyrethroids in farmland of the Pearl River Delta, China: Regional residue, distributions and risks. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(2). <https://doi.org/10.3390/ijerph20021017>
- Yekeen, T. A., Fawole, O. O., & Bakare, A. A. (2013). Evaluation of toxic effects of lambdacyhalothrin on the haematology and selected biochemical parameters of African catfish *Clarias gariepinus*. *Zoology and Ecology*, 23(1), 45–52. <https://doi.org/10.1080/21658005.2013.767613>
- Zheng, S., Chen, B., Qiu, X., Chen, M., Ma, Z., & Yu, X. (2016). Distribution and risk assessment of 82 pesticides in Jiulong River and estuary in South China. *Chemosphere*, 144, 1177–1192. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.09.050>