

## Toksistas Letal (LC<sub>50</sub>) Zat Surfaktan Linear Alkylbenzene Sulfonate terhadap Ikan Cere (*Gambusia affinis*)

## Lethal Toxicity (LC<sub>50</sub>) of Linear Surfactant Alkylbenzene Sulfonate on Mosquito Fish (*Gambusia affinis*)

IFFI RIZKIYA<sup>1</sup>, YUNIARTI DWI ASTUTI<sup>1</sup>, NABILA DHIYA ULHAQ<sup>1</sup>, KANIA DEWI RAFA<sup>1</sup>,  
DELA PUTRI AMALIA<sup>1</sup>, DYAH PERWITASARI<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa program Studi Biosains Hewan, Departemen Biologi, FMIPA IPB, Bogor 16680

<sup>2</sup>Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

Diterima 16 Juni 2022/Diterima dalam Bentuk Revisi 20 April 2023/Disetujui 21 April 2023

Mosquito fish (*Gambusia affinis*) is a species often used as a bioindicator because it has high adaptability to water quality changes. Linear alkylbenzene sulfonate (LAS) is a surfactant often found in waters and can cause death for the biota that lives in it. This study aimed to analyze the impact of LAS surfactant on the survival of mosquito fish and to determine the minimum concentration of LAS surfactant that can cause death and tissue damage. Research conducted during April 2022 using 500 mosquito fishes. We did several tests, including a lethal toxicity test to find out the concentration of LAS surfactant that can cause death and tissue damage. The results showed that the LC<sub>50</sub> values of LAS surfactants at exposure times of 24, 48, 72, and 96 hours were 7.64, 7.43, 7.29, and 6.83 mg/L, respectively. Mosquito fish blood glucose levels at LAS concentrations of 0, 2.65, 4.30, 6.97, and 11.3 were 56, 75, 79.6, 95, and 95.6 mg/dl. Exposure to LAS surfactant in mosquito fish can cause gill damage in the form of edema, lamella fusion, hyperplasia, lamellae epithelium swelling, and gill filaments necrosis. Another damage occurs to the liver in the form of blockage of blood vessels and sinusoids, hyperplasia, widening of the hepatic sinusoid gap, fat accumulation, and necrosis of hepatocytes.

Key words: ikan cere, LC<sub>50</sub>, linear alkylbenzene sulfonate, surfaktan

### PENDAHULUAN

Ikan berperan sebagai indikator biologis kualitas air karena memiliki tingkat kepekaan yang tinggi terhadap perubahan yang terjadi pada lingkungan perairan (Sitompul *et al.* 2013). Salah satu spesies yang sering digunakan sebagai bioindikator kualitas air adalah ikan cere (*Gambusia affinis*). Ikan cere seringkali digunakan sebagai bioindikator kualitas air karena memiliki toleransi yang tinggi terhadap perubahan suhu dan salinitas yang memungkinkan adanya adaptasi terhadap kondisi lingkungan dan ekosistem yang berbeda (Jakšić *et al.* 2008). Karakteristiknya yang mudah beradaptasi menyebabkan ikan ini dapat ditemukan di berbagai daerah (Tolar *et al.* 2001). Pengumpulan data dan budidaya dalam laboratorium yang mudah menyebabkan ikan cere banyak dijadikan sebagai spesies bioindikator dalam mengetahui kualitas air (Jakšić *et al.* 2008).

Perubahan kondisi kualitas air dapat menyebabkan perubahan pada organisme yang hidup di habitat tersebut, mulai dari terjadinya ketidaknormalan pada kondisi fisiologi ikan, perubahan biokimia pada sel tunggal hingga perubahan pada tingkat populasi (Rautenberg *et al.* 2015; Hertika *et al.* 2021). Salah satu penyebab perubahan kualitas air yaitu aktivitas manusia. Kegiatan industri maupun rumah tangga merupakan sebagian besar dari hasil aktivitas manusia yang dapat menyebabkan perubahan kualitas air, di mana limbah hasil kegiatan industri maupun rumah tangga dapat menjadi stressor bagi ikan (Sahetapy & Borut 2018). Salah satu stressor yang dapat menyebabkan perubahan pada kualitas air ialah *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) sangat banyak digunakan sebagai bahan campuran deterjen dan pembersih rumah tangga (Gouda *et al.* 2022).

LAS adalah surfaktan anionik yang merupakan senyawa aktif detergen. LAS dapat terurai secara hayati (*biodegradable*) dan biasanya terkandung

\*Penulis korespondensi:

E-mail: witafar@apps.ipb.ac.id

pada air buangan sekitar 1– 20mg/L (Manousaki *et al.* 2004; Zigolo *et al.* 2020). LAS dapat terurai pada kondisi aerob (cukup oksigen dan mikroorganisme), namun degradasi ini secara alami membutuhkan waktu yang lama sekitar 9 hari dan hanya mencapai 50% (Purnamasari 2014). LAS tidak dapat terurai dalam kondisi anaerob (tidak ada udara), sehingga LAS tidak dapat terurai dengan kondisi sungai–sungai di Indonesia yang sebagian besar keruh.

Penelitian sebelumnya menunjukkan kandungan surfaktan LAS dalam air dapat menyebabkan mortalitas telur dan abnormalitas pada larva ikan patin (*Pangasius hypophthalmus Sauvage*) (Supriono *et al.* 2005). Selain itu paparan LAS terhadap ikan putih Kaspia (*Rutilus frisii kutum*) diketahui menyebabkan perubahan histologi insang, hati, dan ginjal (Naeemi *et al.* 2013). Namun, informasi mengenai nilai toksisitas letal ( $LC_{50}$ ) zat surfaktan LAS terhadap ikan cere masih terbatas, oleh karena itu penelitian ini bertujuan menganalisis dampak surfaktan LAS terhadap kelangsungan hidup ikan cere, serta menentukan konsentrasi minimal surfaktan LAS yang dapat menyebabkan kematian maupun kerusakan jaringan pada ikan cere.

## BAHAN DAN METODE

**Waktu dan Tempat.** Penelitian dilaksanakan pada bulan April 2022. Berlokasi di laboratorium bioassay Instalasi Riset Lingkungan Perikanan Budidaya dan Toksikologi, Cibalagung, Bogor. Ikan uji dikumpulkan dari perairan tawar di sekitar lokasi penelitian pada tanggal 8 April dan diaklimatisasi selama 7 hari.

**Prosedur Eksperimen.** Alat yang digunakan pada penelitian ini meliputi wadah pengujian berupa akuarium kaca ukuran 70 × 25 × 30 cm sebanyak 21 buah, aerator, gelas ukur, pipet, labu takar, dan *bulb*. Bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi hewan uji berupa ikan cere dewasa berukuran 1-2 cm sebanyak 500 ekor, zat surfaktan LAS murni, aseton sebagai pelarut, akuabides, dan air tawar untuk media pemeliharaan.

**Aklimatisasi.** Aklimatisasi dilakukan selama ±7 hari bertujuan untuk membuat ikan terbiasa dengan lingkungan barunya sehingga terbiasa dengan lingkungan laboratorium (Shabrina *et al.* 2018). Mortalitas ikan uji selama aklimatisasi harus ≤10% dari jumlah populasi.

**Uji Pendahuluan.** Uji pendahuluan menggunakan deret konsentrasi LAS sebesar 0 mg/L, 3 mg/L, 10 mg/L, 30 mg/L, 100 mg/L, dan 300 mg/L. Masing-masing konsentrasi diuji menggunakan 10 ekor ikan

dengan 3 kali ulangan. Ikan diamati pada jam ke-24 dan 48 untuk menentukan ambang batas racun letal surfaktan (*critical range*) terhadap benih ikan. Tujuannya untuk menentukan konsentrasi ambang atas ( $LC_{100}$ -24 jam) dan ambang bawah ( $LC_0$ -48 jam) (Busvine 1971).

**Uji Toksisitas Akut.** Uji ini dilakukan untuk mengetahui konsentrasi di mana ikan uji mati 50% selama jangka waktu 96 jam ( $LC_{50}$ -96 jam) (Ihsan *et al.* 2018). Untuk menentukan konsentrasi uji toksisitas akut berdasarkan hasil dari uji pendahuluan adalah sebagai berikut:

$$\text{Log } \frac{N}{n} = K (\log \frac{a}{n})$$

$$\frac{a}{n} = \frac{b}{a} = \frac{c}{b} = \frac{d}{c} = \frac{e}{d}$$

Keterangan:

N = konsentrasi ambang atas

n = konsentrasi ambang bawah

a = konsentrasi terkecil dalam deret konsentrasi yang ditentukan

K = jumlah konsentrasi yang diujikan

Uji toksisitas akut ( $LC_{50}$ -96 jam) dilakukan dengan diferensiasi 7 konsentrasi surfaktan yang berbeda dengan pengulangan 3 kali. Pengamatan mortalitas dilakukan pada jam ke-24, 48, 72 dan 96.

**Analisis Glukosa Darah.** Sampel darah ikan diambil dengan cara memotong bagian ekornya, kemudian darah diteteskan pada strip *glucometer EasyTouchGCU* untuk mengetahui kadar glukosa yang terkandung dalam sampel darah tersebut (Hertika *et al.* 2021).

**Analisis Histologi.** Analisis histologi insang dan hati mengikuti teknik standar (Roberts 2001). Sampel disiapkan dalam etanol untuk dehidrasi, kemudian dibersihkan dengan *xilen*. Sampel yang telah dibersihkan kemudian difiksasi dengan lilin parafin cair pada suhu 58°C dan dibenamkan dalam blok parafin. Sampel kemudian dipotong dengan ukuran 6µm menggunakan mikrotom dan diwarnai dengan hematoxylin dan eosin. Bagian yang diwarnai diperiksa dengan mikroskop cahaya (Aghamirkarimi *et al.* 2017).

**Analisis Data.** Nilai  $LC_{50}$  dianalisis probit menggunakan EPA Probit Analysis Program. Data kadar glukosa darah dianalisis dengan uji ANOVA menggunakan Microsoft Excel.

## HASIL

**Uji Pendahuluan.** Hasil uji pendahuluan didapatkan bahwa pada konsentrasi 30 mg/L semua hewan uji mati dalam waktu 24 jam. Nilai tersebut kemudian

dijadikan batas ambang atas ( $LC_{100}$ -24 jam). Pada konsentrasi 0 mg/L semua hewan uji masih hidup hingga 48 jam dan nilai tersebut menjadi batas ambang bawah ( $LC_0$ -48 jam) (Tabel 1). Kedua nilai tersebut kemudian dimasukkan ke dalam persamaan logaritma dan didapatkan konsentrasi sebesar 0, 1,63, 2,65, 4,30, 6,97, 11,30, dan 18,23 mg/L untuk selanjutnya digunakan dalam uji toksisitas akut.

**Uji Toksisitas Akut.** Data hasil uji toksisitas akut menunjukkan bahwa persentase kematian atau mortalitas semakin meningkat seiring dengan lamanya waktu pemaparan dan besarnya konsentrasi yang diberikan (Tabel 2). Pada perlakuan kontrol tidak ditemukan ikan yang mati, menunjukkan bahwa media pemeliharaan dan vitalitas ikan cere selama pengujian dalam kondisi baik secara *in vivo*, yakni ikan dalam kondisi sehat atau tidak ada kelainan. Data tersebut kemudian dianalisis probit dan menunjukkan nilai  $LC_{50}$  pada waktu pemaparan berturut-turut adalah 7,64, 7,43, 7,29, dan 6,83 mg/L (Gambar 1). Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin lama waktu pemaparan maka akan semakin menurun nilai  $LC_{50}$  surfaktan LAS terhadap ikan cere.

**Analisis Glukosa Darah.** Sampel darah diambil pada jam ke-96 pengamatan dari setiap perlakuan (Gambar 2). Hasil menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi surfaktan LAS yang diberikan, maka semakin tinggi pula kadar glukosa yang terdapat pada darah ikan cere.

**Analisis Histologi Insang.** Pada perlakuan kontrol diketahui bahwa insang ikan telah mengalami edema atau pembengkakan sel dikarenakan sebelumnya

ikan hidup pada habitat tercemar (Gambar 3). Gejala kerusakan berupa fusi lamella dan edema ditemukan pada perlakuan 2.65 mg/L (Gambar 4). Kerusakan lainnya berupa hiperplasia pada insang terlihat pada perlakuan 6.97 mg/L (Gambar 5). Pada konsentrasi tertinggi ditemukan kerusakan berupa pembengkakan epitel lamella dan nekrosis pada filament insang (Gambar 6).

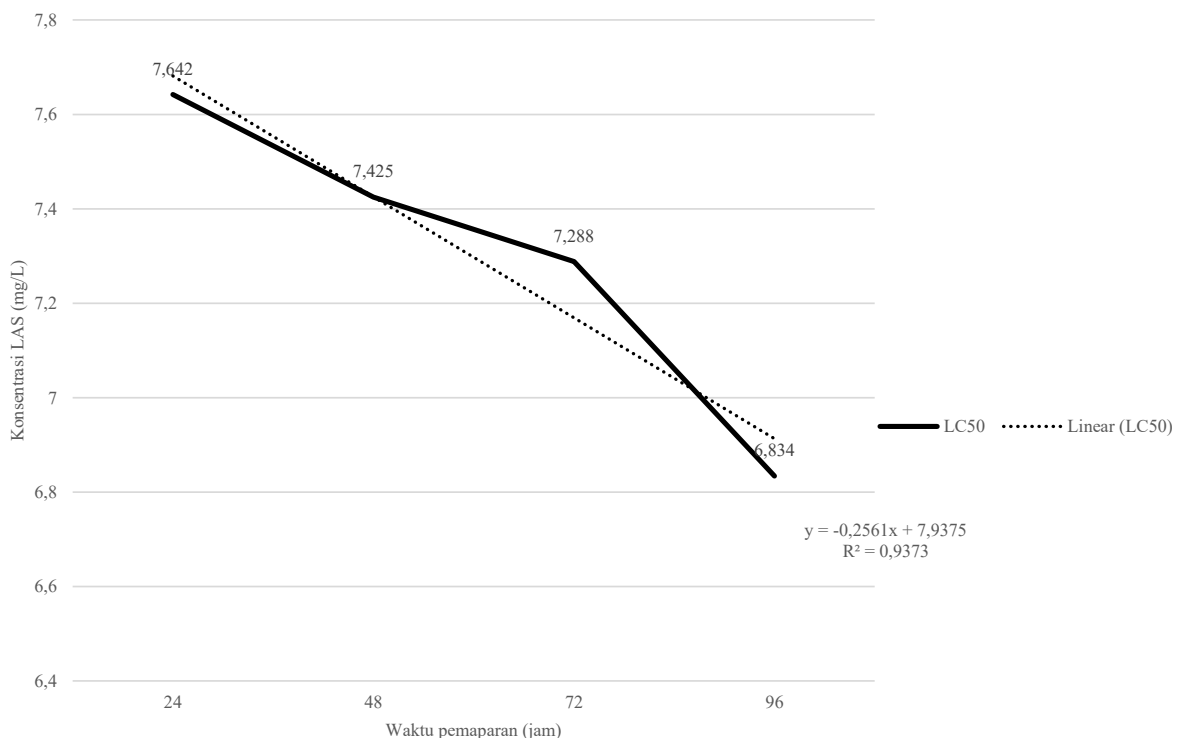
**Analisis Histologi Hati.** Pada perlakuan kontrol tidak ditemukan adanya gejala kerusakan (Gambar 7).

Tabel 1. Hasil uji pendahuluan untuk menentukan nilai  $LC_{100}$ -24 jam dan  $LC_0$ -48 jam

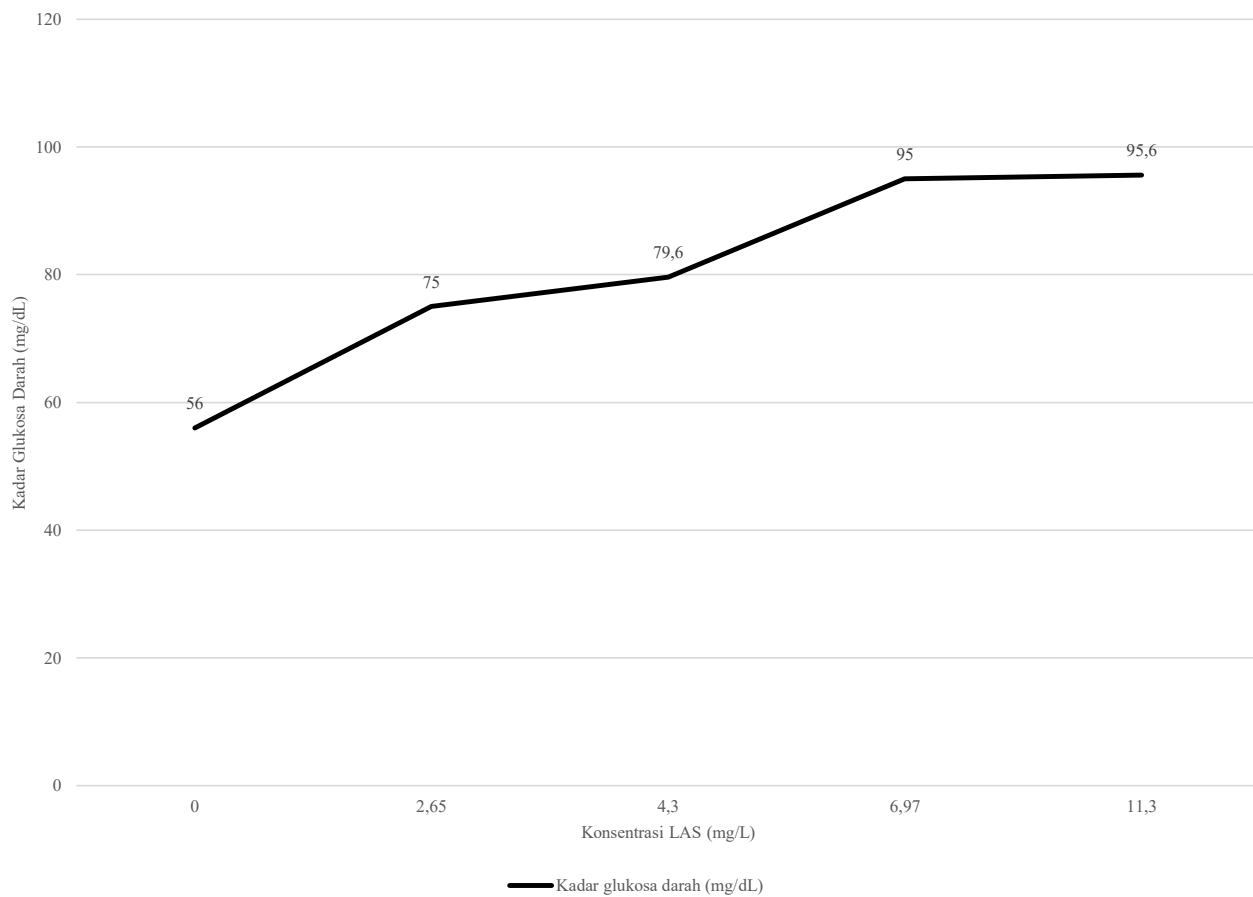
Konsentrasi LAS (mg/L)	Mortalitas (%) dalam waktu pengamatan (jam)		
	0	24	48
0	0	0	0
3	0	3,3	10
10	0	73,3	83,3
30	0	100	100
100	0	100	100
300	0	100	100
1.000	0	100	100

Tabel 2. Hasil uji toksisitas akut dalam waktu pengamatan 0, 24, 48, 72, dan 96 jam

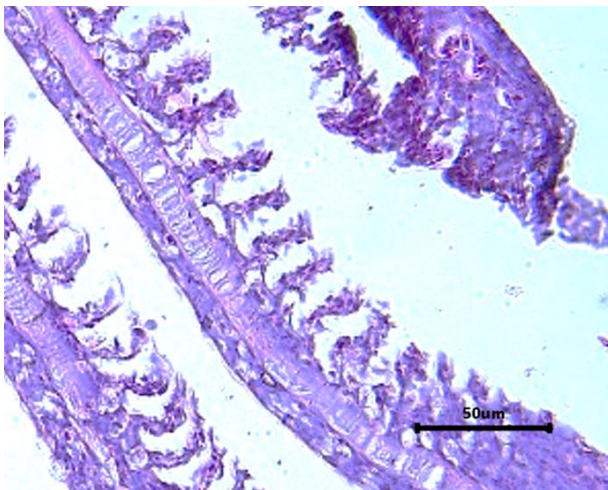
Konsentrasi LAS (mg/L)	Mortalitas (%) dalam waktu pengamatan (jam)				
	0	24	48	72	96
0	0	0	0	0	0
1.63	0	0	0	0	0
2.65	0	0	0	0	0
4.3	0	0	0	6,7	16,7
6.97	0	20	30	30	36,7
11.3	0	100	100	100	100
18.23	0	100	100	100	100



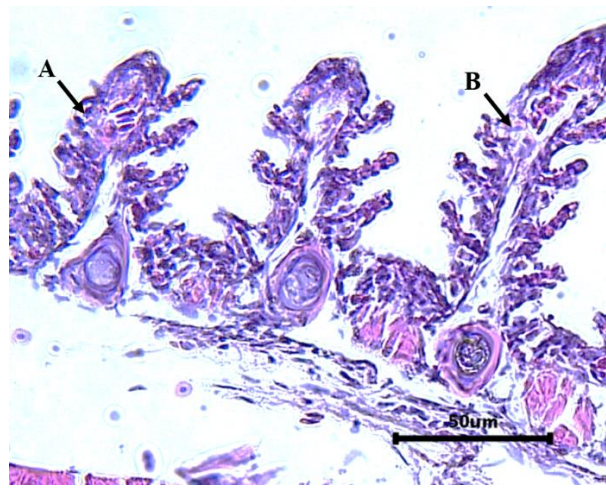
Gambar 1. Grafik nilai  $LC_{50}$  surfaktan LAS terhadap ikan cere pada waktu pemaparan tertentu



Gambar 2. Grafik kadar glukosa darah ikan cere pada jam ke-96 pengamatan



Gambar 3. Histologi insang perlakuan kontrol (0 mg/L) pada 96 jam pengamatan, perbesaran 40x.

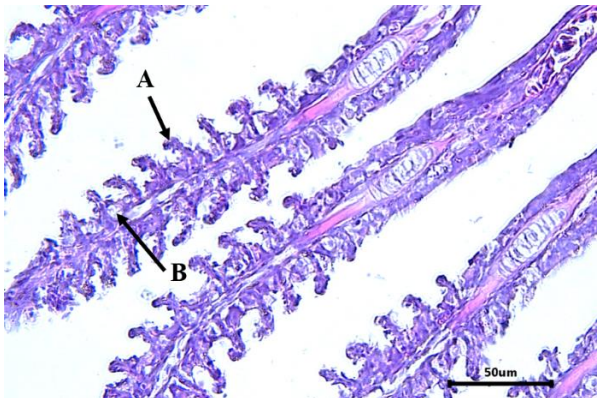


Gambar 4. Histologi insang perlakuan 2,65 mg/L pada 96 jam pengamatan, perbesaran 40x. A = fusi lamela, B = edema

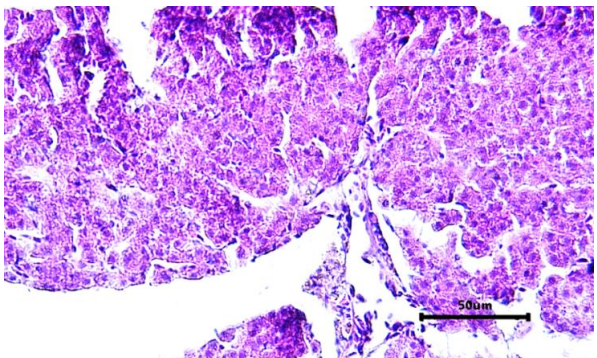




Gambar 5. Histologi insang perlakuan 6.97 pada 96 jam pengamatan, perbesaran 40x. A = Hiperplasia

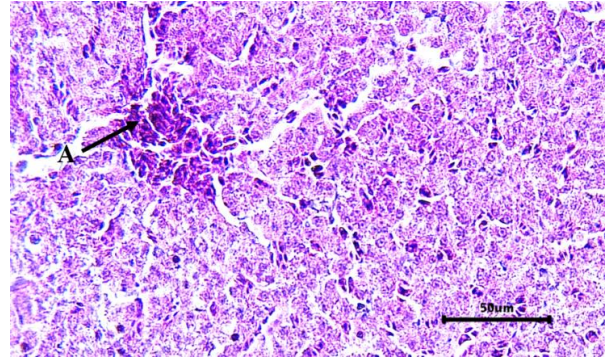


Gambar 6. Histologi insang perlakuan 18,23 mg/L pada 96 jam pengamatan, perbesaran 40x. A = Pembengkakan epitel lamela, B = Nekrosis filamen insang

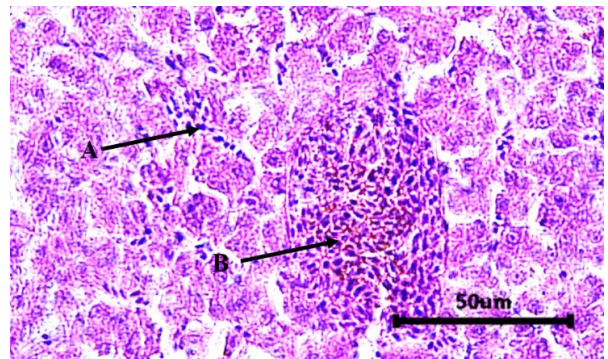


Gambar 7. Histologi hati perlakuan kontrol (0 mg/L) pada 96 jam pengamatan, perbesaran 40x

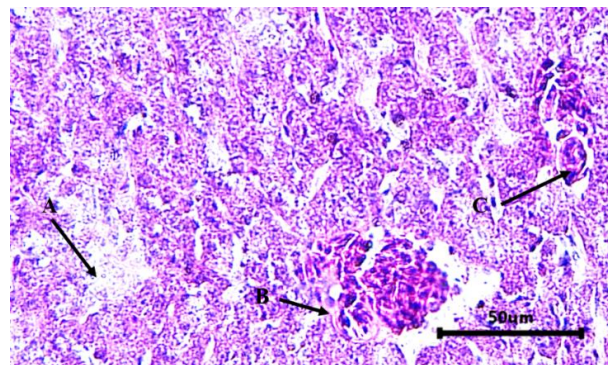
Penyumbatan pembuluh darah yang disebabkan oleh LAS ditemukan pada perlakuan 4,3 mg/L (Gambar 8). Penyumbatan sinusoid dan hiperplasia terlihat pada konsentrasi LAS 11,3 mg/L (Gambar 9) dan pada konsentrasi 18,23 mg/L ditemukan kerusakan berupa pelebaran sinusoid, akumulasi lemak, serta nekrosis hepatosit (Gambar 10).



Gambar 8. Histologi hati perlakuan 4.3 mg/L pada 96 jam pengamatan, perbesaran 40x. A = penyumbatan pembuluh darah



Gambar 9. Histologi hati perlakuan 11.3 mg/L pada 96 jam pengamatan, perbesaran 40x. A = penyumbatan sinusoid, B = hiperplasia



Gambar 10. Histologi hati perlakuan 18.23 mg/L pada 96 jam pengamatan, perbesaran 40x. A = pelebaran celah hepatic sinusoid, B = akumulasi lemak, C = nekrosis pada hepatosit

**Analisis Kualitas Air.** Data hasil analisis kualitas air menunjukkan nilai yang sesuai dengan standar baku mutu dari setiap parameter (Tabel 3).

## PEMBAHASAN

Nilai  $LC_{50}$ -96 jam ikan cere pada penelitian ini adalah 6.83 mg/L. Konsentrasi tersebut termasuk ke dalam golongan zat cukup beracun (*moderately toxic*)

Tabel 3. Hasil analisis kualitas air

Parameter	Hasil analisis
Suhu (°C)	25,92±0,13
pH	7,81±0,18
Ammoniak (mg/L)	0,1632±0,08
Nitrit (mg/L)	0,0324±0,0
Nitrat (mg/L)	5,9056±0,23
Oksigen terlarut (mg/L)	4,824±0,80
Ortho-posphat	0,3768±0,03

karena nilainya yang berada antara 1.0-10.0 mg/L (Tan *et al.* 2022). Akibatnya ikan cere mengalami kenaikan kadar glukosa darah serta beberapa perubahan pada histologinya.

Kadar glukosa darah dapat dijadikan sebagai indikator stres pada ikan (Suwandi *et al.* 2013). Respon stres ikan cere dapat dilihat melalui pengukuran darah, yaitu nilai glukosa darah yang semakin meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi surfaktan yang diberikan. Pada ikan kadar glukosa darah yang normal umumnya berkisar antara 40-90 mg/dl (Rahardjo *et al.* 2011). Karbohidrat merupakan sumber energi utama bagi banyak organisme dan cadangannya digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi dalam kondisi stres (Kavitha *et al.* 2012). Stres pada ikan didefinisikan sebagai sejumlah respon fisiologis yang terjadi saat ikan berusaha mempertahankan homeostatis. Ikan yang sedang mengalami stres, akan mengembangkan suatu kondisi homeostatis yang baru dengan mengubah metabolismenya. Kadar gula darah yang tinggi akan merangsang kelenjar tiroid dan meningkatkan produksi tiroksin. Tingginya tiroksin dapat memicu limfositopenia (limfosit rendah) dalam darah dan menyebabkan sistem saraf simpatis bereaksi berlebihan, yang mengakibatkan adanya respon dari kelenjar getah bening dan meningkatkan laju pernapasan dan tekanan darah (Nilsson 2016). Pada level stres yang sangat tinggi, diikuti dengan peningkatan yang cepat dari glukosa darah pada level tinggi akan mengakibatkan kematian ikan (Masjudi *et al.* 2016).

Peningkatan kadar glukosa menunjukkan respon stres yang dipicu oleh keberadaan surfaktan dalam air. Kandungan di surfaktan LAS dapat menyebabkan kerusakan pada organ penting ikan. Insang menjadi organ pertama yang terpapar zat racun. Kerusakan insang terjadi sejalan dengan semakin tingginya konsentrasi surfaktan LAS. Peningkatan surfaktan LAS pada insang terjadi akibat intensitas masuknya surfaktan LAS secara terus menerus ke dalam tubuh ikan. Perairan yang mengandung surfaktan LAS sangat beracun bagi biota yang hidup di dalamnya.

Hiperplasia sel lamella pada insang dimulai dengan terjadinya edema. Edema merupakan pembengkakan sel yang terjadi akibat adanya perubahan sistem permeabilitas membran di tingkat sel ataupun jaringan

(Indriyani *et al.* 2014). Semakin banyak terjadinya edema dapat memicu sel atau jaringan tersebut mengalami nekrosis. Sel yang mengalami nekrosis akan melepaskan diri dari jaringan penyokongnya sehingga jaringan yang berada didekatnya akan menjadi rentan terhadap iritan. Sel lamella memiliki fungsi yang penting pada proses difusi O<sub>2</sub> dalam respirasi ikan. Lamella yang terisi cairan dan membengkak merupakan upaya mempertahankan diri terhadap kondisi lingkungan. Selain insang, hati juga dapat digunakan sebagai analisis histopatologi.

Hati merupakan organ yang berperan dalam detoksifikasi. Hati bertanggung jawab atas biotransformasi zat-zat berbahaya menjadi zat-zat yang tidak berbahaya (Varsha *et al.* 2013). Kerusakan organ hati yang dapat terjadi pada konsentrasi LAS yang tinggi adalah penyumbatan sinusoid. Sinusoid adalah pembuluh darah kapiler yang merupakan percabangan dari vena porta dan arteri hepatis. Penyumbatan yang terjadi pada sinusoid ini akan mengakibatkan aliran darah terganggu dan akan menyebabkan pembengkakan hati (Yanto & Hasan 2015). Penyumbatan sinusoid yang diakibatkan karena surfaktan juga terjadi pada ikan putih kaspia (Naeemi *et al.* 2013) dan ikan lele dumbo (Yanto & Hasan 2015). Selain penyumbatan sinusoid, kerusakan hati yang bisa terjadi adalah hiperplasia hepatosit. Hiperplasia merupakan salah satu respon adaptif terhadap infeksi benda asing (parasit) dan lingkungan air yang buruk (Roberts 2001). Hiperplasia akan mengakibatkan kerusakan jaringan yang ditandai dengan pertambahan ukuran sel sehingga antara sel yang satu dengan sel yang lain saling lepas (Juanda & Edo 2018). Kasus hiperplasia pada organ hati juga sebelumnya telah ditemukan pada ikan kurisi (*Nemipterus* sp.) (Oktafitria & Maulidina 2018).

Pengukuran kualitas air pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kelayakan media uji terhadap benih ikan cere saat penelitian. Derajat keasaman atau pH yang terukur pada seluruh perlakuan konsentrasi surfaktan yaitu 7,18. Kisaran pH air yang baik untuk budidaya ikan berkisar diantara 6-9, dan pH air kurang dari 5,5 akan berdampak toksik (Huri & Syafriadiman 2010). Kadar pH air yang terukur selama penelitian ini masih dapat menunjang keperluan kehidupan ikan cere secara normal. Suhu pada media pemeliharaan ikan cere untuk semua perlakuan selama penelitian berkisar 25,92°C, ini masih dalam kisaran yang baik untuk pemeliharaan ikan cere. Menurut Effendi *et al.* (2015), suhu optimum untuk pertumbuhan ikan berkisar antara 25-32°C.

Oksigen terlarut merupakan faktor terpenting dalam menentukan kehidupan ikan. Kisaran kandungan oksigen terlarut (DO) pada media

pemeliharaan ikan cere adalah 4.824 mg/L dan masih dalam kisaran DO yang baik untuk pemeliharaan ikan cere. Ikan dapat bertahan hidup pada kandungan DO lebih dari 0,3 mg/L, sangat dibawah batas toleransi untuk kebanyakan budidaya ikan (Popma & Masser 1999). Rendahnya kadar oksigen dalam air dapat menyebabkan hipoksia. Hipoksia terjadi apabila hemoglobin yang mengikat oksigen dan dibawa oleh darah ke dalam jaringan tidak dapat memenuhi untuk berbagai keperluan metabolisme dalam tubuh. Apabila ikan mengalami hipoksia maka sistem fisiologis dalam tubuhnya tidak akan berfungsi dengan baik sehingga menyebabkan stres yang berdampak pada keadaan jaringan dan menimbulkan efek patologis pada organ seperti peningkatan kadar glukosa (Sipahutar *et al.* 2013).

Salah satu penyebab rendahnya kandungan DO dalam air adalah meningkatnya kadar zat terlarut di dalam air seperti amoniak dan fenol. Amonia adalah senyawa nitrogen dalam air yang bersifat toksik (Ruyet *et al.* 1995). Paparan amoniak terhadap organisme akuatik juga dapat menyebabkan penurunan laju pertumbuhan, erosi dan degenerasi jaringan, serta penurunan imunitas. Selain itu, keberadaan senyawa fenol dalam perairan bahkan dalam konsentrasi yang rendah dapat mengakibatkan stres metabolik, merusak fungsi branchial dan cenderung menyebabkan kerusakan jaringan pada ikan.

Surfaktan dalam media pemeliharaan penelitian ini dapat menimbulkan buih atau busa-busa di permukaan air yang dapat menyebabkan hubungan antara permukaan air dan udara bebas tertutup sehingga oksigen terlarut dalam air tidak bisa bertambah (Garno 2004). Ikan seharusnya hidup berada di perairan yang bebas dari pencemaran air.

**Kesimpulan.** Nilai  $LC_{50}$ -96 jam surfaktan LAS terhadap ikan cere adalah 6.83 mg/L, termasuk golongan zat cukup beracun (*moderately toxic*). Kadar glukosa darah pada ikan cere semakin meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi LAS pada lingkungan, dengan kadar tertinggi 95,6 mg/dl yang di luar kadar glukosa normal pada ikan. Surfaktan LAS dapat menyebabkan berbagai kerusakan pada insang dan hati. Kerusakan yang terjadi pada insang antara lain edema, fusi lamella, hiperplasia, pembengkakan epitel lamela, dan nekrosis filamen insang. Sedangkan pada hati terjadi penyumbatan pembuluh darah dan sinusoid, hiperplasia, pelebaran sinusoid, akumulasi lemak, serta nekrosis pada hepatosit.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Ibu Prof. Dr. Ir. Raden Roro Dyah Perwitasari M.Sc. selaku dosen pembimbing selama pelaksanaan penelitian.

Selanjutnya terima kasih kepada Instalasi Riset Lingkungan Perikanan Budidaya dan Toksikologi, Cibalagung, Bogor beserta para peneliti dan teknisi yang turut membantu dari awal hingga akhir penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aghamirkarimi S, Mashinchian MA, Sharifpour I, Jamili S, Mostafavi GP. 2017. Sublethal effects of copper nanoparticles on the histology of gill, liver and kidney of the caspian roach, *Rutilus rutilus caspicus*. *Global Journal of Environmental Science and Management* 3:323–332. <https://doi.org/10.22034/gjesm.2017.03.03.009>
- Effendi H, Utomo BA, Darmawangsa GM. 2015. Phytoremediation of freshwater Crayfish (*Cherax quadricarinatus*) culture wastewater with spinach (*Ipomoea aquatica*) in aquaponic system. *Journal of the Bioflux Society* 8:421–430.
- Garno SY. 2004. Biomanipulasi: Paradigma baru dalam pengendalian limbah organik pada budidaya perikanan di waduk dan tambak. Orasi Ilmiah Ahli Peneliti Utama. Jakarta: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- Gouda AMR, Hagraas AE, Okbah MA, El-Gammal MI. 2022. Influence of the linear alhylbenzene sulfonate (LAS) on hematological and biochemical parameters of nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 29:1006-1013. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.09.074>
- Hertika AMS, Arfiati D, Lusiana ED, Putra RBDS. 2021. Analisis hubungan kualitas air dan kadar glukosa darah Gambusia affinis di perairan Sungai Brantas. *JFMR* 5:516–524. <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2021.005.03.4>
- Huri E, Syafriadiman. 2010. Pengaruh Konsentrasi  $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  (Aluminium Potassium Sulfat) terhadap perubahan bukaan operkulum dan sel jaringan insang ikan nila merah (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Berkala Perikanan Terubuk* 38:64–79.
- Ihsan T, Edwin T, Husni N, Rukmana WD. 2018. Uji toksisitas akut dalam penentuan  $LC_{50}$ -96H insektisida klorpirifos terhadap dua jenis ikan budidaya danau kembar, Sumatera Barat. *Jurnal Ilmu Lingkungan* 16:98-103. <https://doi.org/10.14710/jil.16.1.98-103>
- Indriyani D, Yusflati R, Elvyra. 2014. Struktur insang ikan *Ompok hypophthalmus* (Bleeker, 1846) dari perairan Sungai Siak Kota Pekanbaru. *JOM FMIPA*. 1:402–408.
- Jakšić Ž, Hamer B, Landeka N, Batel R. 2008. Western mosquitofish as a bioindicator of exposure to organochlorine compounds. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 71:426–435. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2007.11.006>
- Juanda S, Edo SI. 2018. Histopatologi insang, hati dan usus ikan lele (*Clarias gariepinus*) di kota Kupang, Nusa Tenggara Timur. *Saintek Perikanan* 14:23–29.
- Kavitha C, Ramesh M, Kumaran SS, Lakshmi SA. 2012. Toxicity of *Moringa oleifera* seed extract on some hematological and biochemical profiles in a freshwater fish, *Cyprinus carpio*. *Experimental and Toxicologic Pathology* 64:681–687. <https://doi.org/10.1016/j.etp.2011.01.001>
- Manousaki E, Psillakis E, Kalogerakis M, Mantzavinos D. 2004. Degradation of sodium dodecylbenzene sulfonate in water by ultrasonic irradiation. *Water Research* 38:3751-3759. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.06.002>
- Masjudi H, Tang UM, Syawal H. 2016. Kajian tingkat stres ikan tapah (*Wallago leeri*) yang dipelihara dengan pemberian pakan dan suhu yang berbeda. *Berkala Perikanan Terubuk*. 44:69-83. <http://doi.org/10.31258/terubuk.44.3.69%20-%2083>



- Naeemi A, Jamili S, Shabanipour N, Mashinchian A, Shariati Feizabadi S. 2013. Histopathological changes of gill, liver and kidney in Caspian kutum exposed to Linear Alkylbenzene Sulfonate. *Iranian Journal of Fisheries Sciences* 12:887–897.
- Nilsson G. 2016. *The Physiology of Fishes*. 4th ed.). Norway:Marine Biology Research.
- Oktafitria D, Maulidina N. 2018. Kajian kesehatan ikan kurisi (*Nemipterus* sp.) di TPI Kabupaten Tuban berdasarkan histologi hati dan insang. *Jurnal Ilmiah Teknosains* 4:1-5.
- Purnamasari EN. 2014. Karakteristik kandungan linear alkyl benzene sulfonat (LAS) pada limbah cair laundry. *Jurnal Media Teknik* 11:32-36.
- Rahardjo M, Sjafei D, Affandi R, Sulistiono H. 2011. Iktiologi. Bandung: Lubuk Agung.
- Rautenberg GE, Amé MV, Monferrán MV, Bonansea RI, Hued AC. 2015. A multi-level approach using *Gambusia affinis* as a bioindicator of environmental pollution in the middle-lower basin of Suquia River. *Ecological Indicators* 48:706–720. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.09.025>
- Roberts RJ. 2001. *Fish Pathology*. 3rd ed. London: Saunders Publishing.
- Ruyet JPL, Chartois H, Quemener L. 1995. Comparative acute ammonia toxicity in marine fish and plasma ammonia response. *Aquaculture* 136:181-194. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)01026-2](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)01026-2)
- Sahetapy JMF, Borut RR. 2018. Pengaruh perbedaan konsentrasi deterjen bubuk terhadap frekuensi bukaan operkulum dan kelangsungan hidup ikan mas (*Cyprinus carpio*). *Jurnal TRITON* 14:35–40.
- Shabrina DA, Hastuti S, Subandiyono. 2018. Pengaruh probiotik dalam pakan terhadap performa darah, kelulushidupan, dan pertumbuhan ikan tawes (*Puntius javanicus*). *Jurnal Sains Akuakultur Tropis* 2:26–35.
- Sipahutar LW, Aliza D, Winaruddin, Nazaruddin. 2013. Gambaran histopatologi insang ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yang dipelihara dalam temperatur air di atas normal. *Jurnal Medika Veterinaria* 7:2000–2002. <https://doi.org/10.21157/j.med.vet.v7i1.2912>
- Sitompul RM, Barus TA, Ilyas S. 2013. Batak fish (*Neolissochilus sumatranus*) as bioindicator of heavy metal pollution of Pb (lead) and Cd (Cadmium) in Asahan River North Sumatera (in Bahasa Indonesia). *Jurnal Biosains Unimed* 1:67–76.
- Supriono, Lisnawati L, Djokosetiyanto D. 2005. Pengaruh linear alkylbenzene sulfonate terhadap mortalitas, daya tetas telur dan abnormalitas larva ikan patin (*Pangasius hypophthalmus* Sauvage). *Jurnal Akuakultur Indonesia* 4:69–78.
- Suwandi R, Nugraha R, Zulfamy KE. 2013. Aplikasi ekstrak daun jambu *Psidium guajava* var. pomifera pada proses transportasi ikan nila (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia* 16:69–78.
- Tan Y, Chen W, Liao G, Li X, Wang J, Tang Y, Li L. 2022. Strategy for improving photocatalytic ozonation activity of g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> by halogen doping for water purification. *Applied Catalysis B: Environmental* 306:121133. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2022.121133>
- Tolar JF, Mehollin AR, Watson RD, Angus RA. 2001. Mosquitofish (*Gambusia affinis*) vitellogenin: Identification, purification, and immunoassay. *Comparative Biochemistry and Physiology - C Toxicology and Pharmacology* 128:237-245. [https://doi.org/10.1016/s1532-0456\(00\)00194-0](https://doi.org/10.1016/s1532-0456(00)00194-0)
- Varsha J, Mishra KD, Pandey G. 2013. Effects of linear alkyl benzene sulfonate on the liver tissues of *Puntius ticto* fish. *International Journal of Chemical and Life Sciences* 2:1068–1070.
- Yanto H, Hasan H. 2015. Pengaruh deterjen terhadap kerusakan jaringan insang, hati, dan tubuh serta pertumbuhan ikan lele dumbo (*Clarias gariepinus*). *Jurnal Ruaya : Jurnal Penelitian Dan Kajian Ilmu Perikanan Dan Kelautan* 6:6–15. <https://doi.org/10.29406/jr.v6i2.2202>
- Zigolo MA, Irazusta VP, Rajal VB. 2020. Correlation between initial biodegradability determined by docking studies and structure of alkylbenzene sulfonates: A new tool for intelligent design of environmentally friendly anionic surfactants. *Science of The Total Environment* 728:1–13. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138731>