

Pengaruh Larutan Benzalkonium Klorida dalam Air terhadap Sintasan Anakan Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*)

Benzalkonium Chloride Solutions on Survival Rate of Oreochromis niloticus

Nurina Ayu^{1*}

¹Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nahdlatul Ulama, Purwokerto
Jl. Sultan Agung No. 42, Karangklesem, Purwokerto Selatan, Kab. Banyumas, Jawa Tengah 53145
email: ipi.unup@gmail.com

(Received: 07 March 2022; Accepted: 28 June 2022)

ABSTRAK

Benzalkonium klorida (BAC) merupakan surfaktan kationik yang memiliki kemanfaatan luas dan bersifat mudah terikat dengan materi hayati. BAC mampu menyebabkan efek toksik terhadap organisme perairan seperti ikan *Oreochromis niloticus*. Sebagai salah satu ikan yang paling banyak dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia, pada masa pemeliharaannya, ikan ini juga berisiko terpapar BAC yang penggunaannya di Indonesia belum diregulasi dengan baik. Karenanya penelitian ini bertujuan untuk mengobservasi efek toksik BAC di air terhadap ketahanan *O. niloticus* yang dilihat dari angka sintasan setelah pemaparan selama 12 jam. Hasil menunjukkan kelangsungan hidup anakan *O. niloticus* terpengaruh secara signifikan ketika media hidupnya diberi larutan BAC. Angka sintasan yang diperoleh adalah 100%, 89%, 11%, 0% dan 0% untuk kelompok ikan yang secara berurutan terpapar BAC dengan konsentrasi 0 µg/L, 0,05 µg/L, 0,1 µg/L, 0,15 µg/L, dan 0,2 µg/L. Dapat disimpulkan bahwa konsentrasi BAC dalam air berbanding terbalik dengan angka sintasan anakan *O. niloticus*.

Kata Kunci: Benzalkonium Klorida, Surfaktan Kationik, *Oreochromis niloticus*, Angka Sintasan.

ABSTRACT

Benzalkonium chloride (BAC) is a cationic surfactant that has wide benefits and is easily bound to biological materials. BAC is capable of causing toxic effects on aquatic organisms like *Oreochromis niloticus*. As one of the most consumed fish in Indonesia, during the cultured period, this fish is also at risk of being exposed to BAC which has not been properly regulated in Indonesia. Therefore, this study aimed to observe the toxic effect of BAC in water on the resistance of *O. niloticus* by the survival rate after 12 hours of exposure. The results showed that the survival of *O. niloticus* seedlings was significantly affected when the live medium was given BAC solution. The survival rates obtained were 100%, 89%, 11%, 0% and 0% for groups of fish that were exposed to BAC with concentrations of 0 µg/L, 0.05 µg/L, 0.1 µg/L, 0.15 µg/L, and 0.2 µg/L respectively. It can be concluded that the concentration of BAC in water is inversely proportional to the survival rate of *O. niloticus* seedlings

Keyword: Benzalkonium Chloride, Cationic Surfactant, *Oreochromis niloticus*, Survival Rate

1. Pendahuluan

Lingkungan perairan sangat mudah dipengaruhi oleh masukan dari berbagai sumber. Sistem air pada masyarakat modern membawa banyak polutan masuk ke dalam lingkungan perairan yang pada akhirnya berdampak terhadap semua organisme yang hidup maupun berasosiasi dengan perairan. Polutan besar yang mudah terlihat dapat

dideteksi lebih mudah dibandingkan polutan-polutan mikro yang tidak bisa langsung teramati tanpa observasi dan analisis yang lebih mendalam. Polutan mikro seperti *benzalkonium klorida* (BAC) banyak terdeteksi dalam air kelabu (Dwumfour-asare dan Adantey, 2017).

Benzalkonium klorida yang telah dikategorikan sebagai salah satu komponen

polutan mikro di perairan patut diwaspadai konsentrasinya dalam perairan umum mengingat komponen ini banyak sekali terkandung dalam produk-produk biosida yang beredar di pasaran. BAC tidak dapat dengan mudah dihilangkan di perairan umum sebab teknologi pengolahan limbah yang umum digunakan sekarang belum mengembangkan mekanisme mendegradasi surfaktan kation (Huang *et al.*, 2017). Kebanyakan surfaktan memiliki kelompok kepala ionik yang terhubung pada ekor yang bersifat hidrofobik, sementara rantainya adalah rantai hidrokarbon bercabang banyak. Surfaktan kation mengandung paling tidak satu rantai alkil yang terhubung pada atom positif dan kelompok alkil lain yang rata-rata berantai pendek yang mudah berubah seperti kelompok metil ataupun benzil. Struktur ini memberikan kapasitas untuk berikatan dengan lumpur (sedimen) di saluran pembuangan, tanah, dan sedimen lainnya yang sebagian besar bermuatan negatif (Gheorghie *et al.*, 2020). Rantai alkil BAC yang mudah berubah menyebabkan komponen ini mudah berikatan dengan bahan lain di perairan terutama dengan materi-materi biosolid. Meski demikian, ketika biosolid telah terpakai, sisa fragmen BAC menjadi komponen bebas di perairan yang menyebabkannya berikatan dengan komponen lain seperti sel-sel organisme perairan. Ketika ini terjadi, BAC memberikan dampak toksik bagi organisme (Ndabambi dan Kwon, 2020; Russo *et al.*, 2017). Saat inilah BAC menjadi polutan di perairan, yaitu ketika keberadaannya memberikan dampak negatif bagi kehidupan maupun keseimbangan ekosistem perairan.

Konsentrasi BAC di perairan sulit dideteksi secara pasti (Hora *et al.*, 2020). Paling tidak ada dua faktor yang menyebabkan hal ini; yang pertama adalah terbatasnya data mengenai toksisitas zat ini pada organisme perairan di Indonesia, sedangkan yang kedua adalah belum banyaknya informasi mengenai paparan komponen ini di perairan permukaan. Meski demikian, diketahui bahwa sumber BAC sangat banyak di daratan sebelum memasuki perairan, yaitu melalui kegiatan antropogenik yang melibatkan biosida, khususnya surfaktan kationik. Surfaktan kationik hampir selalu didapati di produk-produk disinfektan dan antiseptik. Produk-produk yang saat ini, dalam

kaitannya dengan pandemi Covid-19, telah menjadi sangat awam digunakan secara bebas oleh kalangan masyarakat luas.

Toksistas surfaktan kation BAC belum banyak dijadikan fokus penelitian di Indonesia meski daya racunnya telah menjadi kekhawatiran banyak ilmuwan lingkungan perairan (Barber dan Hartmann, 2021; Chen *et al.*, 2018; Forbes *et al.*, 2018; Ikisa *et al.*, 2019; Yu *et al.*, 2020). Hal ini menjadi celah dalam upaya perlindungan lingkungan dan organisme. Diketahui bahwa sebelum terjadinya pandemi Covid-19, residu BAC banyak terdeteksi pada air-air limbah rumah sakit dan limbah domestik (Barber dan Hartmann, 2021; Pereira dan Tagkopoulos, 2019; Russo *et al.*, 2017). Saat ini, setelah merebaknya pandemi Covid-19, pemerintah telah mengeluarkan Protokol Kesehatan Aktivitas Masyarakat Spesifik, di Tempat Kerja dan Fasilitas Umum Pencegahan Penularan Covid-19 dalam Rangka Pemulihan Ekonomi yang di dalamnya memuat himbauan kuat pemakaian produk-produk disinfektan dan antiseptik untuk menghambat daya serang virus SARS-CoV-2 (Kemenkes, 2021).

Melengkapi himbauan ini, LIPI bahkan menerbitkan artikel berisikan daftar disinfektan dan antiseptik yang bebas beredar di pasaran. Dari 18 produk yang dicantumkan, 7 di antaranya berbahan aktif BAC (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, 2020). Data ini membawa asumsi bahwa akan terjadi peningkatan kandungan BAC di perairan umum yang mengiringi gaya hidup normal baru. Potensi negatif dari tekanan antropogenik ini seharusnya dijadikan landasan untuk kontrol lingkungan perairan yang lebih mendalam, sebab sejauh ini data makro tentang dampak krisis Covid-19 pada industri air bersih nasional belum dapat terpetakan (Purwanto, 2020).

Organisme lingkungan perairan tentunya menjadi objek terdampak serius dari potensi negatif yang timbul. Ikan nila atau *Oreochromis niloticus* sebagai salah satu ikan paling populer untuk dibudidayakan di Indonesia, berisiko tinggi terpapar surfaktan kation seperti BAC ini jika sumber air telah terpapar bahan tersebut. Aktivitas manusia yang menimbulkan potensi toksik bagi *O. niloticus* telah banyak dikaji. Salah satunya adalah kajian yang melihat pengaruh toksistas limbah cair kelapa sawit terhadap ikan ini.

Disimpulkan bahwa ikan nila masih bisa menoleransi konsentrasi limbah cair kelapa sawit di bawah 3 mg/L, sedangkan pada konsentrasi 35 mg/L ikan nila akan mengalami mortalitas 100% jika terpapar limbah tersebut selama 48 jam (Zulfahmi *et al.*, 2017). Sedangkan untuk limbah pewarnaan jeans, 50% ikan nila mampu bertahan setelah pemaparan 24 jam terhadap air limbah berkonsentrasi 50% (Caroline *et al.*, 2019). Deterjen, salah satu golongan yang cukup dekat kaitannya dengan BAC berbagi fungsi surfaktan, juga diujikan terhadap ikan nila. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi deterjen yang diberikan maka semakin tinggi pula tingkat mortalitas ikan nila. Pada uji coba ini, pemaparan pada ikan nila dilakukan selama 96 jam dan dikemukakan bahwa salah satu alasan mengapa angka mortalitas semakin tinggi adalah karena menurunnya daya tahan *O. niloticus* seiring bertambahnya waktu pemaparan (Megawati, 2017). Selain penelitian-penelitian tersebut, belum ada penelitian mengenai respons *O. niloticus* terhadap paparan BAC di Indonesia. Maka dari itu, penelitian ini memiliki tujuan untuk mengkaji pengaruh BAC terhadap sintasan hidup anakan *O. niloticus*. Penelitian ini merupakan studi awal pengamatan yang dapat dijadikan landasan untuk penelitian lebih lanjut tentang tingkat toksisitas BAC terhadap *O. niloticus*, maupun tentang efek yang lebih terperinci terhadap ikan ini dilihat dari sisi fisiologis dan biokimia.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini secara garis besar dilakukan dalam dua tahapan yaitu tahap persiapan dan tahap pelaksanaan penelitian yang di dalamnya termasuk analisis data.

2.1. Persiapan Penelitian

Bahan uji pada penelitian ini meliputi air sebagai media hidup ikan, anakan ikan nila (*O. niloticus*) dan larutan *benzalkonium klorida*. Sebelum digunakan, air dideklorinasi terlebih dahulu menggunakan aerator selama 24 jam sebelum dimasukkan ke dalam ember penampungan dan bak perlakuan. Ikan uji diperoleh dari Unit Pelaksana Teknis Dinas (UPTD) Budidaya Ikan Air Tawar (BIAT) Kutasari, Purbalingga dengan ukuran antara 3-6 cm. *Benzalkonium klorida* dibeli dari toko

bahan kimia C-Kimia dengan asumsi bahan tersebut merupakan bahan yang banyak digunakan dalam pembuatan cairan biosida yang beredar di masyarakat.

2.2. Pelaksanaan Penelitian

Anakan *O. niloticus* yang diperoleh dari UPTD BIAT Kutasari ditempatkan dalam bak aklimatisasi berisi air 50 L sebelum dipindahkan ke dalam bak perlakuan bervolume 10 L air. Sebelum digunakan, seluruh bak yang digunakan dilapisi plastik bagian luar dan dalam, lalu dibersihkan dan disterilkan dengan cara dijemur, kemudian direndam larutan *methylene blue* selama 1 x 24 jam. Aklimatisasi dilakukan dengan menempatkan calon ikan uji di dalam bak selama 7 hari. Selama aklimatisasi, ikan diberi pakan secara adsatiasi.

Penelitian diawali dengan memindahkan ikan uji dari bak aklimatisasi ke bak perlakuan. Kepadatan untuk masing-masing bak perlakuan adalah 10 ekor/bak dan bak tersebut dilengkapi dengan aerator. Dua puluh empat (24) jam setelah pemindahan, masing-masing bak diberi BAC berkonsentrasi 0,05 µg/L, 0,1 µg/L, 0,15 µg/L, dan 0,2 µg/L. Setiap level perlakuan ini diulang sebanyak 9 kali pengulangan. Konsentrasi yang digunakan sebagai penguji dalam penelitian ini berpatokan pada literatur tentang konsentrasi BAC oleh Barber dan Hartmann. Literatur ini mencantumkan beberapa data mengenai konsentrasi BAC di perairan umum yang ditemukan pada beberapa penelitian (Barber dan Hartmann, 2021).

Respons yang diujikan pada penelitian ini adalah kelangsungan hidup anakan *O. niloticus* setelah media hidupnya dicampur dengan *benzalkonium klorida*. Kelangsungan hidup dihitung menggunakan formulasi:

$$SR = \frac{N_t}{N_0} \times 100\%$$

Keterangan:

SR : derajat kelangsungan hidup (%)

N_t : jumlah ikan hidup akhir pengamatan (ekor)

N₀ : jumlah ikan pada awal pengamatan (ekor)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Tingkat Sintasan Ikan Nila (*O. niloticus*)

Nilai kelangsungan hidup anakan *Oreochromis niloticus* yang media hidupnya diberi BAC setelah pengamatan selama dua belas jam dapat terlihat pada Tabel 1.

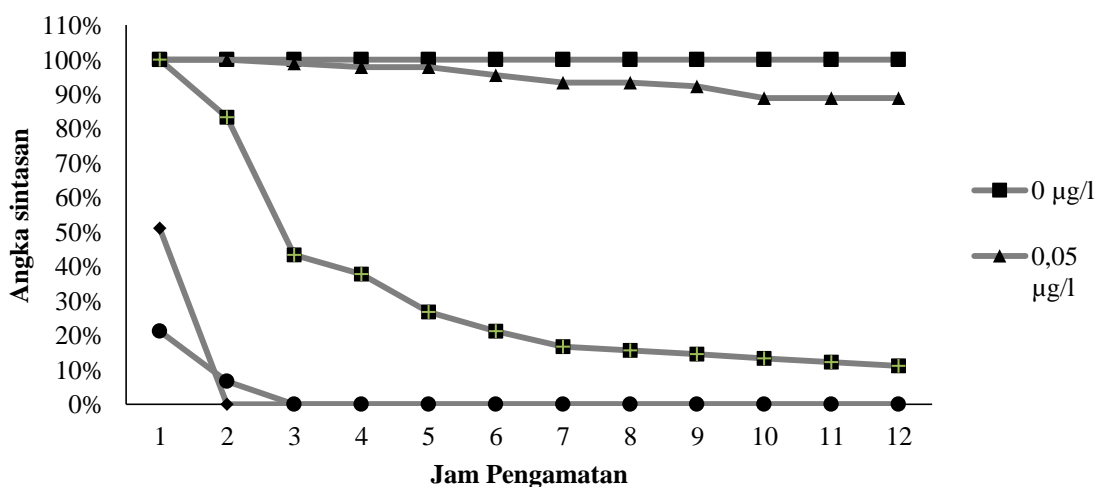
Tabel 1. Kelangsungan Hidup *Oreochromis niloticus* setelah Diberi Larutan BAC selama 12 Jam

Benzalkonium Klorida ($\mu\text{g/L}$)	Sintasan (%)
0	100 ^a
0,05	89 ^b
0,1	11 ^c
0,15	0 ^c
0,2	0 ^c

Kelangsungan hidup anakan *O. niloticus* terpengaruh secara signifikan ketika media hidupnya diberi larutan BAC. Kelompok kontrol yang media hidupnya tidak diberi BAC menunjukkan sintasan 100%.

Konsentrasi BAC 0,05 $\mu\text{g/L}$ sudah dapat menyebabkan kematian pada anakan *O. niloticus* dalam jangka waktu 12 jam hingga menurunkan angka kelangsungan hidup menjadi 89%. Ketika konsentrasi ditingkatkan menjadi 0,1 $\mu\text{g/L}$, kelangsungan hidup anakan ikan nila menurun lagi menjadi hanya 11%. Pada konsentrasi yang lebih besar dari 0,1 $\mu\text{g/L}$, anakan ikan nila sama sekali tidak mampu bertahan selama 12 jam. Uji lanjut juga menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi BAC memberikan perbedaan yang signifikan antara konsentrasi 0 $\mu\text{g/L}$ (kontrol), 0,05 $\mu\text{g/L}$, dan 0,1 $\mu\text{g/L}$. Sementara kelangsungan hidup anakan *O. niloticus* yang terpapar BAC 0,1 $\mu\text{g/L}$, 0,15 $\mu\text{g/L}$, dan 0,2 $\mu\text{g/L}$ tidak menunjukkan perbedaan signifikan. Bisa diinterpretasikan bahwa BAC berkonsentrasi 0,1 $\mu\text{g/L}$ memiliki efek mematikan yang sama dengan konsentrasi yang lebih tinggi.

Pengamatan sintasan anakan *O. niloticus* dilakukan setiap jam dan hasilnya ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Angka Sintasan Anakan *O. niloticus* pada Pengamatan Setiap Jam

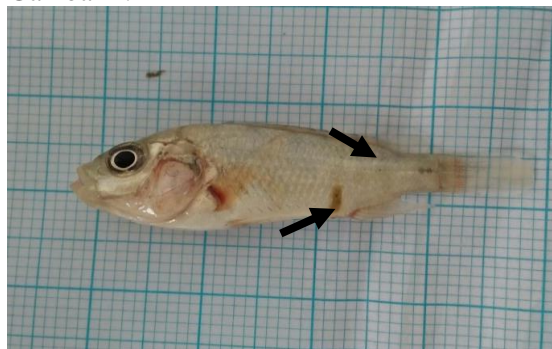
Angka sintasan pada perlakuan 0 $\mu\text{g/L}$ (kontrol) stabil pada level 100% hingga akhir masa pengamatan yaitu jam ke-12. Setelah diberi perlakuan, mortalitas mulai terlihat pada jam pertama pengamatan untuk konsentrasi 0,15 $\mu\text{g/L}$, dan 0,2 $\mu\text{g/L}$. Sintasan pada konsentrasi 0,15 $\mu\text{g/L}$ menunjukkan angka 50% sedangkan pada konsentrasi 0,2 $\mu\text{g/L}$ angka sintasan menurun drastis hingga hanya 20%. Konsentrasi 0,1 $\mu\text{g/L}$ juga menunjukkan penurunan sintasan sejak jam pertama pengamatan, namun penurunan

drastis baru terjadi pada jam pengamatan ketiga. Konsentrasi 0,05 $\mu\text{g/L}$ tidak menunjukkan penurunan sintasan sebelum dua jam pengamatan, dan hingga akhir masa pengamatan perlakuan ini memiliki level penurunan angka sintasan yang paling landai dibandingkan konsentrasi 0,1 $\mu\text{g/L}$, 0,15 $\mu\text{g/L}$, dan 0,2 $\mu\text{g/L}$. Hal ini menunjukkan bahwa waktu juga harus diperhitungkan sebagai faktor pemicu respons biologis akibat paparan BAC.

Kematian anakan *O. niloticus* yang terpapar BAC menunjukkan bahwa konsentrasi bahan tersebut dalam perairan berbanding terbalik dengan tingkat sintasannya. Semakin tinggi konsentrasinya, semakin rendah sintasan anakan *O. niloticus*. BAC yang merupakan xenobiotik bagi organisme perairan dikategorikan sebagai salah satu komponen dalam golongan surfaktan kation yang memiliki efek toksik besar. Efek BAC yang telah diketahui terhadap organisme perairan di antaranya adalah terhambatnya kemampuan luminesens (Huang *et al.*, 2017), terhambatnya pertumbuhan (Elersek *et al.*, 2018), kerusakan sel, perubahan DNA dan kematian (Barber dan Hartmann, 2021), serta perubahan struktur komunitas mikroba di perairan (Chacón *et al.*, 2021). Selain efek langsung, BAC juga menyebabkan terjadinya hambatan penyerapan N dan Mg pada selada yang ditanam secara hidroponik. Komponen ini menghalangi 50% penyerapan nutrisi pada tanaman vaskular serta menyebabkan tanaman selada mengalami nekrosis, klorosis dan layu (Khan *et al.*, 2018).

Efek nekrosis ditunjukkan bukan hanya pada tanaman, namun juga terhadap organisme perairan. BAC dapat menembus membran sel lalu mengganggu interaksi lemak membran ataupun protein transmembran di dalam sel. Gangguan yang disebabkan oleh BAC berupa gangguan pada materi fisik dan kimiawi organisme (Chacón *et al.*, 2021; Chen *et al.*, 2018). Nitrogen bermuatan akan tertahan di permukaan membran dan menghalangi distribusi muatan lainnya. Sebagai tambahan, komponen ini memiliki target intraseluler dan mampu berikatan dengan DNA. Ini terlihat pada sel embrio ikan zebra yang terpapar BAC (Christen *et al.*, 2017). Pada konsentrasi yang lebih tinggi, mekanisme toksik BAC menyerupai mekanisme toksik logam berat yaitu menyebabkan tekanan besar bagi proses metabolisme sel. Penetrasi rantai alkil pada surfaktan ke dalam membran sel bersifat oksidatif sehingga meningkatkan permeabilitas ion terhadap sel. Sel mengalami kekurangan cairan akibat peningkatan jumlah ion yang masuk dan terjadilah nekrosis jaringan yang diinisiasi oleh nekrosis sel (Gheorghe *et al.*, 2020; Yolanda *et al.*, 2017).

Tubuh anakan *O. niloticus* yang mati pada penelitian ini mengalami pendarahan yang tampak jelas di area bawah operkulum dan pangkal sirip dada seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Ikan yang Mati Akibat Pemaparan BAC

Perdarahan yang terjadi dapat diakibatkan oleh rusaknya jaringan insang karena surfaktan kation seperti BAC memasuki tubuh melalui dua mekanisme, yaitu terserap melalui kulit dan insang, serta terbawa ke dalam tubuh melalui jalur pencernaan (Hora *et al.*, 2020). Oleh karenanya, insang menjadi salah satu organ utama yang berisiko tinggi mengalami kerusakan jika ikan terpapar materi surfaktan. Kerusakan insang juga berpengaruh pada kerusakan organ-organ lain yang berhubungan dengan insang terutama organ hati (Yolanda *et al.*, 2017).

Pengaruh paparan BAC terhadap organisme perairan dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu spesies yang diamati, lama paparan, serta konsentrasi dan campuran zat yang diujikan. Pada penelitian tentang *O. niloticus* yang dipelihara dalam *produced water*, yaitu air yang merupakan hasil samping produksi minyak dan gas, BAC menyebabkan kematian pada ikan tersebut setelah 96 jam paparan (Ikisa *et al.*, 2019). Sementara saat BAC dikombinasikan dengan obat antikanker, efek toksisitasnya terhadap krustasea *Ceriodaphnia dubia* menjadi lebih tinggi dibandingkan saat spesies tersebut dipaparkan pada komponen tunggal saja (Russo *et al.*, 2017). Faktor waktu juga berpengaruh terhadap efek toksik BAC dan golongan sejenisnya. Respons biologis ditunjukkan oleh perubahan GSH pada hati *Cyprinus carpio* yang dipaparkan pada benzethonium klorida (BEC), yaitu golongan BAC cair. Respons yang terlihat terkait dengan waktu paparan di mana level GSH menurun 44% setelah 96 jam (Gheorghe

et al., 2020). Masih terkait dengan waktu pemaparan, efek antagonis BAC juga dapat dibalikkan melalui kombinasi oksidasi UV/klorin di mana efek penghambatan kemampuan luminesens *Photobacterium phosphoreum* menurun hingga hanya 9% setelah BAC didegradasi selama 120 menit (Huang et al., 2017). Mengacu pada berbagai hasil penelitian tersebut, penelitian ini memberikan gambaran kualitatif yang selaras tentang efek paparan BAC terhadap organisme perairan, yaitu bahwa organisme akan mengalami efek antagonis atas pemaparan BAC pada lama pemaparan tertentu. Dalam hal ini, efek yang dialami oleh anakan *O. niloticus* adalah menurunnya angka sintasan.

Uji-uji toksisitas yang banyak dilakukan merupakan salah satu cara untuk mengetahui bukan hanya efek toksik terhadap individu, namun juga menjadi langkah paling mendasar untuk mengetahui pengaruh toksik suatu substansi terhadap suatu sistem. Selain itu, respons terhadap toksikan dapat diamati dari level individu hingga ke level molekuler. Respons molekuler biasanya mengamati perubahan biokimiawi dalam individu. Pengamatan ini memakan waktu yang relatif singkat dibandingkan pengamatan perubahan lingkungan. Pengamatan ini juga menunjukkan hubungan yang lebih spesifik antara entitas biologis dengan bahan kimia tertentu (Berniyanti, 2018). BAC merupakan bahan kimia yang dikaji sejak tahun 1915 dan penggunaannya berkembang sangat masif hingga sekarang. Awalnya surfaktan ini digunakan untuk mensterilisasi peralatan medis, kemudian pemanfaatannya meluas sebagai disinfektan peralatan di tempat makan umum, pengendalian infeksi di markas militer dan rumah sakit, serta pada akhirnya memasuki industri pengolahan makanan sebagai disinfektan mesin-mesin pengolah makanan. Pemanfaatan ini masih berlanjut hingga sekarang dan bahkan menjadi makin intens sejak munculnya pandemi Covid-19 (Hora et al., 2020).

Di Eropa, European Commission (EC) dan Dewan Uni Eropa telah mengatur penggunaan BAC. Dalam peraturan tersebut dinyatakan bahwa dalam produk makanan residu BAC hanya boleh berkisar antara 0,5 mg/kg hingga 0,1 mg/kg; sedangkan penggunaan BAC untuk produk biosida seperti sabun antiseptik

dan pembersih tangan, BAC dilarang untuk digunakan (Pereira dan Tagkopoulos, 2019). Peraturan ini disusun dengan mempertimbangkan bukan hanya efek toksiknya terhadap organisme, termasuk manusia, namun juga efek jangka panjang terhadap lingkungan (Barber dan Hartmann, 2021).

4. Kesimpulan dan Saran

Sintasan anakan *O. niloticus* setelah media hidupnya diberi BAC mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya konsentrasi BAC yang diberikan. Konsentrasi BAC $\geq 0,15$ $\mu\text{g/L}$ menimbulkan respons mortalitas dalam satu jam pertama pemaparan bagi anakan *O. niloticus*. BAC bersifat toksik bagi biota perairan hingga ke level molekuler dan menyebabkan perdarahan terutama di area insang dan jaringan-jaringan lain yang terkait dengan insang.

Penelitian lanjutan dapat dilakukan dari tiga aspek yang berbeda. Aspek ekotoksikologi yang lebih mendalam yang meliputi uji akut dan konsentrasi efek sangat diperlukan untuk pendalaman data. Aspek lain yang bisa dieksplorasi adalah pengamatan histopatologi terhadap ikan nila yang terpapar BAC. Aspek yang ketiga adalah aspek lingkungan di mana perlu dilakukan observasi mendalam tentang kandungan BAC di perairan alami.

Daftar Pustaka

- Barber, O. W., Hartmann, E.M. (2021). Benzalkonium chloride: A systematic review of its environmental entry through wastewater treatment, potential impact, and mitigation strategies. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 0(0), 1–30. <https://doi.org/10.1080/10643389.2021.1889284>
- Berniyanti, T. (2018). *Biomarker Toksisitas Paparan Logam Tingkat Molekuler (Pertama)*. Airlangga University Press. <https://books.google.co.id/books?id=mrIDwAAQBAJ>
- Caroline, J., Handriyono, R. E., Ximenes, S. S., Nilam, M. (2019). Analisis Tingkat Toksisitas Limbah Pewarnaan Jeans Menggunakan Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Research and Technology*, 5(2), 99–105.

- Chacón, L., Arias-andres, M., Mena, F., Rivera, L., Hernández, L., Achi, R., Garcia, F., Rojas-Jimenez, K. (2021). Short-term exposure to benzalkonium chloride in bacteria from activated sludge alters the community diversity and the antibiotic resistance *pro fi* le. *Journal of Water & Health*, 19(6), 895–906.
<https://doi.org/10.2166/wh.2021.171>
- Chen, M., Zhang, X., Wang, Z., Liu, M., Wang, L., Wu, Z. (2018). Impacts of quaternary ammonium compounds on membrane bioreactor performance: Acute and chronic responses of microorganisms. *Water Research*, 134, 153–161.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.01.073>
- Christen, V., Faltermann, S., Brun, N. R., Kunz, P. Y., Fent, K. (2017). Cytotoxicity and molecular effects of biocidal disinfectants (quaternary ammonia, glutaraldehyde, poly (hexamethylene biguanide) hydrochloride PHMB) and their mixtures in vitro and in zebra fish eleuthero-embryos. *Science of the Total Environment*, 586(1204–1218).
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.114>
- Dwumfour-asare, B., Adantey, P. (2017). Greywater characterization and handling practices among urban households in Ghana: the case of three communities in Kumasi Metropolis. *A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 76(3–4), 4304–4313.
<https://doi.org/10.2166/wst.2017.229>
- Elerssek, T., Zenko, M., Filipic, M. (2018). Ecotoxicity of disinfectant benzalkonium chloride and its mixture with antineoplastic drug 5-fluorouracil towards alga *Pseudokirchneriella subcapitata*.pdf. *Peer J*.
<https://doi.org/10.7717/peerj.4986>
- Forbes, S., Morgan, N., Humphreys, G. J. (2018). *Loss of Function in Escherichia coli exposed to Environmentally Relevant Concentrations of Benzalkonium Chloride*. December, 1–31.
<https://doi.org/10.1128/AEM.02417-18>
- Gheorghe, S., Mitroi, D. N., Stan, M. S., Staicu, C. A., Cicirma, M., Lucaciu, I. E., Nita-lazar, M., Dinischiotu, A. (2020). Evaluation of Sub-Lethal Toxicity of Benzethonium Chloride in *Cyprinus carpio* Liver. *Applied Sciences*, 10, 1–15.
<https://doi.org/doi:10.3390/app10238485>
- Hora, P., Pati, S.G., Mcnamara, P.J., Arnold, W.A. (2020). Increased Use of Quaternary Ammonium Compounds during the SARS- CoV-2 Pandemic and Beyond : Consideration of Environmental Implications Department of Civil, Environmental, and Geo-Engineering , University of Minnesota–Twin. *Environmental Science & Technology Letters*, 7, 622–631.
<https://doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00437>
- Huang, N., Wang, T., Wang, W., Wu, Q., Li, A., Hu, H. (2017). UV/chlorine as an advanced oxidation process for the degradation of benzalkonium chloride: Synergistic effect, transformation products and toxicity evaluation. *Water Research*, 114, 246–253.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.015>
- Ikisa, K., Babatunde, B., Hart, A. (2019). Acute Toxicity of Benzalkonium Chloride Mixture with Treated Produced Water to Juveniles of Freshwater *Tilapia- Oreochromis niloticus*. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 23(6), 1169–1174.
<https://doi.org/https://dx.doi.org/10.4314/jasem.v23i6.26>
- Kemenkes. (2021). *Protokol Kesehatan Aktivitas Masyarakat Spesifik, di Tempat Kerja dan Fasilitas Umum Pencegahan Penularan Covid-19 dalam Rangka Pemulihan Ekonomi (Program Bali Bangkit)*.
- Khan, A.H., Libby, M., Winnick, D., Palmer, J., Sumarah, M., Ray, M. B., Macfie, S.M. (2018). Uptake and phytotoxic effect of benzalkonium chlorides in *Lepidium sativum* and *Lactuca sativa*. *Journal of Environmental Management*, 206, 490–497.

- <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.077>
- Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. (2020). *Daftar Sementara Bahan Aktif dan Produk Rumah Tangga untuk Disinfeksi Virus Corona Penyebab COVID-19 | Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia*. <http://lipi.go.id/berita/Daftar-Sementara-Bahan-Aktif-dan-Produk-Rumah-Tangga-untuk-Disinfeksi-Virus-Corona-Penyebab-COVID-19/21979>
- Megawati, I.A. (2017). Uji Toksisitas Deterjen terhadap Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) [Universitas Maritim Raja Ali Haji]. In *FKIP UMRAH*. http://jurnal.umrah.ac.id/wp-content/uploads/gravity_forms/1-ec61c9cb232a03a96d0947c6478e525e/2015/09/pdf-jurnal-skripsi.pdf
- Ndabambi, M., Kwon, J.H. (2020). Benzalkonium ion sorption to peat and clays: Relative contributions of ion exchange and van der Waals interactions. *Chemosphere*, 247, 125924. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.125924>
- Pereira, B. M. P., & Tagkopoulos, I. (2019). Benzalkonium chlorides: Uses, regulatory status, and microbial resistance. *Applied and Environmental Microbiology*, 85(13), 1–27. <https://doi.org/10.1128/AEM.00377-19>
- Purwanto, E. W. (2020). Pembangunan Akses Air Bersih Pasca Krisis Covid-19. *Jurnal Perencanaan Pembangunan: The Indonesian Journal of Development Planning*, 4(2), 207–214. <https://doi.org/10.36574/jpp.v4i2.111>
- Russo, C., Kundi, M., Lavorgna, M., Parrella, A. (2017). Benzalkonium Chloride and Anticancer Drugs in Binary Mixtures : Reproductive Toxicity and Genotoxicity in the Freshwater Crustacean *Ceriodaphnia dubia*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 74(4), 546–556. <https://doi.org/10.1007/s00244-017-0473-y>
- Yolanda, S., Rosmaidar, Nazaruddin, Armasyah, T., Balqis, U., Fahrimal, Y. (2017). Pengaruh Paparan Timbal (Pb) Terhadap Histopatologis Insang Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*). *Jimvet*, 1(4), 736–741.
- Yu, X., Kamali, M., Aken, P. Van, Appels, L., Bruggen, V. Der, Dewil, R. (2020). Advanced Oxidation of Benzalkonium chloride in Aqueous Media Under Ozone and Ozone/UV Systems Degradation kinetics and toxicity evaluation. *Chemical Engineering Journal*, 127431. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.127431>
- Zulfahmi, I., Muliari, & Mawaddah, I. (2017). Toksisitas limbah cair kelapa sawit terhadap ikan nila (*Oreochromis niloticus*, Linneus 1758) dan ikan bandeng (*Chanos chanos* Froskall 1755). *Agricola*, 7(1), 44–55