

CONCENTRATION OF BENZALKONIUM CHLORIDE IN DONAN RIVER CONTAMINATED WITH DOMESTIC WASTE

Nurina Ayu^{1*} · Nur Laila Rahayu² · Aryanti Indah Setyastuti¹

ABSTRACT *The distribution of benzalkonium chloride (BAC) in inland waters has not been widely studied, despite its known dangerous effects on organisms. This study was conducted to determine the concentration of BAC in the Donan River, Cilacap, which receives significant input from domestic waste, particularly from the food industry. The study employed a quantitative descriptive method to analyze the presence of BAC in the river, with sampling stations selected using the purposive sampling method to ensure comprehensive coverage. Samples were collected from five different stations along the Donan River, revealing BAC concentrations at*

station 1 ranging from 0.128 to 0.140 µg/l, station 2 from 0.213 to 0.237 µg/l, station 3 from 0.163 to 0.190 µg/l, station 4 from 0.176 to 0.210 µg/l, and station 5 from 0.240 to 0.247 µg/l. These findings indicate that the concentration of BAC in the Donan River is comparable to levels found in other rivers worldwide, where the presence of BAC has been documented. The study highlights the need for regular monitoring of BAC levels in inland waters, given its potential ecological impacts. The elevated levels of BAC, especially in areas receiving substantial domestic waste, suggest that the discharge from the food in-

¹ Program Studi Ilmu Perikanan, Universitas Nahdlatul Ulama Purwokerto.

* E-mail: ipi.unup@gmail.com

² Program Studi Biologi, Universitas Nahdlatul Ulama Purwokerto.

dustry and other domestic sources significantly contributes to the contamination.

Keywords: *domestic waste, ecology, micro pollutants, toxicology, water pollution.*

PENDAHULUAN

Benzalkonium klorida merupakan salah satu komponen polutan mikro di perairan (Huang, *et al.*, 2017). Komponen yang masuk dalam golongan *quaternary ammonium compounds* (QACs) ini memiliki manfaat masif sebagai disinfektan dan antiseptik (Bondurant *et al.*, 2019). Spektrumnya yang luas dalam melawan bakteri, jamur, dan virus membuat BAC sering ditemui di bidang medis dan pengolahan pangan (Barber & Hartmann, 2021; Pereira & Tagkopoulos, 2019). Sifat toksik BAC sendiri telah diujikan pada beberapa organisme perairan seperti pada *Onchornychus mykiss* (Antunes *et al.*, 2016), *Daphnia magna*, *Ceriodaphnia dubia* (Lavorgna *et al.*, 2016) menunjukkan kemampuan merusak gen dan menghambat aktivitas sel organisme-organisme tersebut.

Kemampuan BAC sebagai antiseptik dan disinfektan memiliki daya pulih yang rendah. BAC mampu menghambat pertumbuhan hampir semua mikroorganisme yang berkontak langsung dengannya. Kemampuan ini muncul dari karakternya yang secara langsung merusak organ-organ sel. Efek-efek negatif yang dialami oleh sel akibat paparan BAC tercatat berupa nekrosis dan klorosis (Gheorghe *et al.*, 2020). Pada fauna air mikro, BAC mengganggu interaksi lemak dalam membran sel, begitu pula dengan protein antarmembran (Chen *et al.*, 2018; Chacón *et al.*, 2021). Selain itu penyerapan N dan Mg yang

sangat dibutuhkan oleh tanaman pun dihambat oleh BAC sehingga tanaman tersebut kesulitan mencapai pertumbuhan maksimal (Khan *et al.*, 2018). Bukan hanya organisme fauna sederhana, pada ikan pun BAC menyebabkan pendarahan fatal hingga menyebabkan kematian (Ayu, 2022).

Kegiatan domestik merupakan salah satu penyumbang konsentrasi BAC di perairan. Limbah kegiatan domestik ini berasal dari berbagai bidang seperti bidang industri dan kesehatan. Bidang industri yang paling banyak menggunakan BAC dalam kegiatannya adalah bidang yang terkait dengan pangan di mana BAC berfungsi sebagai bahan aktif disinfektan untuk mensterilkan alat dan sarana industri yang digunakan (Pesulima *et al.*, 2018; Sara, *et al.*, 2018; Sari *et al.*, 2018; Kartamihardja, 2019; Larasati *et al.*, 2021). Di samping proses-proses tersebut, BAC juga digunakan dalam proses pengolahan limbah. Pengolahan limbah di berbagai negara telah menggunakan BAC sebagai salah satu komponen dalam prosesnya. Untuk mengeliminasi kandungan bakteri dan mikroba yang merugikan, BAC dicampurkan dalam fase-fase pengolahan limbah. Dampak lanjutannya adalah BAC lolos ke perairan umum bersamaan dengan air sisa pengolahan limbah. Meski air sisa pengolahan limbah telah dikategorikan memiliki kualitas yang telah terpulihkan, namun banyak penelitian mengungkap bahwa dalam air tersebut, BAC masih ditemukan dalam konsentrasi yang cukup tinggi (Ayu & Kresnasari, 2023).

Sungai Donan di Cilacap merupakan salah satu perairan umum yang mendapat masukan dari berbagai sumber baik itu air langsung sisa aktivitas domestik, maupun air sisa olahan limbah industri. Termasuk dalam kawasan pesisir, Sungai Donan menerima banyak ma-

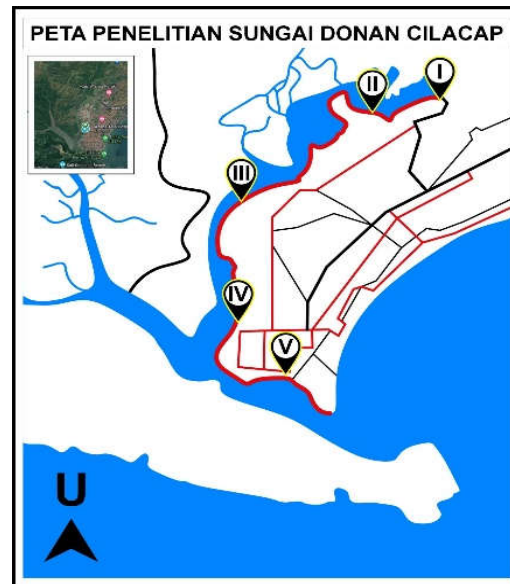
sukan dari kegiatan manusia di sekitarnya. Aktivitas terbesar yang memasok limbah di perairan ini berasal dari aktivitas industri (Manikasari & Mahayani, 2019; Mukti, *et al.*, 2021; Bintoro, 2021). Kegiatan ini masih akan berkembang mengingat Kabupaten Cilacap menjadikan pengembangan kawasan ini sebagai prioritas (Bintoro, 2021). Penelitian terkait kondisi Sungai Donan sendiri telah banyak dilakukan termasuk kajian dari perspektif bioekologi (Irawati *et al.*, 2018; Manikasari & Mahayani, 2019; Andareas, 2020; Mukti, *et al.*, 2021), sementara kajian toksisitas perairan dari sumber mikropolutan (khususnya BAC) belum banyak dilakukan.

Masih sedikitnya literatur mengenai sebaran BAC di perairan umum menjadi terbatasnya kajian lebih lanjut mengenai dampak zat ini terhadap ekosistem. Di tengah isu kelangkaan air bersih yang semakin menguat, perlu dipastikan bahwa sediaan air di perairan umum tidak mengandung bahan-bahan berbahaya, terutama bahan mikro seperti BAC. Dari sudut pandang masyarakat umum, keberadaan BAC kurang diperhatikan karena informasi mengenai manfaat dan efek negatifnya belum banyak disosialisasikan. Karena itu diperlukan tambahan informasi mengenai keberadaan BAC di perairan umum. Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk menambah informasi tentang distribusi BAC di perairan umum, khususnya di perairan Cilacap.

METODE PENELITIAN

Sampel diambil di perairan Sungai Donan, Cilacap, pada bulan Agustus–Oktober 2023 dengan frekuensi pengambilan sampel satu bulan sekali. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode survei yang bersifat

deskriptif kuantitatif, sementara penentuan stasiun pengambilan sampel dilakukan menggunakan metode *purposive sampling*. Lokasi stasiun pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel penelitian.

Lokasi-lokasi pengambilan sampel merupakan lokasi yang dekat dengan berbagai industri makanan, terutama warung ataupun tempat makan. Stasiun I merupakan titik yang paling dekat dengan sumber air tawar dengan nilai salinitas paling rendah. Salinitas semakin meningkat nilainya seiring perpindahan lokasi mendekati Plawangan Timur. Stasiun II dan III banyak dipengaruhi oleh limbah rumah tangga dan juga beberapa klinik kesehatan. Stasiun IV berada di lokasi yang dekat dengan Pelabuhan Penyeberangan Sleko. Perairan di titik ini banyak mendapat masukan dari air pemberat kapal, limbah domestik pelabuhan dan buangan terkontaminasi bahan bakar kapal. Stasiun V terletak sangat dekat dengan laut, sekaligus merupakan muara Sungai Yasa, sebuah sungai yang melintasi area perkotaan Cilacap dan,

seperti Sungai Donan, sama-sama bermuara di perairan Plawangan Timur, Cilacap.

Pengambilan sampel air sendiri dilakukan menggunakan botol bervolume satu liter yang diisi penuh. Pada setiap stasiun dikumpulkan 1 botol sampel air permukaan yang diambil pada kedalaman perairan antara 30–50 cm. Setelah diisi air, botol ditutup rapat dan dimasukkan ke dalam kotak pendingin yang telah dilengkapi dengan beberapa jel pendingin dan insulator. Sampel-sampel air ini nantinya akan dikemas dalam kotak styrofoam yang telah dilengkapi dengan jel es dan insulator yang baru untuk dikirimkan ke laboratorium. Jel pendingin dan insulator ini merupakan upaya pengawetan sampel air. Di laboratorium, sampel air dianalisis menggunakan *high performance liquid chromatography* (HPLC) untuk memperoleh nilai kandungan BAC-nya. Konsentrasi BAC yang diperoleh dianalisis secara deskriptif menggunakan referensi dari penelitian lain untuk menentukan levelnya di perairan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perairan umum seperti Sungai Donan dapat memperoleh masukan BAC terutama dari limbah domestik. Kisaran konsentrasi BAC yang diperoleh selama penelitian di Sungai Donan ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Rerata benzalkonium klorida yang ditemukan dalam sampel air dari Sungai Donan, Cilacap

Stasiun	Rerata BAC ($\mu\text{g/l}$)
1	$0,134 \pm 0,006^a$
2	$0,227 \pm 0,013^b$
3	$0,173 \pm 0,016^c$
4	$0,189 \pm 0,018^c$
5	$0,242 \pm 0,004^b$

Hasil analisis menunjukkan bahwa rerata kandungan BAC tertinggi di aliran Sungai Donan terdapat pada Stasiun 5 yaitu sebesar $0,242 \mu\text{g/l}$. Sedangkan rerata kandungan terendah terdapat pada Stasiun 1, sebesar $0,134 \mu\text{g/l}$. Analisis lanjutan menunjukkan bahwa kandungan BAC pada Stasiun 2 tidak berbeda nyata dengan Stasiun 5, sedangkan Stasiun 3 juga tidak berbeda nyata dengan Stasiun 4. Stasiun 1 berbeda nyata dengan seluruh stasiun lainnya. Nilai rerata Stasiun 1 menunjukkan yang paling rendah dibandingkan stasiun lain. Pada dasarnya, keberadaan BAC di perairan tawar lebih cepat terurai dibandingkan perairan laut (Smith *et al.*, 2002 & 2003). Kemungkinan inilah penyebab rendahnya rerata BAC di Stasiun 1 mengingat stasiun ini merupakan stasiun yang paling didominasi air tawar dibandingkan dengan stasiun-stasiun lain.

Sampel yang diambil selama tiga bulan menunjukkan kisaran konsentrasi BAC paling luas terdapat pada Stasiun 4 yang perairannya banyak dipengaruhi oleh limbah domestik pelabuhan, air pemberat dan bahan bakar kapal. Secara alamiah, konsentrasi BAC di aliran sungai di beberapa lokasi di dunia memiliki angka yang berbeda-beda. Di aliran permukaan di Korea, BAC ditemukan hingga $0,4465 \mu\text{g/l}$, sedangkan di hilir sungai di kota Harbin, Tiongkok, BAC hanya sebesar $0,0014 \mu\text{g/l}$ (Barber & Hartmann, 2021). Kedua tipe perairan ini memiliki karakteristik yang berbeda. Di Korea, BAC diambil dari sungai yang memiliki masukan dari pabrik farmasi. Sedangkan di Tiongkok, hilir sungai yang sampel airnya dianalisis memiliki banyak masukan dari limbah domestik. Merujuk pada kondisi ini, konsentrasi BAC yang ditemukan di perairan Sungai Donan, Cilacap berada di antara konsentrasi yang ditemukan di Korea dan Tiongkok.

Benzalkonium klorida (BAC) ditemui banyak di alam terutama di elemen yang berupa padatan seperti tanah dan sedimen maupun substrat perairan. Zat ini bersifat mudah berikatan dengan elemen lain karena rantainya mudah terputus apabila berada di media air. Sekali memasuki perairan BAC akan dengan cepat berikatan dengan partikel besar dan karenanya mudah terendap ke dasar. Inilah yang menyebabkan konsentrasi BAC di kolom air sering kali lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi BAC pada sedimen maupun substrat perairan (Carbajo *et al.*, 2016; Lavorgna *et al.*, 2016; Du *et al.*, 2020; Ndabambi & Kwon, 2020; Chacón *et al.*, 2021). Sifatnya ini juga membuat BAC jauh lebih mudah hilang di air tawar dibandingkan air laut. Air laut mengandung lebih banyak zat terlarut dibandingkan air tawar, sehingga BAC dapat terdeteksi hingga beberapa waktu lebih lama di air laut (Smith *et al.*, 2002 & 2003).

Ketika BAC bertahan di suatu ekosistem, pengaruhnya cukup masif terutama bagi organisme tingkat rendah dengan jaringan-jaringan sederhana. Sifat zat ini toksik dengan mekanisme toksisitas menyerupai mekanisme toksisitas logam berat. Dengan adanya BAC, metabolisme sel organisme mengalami tekanan yang berat. Permeabilitas ion terhadap sel meningkat karena membran sel menjadi bersifat oksidatif saat rantai alkil BAC menembus surfaktan. Mekanisme ini membuat sel kekurangan cairan dan kelebihan ion. Pada akhirnya jaringan mengalami nekrosis setelah sebelumnya sel-sel di dalamnya juga mengalami nekrosis (Yolanda *et al.*, 2017; Gheorghe *et al.*, 2020).

Pengaruh negatif BAC terhadap lingkungan berawal dari efek negatifnya terhadap organisme. Organisme-organisme perairan memiliki mekanisme fisiologis yang meregulasi keseimbangan

ion dalam tubuh atau disebut dengan osmoregulasi. Proses osmoregulasi berkaitan erat dengan sistem transportasi dalam tubuh. Zat-zat esensial seperti oksigen dan ion-ion penting untuk pertumbuhan, baik itu pertumbuhan somatik maupun gonadik, diedarkan ke seluruh tubuh melalui berbagai macam sirkulasi dan menutrisi sel. Jika BAC menjadi unsur yang berikatan dengan ion yang terbawa ke dalam tubuh, maka nutrisi yang diserap sel menjadi nutrisi yang toksik. Pertumbuhan apa pun yang seharusnya terjadi pada organisme tersebut akhirnya terhambat. Di perairan terdapat banyak organisme yang rentan terpapar BAC. Jika seluruh organisme terpapar BAC dan mengalami inhibisi pertumbuhan, tentunya ini akan berdampak pada struktur organisme-organisme perairan. Akibatnya, keseimbangan ekosistem perairan terhambat karena komponen utamanya, yaitu organisme, mengalami hambatan dalam berkembang.

Senyawa BAC masuk ke perairan umum melalui banyak sumber. Limbah domestik adalah salah satu komponen sumber masukan BAC yang di Indonesia tidak diolah secara intensif sebelum memasuki perairan umum (Dwumfourasare & Adantey, 2017). Sumber masukan BAC berikutnya adalah dari bidang industri. Industri medis dan makanan dikenal banyak memanfaatkan BAC baik itu sebagai bahan aktif, komponen preservatif, maupun sebagai disinfektan (Chen *et al.*, 2013; Bondurant *et al.*, 2019; Kim *et al.*, 2020). Fasilitas medis biasanya sudah memiliki instalasi pengolahan air limbah, namun kandungan BAC dalam limbah fasilitas medis belum terdegradasi karena sifat senyawa ini yang sangat mudah berikatan dengan unsur-unsur lain saat terlarut dalam air. Di sisi lain, industri makanan tidak memandang BAC sebagai

senyawa yang akan memasuki lingkungan dan berpotensi menjadi mikropolutan. Maka, meski digunakan, pengolahan limbah yang mengandung BAC belum menjadi hal yang diseriusi oleh banyak pihak.

KESIMPULAN

Konsentrasi BAC di perairan Sungai Donan berada dalam kisaran yang ditemukan pada perairan sungai lain di dunia. Kisaran ini belum dapat dijadikan tolok ukur level polusi perairan akibat BAC, namun dapat dijadikan titik awal observasi tentang distribusi BAC di perairan umum.

PUSTAKA

- Andareas, P. (2020). Keanekaragaman genetik kerang totok (*Polymesoda erosa*) di Sungai Donan Cilacap berdasarkan penanda RAPD. *J. Kridatama Sains dan Teknol.*, 2(1): 40–51.
<http://jurnal.umnu.ac.id/index.php/kst/article/view/22>
- Antunes, S. C., Nunes, B., Rodrigues, S., Nunes, R., Fernandes, J., & Correia, A. T. (2016). Effects of chronic exposure to benzalkonium chloride in *Oncorhynchus mykiss*: Cholinergic neurotoxicity, oxidative stress, peroxidative damage and genotoxicity. *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, 45: 115–122.
<https://doi.org/10.1016/j.etap.2016.04.016>
- Ayu, N. (2022). Pengaruh larutan benzalkonium klorida dalam air terhadap sintasan anakan ikan nila (*Oreochromis niloticus*). *Ilmu Perairan*, 10(2): 75–82.
<https://doi.org/10.31258/jipas.10.2.p.75-82>
- Ayu, N., & Kresnasari, D. (2023). Konsentrasi benzalkonium klorida di perairan Segara Anakan, Cilacap. *J. Mar. Res.*, 12(3): 537–546.
<https://doi.org/10.14710/jmr.v12i3.40387>
- Barber, O. W., & Hartmann, E. M. (2021). Benzalkonium chloride: A systematic review of its environmental entry through wastewater treatment, potential impact, and mitigation strategies. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, 52(15): 2691–2719.
<https://doi.org/10.1080/10643389.2021.1889284>
- Bintoro, D. R. (2021). Permasalahan lahan dan kawasan di Cilacap perlu kepastian hukum. [Online].
<https://cilacapkab.go.id/v3/permasalahan-lahan-dan-kawasan-cilacap-hukum/>
- Bondurant, S., McKinney, T., Bondurant, L., & Fitzpatrick, L. (2019). Evaluation of a benzalkonium chloride hand sanitizer in reducing transient *Staphylococcus aureus* bacterial skin contamination in health care workers. *AJIC Am. J. Infect. Control*, 48: 522–526.
<https://doi.org/10.1016/j.ajic.2019.08.030>
- Carbajo, J. B., Petre, A. L., Rosal, R., Berná, A., Letón, P., García-Calvo, E., Perdigón-Melón, J. A. (2016). Ozonation as pre-treatment of activated sludge process of a wastewater containing benzalkonium chloride and NiO nanoparticles. *Chem. Eng. J.*, 283: 740–749.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.08.001>
- 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 profile. *J. Water Heal.*, 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 Res.*, 134: 153–161. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.01.073>
- Chen, Y., Geurts, M., Sjollem, S. B., Kramer, N. I., Hermens, J. L., & Droge, S. T. (2014). Acute toxicity of the cationic surfactant C12-benzalkonium in different bioassays: How test design affects bioavailability and effect concentrations. *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, 33(3): 606–615. <https://doi.org/10.1002/etc.2465>
- Du, Y., Wang, W. L., Zhang, D. Y., Zhou, T. H., Lee, M. Y., Wu, Q. Y., Hu, H. Y., He, Z. M., & Huang, T. Y. (2020). Degradation of non-oxidizing biocide benzalkonium chloride and bulk dissolved organic matter in reverse osmosis concentrate by UV / chlorine oxidation. *J. Hazard. Mater.*, 396: 122669. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122669>
- 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 J. Int. Assoc. Water Pollut. Res.*, 76(3–4): 4304–4313. <https://doi.org/10.2166/wst.2017.229>
- 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. *Appl. Sci.*, 10(23): 1–15. <https://doi.org/10.3390/app10238485>
- 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 Res.*, 114: 246–253. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.015>
- Irawati, Y., Lumbanbatu, D. T. F., & Sulistiono. (2018). Heavy metal in mud clam (*Geloina erosa*) in east of Segara Anakan and west of Donan River, Cilacap. *J. Pengolah. Has. Perikan. Indones.*, 21(2): 232–242. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v21i2.22843>
- Kartamihardja, E. S. (2019). Degradasi keanekaragaman ikan asli di Sungai Citarum, Jawa Barat. *War. Iktiologi*, 3(2): 1–8.
- 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>
- Kim, S., Ji, K., Shin, H., Park, S., Kho, Y., Park, K., Kim, K., & Choi, K. (2020). Occurrences of

- benzalkonium chloride in streams near a pharmaceutical manufacturing complex in Korea and associated ecological risk. *Chemosphere*, 256: 127084. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127084>
- Larasati, N. N., Wulandari, S. Y., Maslukah, L., Zainuri, M., & Kunarso, K. (2021). Kandungan pencemar deterjen dan kualitas air di perairan muara Sungai Tapak, Semarang. *Indones. J. Oceanogr.*, 3(1): 1–13. <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/ijoce/article/view/9470>.
- Lavorgna, M., Russo, C., D'Abrosca, B., Parrella, A., & Isidori, M. (2016). Toxicity and genotoxicity of the quaternary ammonium compound benzalkonium chloride (BAC) using *Daphnia magna* and *Ceriodaphnia dubia* as model systems. *Environ. Pollut.*, 210: 34–39. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.11.042>
- Manikasari, G. P., & Mahayani, N. P. D. (2019). Peran hutan mangrove sebagai biofilter dalam pengendalian polutan Pb dan Cu di hutan mangrove Sungai Donan, Cilacap, Jawa Tengah. *J. Nas. Teknol. Terap.*, 2(2): 105–117. <https://doi.org/10.22146/jnt.42721>
- Mukti, G. T., Prayogo, T. B., & Haribowo, R. (2021). Studi penentuan status mutu air dengan menggunakan metode indeks pencemaran dan metode water quality index (WQI) di Sungai Donan Cilacap, Jawa Tengah. *J. Teknol. dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 1(1): 238–251. <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2021.001.01.21>
- Ndabambi, M., & Kwon, J. H. 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. *Appl. Environ. Microbiol.*, 85(13): 1–13. <https://doi.org/10.1128/AEM.00377-19>
- Pesulima, Y. M., Kunu, P., & Siregar, A. (2018). Analisis bahan pencemar dominan di Muara Way Tomu dan Muara Way Lela wilayah pesisir Kota Ambon. *J. Budid. Pertan.*, 14(2): 55–65. <https://doi.org/10.30598/jbdp.2018.14.2.55>
- Sara, P. S., Astono, W., & Hendrawan, D. I. (2018). Kajian kualitas air di Sungai Ciliwung dengan parameter BOD dan COD. Dalam Purnomo A. B., Prayitno, D., Suparmi, Prihatiningsih, D., Santoso, G. B., Suprpto, T. R., Sardiyanto (eds.). *Pros. Sem. Nas. Cendekiawan ke-4*. Hlm: 591–597.
- Sari, I. P., Utami, E., & Umroh, U. (2018). Analisis tingkat pencemaran muara Sungai Kurau Kabupaten Bangka Tengah ditinjau dari indeks saprobitas plankton. *Akuatik J. Sumberd. Perair*, 11(2): 71–80. <https://doi.org/10.33019/akuatik.v11i2.248>
- Smith, M. J., Adam, G., Duncan, H. J., & Cowling, M. J. (2002). The effects of cationic surfactants on marine biofilm growth on hydrogels. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*,

- 55(3): 361–367.
<https://doi.org/10.1006/ecss.2001.0910>
- Smith, M. J., Flowers, T. H., Cowling, M. J., & Duncan, H. J. (2003). Release studies of benzalkonium chloride from hydrogel in a freshwater environment. *J. Environ. Monit.*, 5(2): 359–362. <https://doi.org/10.1039/b209822a>
- 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.
- Kontribusi Penulis:** Ayu, N.: mengumpulkan data, analisis data, menulis manuskrip, Rahayu, N. L., Setyastuti, A. I.: menulis manuskrip.