

Konsentrasi Benzalkonium Klorida Di Perairan Segara Anakan, Cilacap

Nurina Ayu* dan Dewi Kresnasari

Program Studi Ilmu Perikanan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nahdlatul Ulama Purwokerto
Jl. Sultan Agung No.42, Karangklesem, Kec. Purwokerto Utara, Kab. Banyumas, Jawa Tengah, Indonesia

*Corresponding author, e-mail: ipi.unup@gmail.com

ABSTRAK: Benzalkonium klorida (BAC) mengalami peningkatan penggunaan setelah pandemi Covid-19, namun penggunaan senyawa ini belum teregulasi secara intensif sehingga eksistensinya di perairan umum berpotensi menjadi ancaman serius bagi ekosistem. Penelitian ini bertujuan mengkaji konsentrasi BAC di Segara Anakan sebagai salah satu ekosistem yang mendapat masukan dari aliran-aliran sungai di mana terdapat banyak aktivitas manusia. Pengambilan sampel air dilakukan menggunakan metode purposive random sampling pada lima lokasi di Segara Anakan dengan kriteria yaitu: lokasi yang dekat dengan aktivitas domestik penduduk, lokasi yang jauh dari aktivitas domestik penduduk (termasuk yang dikelilingi oleh hutan mangrove), lokasi di sekitar kawasan industri, serta lokasi dengan limpasan air tawar atau muara sungai. Kisaran BAC yang ditemukan pada kolom air permukaan Segara Anakan dari Stasiun 1 hingga 5 adalah 0,139 µg/l, 0,235 µg/l, 0,189 µg/l, 0,206 µg/l, dan 0,245 µg/l. Sedangkan konsentrasi pada kolom air di permukaan dasar dari Stasiun 1 hingga 5 adalah 0,126 µg/l, 0,222 µg/l, 0,196 µg/l, 0,175 µg/l, dan 0,241 µg/l. Hasil penelitian menunjukkan bahwa BAC merupakan mikropolutan yang ditemukan di perairan Segara Anakan Cilacap. Konsentrasi BAC yang ditemukan juga dipengaruhi oleh nilai parameter fisikokimiawi perairan.

Kata kunci: Benzalkonium klorida; ekosistem mangrove; mikropolutan; Segara Anakan

Benzalkonium Chloride in Segara Anakan, Cilacap

ABSTRACT: *The use of benzalkonium chloride (BAC) has been increasing after the Covid-19 pandemic, but there are still no intensive regulation about the utilization of of this compound so that its presence in public waters has the potential to become a serious threat to ecosystems. This study aimed to examine the concentration of BAC in Segara Anakan as an ecosystem that receives input from rivers contaminated by domestic waste as a result of human activities. Water samples were taken using a purposive random sampling method at five locations in Segara Anakan with the following criteria: locations close to the domestic activities, locations far from domestic activities (including those surrounded by mangrove forests), locations around industrial areas, and locations with fresh water or river estuary runoff. The BAC concentration in the Segara Anakan surface water column from Stations 1 to 5 were 0.139 µg/l, 0.235 µg/l, 0.189 µg/l, 0.206 µg/l, and 0.245 µg/l, respectively. Meanwhile, the concentrations in the water column at the bottom surface from Stations 1 to 5 were 0.126 µg/l, 0.222 µg/l, 0.196 µg/l, 0.175 µg/l, and 0.241 µg/l, respectively. The results showed that BAC was a micropollutant found in the waters of Segara Anakan Cilacap. The concentrations were also influenced by the physicochemical parameter values of the waters.*

Keywords: *Benzalkonium chloride; mangrove ecosystem; micropollutant; Segara Anakan*

PENDAHULUAN

Benzalkonium klorida (BAC) dikenal sebagai bahan disinfektan dan antiseptik dari golongan kation amonium kuaterner (Bondurant *et al.*, 2019; Barber & Hartmann, 2021). Bahan ini adalah surfaktan kationik yang memiliki panjang rantai alkil homolog antara C8 hingga C18. Spektrumnya yang luas dalam melawan bakteri, jamur dan virus membuat BAC sering ditemui di bidang medis

dan pengolahan pangan (Pereira & Tagkopoulos, 2019; Barber & Hartmann, 2021). Secara umum BAC dapat ditemukan di berbagai tipe produk, mulai dari pembersih kulit, pembersih luka dalam, disinfektan, pengawet pada obat tetes mata, telinga dan hidung, sampo, hingga krim untuk penyakit kulit (Pane, 2021). Pandemi Covid-19 memberi tekanan baru terhadap lingkungan terkait penggunaan BAC. Terutama di lingkungan perairan, BAC yang pemanfaatannya beredar luas di masyarakat sebagai bahan aktif disinfektan dan antiseptik dapat dengan mudah memasuki perairan umum dan menjadi mikropolutan (Huang *et al.*, 2017).

BAC bersifat toksik secara fisiologis bukan hanya terhadap manusia namun juga terhadap organisme-organisme perairan. Sifat toksik BAC sendiri telah diujikan pada beberapa organisme perairan seperti pada *Oncorhynchus mykiss* (Antunes *et al.*, 2016), *Daphnia magna* dan *Ceriodaphnia dubia* (Lavorgna *et al.*, 2016). Senyawa ini juga menunjukkan kemampuan merusak gen serta menghambat aktivitas sel organisme-organisme tersebut. Sementara terhadap ikan, air media hidup yang terkontaminasi BAC menyebabkan kerusakan pada insang, liver dan ginjal anakan *Oreochromis niloticus* dan pada akhirnya bersifat letal (Ikisa *et al.*, 2019a, 2019b; Ayu, 2022). Ikan *Cyprinus carpio* juga dilaporkan mengalami penurunan fungsi hati ketika diuji dengan paparan salah satu bentuk BAC yaitu benzethonium klorida atau BEC (Gheorghe *et al.*, 2020).

Alur masuk BAC ke perairan yang telah diketahui adalah bersama limbah domestik dan medis (Voorde *et al.*, 2012; Carbajo *et al.*, 2016; Dwumfour-asare & Adantey, 2017; Wieck *et al.*, 2018; Kim *et al.*, 2020; X. Yu *et al.*, 2020; Emadian *et al.*, 2021). Limbah-limbah ini terbawa aliran sungai dan pada akhirnya terakumulasi di muara, estuari dan lautan. Sebagai tambahan, pencemaran sungai banyak dilaporkan memiliki sumber terbesar dari limbah permukiman, industri, pertanian dan peternakan (Pesulima *et al.*, 2018; Sara *et al.*, 2018; Sari *et al.*, 2018; Kartamihardja, 2019; Larasati *et al.*, 2021) yang dewasa ini berpotensi besar memuat bahan aktif disinfektan, di antaranya BAC. Fakta ini tentu saja akan berefek pada ekosistem peralihan seperti estuari Segara Anakan di Cilacap sebab sungai yang membawa muatan air limbah bermuara di sana.

Dua sisi kawasan Segara Anakan memberikan kontribusi massa air dari sungai-sungai besar. Di sisi timur, kawasan ini berkembang menjadi pusat kegiatan industri, area pelabuhan transportasi, dan perikanan (Ashari *et al.*, 2019; Kresnasari & Gitarama, 2021). Sisi ini dilaporkan berada dalam kondisi tercemar sedang hingga berat dengan beberapa beban pencemaran yang melebihi standar baku mutu air sungai kelas II (Mukti *et al.*, 2021). Di Segara Anakan Barat, masukan material dari sungai-sungai besar seperti Sungai Citanduy dan Sungai Cimeneng mencemari laguna Segara Anakan dan berpotensi menghilangkan keragaman biotanya (Mustaruddin *et al.*, 2016; Hakiki *et al.*, 2021). Besarnya pengaruh masukan dari sungai terhadap kondisi estuari disebutkan oleh Syakti *et al.* (2013) dalam kajian mengenai masukan PAHs ke Segara Anakan. Sementara itu dilaporkan bahwa pola sebaran sedimen di Segara Anakan dipengaruhi oleh asimetri pasang surut di kawasan tersebut di mana kekuatan pasang lebih besar dan menjebak sedimen di area laguna alih-alih keluar ke lautan. Hasil ini mengimplikasikan bahwa material yang dibawa air sungai masuk ke laguna cenderung tertahan di kawasan tersebut dan kemudian terakumulasi (Hakiki *et al.*, 2021).

Kendati demikian, belum ada literatur yang menyoroti konsentrasi BAC di perairan ini. Karena itulah penelitian ini dilakukan, yaitu untuk mengetahui konsentrasi BAC di perairan Segara Anakan. Diharapkan penelitian ini dapat menjadi landasan untuk pengaturan pemanfaatan BAC di masyarakat serta menentukan tipe pengelolaan limbah bermuatan BAC demi kelestarian lingkungan perairan Segara Anakan.

MATERI DAN METODE

Sampel diambil di perairan Segara Anakan, Cilacap, pada bulan Agustus hingga Oktober 2022 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* di mana masing-masing stasiun dipilih berdasarkan kriteria tertentu sebagaimana tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik stasiun pengambilan sampel BAC di Segara Anakan, Cilacap.

| Stasiun | Koordinat Lokasi | Karakteristik Lokasi |
|---------|---------------------------|-------------------------------|
| 1 | 7°40'23.9"S 108°48'07.4"E | Muara Sungai Citanduy |
| 2 | 7°41'03.0"S 108°49'50.8"E | Saluran keluar dari pemukiman |
| 3 | 7°42'27.9"S 108°52'19.4"E | Dekat pemukiman |
| 4 | 7°43'10.5"S 108°56'20.2"E | Dikelilingi hutan mangrove |
| 5 | 7°43'47.5"S 108°59'20.9"E | Kawasan industri |

Stasiun pengambilan sampel terletak memanjang dari arah barat ke timur. Stasiun I adalah stasiun paling barat, merupakan muara Sungai Citanduy yang membawa pasokan air dan sedimen tinggi dari daratan. Stasiun II adalah muara dari kanal kecil yang mana hulu kanal tersebut melintasi area padat penduduk di Kecamatan Kampung Laut. Stasiun III terletak di area mangrove namun cukup dekat dengan jalur lalu lintas perahu. Stasiun IV adalah area yang dikelilingi oleh mangrove, tidak dekat pemukiman. Stasiun V merupakan stasiun terakhir yang lokasinya dekat dengan pelabuhan, berada tepat di jalur lalu lintas kapal, serta satu aliran dengan lokasi pembuangan limbah industri bahan bakar dan produksi gula.

Pengambilan sampel air dilakukan menggunakan botol bervolume satu liter yang diisi penuh. Pada setiap stasiun dikumpulkan 2 botol sampel, yaitu sampel air permukaan dan sampel air permukaan dasar. Kedalaman perairan berkisar antara 60-120 cm. Setelah diisi air, botol ditutup rapat dan dimasukkan ke dalam kotak pendingin yang telah dilengkapi dengan beberapa jel pendingin. Sampel-sampel air ini nantinya akan dikemas dalam kotak styrofoam yang telah dilengkapi dengan jel es yang baru untuk dikirimkan ke laboratorium. Di laboratorium, sampel air dianalisis menggunakan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) untuk memperoleh nilai kandungan BAC-nya (Ivan *et al.*, 2019; Emadian *et al.*, 2021; Smolinska *et al.*, 2022). Pada dasarnya, metode ini bekerja secara fisikokimia, didasarkan pada teknik kromatografi. Tekanan tinggi diberikan pada sampel cairan yang dipompa bersamaan dengan larutan standar. Keduanya akan melewati kolom sensor yang menghasilkan data. Data ini dibaca oleh detektor UV-VIS yang hasilnya diinterpretasikan dari puncak grafik yang diperoleh.

Data konsentrasi BAC yang diperoleh diperbandingkan antara konsentrasi permukaan air dan konsentrasi permukaan dasar perairan menggunakan analisis ragam. Perbandingan juga dilakukan antara konsentrasi BAC dengan nilai-nilai kualitas fisik dan kimia perairan yang sebelumnya telah diukur secara insitu. Parameter-parameter tersebut adalah temperatur perairan, pH air, salinitas, dan kandungan oksigen terlarut (Pesulima *et al.*, 2018; Larasati *et al.*, 2021). Berikutnya, analisis deskriptif digunakan dalam menjabarkan interpretasi dari perbandingan data yang dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

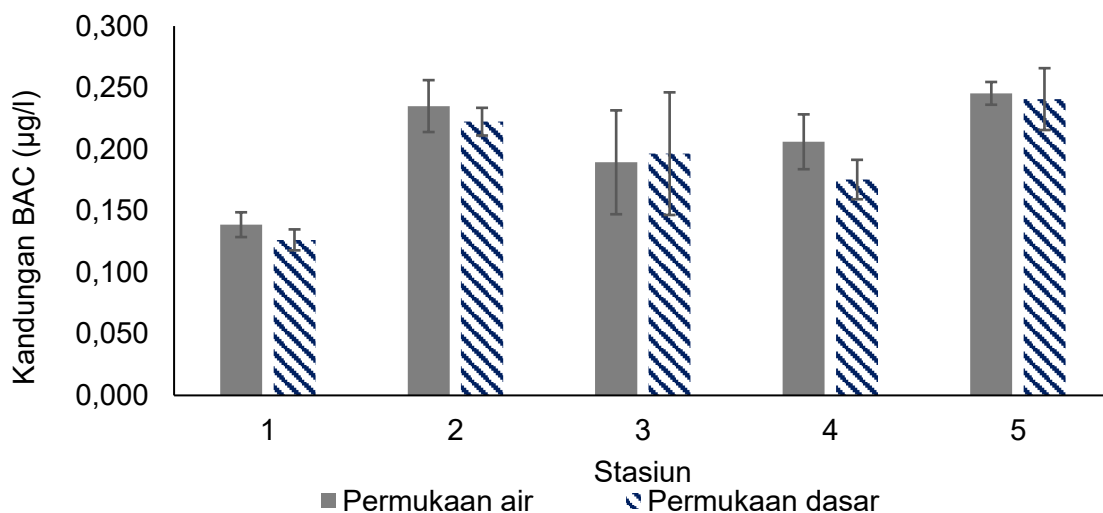
Rerata konsentrasi BAC pada masing-masing stasiun ditunjukkan oleh Gambar 1. Kisaran BAC pada kolom air permukaan Stasiun 1 ditemukan sebesar 0,139 µg/l, Stasiun 2 sebesar 0,235 µg/l, Stasiun 3 sebesar 0,189 µg/l, Stasiun 4 sebesar 0,206 µg/l, dan Stasiun 5 sebesar 0,245 µg/l. Sementara pada kolom air di permukaan dasar, nilai BAC pada Stasiun 1 adalah sebesar 0,126 µg/l, Stasiun 2 sebesar 0,222 µg/l, Stasiun 3 sebesar 0,196 µg/l, Stasiun 4 sebesar 0,175 µg/l, dan Stasiun 5 sebesar 0,241 µg/l. Rerata tertinggi didapati pada Stasiun 5, baik itu untuk kelompok air permukaan maupun permukaan dasar. Stasiun dengan rerata konsentrasi BAC tertinggi kedua adalah Stasiun 2. Kedua stasiun ini (5 dan 2) memiliki kemiripan karakteristik lokasi yaitu keduanya merupakan area dengan aliran air yang terhubung langsung dengan aktivitas manusia baik itu aktivitas industri maupun domestik.

Aktivitas domestik berpotensi tinggi menyumbangkan BAC ke perairan umum. Sebab BAC banyak terkandung dalam produk-produk disinfektan yang digunakan dalam kegiatan rumah tangga sehari-hari (Dwumfour-asare *et al.*, 2017). Di sisi lain, operasional industri pun banyak memanfaatkan senyawa BAC seperti pada industri tekstil (N. P. W. T. Dewi *et al.*, 2017), kosmetik

(Xiongfeng *et al.*, 2012), pangan (T. Yu *et al.*, 2018), pengolahan air (Du *et al.*, 2020), dan terutama industri medis/farmasi (Kim *et al.*, 2020; Ogilvie *et al.*, 2021; Smolinska *et al.*, 2022). Dalam proses pembuangannya, BAC tidak diolah dengan sempurna baik karena alasan terlalu rumit dan mahal, pun karena belum ada teknologi yang cukup efisien untuk mendegradasi senyawa ini di instalasi pengolahan limbah. Berbagai penelitian tentang metode pendegradasian BAC sebelum masuk ke lingkungan telah banyak dilakukan, di antaranya adalah teknik pemaparan ozon (Carbajo *et al.*, 2016), oksidasi menggunakan uv/klorin (Huang *et al.*, 2017; Du *et al.*, 2020), penggabungan antara teknik ozonasi dan uv (X. Yu *et al.*, 2020), hingga upaya menggunakan alternatif biologis (Tezel & Pavlostathis, 2015; Sakarya *et al.*, 2021). Hingga saat ini belum ditemukan metode yang bisa diaplikasikan pada instalasi pengolahan limbah dengan biaya yang tergolong ekonomis.

Instalasi pengolahan limbah adalah lokasi di mana penelitian mengenai konsentrasi BAC paling banyak dilakukan. Pada penelitian-penelitian tersebut, konsentrasi BAC yang dikaji adalah BAC pada air limbah, pada lumpur di dasar instalasi pengolahan limbah, serta pada air keluaran dari pengolahan limbah tersebut (Pereira & Tagkopoulos, 2019; DeLeo *et al.*, 2020; Hora *et al.*, 2020; Barber & Hartmann, 2021). Namun pada praktik di masyarakat Indonesia, air limbah yang terkontaminasi BAC biasanya memasuki perairan umum tanpa diolah sehingga senyawa BAC langsung bercampur dengan aliran air. Pengolahan limbah cair di daerah Kampung Laut, Cilacap, belum memiliki solusi yang ideal. Penanganan limbah padat di daerah ini belum dikelola dengan cukup baik, terlebih lagi pengelolaan limbah cairnya (Darwanto *et al.*, 2022; Wahyono *et al.*, 2022; Prasetyaningrum *et al.*, 2023;).

Penelitian ini tidak mengobservasi konsentrasi BAC pada sedimen, namun hanya mengobservasi konsentrasi BAC terlarut di kolom air, termasuk kolom air tepat di permukaan dasar perairan. Kombinasi rantai alkil hidrofobik dan kepala rantai yang bermuatan positif membuat senyawa ini mudah sekali teradsorpsi pada berbagai permukaan bermuatan negatif. BAC dapat dengan mudah berikatan dengan media pengujian di laboratorium, termasuk yang berbahan dasar kaca (Ndabambi & Kwon, 2020). Karenanya efek BAC terhadap organisme air mungkin tidak sama dengan pengaruhnya terhadap organisme yang berasosiasi erat dengan sedimen perairan. Dalam penelitian ini, hasil analisis ragam menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan antara konsentrasi BAC di air permukaan dan air permukaan dasar. Secara global BAC dengan konsentrasi 0,07–65 µg/l dikategorikan sebagai mikropolutan (Zhang *et al.*, 2015). Konsentrasi yang ditemukan dalam sampel yang diambil dari perairan Segara Anakan dalam penelitian ini berkisar dalam angka tersebut, sehingga BAC dapat dikategorikan sebagai salah polutan mikro bagi perairan tersebut. Meski demikian, kategori ini belum dapat menyatakan secara eksplisit bahwa Segara Anakan Cilacap tercemar BAC, sebab belum ada baku mutu yang meregulasi keberadaan BAC di perairan Indonesia.



Gambar 1. Konsentrasi benzalkonium klorida terlarut dalam air Segara Anakan, Cilacap

Senyawa BAC masuk ke perairan umum melalui banyak sumber. Sayangnya belum, atau bahkan tidak ada, upaya untuk mendegradasi BAC sebelum senyawa ini memasuki aliran perairan umum. Limbah domestik adalah salah satu komponen sumber masukan BAC yang di Indonesia tidak diolah secara intensif sebelum memasuki perairan umum. Dengan sistem penanganan limbah yang mirip, sampel air dari perairan yang terhubung dengan pemukiman di Ghana terdeteksi mengandung BAC dalam jumlah yang dikategorikan sebagai 'berlebih'. Pemakaian produk-produk pembersih rumah tangga berbahan aktif BAC adalah alasannya (Dwumfour-asare & 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). Komponen ini ditemukan dalam konsentrasi besar di perairan yang terhubung dengan outlet instalasi pengolahan limbah pabrik obat dan menyebabkan respons ekotoksikologi akut pada reproduksi daphnia dan anakan ikan zebra (Kim *et al.*, 2020).

Risiko ekotoksikologi akibat paparan BAC di perairan sendiri banyak dilakukan terhadap ikan (Antunes *et al.*, 2016; Ikisa *et al.*, 2019b; Ayu, 2022), alga (Elersek *et al.*, 2018; Khan *et al.*, 2018), dan bakteri (Forbes *et al.*, 2018; Barroso *et al.*, 2019;). Semua penelitian menunjukkan respons kerusakan sel, penghambatan pertumbuhan, kelumpuhan pergerakan, hingga kematian yang cukup signifikan saat organisme perairan terpapar BAC.

Sebagai mikropolutan, sifat BAC adalah sulit didegradasi, mudah terikat pada partikel sedimen, serta toksik bagi organisme (Carbajo *et al.*, 2016; Lavorgna *et al.*, 2016; Du *et al.*, 2020; Ndabambi & Kwon, 2020; Chacón *et al.*, 2021). Dengan karakter seperti ini, dalam jumlah yang melebihi beberapa mikrogram per liter air saja, BAC dianggap zat toksik bagi perairan. Konsentrasi yang menyentuh kisaran ratusan mikrogram per liter sudah mampu melumpuhkan, bahkan membunuh, beberapa organisme kecil (Pereira & Tagkopoulos, 2019). Meskipun organisme-organisme tersebut adalah hewan yang dianggap merugikan (misal: bakteri, virus, serangga), namun efek BAC tidak terbatas pada organisme itu saja. Efek BAC bisa melebar pada organisme yang lebih kompleks, mengancam struktur komunitasnya, dan pada akhirnya mengganggu keseimbangan ekosistem.

Parameter fisikokimiawi perairan yang diukur saat sampling dicatat sebagai data sekunder (Tabel 2). Temperatur, salinitas, oksigen terlarut, dan pH merupakan parameter-parameter yang paling sering digunakan untuk mengukur kondisi baik atau tidaknya suatu perairan. Hasil pengukuran parameter fisikokimiawi air pada penelitian ini berada dalam kisaran nilai yang umum ditemui di Segara Anakan Cilacap (Dewi *et al.*, 2016; Priska *et al.*, 2020; Kresnasari & Gitarama, 2021) kecuali nilai salinitas. Hal ini disebabkan karena pada ketiga kali pengambilan sampel, perairan Segara Anakan sedang mengalami banjir sehingga masukan air tawar sangat besar dan menurunkan kadar salinitas.

Faktor-faktor fisikokimiawi air memiliki pengaruh langsung terhadap reaksi-reaksi fisik, kimia dan biologis perairan. Dalam penelitian ini, analisis ragam yang dilanjutkan dengan uji-t menunjukkan faktor-faktor tersebut berpengaruh signifikan terhadap konsentrasi BAC di perairan baik itu kelompok BAC permukaan, maupun kelompok BAC permukaan dasar (Tabel 3).

Tabel 2. Kisaran parameter fisik dan kimia perairan Segara Anakan selama pengambilan sampel

| Stasiun | Temperatur (°C) | Salinitas (‰) | Oksigen Terlarut (ppm) | pH | Kecerahan (m) |
|---------|-----------------|---------------|------------------------|-----------|---------------|
| 1 | 27,67-28,67 | 0,00-5,67 | 2,80-4,10 | 5,67-6,50 | 0,14-0,24 |
| 2 | 27,00-30,33 | 0,67-15,67 | 2,30-3,60 | 6 | 0,15-0,23 |
| 3 | 27,00-28,00 | 0,33-15,00 | 2,10-3,20 | 6 | 0,13-0,41 |
| 4 | 27,67-29,00 | 2,00-20,33 | 2,00-2,40 | 5,50-6 | 0,17-0,35 |
| 5 | 27,33-29,00 | 10,00-27,67 | 2,70-7,40 | 6 | 0,22-0,53 |

Tabel 3. Perbedaan antara konsentrasi BAC permukaan air dan permukaan dasar dengan parameter fisikokimiawi perairan

| Parameter Fisikokimiawi Air | BAC Permukaan | BAC Permukaan Dasar |
|-----------------------------|---------------|---------------------|
| Temperatur | Signifikan | Signifikan |
| Salinitas | Signifikan | Signifikan |
| Oksigen terlarut | Signifikan | Signifikan |
| pH | Signifikan | Signifikan |
| Kecerahan | Signifikan | Signifikan |

Beberapa kajian mengenai efek faktor fisikokimiawi perairan terhadap kinerja BAC telah dilakukan di luar Indonesia. Salah satu kajian membahas perbedaan salinitas terhadap kemampuan larut BAC di air laut dan air tawar. Kandungan BAC dalam hidrogel yang direndam di perairan tawar telah hilang dalam waktu 2 hari, sementara di air laut kandungan BAC dapat bertahan hingga 3 minggu (Smith et al., 2002, 2003). Pada penelitian yang lain tentang pengujian reduksi nitrat yang diujicobakan dengan penambahan BAC, temperatur menjadi penentu terhadap keberlanjutan fase cair BAC dan kapasitas adsorpsinya. Semakin rendah temperatur, kapasitas adsorpsi semakin besar. Artinya, BAC lebih mudah larut dan berikatan dengan senyawa lain pada temperatur rendah (Hajaya et al., 2011). Penelitian semacam ini belum dilakukan di Indonesia, namun demikian, hasil observasi penelitian ini menunjukkan bahwa ada pengaruh signifikan antara salinitas dan temperatur terhadap konsentrasi BAC di perairan.

Faktor lain yang diamati adalah pH dan oksigen terlarut. Pada dasarnya, nilai pH selalu dipertimbangkan sebagai salah satu faktor terpenting dalam proses oksidasi BAC karena konsentrasi dan spesies bahan organik selalu bergantung pada pH (Hong et al., 2017). Proses oksidasi sendiri akan melibatkan oksigen, karenanya tinggi rendahnya kandungan oksigen dalam air akan memengaruhi cepat tidaknya BAC teroksidasi. Di perairan, banyak faktor yang memengaruhi konsentrasi oksigen. Temperatur, salinitas dan kecerahan menjadi faktor yang secara signifikan menentukan konsentrasi oksigen dalam air. Semakin tinggi temperatur, salinitas dan kecerahan suatu perairan, konsentrasi oksigen di perairan semakin kecil (Patty & Huwae, 2023).

KESIMPULAN

Benzalkonium klorida (BAC) merupakan mikropolutan yang ditemukan di perairan Segara Anakan Cilacap. BAC bersumber dari limbah domestik yang masuk bersama limpasan air tawar dari sungai-sungai yang masuk ke Segara Anakan, Cilacap. Konsentrasi BAC di kawasan ini dipengaruhi oleh nilai temperatur, salinitas, oksigen terlarut, pH, dan kecerahan perairan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi atas hibah penelitian yang diberikan pada tahun 2022 sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

DAFTAR PUSTAKA

- 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. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 45:115–122. DOI: 10.1016/j.etap.2016.04.016
- Ashari, D. P., Muhammad, F., & Utami, S. 2019. Struktur Komunitas Hutan Mangrove Di Sungai Donan Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*, 21(1): 65–71. DOI: 10.14710/bioma.21.1.65-71
- Ayu, N. 2022. Pengaruh Larutan Benzalkonium Klorida dalam Air terhadap Sintasan Anakan Ikan

- Nila (*Oreochromis niloticus*). *Ilmu Perairan (Aquatic Science)*, 10(2): 75-82. DOI: 10.31258/jipas.10.2.p.75-82
- 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*, 52(15): 2691-2719. DOI: 10.1080/10643389.2021.1889284
- Barroso, I., Maia, V., Cabrita, P., Martínez-Suárez, J. ., & Brito, L. 2019. The benzalkonium chloride resistant or sensitive phenotype of *Listeria monocytogenes* planktonic cells did not dictate the susceptibility of its biofilm counterparts. *Food Research International*, 123: 373–382. DOI: 10.1016/j.foodres.2019.05.008
- 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: American Journal of Infection Control*, 48(5): 1–5. DOI: 10.1016/j.ajic.2019.08.030
- Carbajo, J.B., Petre, A.L., Rosal, R., Berná, A., Letón, P., García-Calvo, E., & Perdígón-Melón, J.A. (2016). Ozonation as pre-treatment of activated sludge process of a wastewater containing benzalkonium chloride and NiO nanoparticles. *Chemical Engineering Journal*, 283: 740–749. DOI: 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. *Journal of Water & Health*, 19(6): 895–906. DOI: 10.2166/wh.2021.171
- Chen, Y., Geurts, M., Sjollem, S. B., Kramer, N.I., Hermens, J.L.M., & Droge, S.T.J. 2013. Acute toxicity of the cationic surfactant C12-benzalkonium in different bioassays: How test design affects bioavailability and effect concentrations. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 33(3): 606–615. DOI: 10.1002/etc.2465
- Darwanto, A., Subroto, K.R., & Fudiana, K.T. 2022. Prototype tempat pemrosesan akhir sampah (TPAS) apung di Desa Ujungalang, Kecamatan Kampunglaut. *Jurnal Inovasi Daerah*, 1(2): 88–104. DOI: 10.56655/jid/v1i2.22
- DeLeo, P.C., Huynh, C., Pattanayek, M., Schmid, K.C., & Pechacek, N. 2020. Assessment of ecological hazards and environmental fate of disinfectant quaternary ammonium compounds. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 206: p.111116. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.111116
- Dewi, N.P.W.T., Simpen, I.N., & Suarsa, I.W. 2017. Modifikasi lempung bentonit teraktivasi asam dengan benzalkonium klorida sebagai adsorben zat warna rhodamine B. *Jurnal Kimia*, 11(1): 75–81.
- Dewi, R., Zainuri, M., Anggoro, S., & Winanto, T. 2016. Analisis Perubahan Tata Guna Lahan Kawasan Segara Anakan Selama Periode Waktu (1978-2016) Menggunakan Satelit Landsat Multitemporal. *Omni-Akuatika*, 12(3): 144–150.
- Du, Y., Wang, W., Zhang, D., Zhou, T., Lee, M., Wu, Q., Hu, H., He, Z., & Huang, T. 2020. Degradation of non-oxidizing biocide benzalkonium chloride and bulk dissolved organic matter in reverse osmosis concentrate by UV / chlorine oxidation. *Journal of Hazardous Materials*, 396: p.122669. DOI: 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 Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 76(3–4): 4304–4313. DOI: 10.2166/wst.2017.229
- Elersek, T., Zenko, M., & Filipic, M. 2018. Ecotoxicity of disinfectant benzalkonium chloride and its mixture with antineoplastic drug 5-fluorouracil towards alga *Pseudokirchneriella subcapitata*. *Peer J*. 18(6): e4986. DOI: 10.7717/peerj.4986
- Emadian, S.M., Sefiloglu, F.O., Akmehmet Balcioglu, I., & Tezel, U. 2021. Identification of core micropollutants of Ergene River and their categorization based on spatiotemporal distribution. *Science of the Total Environment*, 758(1): p.143656. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143656
- Forbes, S., Morgan, N., & Humphreys, G.J. 2018. Loss of Function in *Escherichia coli* exposed to

- Environmentally Relevant Concentrations of Benzalkonium Chloride. *Applied and Environmental Microbiology*, 85(4): 1–31. DOI: 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. DOI: 10.3390/app10238485
- Hajaya, M.G., Tezel, U., & Pavlostathis, S.G. 2011. Effect of temperature and benzalkonium chloride on nitrate reduction. *Bioresource Technology*, 102(8): 5039–5047. DOI: 10.1016/j.biortech.2011.01.080
- Hakiki, I.A., Sembiring, L.E., & Nugroho, C.N.R. 2021. Analisis Sedimentasi Laguna Segara Anakan Dengan Pemodelan Numerik Angkutan Sedimen Kohesif. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 12(1): 1–14. DOI: 10.32679/jth.v12i1.642
- Hong, J.M., Xia, Y.F., Zhang, Q., & Chen, B.Y. 2017. Oxidation of benzalkonium chloride in aqueous solution by S₂O₈²⁻/Fe²⁺ process: Degradation pathway, and toxicity evaluation. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 78: 230–239. DOI: 10.1016/j.jtice.2017.06.005
- 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. DOI: 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. DOI: 10.1016/j.watres.2017.02.015
- Ikisa, K.G., Babatunde, B.B., & Hart, A.I. 2019a. 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. DOI: 10.4314/jasem.v23i6.26 Copyright:
- Ikisa, K.G., Babatunde, B.B., & Hart, A.I. 2019b. Histopathological variations in gills, liver and kidney of Nile tilapia - *Oreochromis niloticus* exposed to benzalkonium chloride mixture with treated produced water. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 23(6): p1181. DOI: 10.4314/jasem.v23i6.28
- Ivan, G.R., Stoica, R., Radu, E., Capra, L., & Manolache, M. 2019. Determination of Benzalkonium Chloride from Biocide Products: Selectivity Study. *Proceedings of Priorities of Chemistry for a Sustainable Development-PRIOCHEM*, p.94. DOI: 10.3390/proceedings2019029094
- Kartamihardja, E.S. 2019. Degradasi Keanekaragaman Ikan Asli di Sungai Citarum, Jawa Barat. *Warta Iktiologi*, 3, 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. DOI: 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: p.127084. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.127084
- Kresnasari, D., & Gitarama, A.M. 2021. Struktur dan Komposisi Vegetasi Mangrove Di Kawasan Laguna Segara Anakan Cilacap. *Jurnal Bioterdidik, Wahana Ekspresi Ilmiah*, 9(3): 202–216.
- 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. *Indonesian Journal of Oceanography*, 3(1): 1–13.
- 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. *Environmental Pollution*, 210: 34–39. DOI: 10.1016/j.envpol.2015.11.042
- 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. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 1(1): 238–251. DOI: 10.21776/ub.jtresda.2021.001.01.21
- Mustaruddin, Simbolon, D., & Khotib, M. 2016. Pola dinamis penurunan hasil tangkapan udang akibat pengendapan dan limbah industri di kawasan Segara Anakan. *Marine Fisheries*, 7(2): 125–136.
- 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: p.125924. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.125924
- Ogilvie, B.H., Solis-Leal, A., Lopez, J.B., Poole, B.D., Robison, R.A., & Berges, B.K. 2021. Alcohol-free hand sanitizer and other quaternary ammonium disinfectants quickly and effectively inactivate SARS-CoV-2. *Journal of Hospital Infection*, 108: 142–145. DOI: 10.1016/j.jhin.2020.11.023
- Pane, M.D.C. 2021. Benzalkonium chloride - Manfaat, dosis dan efek samping - Alodokter. Alodokter.Com. <https://www.alodokter.com/benzalkonium-chloride>
- Patty, S.I., & Huwae, R. 2023. Temperature, Salinity, and Dissolved Oxygen West and East seasons in the waters of Amurang Bay, North Sulawesi. *Jurnal Ilmiah Platax*, 11(1): 196–205. DOI: 10.35800/jip.v10i2.46651
- Pereira, B.M.P., & Tagkopoulos, I. 2019. Benzalkonium chlorides: Uses, regulatory status, and microbial resistance. *Applied and Environmental Microbiology*, 85(13): 1–27. DOI: 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. *Jurnal Budidaya Pertanian*, 14(2): 55–65. DOI: 10.30598/jbdp.2018.14.2.55
- Prasetyaningrum, H., Proklamanto, A.S., Permana, D., Ahmad, F., Dewi, S., Cahyadi, R.H., Heremba, F.E., Ibrahim, A.T., & Gewab, L.W. 2023. Mahasiswa Melebur dalam Masyarakat Desa Ujungalang, Kampung Laut Cilacap. *Eastasouth Journal of Impactive Community Services*, 01(02): 110–121.
- Priska, A., Piranti, A.S., & Riyanto, E.A. 2020. Kualitas Air dan Komunitas Zooplankton di Kawasan Segara Anakan Bagian Timur, Cilacap. *Jurnal Ilmiah Biologi Unsoed*, 2(3): 427–434.
- Sakarya, F. K., Haznedaroglu, B. Z., & Tezel, U. 2021. Biological removal of benzalkonium chlorides from wastewater by immobilized cells of *Pseudomonas* sp. BIOMIG1 in an up-flow packed bed reactor. *Journal of Hazardous Materials*, 418: p.126210. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.126210
- Sara, P.S., Astono, W., & Hendrawan, D. I. 2018. Kajian Kualitas Air Di Sungai Ciliwung Dengan Parameter Bod Dan Cod. *Prosiding Seminar Nasional Cendekiawan*, p. 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: Jurnal Sumberdaya Perairan*, 11(2): 71–80. DOI: 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. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55(3): 361–367. DOI: 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. *Journal of Environmental Monitoring*, 5(2): 359–362. DOI: 10.1039/b209822a
- Smolinska, M., Ostapiv, R., Yurkevych, M., Poliuzhyn, L., Korobova, O., Kotsiumbas, I., & Tesliar, H. 2022. Determination of Benzalkonium Chloride in a Disinfectant by UV Spectrophotometry and Gas and High-Performance Liquid Chromatography: Validation, Comparison of Characteristics, and Economic Feasibility. *International Journal of Analytical Chemistry*, 19: p. 2932634. DOI: 10.1155/2022/2932634
- Syakti, A.D., Hidayati, N.V., Hilmi, E., Piram, A., & Doumenq, P. 2013. Source apportionment of sedimentary hydrocarbons in the Segara Anakan Nature Reserve, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 74(1): 141–148. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2013.07.015
- Tezel, U., & Pavlostathis, S.G. 2015. Quaternary ammonium disinfectants: Microbial

- adaptation, Degradation and ecology. *Current Opinion in Biotechnology*, 33: 296–304. DOI: 10.1016/j.copbio.2015.03.018
- Voorde, A. Van De, Lorgeoux, C., Gromaire, M., & Chebbo, G. 2012. Analysis of quaternary ammonium compounds in urban stormwater samples. *Environmental Pollution*, 164: 150–157. DOI: 10.1016/j.envpol.2012.01.037
- Wahyono, S.P., Suyanto, E., & Suratman. 2022. Analisis Pengelolaan Limbah Medis Padat di Puskesmas Kampung Laut Kabupaten Cilacap Jawa Tengah. *Cerdika: Jurnal Ilmiah Indonesia*, 2(7): 651–665.
- Wieck, S., Olsson, O., & Kümmerer, K. 2018. Not only biocidal products: Washing and cleaning agents and personal care products can act as further sources of biocidal active substances in wastewater. *Environment International*, 115: 247–256. DOI: 10.1016/j.envint.2018.03.040
- Xiongfeng, H., Qun, X., & Rohrer, J. 2012. Rapid Determination of Benzalkonium Chloride in a Cosmetic. *Thermo Fisher Scientific*, pp.2–5.
- Yu, T., Jiang, X., Zhang, Y., Ji, S., Gao, W., & Shi, L. 2018. Effect of Benzalkonium Chloride adaptation on sensitivity to antimicrobial agents and tolerance to environmental stresses in *Listeria monocytogenes*. *Frontiers in Microbiology*, 9: p.2906. DOI: 10.3389/fmicb.2018.02906
- 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*, 412: p.127431. DOI: 10.1016/j.cej.2020.127431
- Zhang, C., Cui, F., Zeng, G.M., Jiang, M., Yang, Z.Z., Yu, Z.G., Zhu, M.Y. & Shen, L.Q., 2015. Quaternary ammonium compounds (QACs): A review on occurrence, fate and toxicity in the environment. *Science of the Total Environment*, 518: 352–362. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.03.007