

Studi Karakteristik Mikroorganisme di Air Balas

Marwa Daud Abada Robby¹, Nadia Rana Abiyya Kholish², dan Achmad Chusnun Ni'am^{3*}

¹ Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Adhi Tama
Surabaya, Arif Rahman Hakim No.100, Surabaya, 60294, Indonesia
Email: ach.niam@gmail.com³

Abstrak

Seiring dengan meningkatnya moda transportasi laut di negara-negara maritim khususnya Indonesia, timbul kekhawatiran mengenai pencemaran oleh mikroorganisme asing dari *air balas* yang terakumulasi ke dalam badan perairan. Kekhawatiran ini menjadi pondasi utama bagi para kompeten dan mereka yang berwenang untuk mengembangkan serta memperketat regulasi sebagai salah satu upaya perlindungan laut. Pada penelitian ini, kami meninjau karakteristik dan dampak dari masuknya mikroorganisme asing ke dalam perairan terhadap ekologi laut, dengan fokus khusus terhadap bakteri *pathogen*. Bakteri yang umum dijumpai di air balas adalah bakteri dengan genus *vibrio*. Bakteri *vibrio* dengan spesies *V. alginolyticus*, *V. cholerae* dan *V. parahaemolyticus*. Bakteri *Vibrio* merupakan jenis bakteri akuatik yang tersebar di seluruh dunia dan menjadi salah satu penyebab sebagian besar penyakit pada manusia yang berasal dari biota laut yang telah dikonsumsi. Berdasarkan karakteristik dan impactnya, bakteri *V. parahaemolyticus* merupakan bakteri yang paling berbahaya karena sering menginfeksi ekosistem di perpairan bahkan dapat merimbas pada manusia. Regulasi terkait pengolahan air balas telah diatur untuk meminimalisir dampak tersebut. Saat ini, metode yang paling efektif dan sering digunakan dalam menurunkan bakteri merupakan metode kimia berupa desinfeksi. Terdapat beberapa jenis kembangan baru dari metode desinfeksi, namun yang paling efektif dalam menurunkan bakteri khususnya *vibrio* adalah metode hypochlorite biocide.

Kata kunci: air balas, bakteri, biosida, *pathogen*, transportasi, *vibrio*

Abstract

Along with the increasing modes of sea transportation in maritime countries, especially Indonesia, concerns arise about pollution by foreign microorganisms from ballast water that accumulates into water bodies. This concern is the main foundation for competence and those authorized to develop and tighten regulations as one of the efforts to protect the sea. In this study, we reviewed the characteristics and impacts of the introduction of foreign microorganisms into waters on marine ecology, with a particular focus on pathogenic bacteria. Bacteria commonly found in ballast water are bacteria with the genus *vibrio*. *Vibrio* bacteria with species *V. alginolyticus*, *V. cholerae* and *V. parahaemolyticus*. *Vibrio* bacteria are a type of aquatic bacteria that spread throughout the world and are one of the causes of most diseases in humans originating from marine life that has been consumed. Based on its characteristics and impact, *V. parahaemolyticus* bacteria are the most dangerous bacteria because they often infect ecosystems in the pairing and can even affect humans. Regulations related to ballast water treatment have been regulated to minimize the damapk. Currently, the most effective and frequently used method of degrading bacteria is the chemical method of disinfection. There are several new types of disinfection methods, but the most effective in reducing bacteria, especially *vibrio*, is the hypochlorite biocide method.

Keywords: ballast water, bacteria, biocide, *pathogen*, transportation, *vibrio*

^{3*} Penulis korespondensi

1. Pendahuluan

Industri transportasi semakin berkembang dari waktu ke waktu, salah satunya adalah transportasi perairan. Moda transportasi laut berupa kapal, merupakan yang paling ideal untuk menunjang proses perdagangan. Kapal menjadi fasilitator penyedia jasa pengangkutan, penyeberangan, hingga transmisi. Hess-Erga et al., (2019) menyatakan bahwa transportasi laut mengangkut lebih dari 80% komoditi perdagangan dunia yang utama. Bertambahnya kebutuhan transportasi laut, mengakibatkan bertambahnya air balas yang dihasilkan. Air balas merupakan air yang dihasilkan kapal untuk menjaga kestabilan saat perjalanan di laut. Air balas diambil dari perairan pesisir saat kapal dalam proses bongkar muat, lalu dibuang saat kapal telah sandar. Menurut Bailey et al., (2022) air balas mengangkut ratusan hingga puluhan ribu individu zooplankton per meter kubik, bahkan setelah pertukaran air pemberat di tempat terbuka di lautan.

Menurut Xue et al., (2021) setiap hari 3.000-7.000 spesies asing dibawa ke seluruh lautan di dunia melalui air balas kemudian dibuang dalam lingkungan baru, ini akan menyebabkan invasif dan mengubah struktur ekosistem flora serta fauna asli dan akan menyebabkan perubahan ekologi secara irreversibel dan kerugian secara ekonomis. Sebagian besar perairan alami mengandung sekitar 109 bakteri kapal-kapal di seluruh dunia berpotensi membawa sekitar 3×10^{21} bakteri di dalam tangki pemberatnya. Selain bakteri, mikroalga yang terbentuk secara alami merupakan kelompok mikroorganisme lain yang lebih kecil di dalam air balas. Biasanya, fitoplankton terdiri dari 0,1 hingga 10% dari kelimpahan bakteri di perairan alami, tetapi variasi musiman dan lokal yang besar dapat terjadi. Zooplankton juga umumnya ditemukan di tangki balas kapal, tetapi kelimpahan dan komposisinya tergantung pada lokasi geografis dan musim (Petersen et al., 2019).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Wu et al., 2017) terdapat 22 spesies patogenik bakteri yang terdeteksi dari air balas yang terbuang, termasuk yang paling sering ditemukan yaitu Bakteri *Vibrio* dengan spesies *V. alginolyticus*, *V. carchariae*, *V. parahaemolyticus*, and *V. vulnificus*. Bakteri *Vibrio* merupakan jenis bakteri akuatik yang tersebar di seluruh dunia dan menjadi salah satu penyebab sebagian besar penyakit pada manusia yang berasal dari biota laut yang telah dikonsumsi. Salah satu jenis bakteri dari marga *Vibrio* yang hidup dilaut dan merupakan patogen yang berbahaya bagi kesehatan manusia adalah *V. parahaemolyticus*. Bakteri ini adalah jenis bakteri yang memiliki daya tahan terhadap salinitas cukup tinggi. Oleh sebab itu bakteri patogen ini dapat mencemari pangan hasil laut. Spesies *Vibrio* lain yang diisolasi dari manusia adalah *V. alginolyticus* dan *Vibrio vulnificus*. *Vibrio alginolyticus* adalah halofili dan disebut biotipe 2 dari *V. parahaemolyticus*, sedangkan *Vibrio vulnificus* adalah spesies *Vibrio* yang sangat invasif yang dapat menyebabkan gangguan kekebalan tubuh pada orang yang telah mengkonsumsi makanan laut yang telah terkontaminasi (Soler-Figueroa et al., 2020). Bakteri patogen *vibrio*, terdapat dimana-mana di lingkungan perairan dan berkontribusi terhadap siklus karbon dan nutrisi lainnya. Jelasnya, paparan patogen ini pada manusia tidak dapat sepenuhnya dihilangkan, namun penyakit ini dapat diidentifikasi dan dipantau.

Secara alamiah ekosistem perairan laut memiliki kemampuan untuk mereduksi bahan pencemar yang masuk ke dalamnya dengan bantuan arus air, angin dan air hujan. Akan tetapi dengan semakin tingginya jumlah dan konsentrasi penumpukan bahan pencemar ke dalamnya khususnya di area pelabuhan, maka dapat mengakibatkan kemampuannya menurun, bahkan hilang sehingga akan terjadi kerusakan lingkungan laut. Dampak tersebut akan memberi pengaruh terhadap perkembangan mikroorganisme di perairan, yang kadang berkembang melampaui ambang yang membahayakan bagi biota, lingkungan maupun kesehatan manusia yang berada pada perairan tersebut. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik dari mikroorganisme di air balas pada ekologi laut.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah analisis deskriptif, yaitu menyajikan hasil pengolahan data yang didapatkan melalui kajian literatur ilmiah tentang karakteristik dan dampak mikroorganisme di air balas pada ekologi laut. Kajian literatur bersumber pada artikel ilmiah dengan rentang tahun publikasi 2013 hingga 2023 sebagai sumber utama. Selain itu, data pendukung yang bersumber dari website regulasi terkait pembuangan air balas ditambahkan untuk memberikan penegasan pada sumber utama. Pencarian artikel dilakukan dengan menggunakan kata kunci mikroorganisme di air balas, bakteri *Vibrio*, regulasi air balas, dan ekologi laut. Kriteria jurnal yang digunakan dalam penulisan artikel ini diantaranya (1) Artikel merupakan hasil penulisan ilmiah dengan minimal penerbitan tahun 2013, (2) Artikel merupakan kajian ilmiah dengan topik utama dampak mikroorganisme air balas pada ekologi laut, dan (3) Artikel merupakan hasil penulisan ilmiah yang diterbitkan pada jurnal kredibel.

3. Hasil dan Diskusi

3.1. Mikroorganisme di Air balas

Air balas adalah air yang diisikan pada kapal tidak bermuatan yang kembali dari suatu pelabuhan, dengan tujuan untuk menjaga keseimbangan kapal. Air ini akan dibuang sesampainya di pelabuhan tujuannya untuk mengisi muatan

mikroorganisme. Saat kapal bongkar muat menurunkan muatan pada pelabuhan tujuan dan secara bersamaan kapal memuat air balas agar posisi kapal seimbang. air balas yang memenuhi tangki diduga mengandung mikroorganisme sampai pelabuhan tujuan berikutnya. Ketika telah sampai pelabuhan, kapal memuat barang dan secara bersamaan membuang air balas. Semakin banyak kapal yang datang dan pergi di pelabuhan, maka semakin banyak volume air balas yang dituang/dibuang ke perairan, dengan segala polutan yang ada di dalamnya. Apabila air balas mengandung mikroorganisme, berupa bakteri, jamur atau invertebrata kecil lain beserta telur, larva, spora dan kista serta logam berat maka dapat menimbulkan masalah, karena air laut yang dimasukkan ke dalam tangki ballast pada umumnya adalah air yang tidak terdeteksi kualitasnya, bisa jadi membawa polutan fisik maupun biologis. Polutan fisik mudah terdeteksi dari bau, warna maupun penampakan lain sedangkan polutan biologis sangat sulit dideteksi, terutama mikroorganisme patogen. Apabila air laut berasal dari pelabuhan yang lingkungan perairannya kurang baik, maka kontaminan yang ada di pelabuhan tersebut akan tersebar keseluruh penjuru dunia, di tempat kapal tersebut nantinya berlabuh atau sandar dan membuang air balas.

Air balas masih banyak yang berasal dari air laut yang tidak bersih seperti penelitian (Wu et al., 2017) di Cina, yang menemukan tujuh belas spesies zooplankton asing, sebagian besar copepoda. Terdapat 22 spesies bakteri patogen, antara lain yang paling dibanyak dijumpai marga *Vibrio* yaitu *V. alginolyticus*, *V. carchariae*, *V. parahaemolyticus*, dan *V. vulnificus*. Menurut Xue et al., (2021) setiap hari 3.000-7.000 spesies asing dibawa ke seluruh lautan di dunia melalui air balas, kemudian dibuang ke lingkungan baru yang akan menyebabkan invasif serta mengubah flora serta fauna asli dan menyebabkan perubahan ekologi secara irreversibel. (Petersen et al., 2019) melakukan penelitian di perairan Singapura, Meksiko dan Virginia Amerika Serikat tentang pengoperasian air balas pada kapal yang berpotensi menyebarkan bakteri *Vibrio cholerae* ke seluruh pelabuhan di dunia. Penelitian tersebut juga menilai resistensi penggunaan antibiotika pada bakteri *Vibrio cholerae* yang ditemukan pada air balas. Hasil dari penelitian menyatakan bahwa bakteri *Vibrio cholerae* mengalami resisten terhadap salah satu dari dua belas antibiotika yang diuji. Hal ini mendukung untuk melaksanakan usulan peraturan tentang perlakuan bakteriologikal dari *International Maritime Association* untuk pembuangan air balas.

3.1.1. *Vibrio alginolyticus*

a. Karakteristik

V. alginolyticus merupakan *vibrio* halopilik hidup, cepat diisolasi dari perairan pantai maupun sedimen, hidup pada temperature antara 17°C dan 35°C. Isolat *V. alginolyticus* menunjukkan gram-negatif, *motile*, *pleomorphic* sebagian besar membentuk kokubasilus rods. Tumbuhnya tidak berpigmen, basah (*moist*) dan bentuk koloni menyebar. Faktor virulensi yang menonjol dari *V. alginolyticus* adalah ekstrasellular (Leon et al., 2005). Panjang *V. alginolyticus* 1,4-2,6 µm dan lebar 0,5-0,8 µm. bakteri ini sangat aktif bergerak dengan menggunakan satu flagel kutub, pada biakan yang lama bakteri ini bisa menjadi batang lurus yang menyerupai bakteri enterik gram negatif. *V. alginolyticus* tumbuh dengan baik pada media agar *tiosulfat citrate bilesalt sucrose* (TCBS) yang akan menghasilkan koloni berwarna kuning. *Vibrio* bersifat *oksidase*-positif, yang membedakannya dari bakteri enteric gram negatif lain yang tumbuh pada agar darah. Ciri khasnya bakteri ini tumbuh pada pH yang sangat tinggi antara 8,5-9,5 dan dengan cepat dapat dibunuh oleh asam. *V. alginolyticus* mampu menggunakan sejumlah komponen sumber karbon dan energi tanpa membutuhkan vitamin atau growth factor, dan banyak juga yang hidup pada kisaran suhu 4-42°C dan dapat menetap selama berminggu-minggu dalam lingkungan basah dan sedikit atau tanpa makanan.

b. Penularan

Infeksi serius *V. alginolyticus* ditularkan melalui saluran cerna atau makanan laut (ikan yang telah terinfeksi bakteri ini), terutama pada pasien dengan sistem kekebalan tubuh yang lemah, dapat menyebabkan penyakit fatal seperti infeksi jaringan lunak nekrotikans dan bakteremia, yang selalu disertai dengan syok septik dan disfungsi banyak organ, sehingga mengakibatkan morbiditas dan mortalitas yang tinggi (Baker-Austin et al., 2018).

c. Impact Ekologi

Sebaran *V. alginolyticus* pada perairan laut menyebabkan impact terhadap ekosistem. Menurut (Mutalib, 2018) Kematian yang disebabkan oleh serangan *V. alginolyticus* pada ikan laut hingga mencapai 100 %. Bakteri ini, sebagian besar menginfeksi ikan laut terutama ikan kerapu (Adriany & Koesharyani, 2018). Menurut (Nurlatifah et al., 2022) bakteri *V. alginolyticus* menginfeksi ikan laut bersirip diantaranya ikan kerapu bebek *Cromileptes altivelis* dan kerapu macan, *E. fuscoguttatus*. *V. alginolyticus* dapat menginfeksi ikan kerapu macan, berdasarkan penelitian Aonulla (2013) gejala klinis ikan kerapu macan pasca infeksi bakteri *V. alginolyticus* diantaranya terjadi perubahan tingkah laku serta morfologi ikan kerapu macan. Perubahan tingkah laku teramati pada semua perlakuan pengujian, yaitu berupa penurunan respon terhadap rangsang, berenang dipermukaan, keseimbangan terganggu, cenderung bergerak lamban dengan sesekali berenang cepat (*erratic swimming*) dan penurunan nafsu makan. Sedangkan gejala

klinis secara morfologi, yaitu terdapat luka pada tubuh ikan, adanya pembengkakan pada daerah mata (*exophthalmia*) serta geripis pada bagian sirip. Adapun perubahan warna tubuh ikan menjadi gelap teramati pada semua perlakuan pengujian. Selain itu, Salah satu bakteri yang sering menyerang ikan kerapu tikus adalah *V. alginolyticus*. *V. alginolyticus* juga menyerang ikan kerapu pada berbagai stadia mulai dari larva hingga dewasa (Mutalib & Khartiono, 2018).

V. alginolyticus diidentifikasi sebagai patogen menular yang menyebabkan kematian massal *C. gigas* yang dibudidayakan di Tiongkok utara selama musim panas (He et al 2022). Namun, dibanding ikan laut lainnya lumba-lumba lebih resisten terhadap *V. alginolyticus* dimana tidak mengakibatkan kematian, yang dapat diartikan bahwa keberadaan *V. alginolyticus* dalam tubuh ikan tersebut tidak bersifat patogen, karena bakteri ini tergolong oportunist dimana akan menjadi patogen apabila kondisi ikan tidak optimal misalnya stres karena kualitas air dan pakan tidak bagus. Interaksi yang tidak serasi ini menyebabkan mekanisme pertahanan diri yang dimiliki menjadi lemah dan akhirnya mudah terserang penyakit (Johnny & Roza, 2014).

Infeksi bakteri *V. alginolyticus* diperoleh hampir di setiap tingkatan dalam rantai perdagangan ikan hias Banggai Cardinal, karena bakteri ini banyak tersebar di perairan dan umum terdapat baik pada budidaya udang putih *Litopenaeus vannamei* dan budidaya ikan kerapu. Hasil analisis dan identifikasi bakteri, ternyata bakteri *V. alginolyticus* paling banyak menginfeksi *Banggai Cardinal* di tingkat pengumpul Luwuk Banggai dengan tingkat prevalensi sebanyak 60% (9/15) dari ikan sampel, sedangkan infeksi *P. shigelloides* dengan tingkat prevalensi sebanyak 40% (6/15) dari ikan yang diperiksa (Nosrati-Ghods et al., 2017).

3.1.2. *V. parahaemolyticus*

a. Karakteristik

V. parahaemolyticus.spp adalah salah satu spesies bakteri dari famili *Vibrionaceae* yang merupakan bakteri Gram negatif berbentuk batang (curved atau straight), anaerob fakultatif, tidak membentuk spora, pleomorfik, bersifat motil dengan single polar flagellum (Hasanah et al., 2022). Bakteri ini merupakan bakteri halofilik (tumbuh optimum pada media yang berkadar garam 3%), tidak memfermentasi sukrosa dan laktosa, dapat tumbuh pada suhu 10-44°C (optimum suhu 37°C) (Novriadi et al., 2014). *V. parahaemolyticus* mempunyai ukuran dengan lebar berkisar antara 0,5-0,8 µm dengan panjang 1,4-2,6 µm, bakteri *V. parahaemolyticus* biasanya akan tumbuh serta berkembang biak dengan baik pada kondisi pH optimal yaitu 7,0-7,5 dan suhu optimal 37°C. Pada media pertumbuhan agar darah, menunjukkan bembentukan koloni *V. parahaemolyticus* dengan warna keabuan dengan bentuk melingkar berdiameter 2-3 mm, sedangkan koloni Nampak berwarna kuning atau hijau apabila ditumbuhkan dengan menggunakan media pertumbuhan TCBS (Nurlatifah et al., 2022). *V. parahaemolyticus* patogen yang menyerang pada kasus *Vibriosis* umumnya berwarna hijau. Jika ditumbuhkan di media agar agar TCBS *V. parahaemolyticus* akan berbentuk seperti koloni bulat, cembung mengkilap, evaluasi rata dan terlihat mampu memandarkan cahaya bila diamati di ruang gelap (Mutalib & Khartiono, 2018).

b. Penularan

V. parahaemolyticus bila masuk kedalam tubuh manusia dapat menyebabkan infeksi gastrointestinal, yang ditandai dengan muntah-muntah, diare, dan rusak-nya pembuluh darah. menunjukkan bahwa 34% infeksi. *parahaemolyticus* merupakan infeksi pada luka di kulit karena terpapar pada air laut yang terkontaminasi bakteri ini. *V. parahaemolyticus* merupakan merupakan bakteri jenis patogenik yang dapat hidup pada tingkat garam tinggi.

c. Impact Ekologi

V. parahaemolyticus diketahui bertanggung jawab atas 20–30% penyakit yang ditularkan melalui makanan laut di banyak negara Asia. Oleh karena itu, penyakit ini telah menjadi masalah kesehatan masyarakat yang serius dan patut mendapat perhatian baik di negara maju maupun berkembang (Siregar et al., 2021). Hal ini juga patut menjadi hal yang harus diwaspadai oleh orang yang berenang di laut serta para petambak udang air payau yang memandangnya, karena perairan laut dan air payau dapat menjadi salah satu penyebab infeksi *V. parahaemolyticus* (Hamzah et al., 2020). Permasalahan pada tahun 2005 juga terjadi penolakan sebanyak 26 ton ekspor udang Indonesia oleh Uni Eropa karena terjadi kontaminasi *V. parahaemolyticus*. Bakteri *V. parahaemolyticus* yang telah menemukan kondisi optimal di bagian gastrointestinal manusia akan memulai kolonisasi organisme inang untuk mendapat nutrisi dengan tujuan mempertahankan pertumbuhannya (Novriadi et al., 2014). *V. parahaemolyticus* merupakan salah satu penyebab utama dari 20-30% kasus gastrointestinal pada manusia yang terjadi di negara-negara Asia termasuk Jepang, Hong Kong, Thailand, dan Indonesia (Hurrayah et al., 2015). Bakteri *V. parahaemolyticus* dapat masuk ke sistem gastrointestinal manusia melalui konsumsi udang *vanname* mentah atau kurang matang yang telah terinfeksi *V.*

parahaemolyticus. mengemukakan bahwa bakteri *Vibrio* sering terjadi pada ikan/udang yang berasal dari laut dan estuaria bahkan terkadang juga terjadi ikan/udang air tawar. Penyakit yang disebabkan oleh bakteri *Vibrio* dapat mengakibatkan tingkat kematian yang tinggi pada budidaya udang (Faudiyah et al., 2017). Bakteri ini berasal dari laut, estuaria dan kadang ditemukan pada air tawar yang dapat menyebabkan penyakit pada manusia akibat mengkonsumsi udang/ikan yang telah terkontaminasi oleh bakteri tersebut. Bakteri ini merupakan jenis patogen yang menginfeksi dan menyebabkan penyakit pada saat kondisi udang lemah dan faktor lingkungan yang ekstrim (Lopillo, 2000). Terjadinya kematian udang akibat adanya serangan bakteri *Vibrio* membuat petani tambak udang mengalami kerugian yang besar. Potensi penyebaran *Vibrio* yang besar hendaknya segera diatasi dengan melakukan berbagai macam upaya penanggulangan.

V. parahaemolyticus merupakan penyebab penyakit pada manusia dan ikan. Jika menginfeksi ikan, strain patogenik menyebabkan vibrosis dengan dampak seperti kematian pada larva maupun ikan-ikan budi daya. *V. parahaemolyticus* patogenik juga telah menjadi pandemic dan penyebab utama gastroenteritis atau diare akut pada manusia. Penyakit akibat *V. parahaemolyticus*, sesudah melalui masa inkubasi selama 12-24 jam, muncul gejala mual, muntah, kram perut, demam dan diareh encer dan berdarah. Infeksi cenderung meredah secara spontan dalam waktu 1-4 hari tanpa terapi selain pemulihan keseimbangan air dan elektrolit.

3.1.3. *Vibrio vulnificus*

a. Karakteristik

V. vulnificus berukuran kecil (0,3 μm) coccus dan pada resusitasi, mereka mendapatkan kembali morfologi berbentuk batang (3 \times 0,7 μm). *V. vulnificus* tidak dapat tumbuh di tiram pada suhu di bawah 13°C, karena pendinginan yang berkepanjangan dapat menyebabkan penurunan jumlah spesies ini. Meskipun beberapa peneliti mencatat bahwa kadar kerang yang didinginkan menjadi tidak terdeteksi (<3 per g) dalam 14-21 hari, peneliti lain mengamati kelangsungan hidup tiram yang terkontaminasi secara artifisial selama 14 hari pada suhu 2°C menunjukkan bahwa pendinginan tidak dapat diandalkan untuk menghilangkan patogen ini dalam tiram. *V. vulnificus* berada di lingkungan laut, dan biasanya berada di air, sedimen, dan kerang. Di pesisir Teluk Meksiko (AS), jumlah *V. vulnificus* paling tinggi dengan suhu air sekitar 26°C dan tingkat salinitas 5–25 bagian per seribu. Dalam kondisi tersebut, jumlah *V. vulnificus* dapat mencapai lebih dari 106/g daging tiram (Mobo et al., n.d.).

b. Penularan

V. vulnificus menghasilkan *siderofor katekol* dan hidroksamat (sistem pelekat besi dengan afinitas tinggi), namun bakteri ini memerlukan kadar besi serum yang tinggi untuk menghasilkan infeksi. Hal ini menunjukkan bahwa *siderofor* ini tidak mampu mengais besi dari transferrin atau protein pengikat besi lainnya dalam serum manusia. Sehingga, bakteri ini lebih rentan menginfeksi manusia yang telah memiliki riwayat penyakit hati kronis (Baker-Austin et al., 2018). Bakteri ini banyak ditemukan di laut yang dapat disebabkan oleh air balas (Raszl et al., 2016).

c. Impact Ekologi

Bakteri *V. vulnificus* banyak ditemukan pada kerang hijau, dimana bakteri ini mampu menyebabkan infeksi pada manusia (Hikmawati et al., 2019). Selain itu, *V. vulnificus* merupakan penyebab penyakit *vibriosis* pada ikan dan udang yang dibudidayakan di air payau dan laut (Meylani & Putra, 2019). Terdapat genotip C dan E dalam tiram dan air laut di sekitarnya dan sementara ini genotip yang ditemukan sama hadir di perairan. Bakteri *V. vulnificus* dapat menjadi pathogen pada ikan sidat dan manusia apabila bersifat indol negatif dan serologik homogen sedangkan pathogen pada manusia apabila bersifat indol positif (Hasanah et al., 2022)

Mirip dengan *V. parahaemolyticus*, infeksi yang terkait dengan *V. vulnificus* berasal dari dua sumber konsumsi makanan laut yang terkontaminasi, khususnya kerang moluska, yang mengakibatkan gastroenteritis atau septikemia primer, yang sering dikaitkan dengan konsumsi tiram, dimana bakteri ini dapat muncul di jumlah besar (105 per gram); atau luka yang terkena air laut atau produk makanan laut, mengakibatkan infeksi luka dan septikemia sekunder. Namun, berbeda dengan *V. parahaemolyticus*, *V. vulnificus* merupakan patogen yang sangat fatal bagi manusia, bakteri ini bertanggung jawab atas >95% kematian terkait makanan laut di Amerika Serikat (Baker-Austin et al., 2018). Satu pasien (dengan leukemia), yang tertular *V. vulnificus* saat membersihkan kepiting, mengalami bakteremia, demam tinggi, syok, dan meninggal 36 jam setelah gejala pertama muncul (Oliver, 2005). Dalam penelitian serupa pada 17 pasien dengan infeksi luka di Florida, melaporkan usia rata-rata 61 tahun; 16 (94%) adalah laki-laki. Pada 76% pasien, luka terjadi saat melakukan kontak langsung dengan air laut, biasanya saat melakukan aktivitas memancing. Selain itu, telah terjadi infeksi *V. vulnificus* selain luka atau septikemia primer setelah konsumsi makanan laut mentah termasuk osteomielitis.

3.2. Regulasi Air Balas di Indonesia

International Maritime Organisation (IMO) yang bergerak dalam bidang keselamatan, keamanan, dan kinerja lingkungan pelayaran internasional telah menaruh perhatian mengenai masalah pencemaran yang diakibatkan oleh perpindahan mikroorganisme melalui air balas. Pada tanggal 13 Februari 2004, IMO mengadakan “International Convention for the Control and Management of Ships’ Air Balas and Sediments”. Tujuan dari konvensi tersebut adalah untuk mencegah terjadinya pencemaran lingkungan laut yang disebabkan oleh mikroorganisme yang terbawa oleh air balas pada kapal, yang dilakukan dengan cara mengharuskan semua kapal untuk mengaplikasikan Air Balas and Sediments Management Plan. Dari konvensi ini lahir berbagai aturan mengenai pengolahan air balas kapal. Aturan ini kemudian dikenal dengan nama ANNEX, yang terdiri dari lima bagian yaitu ANNEX A hingga ANNEX E.

Di Indonesia regulasi terkait pengolahn air balas kemudian diatur lebih lanjut pada PM No.29 Tahun 2014 tentang Pencegahan Pencemaran Lingkungan Maritim. Air balas kapal tidak boleh langsung dibuang pada perairan karena dapat mengakibatkan masalah yang cukup serius, air balas harus diolah dahulu menggunakan alat pengolah. Seperti di SE No.20 tahun 2019 penerapan penggunaan air balas treatment (Metode D-2) Untuk kapal yang belum memiliki sertifikat air balas management maka pada saat penerbitan sertifikat mulai tanggal 8 september 2019 wajib menerapkan penggunaan air balas treatment (IMO 2004).

Berdasarkan PM No.29 Tahun 2014, air balas yang dibuang harus memperhatikan ketentuan dalam pembuangan balas yaitu kurang dari 10 viable organisme/m³ yang memiliki ukuran lebih besar atau sama dengan 50 µM dan kurang dari 10 viable organisme/milimeter dengan ukuran antara 10 µM sampai dengan kurang dari 50 µM, di samping persyaratan terse but harus memenuhi ketentuan pembuangan dari indikator mikroba, sesuai standar kesehatan manusia adalah:

1. toxicogenic *vibrio cholerae* (O1 dan O139) dengan kurang dari 1 (satu) unit pembentuk koloni (cfu) per 100 mililiter atau kurang dari 1 cfu per gram (berat basah) sampel zooplankton;
2. *escherichia coli* kurang dari 250 cfu per 100 mililiter; dan
3. intestinal enterococci kurang dari 100 cfu per 100 mililiter. kapal dengan kapasitas air balas 5000 m³ atau lebih wajib dilengkapi peralatan pengolahan air balas yang memenuhi ketentuan.

3.3. Pengelolaan Air Balas

Untuk memenuhi standar air balas yang tertera pada IMO International Convention for the Control and Management of Ships’ Air Balas and Sediments, maka diperlukan manajemen pengolahan air balas. Secara garis besar terdapat dua buah metode pengolahan air balas, yaitu pengolahan di pelabuhan dan pengolahan di kapal. Pengolahan air balas di kapal dibagi menjadi tiga metode, yaitu metode fisika, metode mekanik, dan metode kimia. Metode fisika adalah metode pengolahan air balas menggunakan penyaring atau filter. Metode mekanik adalah metode pengolahan air balas dengan menggunakan cara seperti radiasi ultraviolet, pemanasan, ultrasonik, medan magnet, dan medan listrik. Metode kimia adalah metode pengolahan air balas menggunakan zat kimia seperti klorin, hidrogen peroksida, kimia organik, dan lainnya (Fauzi, 2017). Saat ini, metode yang paling efektif dan sering digunakan dalam menurunkan bakteri merupakan metode kimia berupa desinfeksi. Desinfeksi saat ini telah dikembangkan oleh para ahli (Wu et al., 2017). Beberapa metode desinfeksi yang dapat digunakan untuk mengelola air balas dalam menurunkan bakteri dapat dilihat pada tabel berikut.

No	Metode	Impact Mikroorganisme	Hasil	Sumber
1	Filtration combine with elevated CO ₂	<i>Vibrio cholera</i> , zooplankton, fitoplankton	<i>Vibrio cholera</i> tidak terdeteksi pada sebesar >99%, setelah dilakukan inkubasi selama 24 jam. Pada konsentrasi 150 ppm dapat menghilangkan >98% mikroorganisme seperti zooplakton dan fitoplankton.	(Lakshmi et al., 2021)
2	Peraclean - biocide	<i>Escherichia coli</i> <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Listeria innocua</i> <i>Vibrio alginolyticus</i>	Penggunaan peraclean biocide yang telah di uji coba di kapal dengan 200 ppm, berhasil mematikan bakteri sebesar 99-100% bakteri, zooplankton dan fitoplankton.	(Lakshmi et al., 2021)

No	Metode	Impact Mikroorganisme	Hasil	Sumber
3	Hypochlorite biocide	<i>Vibrio</i> Escherichia coli	Dalam konsentrasi 5 ppm Sodium hipoklorit, dapat menghilangkan bakteri anaerobic sebesar 99.85%, <i>Vibrio</i> 100%; dan E. coli 85.2% dari air balas	(Rodríguez-Melcón et al., 2023)
4	Electrolytic chlorine generation	<i>Vibrio alginolyticus</i> Artemia salina	Sebanyak 98.7% <i>V.alginolyticus</i> berhasil dinonaktifkan, disusul dengan Artemia salina sebanyak 95% dalam konsentrasi 3 ppm Sodium hipoklorit dalam waktu 30 menit, dengan menggunakan elektroda titanium nitrit yang dilapisi dengan anoda	(Lakshmi et al., 2021)

Berdasarkan tabel hasil dari pengelolaan air balas, dapat terlihat bahwa hasil yang paling tinggi yaitu dengan menggunakan metode Hypochlorite biocide yang menyatakan bahwa penurunan bakteri *vibrio* mampu mencapai angka 100% hanya dengan konsentrasi sodium hipoklorit sebanyak 5 ppm, kemudian disusul dengan metode peraclean – biocide. Biocide sendiri merupakan *chemical treatment* yang berfokus pada solusi untuk kontrol bakteri. Bagaimanapun, untuk hasil yang baik, terdapat beberapa faktor yang perlu diperhatikan karena berpengaruh terhadap kinerja biocide. Faktor-faktor itu meliputi derajat keasaman (pH), jumlah anion serta kandungan dalam air yang diolah. Sodium hipoklorit dikenal sebagai desinfektan yang sangat ampuh untuk semua bakteri, fungi, bahkan virus sekalipun (Dwiyanti Feriana Ratwita et al., 2019). Pada pengaplikasiannya, senyawa berbahan dasar klorin ini umum digunakan untuk perawatan gigi. Fungsinya adalah menghilangkan bakteri pathogen dalam sistem perakaran gigi (Widiastuti et al., 2019). Penggunaan sodium hipoklorit merambah pada bidang perairan dan perkapalan karena jejak historisnya yang mampu menekan jumlah bakteri pathogen. Sebanyak 4704 mg/L sodium hipoklorit dapat digunakan untuk menghilangkan *biofilm* sebesar $>7 \log_{10}$ CFU/cm² (Wang et al., 2023). Sodium hipoklorit memiliki sifat pengoksidasi yang sama seperti gas khlor jika berada dalam air, namun sifat fisiknya akan bergantung pada konsentrasi garam terlarut dalam air. Sebagai agen bakterisidal, mekanisme aksi dari sodium hipoklorit berhubungan dengan karakteristik kimianya serta reaksi yang ditimbulkan oleh mikroorganisme terkait, yang dalam hal ini adalah bakteri *vibrio*. Keuntungan utama yang didapat dari metode Hypochlorite biocide adalah kemampuannya dalam melarutkan jaringan nekrotik (jaringan yang mengalami kematian sel) dan efek anti bakterinya (Santiniaratri et al., 2014). Studi lebih lanjut menyatakan bahwa kombinasi antara sodium hipoklorit (60-80 ppm) dengan *gamma irradiation* bisa menjadi pendekatan potensial untuk removal bakteri pada biota perairan (Park et al., 2018).

4. Kesimpulan

Pada pengaplikasiannya, pengolahan air balas atau *ballast water* harus melalui studi pendahuluan yang menyatakan keanekaragaman organisme di dalamnya sebelum konsentrasi *biocide* ditentukan. Penggunaan agen antibacterial melalui metode *biocide* pada konsentrasi 5 ppm mampu menurunkan jumlah *vibrio* hingga 100%. Memasuki tahap lanjutan pada penelitian pengembangan, berbagai jenis desinfeksi dapat dikombinasikan untuk kontrol pada biomassa dari bakteri pathogen, khususnya bakteri *vibrio*. Kembali ditegaskan juga bahwa regulasi yang berlaku perlu dipertimbangkan untuk memastikan bahwa pengolahan yang diterapkan akan memberi *output* yang sesuai sehingga memperkecil risiko pencemaran lingkungan perairan.

4. Daftar Pustaka

- Adriany, D. T., & Koesharyani, I. (2018). INFEKSI PENYAKIT IKAN BANGGAI CARDINAL (Pterapogon kauderni) DALAM RANTAI PERDAGANGAN. *Jurnal Riset Akuakultur*, 12(3), 283. <https://doi.org/10.15578/jra.12.3.2017.283-294>
- Bailey, S. A., Brydges, T., Casas-Monroy, O., Kydd, J., Linley, R. D., Rozon, R. M., & Darling, J. A. (2022). First evaluation of ballast water management systems on operational ships for minimizing introductions of

- nonindigenous zooplankton. *Marine Pollution Bulletin*, 182, 113947.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113947>
- Baker-Austin, C., Oliver, J. D., Alam, M., Ali, A., Waldor, M. K., Qadri, F., & Martinez-Urtaza, J. (2018). *Vibrio* spp. infections. *Nature Reviews Disease Primers*, 4(1). <https://doi.org/10.1038/s41572-018-0005-8>
- Dwiyanti Feriana Ratwita, O. S. K., Desinfeksi, P., Reparasi, S., Tiruan Resin, G., Pada, A., Gigi, L., Surabaya, D. I., Jember, D., Feriana Ratwita, D., Setyowati, O., & Kusdarjanti, E. (2019). DARMABAKTI CENDEKIA Journal of Community Service and Engagements TRAINING AND COUNSELING ON DISINFECTION DURING REPAIR OF ACRYLIC RESIN DENTURES AT DENTAL LABORATORIES IN SURABAYA AND JEMBER. *Darmabakti Cendekia: Journal of Community Service and Engagements*, 01(1), 1–7.
- Faudiyah, N. N., Majidah, L., & Ismunanti, I. (2017). Identifikasi Bakteri *Vibrio cholerae* pada Tubuh Lalat Hijau (*Chrysomya megacephala*) di Pasar Legi Jombang. *Metode Penelitian Kualitatif*, 17, 43.
[http://repository.unpas.ac.id/30547/5/BAB III.pdf](http://repository.unpas.ac.id/30547/5/BAB%20III.pdf)
- Fauzi, H. N. (2017). Pengembangan prototipe sistem pengolahan air balas dengan menggunakan aplikasi filtrasi karet remah dan radiasi sinar uv. *Skripsi*.
- Hamzah, Hartanto, N., Srinawati, Jumriadi, Afandi, A. A., & Herawati. (2020). Performa dan Infeksi Patogen Penyebab Penyakit Pada Udang Tambak Yang Menggunakan Pakan FSBM. *SIGANUS: Journal of Fisheries and Marine Science*, 1(2), 62–68. <https://doi.org/10.31605/siganus.v1i2.654>
- Hasanah, N., Sudaryatma, P. E., Razaq, I., Eriawati, N. N., Nugraha, W. A., Kumalasari, H., Anggraeni, N. P. A. S., & Dewi, I. A. M. M. (2022). Early Detection of Contamination *Vibrio parahaemolyticus* and *Escherichia coli* in Fisheries Product Using Multiplex Polymerase Chain Reaction. *Jurnal Sain Veteriner*, 40(2), 171.
<https://doi.org/10.22146/jsv.73314>
- Hess-Erga, O. K., Moreno-Andrés, J., Enger, Ø., & Vadstein, O. (2019). Microorganisms in ballast water: Disinfection, community dynamics, and implications for management. *Science of the Total Environment*, 657, 704–716.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.004>
- Hurrayah, Misqul, Hilyana, Siti, Mukhlis, A. (2015). Penggunaan Ekstrak Daun Jambu Biji *Psidium Guajava* Untuk Meningkatkan Kelangsungan Hidup Benih Ikan Kerapu *Bebek Cromileptes Altivelis* Terhadap Serangan Bakteri *Vibrio Parahaemolyticus*. In *Jurnal Perikanan Unram* (Vol. 7, pp. 23–29).
- Johnny, F., & Roza, D. (2014). Infeksi bakteri *vibrio alginolyticus* pada lumba-lumba hidung botol, *tursiops aduncus* yang dipelihara di Lovina, Singaraja, Bali [Infection of bacterial *vibrio alginolyticus* on bottle nose dolphins, *tursiops aduncus* reared at Lovina, Singaraja, Bali]. *Berita Biologi*, 13(3), 295–300.
- Lakshmi, E., Priya, M., & Achari, V. S. (2021). An overview on the treatment of ballast water in ships. *Ocean and Coastal Management*, 199(October 2020), 105296. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105296>
- Meylani, V., & Putra, R. R. (2019). Keberagaman Bakteri Anggota Genus *Vibrio* Penyebab Vibriosis pada Ikan Lele Sangkuriang (*Clarias gariepinus* var. Sangkuriang) di Kota Tasikmalaya. *Seminar Nasional Sains Dan Enternship VI Tahun 2019*.
- Mobo, B. H. P., Rabinowitz, P. M., Conti, L. A., & Taiwo, O. A. (n.d.). Chapter 12 - Occupational Health of Animal Workers. In *Human-Animal Medicine* (1st ed.). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4160-6837-2.00012-9>
- Mutalib, Y., & Khartiono, L. D. (2018). Efektifitas Ekstrak *Ulva Reticulata* Terhadap Infeksi Bakteri Patogen *Vibrio alginolyticus* dan *Vibrio parahaemolyticus* pada Ikan Kerapu Tikus (*Cromileptes altivelis*) Secara In-Vitro. *Jurnal Sains Teknologi Akuakultur*, 2(1), 57–64. <http://jsta.aquasiana.org/index.php/jmai/article/view/28>
- Nosrati-Ghods, N., Ghadiri, M., & Früh, W. G. (2017). Management and environmental risk study of the physicochemical parameters of ballast water. *Marine Pollution Bulletin*, 114(1), 428–438.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.062>
- Novriadi, R., Hermawan, T., Kadari, M., Fournier, V., Seguin, P., Perikanan, B., Laut, B., Jenderal, D., & Budidaya, P. (2014). *Kajian respons kekebalan tubuh dan performa pertumbuhan ikan kakap putih Lates calcarifer Bloch melalui suplementasi protein hidrolisis pada pakan Immune response and growth performance of Asian sea bass Lates calcarifer Bloch fed with supplementation of*. 13(2), 182–191.
- Nurlatifah, S., Darmayasa, I. B. G., Sasmita Julyantoro, P. G., & Sudaryatma, P. E. (2022). Penghambatan Faktor Virulensi *Vibrio parahaemolyticus* Menggunakan Isolat Bakteri dari Saluran Pencernaan Ikan Kerapu. *Acta VETERINARIA Indonesiana*, 10(3), 228–238. <https://doi.org/10.29244/avi.10.3.228-238>
- Oliver, J. D. (2005). Wound infections caused by *Vibrio vulnificus* and other marine bacteria. *Epidemiology and Infection*, 133(3), 383–391. <https://doi.org/10.1017/S0950268805003894>
- Park, S. Y., Chung, M. S., & Ha, S. Do. (2018). Combined effect of sodium hypochlorite and gamma-irradiation for the control of *Vibrio vulnificus* in fresh oyster and clam. *Lwt*, 91(January), 568–572.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.087>
- Petersen, N. B., Madsen, T., Glaring, M. A., Dobbs, F. C., & Jørgensen, N. O. G. (2019). Ballast water treatment and bacteria: Analysis of bacterial activity and diversity after treatment of simulated ballast water by electrochlorination and UV exposure. *Science of the Total Environment*, 648, 408–421.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.080>

- Raszl, S. M., Froelich, B. A., Vieira, C. R. W., Blackwood, A. D., Rachel, T., City, M., & Carolina, N. (2016). *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio vulnificus* in South America: Water, Seafood, and Human Infections. *The University of North Carolina at Chapel Hill (UNC-CH), Institute of Marine Sciences, Morehead City, North Carolina, USA*. <https://doi.org/10.1111/jam.13246>
- Rodríguez-Melcón, C., Alonso-Calleja, C., & Capita, R. (2023). Effect of low doses of biocides on the susceptibility of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella enterica* to various antibiotics of clinical importance. *Food Control*, 149(March 2022). <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109602>
- Santiniaratri, M., Hadriyanto, W., & Mulyawati, E. (2014). Pengaruh Berbagai Konsentrasi Larutan Irigasi Sodium Hipoklorit Kombinasi Omeprazole 8,5% Sebagai Antibakteri *Enterococcus faecalis*. *Jurnal Kedokteran Gigi*, 5(2), 150–157.
- Siregar, T., S, B. H., & Syafitri, E. (2021). ISOLASI DAN IDENTIFIKASI *Vibrio parahaemolyticus* PADA UDANG VANAME (*Litopenaeus vannamei*) PENYEBAB PENYAKIT VIBRIOSIS. *Jurnal Aquaculture Indonesia*, 1(1), 7–14. <https://doi.org/10.46576/jai.v1i1.1389>
- Soler-Figueroa, B. M., Fontaine, D. N., Carney, K. J., Ruiz, G. M., & Tamburri, M. N. (2020). Characteristics of global port phytoplankton and implications for current ballast water regulations. *Marine Pollution Bulletin*, 155(April), 111165. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111165>
- Wang, D., Fletcher, G. C., On, S. L. W., Palmer, J. S., Gagic, D., & Flint, S. H. (2023). Biofilm formation, sodium hypochlorite susceptibility and genetic diversity of *Vibrio parahaemolyticus*. *International Journal of Food Microbiology*, 385(November 2022), 110011. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.110011>
- Widiastuti, D., Karima, I. F., & Setiyani, E. (2019). Efek Antibakteri Sodium Hypochlorite terhadap *Staphylococcus aureus*. *Jurnal Ilmiah Kesehatan Masyarakat*, 11(4), 302–307.
- Wu, H., Chen, C., Wang, Q., Lin, J., & Xue, J. (2017). The biological content of ballast water in China: A review. *Aquaculture and Fisheries*, 2(6), 241–246. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2017.03.002>