

## Hubungan Polusi Laut dan Perubahan Iklim terhadap Sebaran Resistensi Antibiotik

Adelia Ikrima<sup>1\*</sup>, Nadia<sup>2</sup>, Nor Latifah<sup>3</sup>

<sup>1-2</sup> Mahasiswa Program Studi S1 Farmasi, Universitas Muhammadiyah Banjarmasin, Indonesia

<sup>3</sup> Dosen S1 Farmasi Program Studi S1 Farmasi, Universitas Muhammadiyah Banjarmasin, Indonesia

Email : [ladel6629@gmail.com](mailto:ladel6629@gmail.com)<sup>1</sup>, [nadiadia1803@gmail.com](mailto:nadiadia1803@gmail.com)<sup>2</sup>, [nor\\_latifah@umbjm.ac.id](mailto:nor_latifah@umbjm.ac.id)<sup>3</sup>

Korespondensi penulis : [ladel6629@gmail.com](mailto:ladel6629@gmail.com) \*

**Abstract.** Antibiotic resistance (AR) has emerged as a critical global public health concern, particularly due to the spread of antibiotic-resistant bacteria (ARB) and their genes in natural environments. The oceans, which host diverse ecosystems and serve as major food sources, are increasingly affected by ARB pollution, originating from human, agricultural, and industrial activities. Simultaneously, climate change (CC) exacerbates the situation by raising ocean temperatures, lowering pH, and altering marine biodiversity—creating optimal conditions for bacterial survival and gene transfer. This review explores the interconnectedness between ocean pollution and CC and how both factors influence the distribution and persistence of ARB and antibiotic resistance genes (ARGs) in marine ecosystems. Through a systematic literature review of 174 peer-reviewed articles, the study highlights how anthropogenic pollutants—especially antibiotics, heavy metals, and plastics—contribute to resistance emergence. Furthermore, it discusses the transmission pathways from pollution hotspots (e.g., hospitals, agriculture, wastewater) to the oceans. The One Health (OH) strategy is presented as a comprehensive solution to address the environmental, human, and animal health risks posed by antibiotic pollution. This paper serves as a basis for future research into surveillance, mitigation, and policy interventions for controlling AR in marine environments.

**Keywords:** Antibiotic resistance, Ocean pollution, Climate change, One Health, Marine ecosystem

**Abstrak.** Resistensi antibiotik (RA) telah menjadi masalah kesehatan masyarakat global yang mendesak, terutama akibat penyebaran bakteri resisten antibiotik (BRA) dan gennya di lingkungan alami. Lautan, yang menjadi rumah bagi ekosistem yang beragam serta sumber pangan utama, semakin tercemar oleh BRA yang berasal dari aktivitas manusia, pertanian, dan industri. Perubahan iklim (PI) memperburuk kondisi ini melalui peningkatan suhu laut, penurunan pH, dan perubahan keanekaragaman hayati, yang menciptakan kondisi ideal bagi kelangsungan hidup bakteri dan transfer gen. Kajian ini membahas keterkaitan antara polusi laut dan PI, serta bagaimana keduanya memengaruhi distribusi dan keberlanjutan BRA dan gen resisten antibiotik (GRA) di ekosistem laut. Berdasarkan tinjauan sistematis terhadap 174 artikel ilmiah, studi ini menyoroti peran polutan antropogenik—terutama antibiotik, logam berat, dan plastik—dalam memicu resistensi. Selain itu, dibahas juga jalur penularan dari sumber pencemar (seperti rumah sakit, pertanian, dan air limbah) ke laut. Strategi One Health (OH) ditawarkan sebagai pendekatan terpadu dalam menangani risiko polusi antibiotik terhadap kesehatan manusia, hewan, dan lingkungan. Artikel ini menjadi landasan untuk penelitian lanjutan terkait pemantauan, mitigasi, dan intervensi kebijakan dalam pengendalian resistensi di lingkungan laut.

**Kata kunci:** Resistensi antibiotik, Polusi laut, Perubahan iklim, One Health, Ekosistem laut

### 1. LATAR BELAKANG

Lautan mencakup sekitar 71% dari permukaan bumi dan memegang peranan penting dalam menunjang kesehatan masyarakat global, terutama sebagai penyedia sumber daya seperti protein hewani dan bahan pangan laut (Kraemer et al., 2019). Namun, aktivitas manusia yang semakin intensif telah menyebabkan laut menjadi rentan terhadap pencemaran yang bersumber

dari limbah domestik, pertanian, rumah sakit, serta industri, termasuk di dalamnya residu antibiotik, logam berat, dan mikroplastik (Landrigan et al., 2020; Buelow et al., 2021).

Salah satu bentuk pencemaran yang kini menjadi perhatian global adalah pencemaran laut oleh antibiotik dan bakteri resisten antibiotik (ARB). Penggunaan antibiotik yang tidak bijak pada sektor kesehatan manusia maupun hewan telah mempercepat berkembangnya ARB serta gen resistensi antibiotik (ARGs) dalam ekosistem laut (Cáliz et al., 2022; Kulik et al., 2023). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa keberadaan ARB dan ARGs dalam lingkungan laut berpotensi membahayakan ekosistem dan kesehatan manusia melalui rantai makanan laut dan kontak langsung (Sosa-Hernández et al., 2021; Agunbiade & Moodley, 2014). Namun, mekanisme penyebaran ARB dari laut ke manusia masih belum sepenuhnya dipahami (Gothwal & Thatikonda, 2017).

Selain pencemaran, perubahan iklim (climate change) juga menjadi faktor yang memperburuk kondisi ekosistem laut. Meningkatnya suhu air laut, penurunan pH (asamifikasi laut), dan penurunan keanekaragaman hayati mendorong laju penyebaran infeksi bakteri dan memperkuat resistensi antibiotik (Ford et al., 2022; San Lio et al., 2023). Oleh karena itu, penting diterapkan pendekatan *One Health* sebagai strategi lintas sektor yang menghubungkan kesehatan manusia, hewan, dan lingkungan untuk mengatasi krisis resistensi antibiotik secara terpadu (Aslam et al., 2021).

Meskipun telah banyak studi yang mengangkat isu resistensi antibiotik di lingkungan, masih terbatas informasi komprehensif mengenai sebaran, prevalensi, dan interaksi antara polusi laut, perubahan iklim, dan resistensi antibiotik di ekosistem laut (Victoria et al., 2022). Inilah yang menjadi kebaruan penelitian ini, yaitu membahas secara sistematis keterkaitan antara polusi laut dan perubahan iklim terhadap penyebaran ARB dan ARGs serta menawarkan strategi mitigasi melalui pendekatan *One Health*.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui tinjauan literatur, dengan penekanan pada literatur yang tersedia di internet yang relevan dengan publikasi ilmiah. Sebanyak 174 artikel akademis ditinjau dengan menggunakan berbagai database seperti Scopus, Web of Science, Google Scholar, SciELO, PubMed, dan berbagai sumber jurnal yang telah diulas. Kriteria inklusi untuk artikel yang direview adalah adanya kata kunci tertentu yang terkait dengan judul review: Hubungan Ancaman Global Pencemaran Laut dan Perubahan Iklim terhadap Penyebaran Resistensi Antibiotik: One Health Strategy. Di sisi lain, kriteria eksklusi adalah ketidakrelevanan konten dengan topik penelitian, jenis publikasi, dan tanggal publikasi. Artikel

ulasan ditulis secara komprehensif untuk memastikan pertimbangan semua literatur yang relevan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Sebaran ARB dan ARGs di Ekosistem Perairan

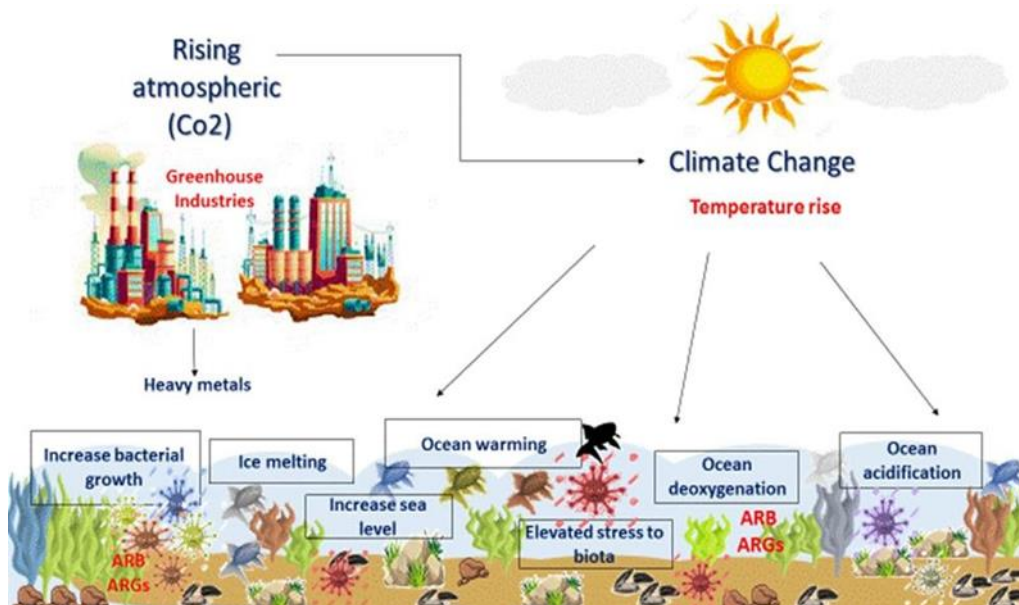
Penelitian ini mengungkapkan bahwa ekosistem laut telah menjadi reservoir utama untuk penyebaran bakteri resisten antibiotik (ARB) dan gen resistensi antibiotik (ARG). Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa air limbah dari rumah sakit, pertanian, dan industri mengandung residu antibiotik dan bakteri resisten yang berakhir di lingkungan laut melalui udara dan pengolahan limbah yang tidak sempurna (Stoll et al., 2012; Belding & Boopathy, 2018). Studi di daerah pesisir Italia, Cina, Australia, dan Jerman mengonfirmasi keberadaan ARG yang memberikan resistensi terhadap  $\beta$ -laktam, makrolida, sulfonamid, dan tetrasiklin. Hal ini memperkuat bukti bahwa ekosistem laut telah terpapar berbagai macam antibiotik dan gen resistensi.

Table 1. Isolasi Bakteri Resisten Antibiotik dan Gen Resistensi dari Rumah Sakit (2023–2025)

| Tahun | Jenis Isolat                                    | Lokasi Penelitian                    |
|-------|-------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 2017  | Gen resistensi $\beta$ -laktam (blaGES, blaOXA) | Cambridge University Hospitals, UK   |
| 2023  | 3 isolat bakteri multi-resisten                 | Beni-Suef University Hospital, Mesir |
| 2016  | ARGs (blaKPC, sull, sul2, qnrA)                 | 2 rumah sakit di Singapura           |
| 2021  | Berbagai spesies ARB dan residu antibiotik      | Ohashi Medical Center, Jepang        |

#### Dampak Perubahan Iklim terhadap Resistensi Antibiotik

Perubahan iklim (CC) juga memperparah penyebaran ARB dan ARG. Meningkatnya suhu laut mempercepat laju pertumbuhan bakteri dan memicu mekanisme transfer gen horizontal (HGT), terutama plasmid yang membawa ARG (MacFadden et al., 2018; Kent et al., 2018). CC juga menyebabkan penurunan pH laut (pengasaman), yang menciptakan lingkungan yang penuh tekanan bagi mikroorganisme dan mendorong mutasi genetik yang terkait dengan resistensi antibiotik (Wei et al., 2023).



### Peran Sumber "Hotspot" Pencemaran Laut terhadap Resistensi Antibiotik

Jurnal ini menekankan bahwa rumah sakit, pertanian, industri, dan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) adalah sumber utama penyebaran ARB dan ARG. Antibiotik yang tidak terurai sempurna di dalam tubuh manusia dan hewan pada akhirnya berakhir di saluran air bersama dengan bakteri yang kebal (Shah et al., 2021). Tinja, urin, dan limbah rumah sakit mengandung berbagai ARG yang dapat bertahan dari proses klorinasi dan menyebar ke organisme laut.



Gambar 2. Dampak Limbah terhadap Jaringan Makanan Laut

## Konsep One Health dalam Menghadapi Resistensi Antibiotik Laut

Penelitian ini mengadopsi pendekatan One Health (OH), yang menggabungkan kesehatan manusia, hewan, dan lingkungan dalam kerangka kerja yang saling berhubungan. OH digunakan untuk memahami dan mengintervensi penyebaran ARB dan ARG melalui sistem lintas sektoral. Sebagai contoh, pendekatan ini menekankan pentingnya pengolahan air limbah rumah sakit dan pertanian secara terpadu untuk menekan penyebaran resistensi (Velazquez-Meza et al., 2022). Konsep OH juga mendukung peningkatan sistem pengawasan resistensi antibiotik di ekosistem laut dan memperkuat peraturan lintas negara.

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil kajian sistematis terhadap 174 artikel ilmiah, penelitian ini menyimpulkan bahwa polusi laut dan perubahan iklim merupakan dua faktor utama yang secara sinergis mempercepat penyebaran resistensi antibiotik di ekosistem laut. Pencemaran dari rumah sakit, pertanian, dan industri telah mengintroduksi bakteri resisten antibiotik (ARB) dan gen resisten antibiotik (ARGs) ke lingkungan laut, yang kemudian berdampak pada kesehatan manusia dan biota akuatik. Sementara itu, perubahan iklim turut memperburuk situasi dengan menciptakan kondisi lingkungan yang mendukung pertumbuhan mikroorganisme patogen dan transfer gen horizontal. Pendekatan *One Health* dinilai relevan dan krusial untuk mengintegrasikan upaya mitigasi lintas sektor, baik dalam hal pengendalian sumber pencemar maupun perumusan kebijakan. Penelitian ini memberikan kontribusi penting sebagai dasar ilmiah dalam pengembangan strategi pemantauan dan pengendalian resistensi antibiotik berbasis ekosistem, serta mendorong kolaborasi global dalam menghadapi ancaman kesehatan publik yang semakin kompleks.

## DAFTAR REFERENSI

- Aslam, B., Khurshid, M., Arshad, M. I., Muzammil, S., Rasool, M., Yasmeen, N., Shah, T., Chaudhry, T. H., Rasool, M. H., & Shahid, A. (2021). Antibiotic resistance: One health one world outlook. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 11, 771510. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2021.771510>
- Belding, L., & Boopathy, R. (2018). Presence of antibiotic-resistant bacteria and antibiotic resistance genes in raw and treated sewage sludge. *Water, Air, & Soil Pollution*, 229(3), 76. <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3743-4>
- Buelow, E., Gonzalez, T. B., Versluis, D., & LaPara, T. M. (2021). Emerging contaminants in aquatic environments: Occurrence, fate, and removal. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51(5), 456–486. <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1692611>

- Bukha, K. K., Altayr, N. A., Shlayek, S. A., & Eldaghayes, I. M. (2025). The association between the global threat of ocean pollution and climate change on the distribution of antibiotic resistance: One health strategy. *World Veterinary Journal*, 15(1), 194–214. <https://dx.doi.org/10.54203/scil.2025.wvj22>
- Cáliz, J., Vila-Costa, M., Camarero, L., Casamayor, E. O., & Triadó-Margarit, X. (2022). Effects of antibiotics on microbial networks in aquatic ecosystems. *Environmental Pollution*, 301, 119021. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119021>
- Ford, T. E., Racherla, P. N., Pruett, L. E., & Sinha, S. K. (2022). Climate change impacts on public health: Vulnerabilities and adaptation options. *Environmental Health Perspectives*, 130(5), 56002. <https://doi.org/10.1289/EHP8987>
- Gothwal, R., & Thatikonda, S. (2017). Antibiotic pollution in the environment: A review. *Current Pollution Reports*, 3, 174–181. <https://doi.org/10.1007/s40726-017-0062-4>
- Kent, A. G., Mettel, C., Reinhard, K., Martinez Arbizu, P., Dittmar, T., & Daniel, R. (2018). Climate change impacts microbial community composition in coastal marine sediments. *Microbiome*, 6, 112. <https://doi.org/10.1186/s40168-018-0492-6>
- Kraemer, S. A., Ramachandran, A., & Perron, G. G. (2019). Antibiotic pollution in the environment: From microbial ecology to public policy. *Microorganisms*, 7(6), 180. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7060180>
- Kulik, A., Danilchenko, H., & Tyshchenko, O. (2023). Antibiotic residues and resistance genes in marine ecosystems: A global perspective. *Marine Pollution Bulletin*, 189, 114662. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114662>
- Landrigan, P. J., Stegeman, J. J., Fleming, L. E., Allemand, D., Anderson, D. M., Backer, L. C., ... & Suk, W. A. (2020). Human health and ocean pollution. *Annals of Global Health*, 86(1), 1–64. <https://doi.org/10.5334/aogh.2831>
- MacFadden, D. R., McGough, S. F., Fisman, D., Santillana, M., & Brownstein, J. S. (2018). Antibiotic resistance increases with local temperature. *Nature Climate Change*, 8(6), 510–514. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0161-6>
- Shah, S. Q. A., Colquhoun, D. J., Nikuli, H. L., & Sørum, H. (2021). Prevalence of antibiotic resistance genes in the marine environment: Impacts of human activity. *Marine Environmental Research*, 170, 105420. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2021.105420>
- Sosa-Hernández, M. A., Rodríguez-Molina, D., & Jasso-Chávez, R. (2021). Antibiotic-resistant bacteria in coastal and marine environments: Occurrence and spread. *Science of the Total Environment*, 754, 142230. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142230>
- Stoll, C., Sidhu, J. P. S., Tiehm, A., & Toze, S. (2012). Prevalence of clinically relevant antibiotic resistance genes in surface water samples collected from Germany and Australia. *Environmental Science & Technology*, 46(17), 9716–9726. <https://doi.org/10.1021/es302020s>

- Velazquez-Meza, M. E., Galarde-López, M., Carrillo-Quiróz, B. A., & Tomás, J. M. (2022). The role of One Health in controlling antimicrobial resistance. *Antibiotics*, 11(4), 500. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11040500>
- Victoria, A. J., Santos, C. A., & Carvalho, D. L. (2022). Ocean antibiotic pollution and its implications for public health: A review. *Marine Environmental Research*, 181, 105741. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2022.105741>
- Wei, R., Xiong, W., Zhang, L., Wang, Y., & Wang, Z. (2023). Ocean acidification enhances antibiotic resistance gene transfer in marine environments. *Environment International*, 176, 107880. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.107880>
- Zacharias, M., Sundar, S., & Ghosh, A. R. (2021). Emerging risks from ocean-borne antimicrobial resistance. *Marine Pollution Bulletin*, 172, 112901. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112901>