

Kaitan Penggunaan Antibiotik pada Kegiatan Antropogenik terhadap Pencemaran *Antibiotic Resistance Escherichia coli* di Sungai Citarum Hulu

Rifky Rizkullah Fahmi¹, Siska Widya Dewi Kusumah¹, Herto Dwi Ariesyady^{2*}

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

²Kelompok Keahlian Teknologi dan Pengelolaan Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

*Koresponden email: herto@itb.ac.id

Diterima: 17 Agustus 2025

Disetujui: 28 Agustus 2025

Abstract

The discovery of antibiotics has provided significant benefits to the world of medicine and human health. Their ability to prevent the growth and even kill pathogenic bacteria has led to their widespread use in various anthropogenic activities, such as livestock farming and healthcare facilities. However, the irrational use of antibiotics has led to the emergence of Antibiotic Resistance *Escherichia coli* (AREc), which exhibits resistance to antibiotics. This is caused by environmental contamination from antibiotic residues. In addition to livestock farming and healthcare facilities, other anthropogenic activities contributing to antibiotic residue contamination include the manufacturing process of antibiotics in the pharmaceutical industry. It is necessary to determine the correlation between anthropogenic activities and the abundance of AREc in the environment. A causal relationship was found between the use of various types of antibiotics in anthropogenic activities and the resistance properties of AREc detected in some of the samples obtained. This causal relationship indicates the role of antibiotic use in AREc pollution occurring in the Upper Citarum River. Additionally, anthropogenic activities that significantly contribute to AREc pollution in the Upper Citarum River are healthcare facilities, which are correlated with high antibiotic use in such activities. A strong relationship was also found between the total *Escherichia coli* group and AREc erythromycin with dissolved oxygen in the Upper Citarum River.

Keywords: antibiotics, anthropogenic activities, *Escherichia coli*, resistant bacteria, citarum river

Abstrak

Penemuan antibiotik memberikan manfaat yang sangat berarti bagi dunia pengobatan dan kesehatan manusia. Sifatnya yang dapat mencegah pertumbuhan bahkan mematikan bakteri patogen membuat antibiotik banyak digunakan di berbagai kegiatan antropogenik, seperti peternakan dan fasilitas kesehatan. Akan tetapi, penggunaan antibiotik yang tidak rasional telah menyebabkan munculnya *Antibiotic Resistance Escherichia coli* (AREc) yang memiliki sifat resisten terhadap antibiotik. Hal tersebut disebabkan oleh terjadinya pencemaran lingkungan oleh residu antibiotik. Selain peternakan dan fasilitas kesehatan, kegiatan antropogenik lainnya yang menyebabkan pencemaran residu antibiotik adalah proses manufaktur antibiotik pada industri farmasi. Diperlukan adanya penentuan korelasi kegiatan antropogenik terhadap kelimpahan AREc di lingkungan. Diperoleh adanya hubungan sebab akibat antara penggunaan berbagai jenis antibiotik pada kegiatan antropogenik dengan sifat resistensi AREc yang terdeteksi pada beberapa sampel yang diperoleh. Hubungan sebab akibat tersebut menunjukkan peran penggunaan antibiotik dalam pencemaran AREc yang terjadi di Sungai Citarum Hulu. Selain itu, kegiatan antropogenik yang berkontribusi tinggi terhadap pencemaran AREc di Sungai Citarum Hulu adalah fasilitas kesehatan yang berkorelasi dengan tingginya penggunaan antibiotik pada kegiatan tersebut. Diperoleh pula hubungan yang kuat antara kelompok *total Escherichia coli* dan AREc erythromycin terhadap oksigen terlarut di Sungai Citarum Hulu.

Kata Kunci: antibiotik, bakteri resisten, *Escherichia coli*, kegiatan antropogenik, sungai citarum

1. Pendahuluan

Antibiotik merupakan salah satu penemuan terbesar dalam sejarah peradaban manusia. Antibiotik diciptakan untuk dapat mencegah atau mengganggu pertumbuhan bahkan mematikan suatu mikroorganisme dalam konsentrasi tertentu [1]. Kemampuan antibiotik dalam mematikan mikroorganisme, terutama yang bersifat patogen, menjadikan antibiotik digunakan sebagai obat untuk mengeradikasi berbagai bakteri patogen yang menyebabkan penyakit infeksius bagi manusia. Akan tetapi, terlepas dari kegunaan dan manfaat dari antibiotik, penggunaan antibiotik yang tidak sesuai dengan indikasinya dapat menyebabkan munculnya

Antibiotic Resistance Bacteria (ARB). ARB merupakan suatu kondisi ketika suatu mikroorganisme atau bakteri sudah tidak lagi memberikan respons terhadap antibiotik yang seharusnya bersifat aktif dalam mengeradikasi bakteri patogen tersebut [2]. Menurut WHO, kelompok ARB yang tergolong kelompok prioritas pertama adalah bakteri dengan famili *Enterobacteriaceae*, seperti *Escherichia coli* [3]. Perubahan respons bakteri terhadap antibiotik, dari rentan menjadi resisten, dipengaruhi oleh berbagai aspek. Salah satu aspek yang ditengarai menjadi penyebab utamanya adalah adanya kontak antara bakteri *Escherichia coli* dengan residu antibiotik yang mencemari lingkungan. Ekosistem yang tercemar oleh residu antibiotik tersebut bertindak sebagai *reservoir* yang memberikan kondisi ideal bagi pertumbuhan bakteri resisten melalui perpindahan gen resisten secara horizontal [4].

Keberadaan residu antibiotik di lingkungan, terutama pada lingkungan akuatik, tidak terlepas dari kegiatan manusia yang menggunakan dan menghasilkan antibiotik. Penggunaan antibiotik oleh manusia dapat dilakukan pada berbagai sektor, seperti peternakan, pertanian, fasilitas kesehatan, dan juga domestik. Lingkungan akuatik yang sangat rentan terhadap pencemaran residu antibiotik adalah sungai. Residu antibiotik yang terkandung pada sungai umumnya berasal dari aktivitas domestik. Hal tersebut didukung oleh adanya temuan bahwa sebagian besar masyarakat masih memiliki pengetahuan yang kurang terkait pembuangan antibiotik di rumah [5]. Selain itu, penggunaan antibiotik secara irrasional di masyarakat tanpa adanya pemantauan dari tenaga kesehatan turut berkontribusi dalam pencemaran bakteri resisten ke lingkungan secara langsung. Selain aktivitas domestik, pencemaran bakteri resisten juga disebabkan oleh aktivitas pada fasilitas kesehatan. Sebagai fasilitas yang menangani berbagai kondisi kesehatan, efluen limbah yang dihasilkan cenderung mengandung polutan yang beragam dan berbahaya, terutama bakteri resisten. Meskipun fasilitas kesehatan telah memiliki instalasi pengolahan air limbah (IPAL), unit desinfeksi yang berperan dalam penyisihan mikroba pada mayoritas IPAL fasilitas kesehatan masih belum optimal, sehingga efluen yang dibuang masih mengandung banyak mikroba.

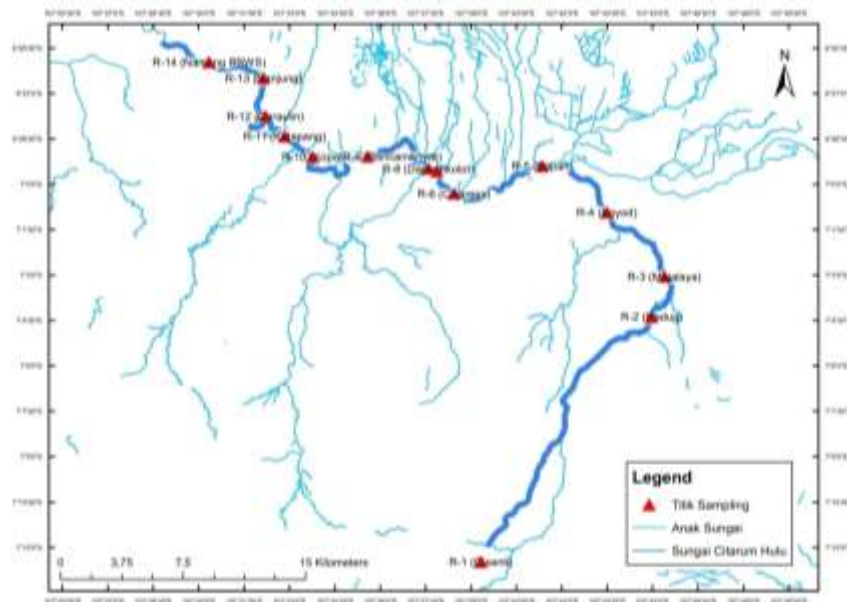
Sungai Citarum Hulu merupakan bagian dari keseluruhan Daerah Aliran Sungai Citarum atau DAS Citarum yang merupakan DAS terbesar di Jawa Barat. DAS Citarum Hulu menghadapi permasalahan yang kompleks disebabkan oleh perkembangan kawasan perkotaan dan industri di Kawasan Bandung Raya yang sangat pesat. DAS Citarum bagian Hulu mencakup berbagai fungsi lahan yang berbeda, dimulai dari hutan dan gunung, pertanian, peternakan, hingga industri dan pemukiman padat penduduk di bagian hilir sungai. Perubahan pesat yang terjadi terhadap tata guna lahan di sekitar DAS Citarum Hulu berkontribusi besar terhadap pencemaran residu antibiotik serta bakteri resisten. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh dari penggunaan antibiotik pada kegiatan antropogenik terhadap keberadaan *antibiotic resistance Escherichia coli* di Sungai Citarum Hulu.

2. Metode Penelitian

2.1 Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel yang hendak dianalisis pada penelitian ini dilakukan pada Sungai Citarum Hulu pada rentang waktu bulan Februari hingga Maret. Lokasi-lokasi pengambilan sampel air sungai pada **Gambar 1** mempertimbangkan tata guna lahan serta kegiatan antropogenik yang dilakukan di sekitar aliran Sungai Citarum Hulu.

Pengambilan sampel air sungai mengikuti metode sampling yang tercantum pada SNI 03-7016-2004 mengenai Tata Cara Pengambilan Contoh Dalam Rangka Pemantauan Kualitas Air Pada Suatu Daerah Pengaliran Sungai. Pengambilan sampel dilakukan dengan metode *grab sampling* untuk setiap lokasi sampling yang dilakukan pada beberapa lokasi yang berbeda. Alat yang digunakan untuk mengambil sampel air sungai merupakan *water sampler*. Sampel air sungai diambil dari titik tengah badan sungai dan titik tengah kedalaman sungai. Sampel air sungai yang telah diambil sebanyak 500 mL kemudian dituangkan segera pada botol kaca yang telah disterilkan melalui proses *autoclave*. Dilakukan pula pengukuran beberapa parameter fisik dari sampel air sungai secara *onsite*. Parameter fisik yang diukur antara lain adalah pH, oksigen terlarut (DO), dan temperatur.



Gambar 1. Peta lokasi pengambilan sampel

2.2 Penyiapan Antibiotik

Pada penelitian ini, digunakan sebanyak 11 jenis antibiotik yang berbeda yang digunakan untuk menentukan resistensi bakteri *Escherichia coli* terhadap tiap antibiotik. Antibiotik yang digunakan antara lain adalah amoxiclave, amoxicillin, cefotaxime, ceftazidime, clindamycin, ciprofloxacin, erythromycin, meropenem, oxytetracycline, tetracycline, dan thiamphenicol. Enumerasi AREc dilakukan terhadap 12 kelompok AREc, dengan 9 kelompok single-drug resistant sesuai dengan 9 jenis antibiotik yang telah disebutkan dan 3 kelompok multi-drug resistant, yaitu CREc, ESBL, dan MDR. Penentuan kelompok CREc dilakukan dengan menggunakan antibiotik meropenem. Untuk kelompok ESBL, antibiotik yang digunakan adalah amoxicillin, cefotaxime, dan amoxiclave. Sedangkan, kelompok MDR merupakan *Escherichia coli* yang bersifat resisten terhadap lebih dari 3 kelompok antibiotik, sehingga antibiotik yang digunakan adalah amoxicillin, cefotaxime, ciprofloxacin, dan tetracycline. Antibiotik yang hendak digunakan dalam proses enumerasi AREc ditimbang terlebih dahulu sesuai dengan nilai minimum inhibitory concentration (MIC) untuk setiap antibiotik yang tercantum pada Tabel 1. Antibiotik yang telah ditimbang kemudian dilarutkan pada tabung sentrifugal 50 mL menggunakan air injeksi steril, sehingga menghasilkan konsentrasi larutan yang diinginkan, yaitu sebesar 100 kali lebih besar dari MIC yang digunakan. Untuk menghomogenkan larutan, tabung sentrifugal diaduk menggunakan alat vortex selama ± 2 menit. Pertumbuhan *Escherichia coli* yang terjadi pada sampel yang telah ditambahkan larutan antibiotik mengindikasikan *Escherichia coli* tersebut memiliki sifat resisten terhadap antibiotik yang ditambahkan.

Tabel 1. Nilai minimum inhibitory concentration (MIC) dan kategori AWaRe setiap antibiotik

No.	Antibiotik	Kategori AWaRe	Nomor CAS	MIC ($\mu\text{g/mL}$)	Sumber
1.	Amoxicillin	Access	61336-70-7	32	Nguyet dkk., 2022
2.	Amoxiclave	Access	79198-29-1	16	CLSI, 2020
3.	Cefotaxime	Watch	64485-93-4	4	CLSI, 2020
4.	Ceftazidime	Watch	72558-82-8	16	CLSI, 2020
5.	Clindamycin	Access	18323-44-9	32	De Boer dkk., 2015
6.	Erythromycin	Watch	114-07-8	16	Kolawole, 2020
7.	Meropenem	Reserve	119478-56-7	4	CLSI, 2020
8.	Oxytetracycline	Watch	79-57-2	128	Dandeniya dkk., 2022
9.	Tetracycline	Access	60-54-8	16	Azad dkk., 2019
10.	Thiamphenicol	Access	15318-45-3	32	Bagheri dkk., 2022
11.	Ciprofloxacin	Watch	85721-33-1	1	Bessalah dkk., 2016

Pada Tabel 1 juga tercantum kategori AWaRe dari tiap antibiotik berdasarkan klasifikasi yang dilakukan oleh WHO. Kategori AWaRe dari tiap antibiotik tersebut diklasifikasikan berdasarkan penggunaan

antibiotik. Antibiotik kategori *access* merupakan antibiotik yang paling umum digunakan untuk pengobatan berbagai penyakit di fasilitas kesehatan. Antibiotik kategori ini lebih mudah untuk diakses sehingga penggunaannya di masyarakat cenderung sulit dikontrol dan tidak rasional. Antibiotik kategori *watch* merupakan antibiotik yang penggunaannya dan peredarannya lebih dibatasi. Sedangkan, antibiotik kategori *reserve* merupakan antibiotik yang menjadi lini terakhir pengobatan ketika berbagai antibiotik lainnya sudah tidak mampu mengobati infeksi penyakit yang terjadi.

2.3 Enumerasi AREc dengan Metode *Spread Plate*

Dalam proses enumerasi AREc dengan metode *spread plate*, digunakan medium padat berupa *Chromocult® coliform agar* yang merupakan medium kultur kromogenik yang bersifat selektif dan diferensial. Medium tersebut dapat memberikan produk yang berbeda antara reaksi yang terjadi terhadap substrat yang terkandungnya dengan enzim yang bekerja pada bakteri *coliform* dan *Escherichia coli*. Pada medium ini, koloni bakteri *Escherichia coli* akan memiliki spektrum warna biru tua hingga ungu, sedangkan koloni bakteri *coliform* akan terlihat berwarna merah salmon. Selain itu, medium ini juga mengandung senyawa *Tergitol®* yang berperan sebagai inhibitor pertumbuhan bakteri gram positif. Medium ini dibuat dengan perbandingan sebanyak 26,5 g medium terhadap 1000 mL akuades. Medium dilarutkan pada labu erlenyemer steril yang telah di-*autoclave* dan dipanaskan pada temperatur $\pm 120^{\circ}\text{C}$ selama ± 5 menit atau hingga larutan medium telah homogen. Setelah didinginkan, larutan sediaan antibiotik ditambahkan pada larutan medium dengan perbandingan 1 mL antibiotik terhadap 100 mL medium. Setelah medium mengeras dengan sempurna, proses *spread plate* dapat dilakukan dengan menambahkan 10 μL sampel homogen pada permukaan media. Akan tetapi, untuk enumerasi bakteri AREc yang resisten terhadap MDR dan *meropenem* digunakan sebanyak 50 μL dan ESBL sebanyak 100 μL . Volume yang lebih banyak tersebut mempertimbangkan kelimpahan kelompok AREc tersebut yang cenderung lebih sedikit pada sampel dibandingkan kelompok AREc lainnya. Kemudian, sampel diratakan menggunakan batang L steril yang telah di-*autoclave* sebelumnya secara aseptik. Seluruh proses penambahan sampel tersebut dilakukan secara aseptik dekat dengan pembakar bunsen untuk mencegah terjadinya kontaminasi. Setelah sampel mengering pada permukaan medium, cawan petri disimpan pada inkubator dengan temperatur 36°C selama 24 jam. Kemudian koloni bakteri *Escherichia coli* yang tumbuh pada medium dihitung sebagai jumlah AREc pada sampel.

Untuk proses enumerasi kelompok ESBL, terdapat 2 tahapan inkubasi yang dilakukan. Hal tersebut dilakukan mempertimbangkan sifat bakteri ESBL yang resisten terhadap antibiotik golongan *betalactam*, namun bersifat sensitif terhadap senyawa asam klavulanat. Pada tahap pertama, medium untuk enumerasi ESBL ditambahkan antibiotik *betalactam*, seperti *amoxicillin* dan *cefotaxime*. Koloni *Escherichia coli* yang tumbuh pada medium tersebut setelah inkubasi dicurigai sebagai bakteri ESBL. Selanjutnya koloni tersebut diinokulasikan secara aseptik pada medium yang ditambahkan *amoxiclave* dan *cefotaxime*. Bakteri ESBL yang bersifat sensitif terhadap asam klavulanat pada *amoxiclave* akan mati, sehingga inokulasi koloni yang tidak tumbuh pada medium setelah proses inokulasi dihitung sebagai bakteri ESBL.

3. Hasil dan Pembahasan

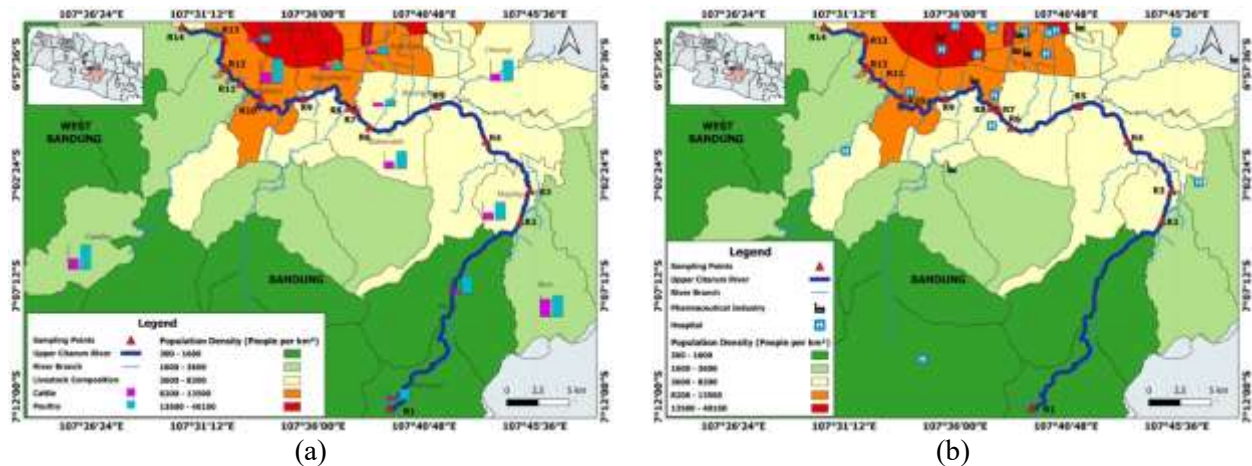
3.1 Analisis Konsentrasi AREc terhadap Penggunaan Antibiotik pada Kegiatan Antropogenik

Hasil enumerasi AREc yang dilakukan dapat menunjukkan distribusi sifat resisten AREc terhadap tiap antibiotik yang diujikan di sepanjang Sungai Citarum Hulu. Penentuan penyebab serta sumber dari sifat resisten AREc terhadap antibiotik dapat dilakukan melalui analisis berbagai kegiatan antropogenik di sekitar lokasi pengambilan sampel. Jumlah kegiatan antropogenik serta penggunaan antibiotiknya berkontribusi dalam konsentrasi AREc yang terdeteksi pada Sungai Citarum Hulu. Jumlah dan sebaran dari kegiatan antropogenik di sekitar titik pengambilan sampel tercantum pada **Tabel 2** dan **Gambar 2**.

Tabel 2. Jumlah Kegiatan Antropogenik pada Setiap Titik (Badan Pusat Statistik, 2023)

Titik	Rumah Sakit	Industri Farmasi	Jumlah Hewan Ternak (ekor)		Kepadatan Penduduk (Jiwa/km ²)
			Ternak Sapi	Ternak Unggas	
R-1	0	0	8.616	40842	475
R-2	0	0	3.990	193.962	1.286
R-3	0	0	103.137	448.891	1.644
R-4	1	0	10.199	247.696	13.920
R-5	7	4	36.429	529.822	38.940
R-6	3	0	6.590	35.082	63.313

Titik	Rumah Sakit	Industri Farmasi	Jumlah Hewan Ternak (ekor)		Kepadatan Penduduk (Jiwa/km ²)
			Ternak Sapi	Ternak Unggas	
R-7	0	1	13.212	277.603	8.279
R-8	15	3	4.625	23.111	148.310
R-9	4	2	4.282	33.935	87.957
R-10	6	1	62.658	1.234.888	81.006
R-11	0	0	67.795	1.596.266	2.593
R-12	3	0	4.114	38.917	44.498
R-13	4	4	9.954	226.457	29.847
R-14	4	0	98.078	868.613	10.297

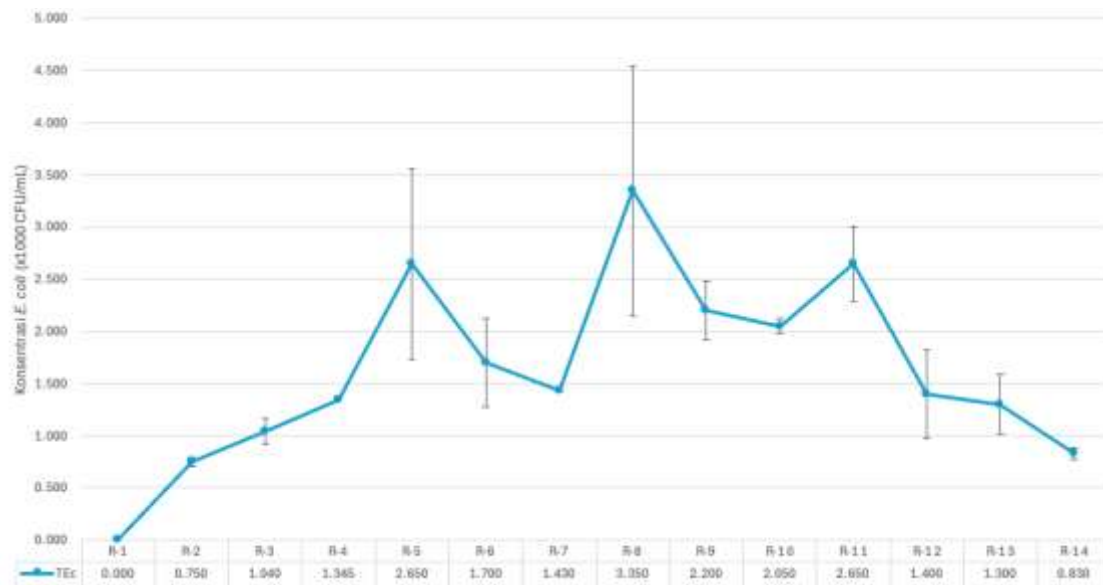


Gambar 2. Lokasi Sebaran (a) Hewan Ternak dan (b) Rumah Sakit dan Industri Farmasi

Pada **Gambar 3** diperoleh konsentrasi *total Escherichia coli* yang cenderung bertambah dari titik R-1, yaitu hulu sungai, hingga titik R-5, yang terletak di sekitar pemukiman penduduk. Berdasarkan data kegiatan antropogenik, sudah banyak ditemukan kegiatan peternakan yang ditandai oleh tingginya jumlah hewan ternak hingga titik R-5. Selain itu, terdapat pula kepadatan penduduk yang cukup tinggi di sekitar titik R-5 yang berkontribusi terhadap pencemaran *Escherichia coli* di sungai. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang menunjukkan bahwa aktivitas manusia dan hewan berkontribusi secara signifikan terhadap kontaminasi *Escherichia coli* di sungai, terutama pada daerah dengan pengelolaan limbah yang masih minim [6]. Berdasarkan pemantauan langsung pada berbagai kegiatan peternakan di sekitar Sungai Citarum Hulu, masih banyak ditemukan peternakan yang belum memiliki IPAL untuk mengolah limbah tinja yang dihasilkannya. Dengan demikian, limbah tinja yang dihasilkan dari kegiatan pertanian bertindak sebagai sumber pencemaran *Escherichia coli* di Sungai Citarum Hulu. Hal tersebut sesuai dengan penelitian sebelumnya yang mendeteksi *total Escherichia coli* pada limbah tinja peternakan memiliki konsentrasi tertinggi dibandingkan limbah kegiatan antropogenik lainnya [7]. Pada titik R-6 dan R-7 terjadi penurunan konsentrasi *Escherichia coli* yang disebabkan oleh terjadinya fenomena dilusi akibat adanya pertemuan dengan anak sungai. Adanya tambahan debit air dari anak sungai menyebabkan fenomena dilusi yang dapat menurunkan konsentrasi *Escherichia coli* pada sungai [8].

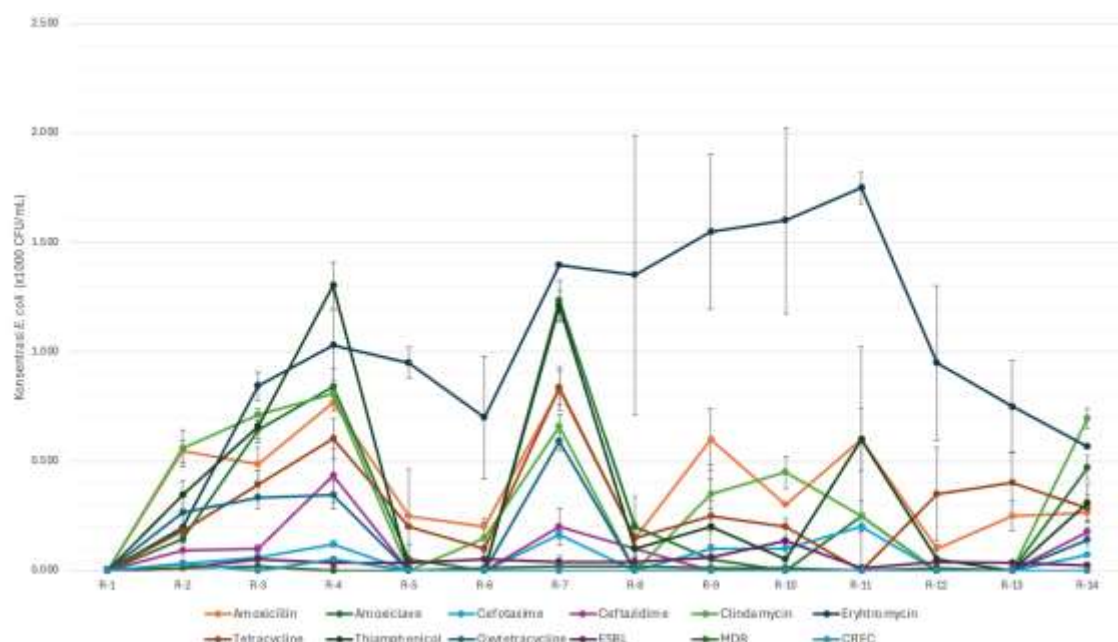
Ditinjau dari konsentrasi tiap kelompok AREc yang terdeteksi di sepanjang Sungai Citarum Hulu, dapat diperoleh grafik pada **Gambar 4** terlihat bahwa kelompok AREc kategori *access*, terutama *amoxicillin*, *amoxiclave*, *clindamycin*, dan *thiamphenicol*, mengalami kenaikan yang signifikan antara titik R-1 hingga R-4. Hal tersebut terjadi akibat tingginya buangan limbah tinja dari kegiatan peternakan yang mendominasi di sekitar titik tersebut. Kenaikan konsentrasi AREc *amoxicillin* kembali terlihat pada titik R-7, R-9, dan R-11 yang didominasi oleh pemukiman padat penduduk serta fasilitas kesehatan. Sebagai antibiotik yang paling umum digunakan pada berbagai fasilitas kesehatan, antibiotik kategori *access* mendominasi penggunaan antibiotik di berbagai fasilitas kesehatan di Kota Bandung. Diketahui antibiotik yang paling banyak digunakan adalah *amoxicillin* dengan jumlah penggunaan hingga 1.051.900 kapsul [9]. Selain itu, terdapat beberapa antibiotik lainnya yang penggunaannya mendominasi, seperti *clindamycin*, *thiamphenicol*, dan *tetracycline*. Penggunaan antibiotik tersebut berkorelasi dengan tingginya kelompok AREc pada beberapa antibiotik tersebut yang terdeteksi pada sampel air sungai. Pada **Gambar 3** juga terlihat bahwa beberapa titik yang

dipengaruhi tinggi oleh penggunaan antibiotik pada fasilitas kesehatan konsentrasi kelompok AREc yang mendominasi adalah kelompok AREc *amoxicillin*, *amoxiclave*, *clindamycin*, dan *thiamphenicol*.



Gambar 3. Konsentrasi Total *Escherichia coli* di Sungai Citarum Hulu

Berdasarkan Gambar 4 terlihat pula kelompok AREc kategori *watch* yang paling mendominasi adalah kelompok AREc *erythromycin*. Kenaikan kelompok AREc *erythromycin* terjadi pada 2 bagian segmen yang berbeda. Pada titik-titik di segmen awal sungai, terjadi kenaikan konsentrasi kelompok AREc *erythromycin* yang dipengaruhi oleh kegiatan peternakan di sekitar segmen awal sungai. Limbah tinja yang banyak mencemari sungai pada segmen awal sungai berkontribusi tinggi terhadap pencemaran kelompok AREc *erythromycin* karena tingginya sifat resistensi pada bakteri *Escherichia coli* yang terkandung di sampel hewan dan unggas terhadap *erythromycin* [10]. Selanjutnya, kenaikan konsentrasi kelompok AREc *erythromycin* juga terdeteksi pada segmen akhir sungai yang didominasi oleh fasilitas kesehatan. Diketahui antibiotik *erythromycin* merupakan antibiotik yang paling banyak digunakan pada berbagai fasilitas kesehatan dibandingkan dengan antibiotik kategori *watch* lainnya dengan jumlah penggunaan mencapai 47.000 kapsul [9]. Untuk kelompok CREc, ESBL, dan MDR, diperoleh konsentrasi yang jauh lebih rendah dibandingkan kelompok AREc lainnya.



Gambar 4. Konsentrasi Seluruh Kelompok AREc yang Terdeteksi di Sungai Citarum Hulu

3.2 Analisis Korelasi Parameter Oksigen Terlarut, pH, dan Temperatur terhadap Konsentrasi AREc

Selain diperolehnya data terkait konsentrasi AREc pada Sungai Citarum Hulu, diperoleh pula data pengukuran oksigen terlarut, pH, dan temperatur yang diperoleh dari pengukuran parameter lingkungan secara in-situ saat dilakukan pengambilan sampel. Berdasarkan kedua data yang diperoleh tersebut dapat dilakukan penentuan hubungan antara keduanya. Data parameter in-situ yang diukur pada setiap sampel dijadikan sebagai variabel independen atau variabel yang memengaruhi penelitian. Sedangkan, data konsentrasi AREc dijadikan sebagai variabel dependen atau variabel yang dipengaruhi oleh variabel independen. Penentuan korelasi antara kedua variabel tersebut dilakukan menggunakan analisis korelasi Pearson. Analisis korelasi menggunakan metode Pearson dipilih karena data parameter oksigen terlarut, pH, temperatur, serta jumlah AREc yang digunakan terdistribusi secara normal. Pengujian sifat kenormalan dari kedua variabel data tersebut dilakukan menggunakan metode Ryan-Joiner yang serupa dengan metode Shapiro-Wilk. Metode tersebut digunakan karena jumlah kedua data yang dianalisis cenderung sedikit, yaitu 14 buah, sesuai dengan jumlah sampel yang diambil. Dengan demikian, digunakan metode Shapiro-Wilk yang lebih cocok untuk variabel dengan jumlah data lebih kecil dari 50 buah.

Berdasarkan analisis korelasi Pearson yang dilakukan terhadap data konsentrasi berbagai kelompok AREc terhadap data oksigen terlarut, pH, dan temperatur, diperoleh koefisien korelasi Pearson (r) yang tercantum pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Nilai Koefisien Korelasi antara Parameter Oksigen Terlarut, pH, dan Temperatur terhadap Konsentrasi Seluruh Kelompok AREc

Kelompok AREc	Oksigen Terlarut		pH		Temperatur	
	r	Korelasi	r	Korelasi	r	Korelasi
TEc	0,729	Kuat	0,360	Lemah	0,589	Sedang
<i>Amoxicillin</i>	-0,218	Lemah	0,033	Sangat Lemah	-0,072	Sangat Lemah
<i>Amoxiclave</i>	-0,270	Lemah	0,198	Lemah	-0,172	Sangat Lemah
<i>Cefotaxime</i>	0,044	Sangat Lemah	-0,284	Lemah	-0,046	Sangat Lemah
<i>Ceftazidime</i>	-0,321	Lemah	0,243	Lemah	-0,095	Sangat Lemah
<i>Clindamycin</i>	-0,480	Sedang	-0,088	Sangat Lemah	-0,253	Lemah
<i>Erythromycin</i>	0,624	Kuat	-0,057	Sangat Lemah	0,463	Sedang
<i>Tetracycline</i>	-0,220	Lemah	0,047	Sangat Lemah	0,071	Sangat Lemah
<i>Thiamphenicol</i>	-0,293	Lemah	0,142	Sangat Lemah	-0,162	Sangat Lemah
<i>Oxytetracycline</i>	-0,530	Sedang	0,212	Lemah	-0,346	Lemah
<i>ESBL</i>	0,380	Lemah	-0,137	Sangat Lemah	0,208	Lemah
<i>MDR</i>	-0,055	Sangat Lemah	0,391	Lemah	-0,091	Sangat Lemah
<i>CREc</i>	-0,472	Sedang	0,213	Lemah	-0,177	Sangat Lemah

Berdasarkan koefisien korelasi Pearson yang diperoleh, mayoritas hubungan antara konsentrasi seluruh kelompok AREc terhadap parameter fisik air sungai yang lemah hingga sangat lemah. Hubungan yang kuat diperoleh antara kelompok TEc terhadap parameter oksigen terlarut. Hal tersebut telah sesuai dengan penelitian lain yang menunjukkan adanya hubungan korelasi yang kuat antara jumlah *Escherichia coli* terhadap kandungan oksigen terlarut [11]. Sedangkan, hubungan kelompok AREc yang paling kuat terhadap oksigen terlarut adalah kelompok AREc *erythromycin* dengan koefisien korelasi sebesar 0,624. Hal tersebut berkorelasi dengan tingginya rasio kelompok AREc *erythromycin* terhadap *total Escherichia coli* dibandingkan dengan kelompok AREc lainnya.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diperoleh adanya hubungan sebab akibat antara penggunaan antibiotik dan konsentrasi berbagai kelompok AREc yang terdeteksi di sepanjang Sungai Citarum Hulu. Pencemaran AREc di Sungai Citarum Hulu dipengaruhi kuat oleh penggunaan antibiotik pada berbagai fasilitas kesehatan, seperti rumah sakit yang ditunjukkan dengan tingginya konsentrasi AREc yang resisten terhadap antibiotik yang umum digunakan pada titik yang didominasi oleh fasilitas kesehatan. Selain itu, diperoleh pula korelasi yang kuat antara kelompok *total Escherichia coli* dan AREc *erythromycin* terhadap parameter oksigen terlarut.

5. Referensi

- [1] Russell A.D, (2004), Types of Antibiotics and Synthetic Antimicrobial Agents, Hufo and Russell's Pharmaceutical Microbiology 7th Ed. Blackwell Science, UK.
- [2] World Health Organization, (2020), Ten Threats to Global Health in 2019, <https://www.who.int/news-room/spotlight/ten-threats-to-global-health-in-2019>, diakses pada 17 Mei 2024.
- [3] World Health Organization, (2017), WHO Priority Pathogens List for R&D of New Antibiotics. <https://www.who.int/news/item/27-02-2017-who-publishes-list-of-bacteria-for-which-new-antibiotics-are-urgently-needed>, diakses pada 18 Mei 2024.
- [4] Poirel, L, Madec, J. Y., Lupo, A., Schink, A. K., Kieffer, N., Nordmann, P., Schwarz, S. (2018). Antimicrobial Resistance in *Escherichia coli*. *Microbiology Spectrum*, Jul;6(4):10.
- [5] Sari, O.M., dkk., (2021), Tingkat Pengetahuan dalam Penyimpanan dan Pembuangan Obat di Rumah Pada Masyarakat Kota Banjarbaru, Kalimantan Selatan, *Cendekia Journal of Pharmacy*, 5 (2).
- [6] Traoré, A., Mulaudzi, K., Chari, G., Foord, S., Mudau, L., Barnard, T., ... & Potgieter, N. (2016). The Impact Of Human Activities On Microbial Quality Of Rivers In The Vhembe District, South Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(8), 817.
- [7] Maghfirah, R. (2023). Microbial Source Tracking of Multidrug Resistant *Escherichia coli* in Citarum River from Livestock and Domestic Wastewater.
- [8] Yee, L., Wee, L., Bilung, L., & Lee, N. (2016). Impact Of Different Land Uses On The *Escherichia coli* Concentrations, Physical and Chemical Water Quality Parameters In A Tropical Stream. *Borneo Journal of Resource Science and Technology*, 2(2), 42-51.
- [9] Dinas Kesehatan Kota Bandung, (2017), Profil Kesehatan Kota Bandung 2017.
- [10] Tadesse, D. A., Zhao, S., Tong, E. T., Ayers, S., Singh, A., Bartholomew, M. J., ... & McDermott, P. F. (2012). Antimicrobial Drug Resistance *Escherichia* Coliform Humans And Food Animals, United States, 1950–2002. *Emerging Infectious Diseases*, 18(5), 741-749.
- [11] Shamsudin, S. N., dkk., (2016), Analysis Between *Escherichia coli* Growth and Physical Parameters In Water Using Pearson Correlation, *2016 7th IEEE Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC)*, Shah Alam, Malaysia, 131-136.