

Kajian Kimia Medisinal Ciprofloxacin: Mekanisme Kerja, Antibakteri, dan Pola Resistensi Bakteri

Saeful Amin¹, Fuza Khoirun Nisa^{2*}, Yosi Setiawati³, Muhammad Akbar Alfi Fauzan⁴

¹⁻⁴ Program Studi Farmasi, Universitas Bakti Tunas Husada, Indonesia

Corresponding author: fuzakhoirunnisa17@gmail.com

Abstract. Ciprofloxacin is a fluoroquinolone antibiotic that is widely used in the treatment of various bacterial infections. This study aims to analyze the mechanism of action of ciprofloxacin from a medicinal chemistry perspective, evaluate its antibacterial effectiveness against pathogenic bacteria, and identify the developing resistance patterns. The method used is a literature study by reviewing various relevant scientific literature. The results of the study indicate that ciprofloxacin works by inhibiting the enzymes DNA gyrase and topoisomerase IV, which play an important role in bacterial DNA replication and transcription, causing DNA fragmentation and bacterial cell death. Ciprofloxacin shows high antibacterial activity against *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhi*, and *Vibrio cholerae*. However, resistance to ciprofloxacin continues to increase, mainly due to target gene mutations, increased expression of efflux pumps, and changes in porin structure. A deep understanding of the structure-activity of ciprofloxacin is important in the development of new derivatives that are more effective and able to overcome resistance. This study provides important insights into the innovation of more robust antimicrobial drug design.

Keyword: Ciprofloxacin, antibiotic, mechanism of action, bacterial resistance, medicinal chemistry

Abstrak. Ciprofloxacin merupakan antibiotik golongan fluoroquinolone yang banyak dipakai dalam pengobatan bermacam infeksi bakteri. Kajian ini bertujuan untuk menganalisis mekanisme kerja ciprofloxacin dari sudut pandang kimia medisinal, mengevaluasi efektivitas antibakterinya terhadap bakteri patogen, serta mengidentifikasi pola resistensi yang berkembang. Metode yang digunakan adalah studi pustaka dengan menelaah berbagai literatur ilmiah relevan. Hasil kajian menunjukkan bahwa ciprofloxacin bekerja dengan cara menghambat enzim DNA gyrase dan topoisomerase IV, yang berperan penting dalam replikasi dan transkripsi DNA bakteri, sehingga menyebabkan fragmentasi DNA dan kematian sel bakteri. Ciprofloxacin menunjukkan aktivitas antibakteri yang tinggi terhadap *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhi*, dan *Vibrio cholerae*. Namun, resistensi terhadap ciprofloxacin terus meningkat, terutama akibat mutasi gen target, peningkatan ekspresi pompa efflux, dan perubahan struktur porin. Pemahaman mendalam mengenai struktur-aktivitas ciprofloxacin menjadi penting dalam pengembangan derivat baru yang lebih efektif dan mampu mengatasi resistensi. Kajian ini memberikan wawasan penting dalam inovasi desain obat antimikroba yang lebih tangguh.

Kata Kunci: Ciprofloxacin, antibiotik, mekanisme kerja, resistensi bakteri, kimia medisinal

1. PENDAHULUAN

Kimia medisinal merupakan cabang interdisipliner dari ilmu kimia dan biologi yang secara khusus mempelajari mekanisme kerja obat pada tingkat molekuler. Ilmu ini bertujuan untuk menjelaskan hubungan antara struktur kimia senyawa obat dengan aktivitas biologisnya, serta mengaitkan sifat-sifat fisik dan reaktivitas kimia dari senyawa tersebut terhadap perilaku farmakodinamikanya dalam tubuh manusia. Dalam konteks farmasi modern, pemahaman terhadap prinsip kimia medisinal sangat penting guna mengarahkan pengembangan obat yang lebih efektif dan selektif dalam menargetkan sistem biologis tertentu (Amin & Meithasari, 2018).

Senyawa antibakteri didefinisikan sebagai zat kimia yang mempunyai keahlian guna menewaskan ataupun membatasi perkembangan dan reproduksi bakteri. Mekanisme kerja dari senyawa antibakteri dapat mencakup berbagai jalur, antara lain penghambatan sintesis dinding sel bakteri, gangguan terhadap fungsi membran sel, serta penghambatan sintesis protein dan asam nukleat. Dalam praktik kefarmasian, senyawa antibakteri sering kali diidentifikasi sebagai antibiotik, yakni zat kimia yang dihasilkan oleh mikroorganisme dan digunakan untuk menekan aktivitas mikroba patogen lainnya (Tri et al., 2023).

Antibiotik sendiri merupakan agen terapeutik yang dirancang untuk mengobati serta mencegah infeksi bakteri. Obat ini bekerja melalui dua mekanisme utama, yaitu membunuh langsung bakteri (bakterisidal) atau menghambat perkembangbiakan bakteri (bakteriostatik). Antibiotik pertama kali ditemukan oleh Sir Alexander Fleming pada tahun 1928, dengan penemuan penisilin yang kemudian merevolusi pengobatan infeksi bakteri (Fleming, 1929). Sejak penggunaannya secara luas pada masa Perang Dunia II, antibiotik telah menyelamatkan jutaan nyawa. Namun demikian, saat ini dunia menghadapi ancaman serius yang dikenal sebagai resistensi antibiotik. Pada tahun 2013, CDC memublikasikan kalau orang sudah merambah era pasca-antibiotik, yang kemudian dipertegas oleh peringatan dari WHO pada tahun 2014 mengenai krisis resistensi antimikroba sebagai ancaman besar bagi kesehatan global (Ledingham et al., 2019).

Ciprofloxacin merupakan antibiotik spektrum luas dari golongan fluoroquinolone yang secara klinis dipakai dalam pengobatan berbagai infeksi bakteri yang diakibatkan oleh kuman gram- positif ataupun gram-negatif, termasuk *Escherichia coli*, *Shigella*, *Salmonella*, *Enterobacter*, *Staphylococcus*, *Clostridium*, *Brucella*, *Mycobacterium*, dan lain sebagainya. Ciprofloxacin bekerja secara bakterisid melalui mekanisme pengikatan terhadap enzim DNA gyrase, yakni enzim esensial yang berperan dalam relaksasi DNA superkoil selama proses replikasi. Dengan menghambat aktivitas DNA gyrase, ciprofloxacin secara efektif mencegah pembelahan sel bakteri (Resva et al., 2015).

Resistensi antimikroba (Antimicrobial Resistance/AMR) kini menjadi isu kesehatan global yang sangat mendesak dan telah digambarkan sebagai "pandemi senyap". Menyadari bahaya yang ditimbulkan, WHO pada tahun 2015 meluncurkan Rencana Aksi Global untuk menanggulangi AMR melalui strategi lintas sektor. Di tingkat nasional, Pemerintah Indonesia mengimplementasikan pengendalian AMR melalui Peraturan Menteri Koordinator Bidang Pembangunan Manusia dan Kebudayaan Nomor 7 Tahun 2021 tentang Rencana Aksi Nasional Pengendalian Resistensi Antimikroba. Tujuan utama dari program ini meliputi upaya menekan timbulnya serta penyebaran kuman resisten,

menjamin ketersediaan antibiotik yang aman, efektif, berkualitas, serta terjangkau, dan mendorong penggunaan antibiotik secara rasional dan bertanggung jawab (Desrini, 2015; Amarullah et al., 2022; Yuliana et al., 2024).

Ciprofloxacin juga tercatat sebagai salah satu antibiotik fluoroquinolone yang diakui oleh Food and Drug Administration (FDA) Amerika Serikat untuk terapi berbagai jenis infeksi, termasuk infeksi saluran kemih, infeksi menular seksual seperti gonore dan chancroid, infeksi kulit, tulang, dan sendi, prostatitis, demam tifoid, infeksi saluran cerna, infeksi saluran pernapasan bagian bawah, antraks, pes, serta salmonellosis. Ciprofloxacin dinilai sebagai terapi pilihan terutama untuk pasien dengan infeksi campuran atau mereka yang memiliki predisposisi terhadap infeksi bakteri gram-negatif (Thai, Salisbury, & Zito, 2025).

Sebagai antibiotik bakterisida, ciprofloxacin bekerja dengan cara menghambat proses replikasi DNA bakteri melalui penghambatan enzim topoisomerase II (DNA gyrase) dan topoisomerase IV. Di antara anggota fluoroquinolone lainnya, ciprofloxacin memiliki potensi paling tinggi terhadap basil gram-negatif, terutama dari keluarga *Enterobacteriaceae* seperti *E. coli*, *Salmonella spp.*, *Shigella spp.*, dan *Neisseria*. Selain itu, ciprofloxacin juga memiliki efektivitas terhadap bakteri gram-positif tertentu. Secara khusus, ciprofloxacin menunjukkan aktivitas tertinggi terhadap *Pseudomonas aeruginosa* dibandingkan fluoroquinolone lainnya, meskipun terdapat laporan penurunan sensitivitas terhadap ciprofloxacin di beberapa wilayah seperti Eropa dan Amerika, terutama di lingkungan rumah sakit dan panti jompo. Dalam konteks ini, ciprofloxacin merupakan salah satu dari sedikit antibiotik oral yang efektif untuk menangani infeksi yang disebabkan oleh *P. aeruginosa* (Thai, Salisbury, & Zito, 2025).

Namun, penggunaan ciprofloxacin secara luas dan tidak rasional telah menyebabkan peningkatan resistensi bakteri terhadap antibiotik ini. Bakteri seperti *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, dan *Staphylococcus aureus* menunjukkan mekanisme resistensi melalui mutasi gen target, ekspresi pompa efflux, dan pembentukan biofilm. Hal ini menjadi tantangan besar dalam pengembangan terapi antimikroba saat ini. (Miao et al., 2023)

Sebagai respons terhadap tantangan resistensi, berbagai pendekatan kimia medisinal dilakukan, termasuk sintesis derivat ciprofloxacin baru dengan modifikasi struktur molekulnya serta penerapan sistem penghantaran berbasis nanopartikel. Derivat baru dan formulasi nano terbukti memiliki efektivitas antibakteri lebih tinggi, bioavailabilitas yang lebih bagus, serta toksisitas yang lebih kecil. (Nawaz et al., 2021)

Perkembangan ini menempatkan ciprofloxacin sebagai model penting dalam desain dan inovasi obat antibiotik baru. Oleh karena itu, penting untuk memahami struktur kimia, mekanisme kerja, serta strategi pengembangan terbaru ciprofloxacin agar dapat mengantisipasi dan mengatasi permasalahan resistensi antimikroba secara berkelanjutan. (Elshobary et al., 2025)

2. METODE PENELITIAN

Studi literatur dalam penelitian ini dilakukan dengan mengumpulkan dan menganalisis berbagai referensi yang relevan dengan poin penelitian. Pendekatan yang dipakai adalah kajian kualitatif yang berfokus pada pemahaman mendalam tentang konsep, teori, serta temuan-temuan sebelumnya yang berkaitan dengan permasalahan yang diteliti. Proses pencarian literatur dimulai dengan identifikasi sumber-sumber utama seperti buku, artikel jurnal, laporan penelitian, dan dokumen akademik lainnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Telah dilakukan literature review artikel terkait mekanisme kerja, antibakteri, dan pola resistensi bakteri pada tabel 1.

Tabel 1. Literature Review Artikel Mekanisme Kerja Antibiotik Ciprofloxacin

Penulis	Judul	Tujuan	Metode	Hasil Penelitian
Muh. Fikri	DAYA KERJA ANTIMIKROBA DAN OLIGODINAMIK BAKTERI Escherichia coli DAN Staphylococcus aureus	untuk mengetahui cara kerja antibiotik dan uji oligodinamik.	uji antibiotik dengan metode Kirby Bauer dan uji oligodinamik menggunakan biakan Escherichia coli dan Staphylococcus aureus.	Ciprofloxacin bekerja dengan menghasilkan bakterisida ciprofloxacin sebagai penghambat enzim topoisomerase II (DNA gyrase) dan topoisomerase IV (keduanya topoisomerases Tipe II), yang diperlukan untuk replikasi DNA bakteri, transkripsi, perbaikan, dan rekombinasi serta sehingga menghambat pembelahan sel. Ciprofloxacin dan obat kuinolon lainnya diketahui mengikat gyrase DNA bakteri dan menyebabkannya memperkenalkan pemutusan beruntai ganda ke dalam DNA. Ini dianggap sebagai peristiwa mematikan di vivo. Mekanisme pembunuhan sel ini menghasilkan dominasi gyrA yang sensitif terhadap kuinolon atas alel

				pompa efflux asli, perubahan jumlah atau jenis porin dan transferensi gen resistensi oleh plasmid. (Findings, 2024)
Adelia Agustanty, Andre Budi	POLA RESISTENSI BAKTERI VIBRIO CHOLERAЕ TERHADAP ANTIBIOTIK CIPROFLOXACIN DAN TETRACYCLINE	Buat mengenali pola resistensi antibiotik ciprofloxacin kepada kuman vibrio cholerae .	eksperimental	Antibiotik yang berperan dalam menghambat zona pertumbuhan <i>Vibrio cholerae</i> di antaranya adalah ciprofloxacin dan tetracycline. Ciprofloxacin termasuk dalam golongan antibiotik kuinolon yang bekerja dengan cara menghambat aktivitas enzim DNA gyrase pada bakteri. Enzim ini berperan penting dalam proses pemisahan struktur heliks ganda DNA menjadi dua untaian, suatu langkah krusial dalam replikasi dan transkripsi DNA. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Agustanty dan Budi (2022), diperoleh data bahwa <i>Vibrio cholerae</i> menunjukkan sensitivitas terhadap ciprofloxacin. Perihal ini ditunjukkan oleh diameter zona hambat yang tercipta selama inkubasi selama 24 jam, yaitu pada pengulangan I sebesar 30,2 mm (horizontal) dan 29,6 mm (vertikal), serta pada pengulangan II sebesar 29,6 mm (horizontal) dan 30,7 mm (vertikal), dengan rata-rata diameter sebesar 30,025 mm. Sementara itu, pada inkubasi selama 48 jam, pengulangan I menghasilkan diameter zona hambat sebesar 29,3 mm (horizontal) dan 29,8 mm (vertikal), sedangkan pada pengulangan II diperoleh hasil sebesar 30,3 mm (horizontal) dan 30,1 mm (vertikal), dengan rata-rata diameter zona hambat sebesar 29,875 mm.
Artati, Zulfian Armah, Aan Yulianingsih Anwar	UJI SENSITIVITAS BERBAGAI JENIS ANTIBIOTIK TERHADAP Salmonella Sp. YANG DIISOLASI DARI PENDERITA DEMAM TYPHOID	untuk mengetahui sensitivitas beberapa antibiotic yang dipakai pada pengidap demam typhoid.	observasi laboratory	Dalam penelitian ini, digunakan ciprofloxacin yang termasuk dalam golongan kuinolon. Obat ini bertugas dengan metode membatasi enzim topoisomerase, khususnya DNA girase, yang berperan penting dalam proses replikasi dan sintesis DNA pada bakteri. Mekanisme kerja tersebut menyebabkan terganggunya pembentukan DNA bakteri, sehingga menghambat pertumbuhannya.

				Berdasarkan hasil uji sensitivitas, ciprofloxacin menunjukkan efektivitas pada tingkat intermediate terhadap bakteri <i>Salmonella typhi</i> (Artati et al., 2021).
Retno Widowati, Sri Handayani, Iqba Lasdi	AKTIVITAS ANTIBAKTERI MINYAK NILAM (<i>Pogostemon cablin</i>) TERHADAP BEBERAPA SPESIES BAKTERI UJI	buat mengenali kegiatan antibakteri minyak ketilang dari Jambi serta Aceh, kepada sebagian bakteri pathogen .	diffusion and inhibition	Dalam penelitian ini, kontrol positif yang digunakan berupa antibiotik Ciprofloxacin dengan konsentrasi 5 µg menunjukkan kemampuan dalam membentuk zona hambat terhadap pertumbuhan beberapa jenis bakteri percobaan. Hasil pengukuran diameter pada umumnya alam hambat membuktikan kalau Ciprofloxacin menghasilkan hambatan sebesar 33,73 mm terhadap bakteri <i>Escherichia coli</i> , 38,34 mm terhadap <i>Salmonella typhi</i> , 38,32 mm terhadap <i>Staphylococcus aureus</i> , 24,08 mm terhadap <i>Staphylococcus epidermidis</i> , dan 34,55 mm terhadap <i>Pseudomonas aeruginosa</i> . Penggunaan kontrol positif ini berfungsi sebagai pembanding yang valid untuk menegaskan bahwa bakteri uji termasuk dalam kategori yang sensitif kepada antibiotik yang diserahkan. Dengan begitu, kehadiran alam hambat yang tercipta bisa dikonfirmasi berasal dari aktivitas antimikroba, dan bukan disebabkan oleh faktor lain di luar intervensi perlakuan antibiotik. (Retno widowati dkk, 2019)
ASMAWIAH RAME	UJI RESISTENSI BAKTERI PADA URIN PENDERITA ISK TERHADAP ANTIBIOTIK LEVOFLOXACIN DAN CIPROFLOXACIN DI LABORATORIUM KLINIK PRODIA MAKASSAR	untuk menjelaskan mekanisme kerja antibiotik ciprofloxacin dalam menghambat pertumbuhan bakteri dan menggambarkan bagaimana resistensi bakteri terhadap ciprofloxacin terjadi.	penelitian deskriptif	Ciprofloxacin merupakan antibiotik yang termasuk dalam golongan fluoroquinolone, yaitu kelas antibiotik yang bekerja secara efektif terhadap berbagai jenis bakteri gram negatif maupun gram positif. Mekanisme kerja ciprofloxacin bersifat bakteriostatik, yakni dengan menghambat pertumbuhan dan replikasi bakteri. Ciprofloxacin menjalankan fungsinya melalui penghambatan aktivitas enzim DNA gyrase (topoisomerase II), ialah enzim yang mempunyai kedudukan berarti dalam cara replikasi DNA bakteri dengan cara mengatur superkoiling DNA yang dibutuhkan selama pembelahan sel. Pada isolat

				bakteri yang telah menunjukkan resistensi terhadap ciprofloxacin, diperlukan konsentrasi obat yang lebih besar buat mengusik sintesis DNA dengan cara efisien dibanding dengan strain kuman benih yang sedang liabel. Penemuan ini membuktikan bahwa DNA gyrase pada bakteri resisten memiliki tingkat kepekaan yang lebih rendah terhadap ciprofloxacin, sehingga mengindikasikan adanya modifikasi molekuler atau mutasi pada target enzim. Selain itu, resistensi terhadap ciprofloxacin tidak selalu berkaitan dengan pergantian pada protein jaringan luar ataupun protein sitoplasma. Perihal ini membuktikan kalau modifikasi struktur protein membran bukan merupakan faktor utama dalam menurunnya penetrasi fluoroquinolone ke dalam sel bakteri, dan oleh karena itu, bukan merupakan syarat mutlak bagi terjadinya resistensi.
--	--	--	--	---

Pembahasan

Ciprofloxacin merupakan antibiotik golongan fluoroquinolone yang secara struktural diturunkan dari asam nalidiksik. Dalam konteks kimia medisinal, struktur kimia ciprofloxacin memiliki peranan penting dalam menentukan aktivitas biologisnya. *Ciprofloxacin* ialah anti peradangan sintetik kalangan quinolone yang membatasi DNA topoisomerase yang lazim diucap gyrase (Budi & Sembiring, n.d.). Gugus fluoro pada posisi C-6 meningkatkan penetrasi ke dalam sel bakteri dan aktivitas terhadap bakteri Gram-negatif.

Sementara itu, piperazinil pada posisi C-7 berkontribusi terhadap spektrum aktivitas luas dan meningkatkan afinitas terhadap target enzim bakteri, yaitu *DNA gyrase* dan *topoisomerase IV*.

- Mekanisme Kerja Berdasarkan Kimia Medisinal

Mekanisme kerja ciprofloxacin berkaitan erat dengan interaksi kimiawi antara struktur molekul ciprofloxacin dan enzim target bakteri. *Ciprofloxacin* bekerja dengan menghambat enzim *topoisomerase II* (DNA gyrase) dan *topoisomerase IV*, yang esensial dalam proses replikasi, transkripsi, perbaikan, dan rekombinasi DNA bakteri.

Secara spesifik:

- Ciprofloxacin berikatan dengan kompleks DNA–enzim, menstabilkan struktur tersebut dan mencegah penggabungan kembali untai DNA yang telah terputus.
- Hal ini menyebabkan *fragmentasi DNA*, yang bersifat letal bagi sel bakteri (bactericidal).
- Mekanisme ini tergolong selektif karena target utama (gyrase dan topoisomerase IV) tidak terdapat pada sel mamalia.

Referensi dalam artikel mendukung hal ini, seperti pada penelitian oleh Muh. Fikri, yang menjelaskan bahwa ciprofloxacin menghambat aktivitas *DNA gyrase* dan *topoisomerase IV*, sehingga mengganggu proses vital sel bakteri.

- Aktivitas Antibakteri dan Efektivitas terhadap Berbagai Bakteri

Dari serangkaian penelitian:

- Ciprofloxacin menunjukkan efektivitas tinggi terhadap *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhi*, dan *Vibrio cholerae*, dengan pembentukan zona hambat signifikan (rata-rata >30 mm).
- Dalam pengujian oleh Asmawiah Rame, ciprofloxacin menunjukkan daya hambat kuat terhadap *E. coli* dan *P. aeruginosa*, mencerminkan spektrum luas antibiotik ini.

Efektivitas ciprofloxacin dipengaruhi oleh interaksi struktur kimianya dengan struktur enzim target serta permeabilitas membran bakteri.

- Pola Resistensi dan Implikasinya dalam Kimia Medisina

Seiring penggunaan ciprofloxacin secara luas, resistensi mulai berkembang. Resistensi ini dapat dijelaskan dari sudut pandang kimia medisinal, yaitu perubahan pada struktur target enzim atau hambatan dalam penetrasi molekul obat:

- Mutasi pada *gen gyrA* dan *parC*, yang menyandi subunit DNA gyrase dan topoisomerase IV, menyebabkan penurunan afinitas ciprofloxacin terhadap targetnya.
- Overekspresi *efflux pump* atau perubahan porin pada membran luar menyebabkan penurunan konsentrasi intraselular ciprofloxacin.
- Transfer gen resistensi melalui plasmid juga menciptakan enzim yang dapat memodifikasi atau menonaktifkan ciprofloxacin.

Hal ini tampak dalam penelitian mengenai resistensi *Vibrio cholerae* dan *Salmonella typhi*, di mana sensitivitas terhadap ciprofloxacin mulai menurun pada beberapa isolat, meskipun masih dalam kategori intermediate atau sensitif.

- Relevansi dalam Desain Obat Baru

Pemahaman struktur-aktivitas (SAR) ciprofloxacin membuka peluang untuk desain derivat baru yang mampu mengatasi resistensi:

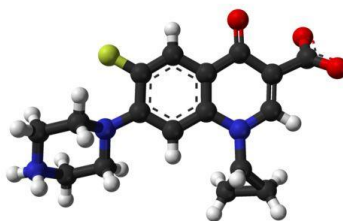
- Modifikasi pada cincin aromatik atau gugus piperazin dapat meningkatkan afinitas terhadap enzim yang telah bermutasi.
- Pengembangan prodrug atau kombinasi dengan inhibitor efflux pump dapat memperbaiki efektivitas in vivo.

- Perbandingan Ciprofloxacin dengan Antibiotik Lain

Ciprofloxacin, sebagai agen fluoroquinolone generasi kedua, menunjukkan efektivitas tinggi terhadap bakteri Gram negatif dibandingkan dengan antibiotik β -laktam dan makrolida. Namun, efektivitas ini berkurang seiring meningkatnya kasus resistensi.

Studi oleh (Mahmoud et al., 2020) menunjukkan bahwa ciprofloxacin memiliki aktivitas antimikroba yang lebih cepat dibandingkan amoksisilin dalam menghambat *E. coli*, namun resistensi berkembang lebih cepat terhadap ciprofloxacin karena mutasi pada gen *gyrA* dan *marR*. menunjukkan bahwa ciprofloxacin memiliki aktivitas antimikroba yang lebih cepat dibandingkan amoksisilin dalam menghambat *E. coli*, namun resistensi berkembang lebih cepat terhadap ciprofloxacin karena mutasi pada gen *gyrA* dan *marR*.

Struktur Ciprofloxacin



Gambar 1. Struktur *Ciprofloxacin*

Sumber: (Al-abror, 2021)



Gambar 2. Struktur *Ciprofloxacin*

Sumber: (Al-abror, 2021)

4. SIMPULAN

Ciprofloxacin merupakan antibiotik fluoroquinolone yang efektif dengan mekanisme kerja spesifik melalui penghambatan enzim DNA gyrase dan topoisomerase IV. Dari sudut pandang kimia medisinal, struktur molekul ciprofloxacin memberikan kontribusi penting terhadap aktivitas antibakterinya, terutama kepada kuman Gram negatif serta sebagian Gram positif. Meskipun demikian, munculnya resistensi yang disebabkan oleh mutasi gen, ekspresi pompa efflux, dan modifikasi struktur membran menimbulkan tantangan serius dalam penggunaannya. Oleh karena itu, strategi kimia medisinal seperti modifikasi struktur ciprofloxacin dan penggunaan sistem penghantaran berbasis teknologi nano menjadi kunci dalam mengembangkan antibiotik baru yang lebih efektif, aman, dan tahan terhadap resistensi. Kajian ini menegaskan pentingnya integrasi pendekatan molekuler dalam mendesain agen antimikroba masa depan yang tangguh dan adaptif terhadap evolusi bakteri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengantarkan terima kasih yang sebesar- besarnya pada Universitas Bakti Tunas Husada atas dukungan, fasilitas, dan kesempatan yang telah diberikan sehingga artikel ini dapat disusun dengan baik. Mudah-mudahan buatan ini bisa membagikan partisipasi positif dalam pengembangan ilmu wawasan di bidang farmasi dan kesehatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustanty, A., & Budi, A. (2022). Pola resistency of *Vibrio cholerae* bacteria to the antibiotic ciprofloxacin and tetracycline. *Journal Health & Science: Gorontalo Journal Health and Science Community*, 5(3), 73–78. <https://doi.org/10.35971/gojhes.v5i3.13611>
- Al-abror, M. L. (2021). -4 .4 15 15! 15.
- Amin, S., & Meithasari, F. (2018). Peran kimia medisinal dalam pengembangan obat antikanker. *1*(6), 1–40.
- Amin, S., Tri, A., Pratita, K., Fathurohman, M., & Subela, S. A. (2023). Aktivitas antibakteri senyawa fikobiliprotein dari mikroalga hijau. *Prosiding Seminar Nasional Diseminasi Penelitian*, 3(September), 2964–6154.
- Artati, A., Armah, Z., & Anwar, A. Y. (2021). Uji sensitivitas berbagai jenis antibiotik terhadap *Salmonella* sp yang diisolasi dari penderita demam typhoid. *Jurnal Media Analis Kesehatan*, 12(1), 25. <https://doi.org/10.32382/mak.v12i1.2142>

- Budi, A., & Sembiring, N. L. (n.d.). Pola resistensi *Salmonella typhi* terhadap antibiotik ceftriaxone dan ciprofloxacin. *Journal Health and Science: Gorontalo Journal Health & Science Community*, 6.
- Elshobary, M. E., Badawy, N. K., Ashraf, Y., Zatioun, A. A., Masriya, H. H., Ammar, M. M., Mohamed, N. A., Mourad, S., & Assy, A. M. (2025). Combating antibiotic resistance: Mechanisms, multidrug-resistant pathogens, and novel therapeutic approaches: An updated review. *Pharmaceuticals*, 18(3). <https://doi.org/10.3390/ph18030402>
- Findings, E. (2024). Daya kerja antimikroba dan oligodinamik bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. October. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16124.96647>
- Ledingham, M. D., Standen, P., Skinner, C., & Busch, R. (2019). “Ciprofloxacin”. The perceptual barriers faced by mental health practitioners in recognising and responding to their own burnout symptoms. *Asia Pacific Journal of Counselling and Psychotherapy*, 10(2), 125–145. <https://doi.org/10.1080/21507686.2019.1634600>
- Mahmoud, A. T., Ibrahim, R. A., Salim, M. T., Gabr, A., & Halby, H. M. (2020). Prevalence of some virulence factors and genotyping of hospital-acquired uropathogenic *Escherichia coli* isolates recovered from cancer patients. *Journal of Global Antimicrobial Resistance*, 23, 211–216. <https://doi.org/10.1016/j.jgar.2020.08.003>
- Miao, H., Wang, P., Cong, Y., Dong, W., & Li, L. (2023). Preparation of ciprofloxacin-based carbon dots with high antibacterial activity. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(7). <https://doi.org/10.3390/ijms24076814>
- Nawaz, A., Ali, S. M., Rana, N. F., Tanweer, T., Batool, A., Webster, T. J., Mena, F., Riaz, S., Rehman, Z., Batool, F., Fatima, M., Maryam, T., Shafique, I., Saleem, A., & Iqbal, A. (2021). Ciprofloxacin-loaded gold nanoparticles against antimicrobial resistance: An in vivo assessment. *Nanomaterials*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/nano11113152>
- Resva, M., Auzal, H., & Erizal, Z. (2015). Karakterisasi fisikokimia sistem biner siprofloksasin HCl – PEG 4000. *Jurnal Sains Farmasi & Klinis*, 2(1), 30–35.
- Retno Widowati, S. H., & Iqba Lasdi. (2019). Aktivitas antibakteri minyak nilam (*Pogostemon cablin*) terhadap beberapa spesies bakteri uji. 6(3), 237–249.
- Thai, T., Salisbury, B. H., & Zito, P. M. (2023). Ciprofloxacin. In *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK535454/> (Diakses pada 14 Maret 2025, pukul 08.32).
- Yuliana, A., Shaleha, R. R., Pebiansyah, A., S, R. R., Rahmiyani, I., Amin, S., Z, D. N., Hidayat, T., & Alifiar, I. (2024). Penyuluhan pencegahan resistensi antibiotik pada tenaga teknis kefarmasian. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, 8(1), 1453. <https://doi.org/10.31764/jmm.v8i1.20841>