

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Paru-paru

Paru-paru merupakan organ kunci dalam sistem pernapasan yang berperan dalam pertukaran gas antara udara dan darah. Paru-paru berfungsi bersama dengan saluran pernapasan, pembuluh darah, dan otot pernapasan untuk mengedarkan oksigen (O₂) ke dalam darah dan mengeluarkan karbon dioksida (CO₂) dari darah ke udara luar, melalui proses ventilasi dan difusi di alveoli. Organ ini juga memiliki tugas untuk menyaring, menghangatkan, dan menjaga kelembapan udara yang masuk ke dalam tubuh (Costa, 2024).

1. Anatomi dan fisiologi paru

Paru-paru manusia terdiri dari dua buah yang berada di rongga dada yang terlindungi oleh tulang iga. Fungsi utama paru-paru adalah sebagai organ untuk bernapas. Selain itu, paru-paru juga berperan sebagai organ pengeluaran yang bertugas untuk mengeluarkan gas sisa dari proses bernapas, yaitu gas CO₂ (karbon dioksida) dan H₂O (uap air) (Nopianto et al., 2022).

2. Penyebab infeksi paru

Penyakit paru-paru adalah kondisi kesehatan yang umum dialami oleh manusia. Faktor-faktor yang mengakibatkan munculnya penyakit paru-paru umumnya

disebabkan oleh paparan udara kotor, yang bisa berasal dari debu, asap, virus, atau bakteri yang menyebabkan infeksi pada sistem pernapasan. Penyakit ini dapat menjangkiti individu dari usia bayi sampai orang dewasa (Arie Sandi Pratama & Safrizal, 2021).

3. Gejala infeksi paru-paru

Infeksi pada paru-paru masih menjadi masalah kesehatan di seluruh dunia, yang berpengaruh besar terhadap tingkat sakit dan angka kematian. Penyakit ini ditandai oleh adanya peradangan yang mendadak di jaringan paru-paru, dengan tanda-tanda seperti demam, batuk, nyeri di dada, dan kesulitan bernapas. Metode pencitraan memiliki peranan yang sangat penting dalam proses diagnosis infeksi ini, membantu untuk menemukan infiltrasi di paru-paru dan menilai seberapa parah penyakitnya (Juerg Hodler, Rahel A. Kubik-Huch, 2025).

4. Diagnosa infeksi paru

Mendeteksi atau mengevaluasi gejala paru-paru sejak awal dapat membantu masyarakat mengetahui kemungkinan adanya penyakit paru-paru, sehingga pengobatan atau perawatan bisa dilakukan lebih cepat untuk mencegah perkembangan penyakit yang lebih serius. Proses diagnosis atau pemeriksaan gejala paru-paru di rumah sakit atau dengan dokter spesialis memerlukan biaya yang cukup besar. Tingginya biaya pemeriksaan ini menjadi salah satu hambatan bagi orang untuk melakukan diagnosis penyakit paru-paru sejak awal, sehingga diperlukan suatu sistem yang mampu melakukan diagnosis dengan biaya yang rendah. Salah

satu teknologi yang dapat mendukung diagnosis dengan tingkat akurasi yang baik adalah sistem (Boyke Gunawan Manurung & Akim Manaor Hara Pardede, 2024).

B. Pneumoniae

Pneumonia dapat dijelaskan sebagai infeksi yang terjadi di paru-paru yang secara khusus mempengaruhi ruang alveoli. Adanya mikroba dalam ruang alveoli tanpa reaksi inflamasi adalah kolonisasi yang tidak dapat dianggap sebagai pneumonia. Terdapat berbagai jenis infeksi lainnya yang juga dapat menyerang paru-paru dan dapat dikategorikan berdasarkan lokasi infeksi yang utama (Wei Shen Lim, 2020).

1. Gejala

Gejala klinis dari penyakit pneumonia yang umum dijumpai meliputi demam, kehilangan nafsu makan, muntah, diare, nyeri perut, penyumbatan hidung atau keluarnya lendir, batuk yang tidak produktif, dan kadang-kadang terdengar suara napas tambahan seperti mengi, mengi, serta rasa sakit di tenggorokan (Rizki Ayu Adiani Putri, 2022).

2. Klasifikasi

Pneumonia umumnya dibagi berdasarkan lokasi dan cara penularannya. Berdasarkan hal tersebut, jenis pneumonia terbagi menjadi: pneumonia yang didapat di masyarakat, pneumonia yang didapat di Rumah Sakit, dan pneumonia yang Terkait ventilator.

a. Pneumonia yang Didapat di Masyarakat (*Community Acquired Pneumonia*)

Pneumonia yang Diperoleh dari Komunitas, atau sering disebut pneumonia komunitas, adalah jenis pneumonia yang muncul dari lingkungan masyarakat. Tipe ini menjadi penyebab utama kematian.

b. Pneumonia yang Didapat di Rumah Sakit (*Hospital Acquired Pneumonia*)

Pneumonia yang Didapat di Rumah Sakit adalah pneumonia yang berasal dari infeksi di rumah sakit. Kondisi ini dapat menjadi lebih serius jika bakteri penyebabnya resisten terhadap antibiotik.

c. Pneumonia yang Terkait Ventilator (*Ventilator Associated Pneumonia*)

Pneumonia yang Terkait Ventilator adalah infeksi paru-paru yang terjadi pada individu akibat penggunaan ventilator. Ventilator adalah alat yang digunakan untuk membantu pasien bernapas dengan memberikan oksigen melalui mulut atau hidung, atau melalui trakeostomi di leher. Infeksi ini dapat terjadi jika mikroba masuk melalui selang dan menjalar ke paru-paru pasien (Nopianto et al., 2022).

3. Patofisiologi

Pneumonia muncul ketika mikroba, baik bakteri maupun virus, masuk ke dalam alveoli dan melewati pertahanan paru-paru yang pertama, seperti mukosilia dan makrofag alveolar. Infeksi ini mengaktifkan sistem kekebalan tubuh yang menghasilkan peradangan sitokin seperti IL-1, IL-6, dan TNF- α , yang menyebabkan keluarnya plasma dan sel-sel imun ke dalam alveoli. Penumpukan eksudat ini

mengubah pertukaran gas dan dapat menjadi kondisi akut di paru-paru jika tidak dikelola dengan baik (Matthew E. Long & Rama K. Mallampalli, 2022).

4. Cara pemeriksaan penyakit pneumonia

a. Pemeriksaan Klinis

Diagnosis awal dilakukan dengan metode anamnesis (batuk, demam, nyeri pada dada, kesulitan bernapas) serta pemeriksaan fisik (suara napas abnormal, berkurangnya suara napas, peningkatan frekuensi napas, kadar oksigen dalam darah) (Suci, 2020).

b. Pemeriksaan Radiologi

Radiologi berperan penting dalam memastikan diagnosis dan mengevaluasi sejauh mana infeksi. CXR memperlihatkan adanya infiltrat, konsolidasi, atau efusi pleura. CT scan digunakan ketika CXR tidak memberikan kejelasan atau jika terjadi komplikasi. Sementara itu, ultrasound paru (LUS) yang portabel dan sensitif dapat mendeteksi infiltrat paru tanpa memerlukan radiasi (Carmina Guitart, Judit Becerra, Sara Bobillo-Perez, Josep L. Carrasco, 2025).

c. Pemeriksaan Laboratorium

Laboratorium mengevaluasi adanya infeksi dan tingkat keparahan. Secara teratur untuk leukositosis darah, CRP, dan prokalsitonin membedakan antara infeksi bakteri atau virus, ABG menilai kadar oksigen, dan kultur darah atau dahak digunakan untuk menemukan patogen penyebab (Ramakrishnan¹ & , Maheswary Datchanamoorthy¹ , S. S. Jaya Lakshmi¹ , Anusha Gopinathan¹, 2025).

C. Bakteri *Klebsiella pneumoniae*

Klebsiella pneumoniae merupakan bakteri oportunistik dari keluarga Enterobacteriaceae yang berpotensi menyebabkan berbagai jenis penyakit dan seringkali menunjukkan ketahanan terhadap obat-obatan. Saat ini, *Klebsiella pneumoniae* berkontribusi sekitar 3% hingga 8% dari total infeksi yang terjadi di lingkungan perawatan kesehatan dan menjadi penyebab utama pneumonia yang didapat di rumah sakit di Amerika Serikat (Putri Yusnia Ningrum et al., 2025).

1. Epidemiologi

Klebsiella pneumoniae carbapenemases (KPCs) merupakan jenis β -laktamase kelas A yang diproduksi oleh bakteri Gram-negatif yang menimbulkan infeksi yang sulit diobati. Penelitian ini menyajikan data epidemiologi global tentang isolat klinis Gram-negatif yang menghasilkan KPC, terutama *Klebsiella pneumoniae* yang merupakan spesies yang paling umum ditemukan di berbagai benua. Informasi dari 119 penelitian menunjukkan bahwa *Klebsiella pneumoniae* penghasil KPC memiliki sebaran yang luas di Asia, Eropa, Amerika Utara, Amerika Selatan, dan Afrika, sehingga bakteri ini telah menjadi patogen oportunistik yang signifikan secara global (Matthew E. Falagas et al., 2025).

2. Morfologi *Klebsiella pneumoniae*

Klebsiella pneumoniae adalah anggota dari keluarga Enterobacteriaceae yang bersifat Gram-negatif, bersama dengan sejumlah patogen umum lainnya seperti *Escherichia coli*, *Salmonella*, dan *Shigella*. Bakteri ini memiliki bentuk batang, tidak bergerak, dan tidak memproduksi spora, dengan diameter antara 0,3 hingga 2,0 μm dan

panjang antara 0,6 hingga 6,0 μm , serta memiliki penampilan mukoid yang khas saat ditanam di cawan agar. Sebagai anaerob fakultatif, *Klebsiella pneumoniae* dapat beradaptasi untuk tumbuh dalam kondisi aerobik (dengan oksigen) maupun anaerobik (tanpa oksigen). Salah satu ciri khas *Klebsiella pneumoniae* adalah morfologinya yang dilindungi oleh kapsul; bakteri ini memproduksi lapisan polisakarida yang mengelilinginya, yang berfungsi sebagai pelindung terhadap sistem kekebalan tubuh inang (Casino et al., 2023).

3. Media yang di gunakan untuk penanaman *Klebsiella pneumoniae*

Uji resistensi antibiotik terhadap *Klebsiella pneumoniae* dilakukan menggunakan berbagai media kultur untuk memastikan pertumbuhan bakteri yang optimal dan interpretasi hasil yang akurat. Agar coklat (Chocolate Agar/CA), sebagai media dengan kandungan nutrisi tinggi, mendukung pertumbuhan bakteri yang memerlukan faktor pertumbuhan khusus (fastidious), sehingga isolat dapat berkembang sebelum dilakukan pengujian sensitivitas antibiotik melalui metode disk diffusion atau MIC. Agar darah (Blood Agar Plate/BAP) menyediakan lingkungan pertumbuhan yang kaya nutrisi sekaligus memungkinkan pengamatan hemolisis, sehingga uji resistensi pada media ini dapat menilai baik sensitivitas terhadap antibiotik maupun perubahan morfologi koloni akibat paparan obat. MacConkey Agar (MCA), sebagai media selektif untuk bakteri Gram-negatif dan diferensial berdasarkan fermentasi laktosa, memfasilitasi identifikasi spesifik *klebsiella pneumoniae* sekaligus meminimalkan pertumbuhan kontaminan, sehingga hasil uji resistensi yang lebih spesifik. Media

ketiga ini secara bersamaan mendukung isolasi, pertumbuhan, dan penentuan profil resistensi antibiotik *klebsiella pneumoniae*, yang sangat penting dalam pemilihan terapi antibiotik yang efektif, deteksi isolat penghasil ESBL atau CRKP, serta perumusan strategi pengendalian infeksi di rumah sakit (Maulin Inggraini et al., 2024).

a. Agar cokelat (CA)

Agar cokelat merupakan hasil turunan dari agar darah, di mana sel-sel darah dipanaskan hingga hancur dan mengeluarkan faktor pertumbuhan seperti NAD (faktor V) dan hemin (faktor X). Media ini dapat mendukung pertumbuhan bakteri yang sulit, tetapi juga dimanfaatkan untuk isolasi *Klebsiella pneumoniae*. Agar cokelat biasanya digunakan bersamaan dengan media lain untuk memastikan pertumbuhan yang optimal dan identifikasi awal bakteri (Naoki Watanabe et al., 2024).



Gambar 2.1 Agar cokelat (CA) (Mark Fahmy et al., 2025).

b. Media agar darah (*Blood Agar Plate/BAP*)

Agar darah merupakan media dengan nutrisi tinggi yang dihasilkan dengan mencampurkan 5–10% darah ke dalam medium nutrisi. Media ini mendukung perkembangan berbagai jenis bakteri, termasuk *Klebsiella pneumoniae*. Selain digunakan sebagai media pertumbuhan umum, agar darah juga memungkinkan pengamatan hemolisis, yaitu kemampuan bakteri untuk menghancurkan sel darah merah, yang berguna untuk membedakan beberapa bakteri tertentu (Dayu et al., 2019)



Gambar 2.2 Media agar darah (*Blood Agar Plate/BAP*) (Rusli et al., 2023)

c. Media MacConkey Agar (MCA)

Agar MacConkey merupakan media yang berspektrum serta diferensial untuk bakteri enterik Gram-negatif, termasuk *Klebsiella pneumoniae*. Komposisi media ini mencakup garam emping dan kristal violet yang menghambat pertumbuhan bakteri Gram-positif. Dengan adanya laktosa dan indikator pH, media ini memungkinkan pengenalan bakteri berdasarkan kemampuan mereka dalam memfermentasi laktosa: koloni *Klebsiella pneumoniae* umumnya berwarna merah atau merah muda akibat proses fermentasi laktosa (Marwa S. Taha et al., 2024).



Gambar 1.3 Media MacConkey Agar (MCA) (Samuel D. Annor et al., 2023).

4. Sampel klinis yang digunakan untuk pemeriksaan Laboratorium *Klebsiella Pneumoniae*

a. Sputum (dahak)

Sputum (dahak) merupakan lendir atau sekret yang berasal dari saluran pernapasan bagian bawah, seperti bronkus dan paru-paru, yang dikeluarkan melalui batuk. Sampel sputum digunakan untuk mendeteksi dan mengidentifikasi bakteri penyebab infeksi saluran pernapasan, termasuk pneumonia yang disebabkan oleh *Klebsiella pneumoniae* (Maulin Inggraini, et al., 2024).

b. Pus

Pus (nanah) adalah cairan yang terbentuk sebagai respons tubuh terhadap infeksi atau peradangan. Pus tersusun atas sel darah putih, jaringan yang mengalami kerusakan, dan mikroorganisme penyebab infeksi. Sampel pus sering digunakan dalam pemeriksaan laboratorium untuk mengidentifikasi

bakteri penyebab infeksi pada luka, abses, maupun jaringan lunak (Chen et al., 2024).

c. Darah

Darah merupakan jaringan cair yang beredar di dalam sistem pembuluh darah dan memiliki fungsi utama mengangkut oksigen, zat gizi, hormon, serta sisa metabolisme ke seluruh tubuh. Dalam bidang mikrobiologi klinik, sampel darah digunakan untuk mendeteksi mikroorganisme yang masuk ke dalam aliran darah sehingga dapat membantu diagnosis bakteremia maupun sepsis (Fabre et al., 2022).

5. Pemeriksaan Laboratorium *Klebsiella Pneumoniae*

a. Pengambilan dan Penanganan Sampel

Sampel klinis diambil berdasarkan indikasi seperti: darah (sepsis), urin (infeksi saluran kemih), sputum (pneumonia), atau cairan tubuh lainnya. Pengiriman harus dilakukan secepat mungkin dan dalam keadaan steril untuk menjaga kualitas isolat, karena adanya kontaminasi atau kematian bakteri dapat memengaruhi hasil kultur dan pemeriksaan antibiotik (Qaedi Ahmad et L., 2021).

b. Isolasi dan identifikasi Bakteri

Sampel ditumbuhkan pada media MacConkey dan agar darah. *Klebsiella pneumoniae* menghasilkan koloni yang besar, halus, dan berwarna merah muda pada media MacConkey. Bakteri ini memiliki bentuk batang dan

bersifat Gram-negatif. Proses identifikasi selanjutnya dilakukan melalui uji biokimia (IMViC) atau menggunakan sistem otomatis seperti VITEK 2, MicroScan, dan MALDI-TOF untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat (Lijun Du et al., 2025)

c. Uji Ketahanan Terhadap Antibiotik (AST)

Dilaksanakan dengan metode difusi menggunakan cakram (Kirbatau MIC). Suspensi bakteri disesuaikan dengan tingkat kekeruhan 0,5 McFarland, kemudian diinokulasikan ke dalam agar Mueller-Hinton, dan cakram antibiotik diletakkan di atas agar tersebut. Setelah diinkubasi selama 18-24 jam, zona hambat diukur. Kategori S/I/R mengikuti pedoman dari CLSI/EUCAST (Gebremeskel et al., 2023)

d. Zona Hambat Antibiotik *Klebsiella pneumoniae*

Tabel 1. Zona Hambat Antibiotik *Klebsiella pneumoniae* (Amela Dedeić Ljubović et al., 2023).

Antibiotik	Sensitif (S)	Menengah (I)	Resisten (R)
Ampisilin	≥ 17 mm	14-16mm	≤ 13 mm
Sulfamethoxazole	≥ 16 mm	11-15 mm	≤ 10 mm

e. Deteksi Resistensi Spesifik

1. Extended Spectrum β -Lactamase (ESBL): Enzim ini menyebabkan hidrolisis pada sefalosporin generasi ketiga. Konfirmasi dilakukan dengan pengujian

cakram kombinasi; jika ada peningkatan zona ≥ 5 mm dengan klavulanat, maka dinyatakan sebagai positif ESBL (Castanheira et al., 2021).

2. Carbapenem-Resistant Enterobacteriaceae (CRE): Memproduksi karbapenemase (New Delhi Metallo β -laktamase, Klebsiella pneumoniae carbapenemase) keduanya merupakan enzim karbapenemase yang diproduksi oleh bakteri kelompok Carbapenem-Resistant Enterobacteriaceae (CRE) sehingga bakteri menjadi resisten terhadap antibiotik karbapenem seperti meropenem dan imipenem. yang menyebabkan resistensi terhadap meropenem dan imipenem. Penting untuk mendeteksi CRE guna mengendalikan penyebaran infeksi (Lin et al., 2021).

f. Pola Resistensi Antibiotik

- 1) Ampisilin: Hampir semua strain K. pneumoniae memiliki resistensi tinggi ($>90\%$) karena adanya resistensi bawaan melalui enzim β -laktamase. Oleh karena itu, ampisilin tidak dianjurkan untuk terapi secara empiris.
- 2) Amoksisilin (tanpa inhibitor): Tingkat resistensi cukup tinggi ($\sim 76\%$). Pemakaian amoksisilin tanpa adanya klavulanat jarang menunjukkan efektivitas, sementara kombinasi amoksisilin dengan klavulanat bisa menurunkan tingkat resistensi menjadi 30-50% tergantung pada isolat ESBL.
- 3) Trimetoprim-Sulfametoksazol: Tingkat resistensi sedang hingga tinggi, sekitar 62-67%. Masih bisa digunakan jika hasil uji sensitivitas

menunjukkan kategori S, tetapi bukan pilihan utama untuk isolat ESBL atau CRE (Shi et al., 2021).

D. Antibiotik

Istilah "antibiotik" pertama kali diperkenalkan oleh Selman Waksman pada tahun 1942, yang diartikan sebagai bahan yang dihasilkan oleh mikroorganisme yang dapat menghalangi pertumbuhan atau membunuh mikroorganisme lainnya. Saat ini, makna antibiotik meluas, mencakup zat yang berasal dari alam maupun yang dibuat secara sintetik dan memiliki spektrum aksi yang luas, termasuk penghambatan pembentukan dinding sel bakteri, pengaruh pada integritas membran sel, pencegahan sintesis asam nukleat/protein, dan gangguan pada berbagai proses metabolik (Aleksandra Baran & Aleksandra Kwiatkowska, 2023).

Penelitian ini dilaksanakan di lokasi penelitian dengan menggunakan tiga jenis antibiotik, yaitu ampisilin, amoksisilin, dan sulfametoksazol. Antibiotik tersebut dipilih karena umum digunakan dalam terapi infeksi bakteri dan berfungsi untuk mengevaluasi sensitivitas *Klebsiella pneumoniae* terhadap masing-masing antibiotik. Hal ini memungkinkan penilaian perbandingan efektivitas antibiotik terhadap pertumbuhan dan daya hambat bakteri.

1. Ampisilin dan Amoksisilin

Ampisilin (AMP) dan amoksisilin (AMX) adalah antibiotik yang cukup dikenal, keduanya merupakan turunan dari penisilin dan digunakan dalam perawatan baik untuk manusia maupun hewan. Dalam studi yang dilakukan, AMP, AMX, serta kombinasi keduanya menunjukkan kemampuan untuk menghambat pertumbuhan mikroba di tanah dan tidak menimbulkan perubahan signifikan pada jumlah total bakteri AMP dan AMX termasuk dalam subkelas aminopenisilin dari kelompok antibiotik β -laktam, yang berfungsi dengan mengganggu proses pembentukan dinding sel bakteri, sehingga menimbulkan efek bakterisida ketika bakteri berusaha untuk membelah (Barbara Pawłowska et al., 2024).

2. Sulfametoksazol

Sulfametoksazol merupakan antibiotik yang termasuk dalam kelompok sulfonamida, yang bekerja dengan menghentikan fungsi enzim dihidropteroat sintase dalam proses pembentukan folat pada bakteri. Ini berakibat pada terhambatnya produksi asam nukleat dan pertumbuhan mikroorganisme. Ketika digabungkan dengan trimetoprim (dikenal sebagai TMP/SMX atau co-trimoxazole), kedua zat ini saling memperkuat efeknya dengan menghambat dua tahap yang berbeda dalam jalur folat, sehingga meningkatkan kemampuan antimikroba untuk melawan berbagai bakteri Gram-positif dan Gram-negatif serta beberapa jenis jamur. Kombinasi ini sangat berguna dalam mengatasi infeksi pada saluran kemih, bronkitis, shigellosis, dan pneumonia akibat *Pneumocystis jirovecii*, dan termasuk dalam daftar obat esensial WHO. Namun, penggunaannya dalam

dunia medis perlu dilakukan dengan hati-hati, mengingat adanya risiko terhadap kulit, efek pada darah, dan gangguan metabolisme seperti hiperkalemia atau hiponatremia (Takaya Sagawa et al., 2025)

E. Resistensi Antibiotik

Resistensi antibiotik telah menjadi salah satu tantangan kesehatan masyarakat global yang paling mendesak di era modern ini. Fenomena ini diperparah dengan meningkatnya jumlah bakteri yang mampu bertahan terhadap berbagai kelas antibiotik, termasuk isolat multidrug-resisten (MDR), ekstensif resisten obat (XDR), dan pan-drug-resisten (PDR). *Klebsiella pneumoniae*, khususnya strain hipervirulen (hypervirulent *Klebsiella pneumoniae*), menunjukkan kombinasi antara virulensi tinggi dan kemampuan resistensi obat yang semakin kompleks, sehingga menimbulkan kesulitan serius dalam pengelolaan klinis infeksi. *Klebsiella pneumoniae* mengembangkan berbagai strategi untuk menghindari efek antibiotik, termasuk modifikasi permeabilitas membran agar obat tidak dapat masuk ke dalam sel, peningkatan aktivitas pompa efluks untuk mengeluarkan antibiotik, pembentukan biofilm pelindung, perubahan lokasi target antibiotik, serta produksi enzim yang mampu menghentikan antibiotik. Adaptasi ini menyebabkan sebagian besar antibiotik konvensional kehilangan efektivitasnya, yang berimplikasi pada kegagalan terapi, peningkatan morbiditas, dan risiko penyebaran infeksi yang lebih luas (Hetta et al., 2025).

Penggunaan antibiotik secara masif dalam beberapa dekade terakhir telah mengurangi masalah resistensi pada *Klebsiella pneumoniae*, di mana bakteri ini menunjukkan evolusi resistensi dari MDR menjadi XDR dan PDR. Survei nasional, seperti CHINET di China, melaporkan peningkatan yang signifikan *Klebsiella pneumoniae* terhadap antibiotik karbapenem, termasuk imipenem dan meropenem, pada periode 2015-2019, meskipun terjadi penurunan sementara pada tahun 2021. Kondisi ini menekankan perlunya pengawasan resistensi antibiotik yang ketat serta penerapan strategi manajemen yang efektif. Berbagai negara telah merancang kebijakan nasional untuk menekan resistensi antibiotik sebagai bagian dari rencana aksi yang diinisiasi oleh Organisasi Kesehatan Dunia (WHO). Contohnya, Rencana Aksi Nasional China untuk Mengatasi Resistensi Antimikroba (2016-2020) tekanan penguatan sistem pemantauan resistensi, pengelolaan klasifikasi dan penggunaan antibiotik di fasilitas klinis, perlindungan penggunaan antibiotik sebagai pakan tambahan di sektor akuatik, serta peningkatan kesadaran masyarakat untuk menggunakan antibiotik secara rasional. Di tingkat rumah sakit, strategi ini diterapkan melalui penyusunan daftar obat resep antibiotik, pemantauan penggunaan antibiotik, dan pelaksanaan langkah-langkah pengendalian infeksi yang ketat (Beig et al., 2024).

Selain pengelolaan antibiotik yang bijak, pengembangan pendekatan terapeutik baru juga menjadi fokus penelitian saat ini. Terapi inovatif seperti peptida antimikroba, bakteriofag, dan agen anti-virulensi menunjukkan potensi

dalam mengatasi infeksi yang resisten terhadap antibiotik konvensional. Pendekatan ini tidak hanya menargetkan pertumbuhan bakteri, tetapi juga faktor virulensi yang memungkinkan *Klebsiella pneumoniae* bertahan dalam tubuh manusia. Dengan kombinasi pengawasan yang ketat, penggunaan antibiotik yang rasional, dan inovasi terapi baru, diharapkan pengelolaan infeksi *Klebsiella pneumoniae* dapat dilakukan lebih efektif, menekan risiko resistensi (Guo et al., 2025).