

**PERKEMBANGAN DIAGNOSIS MODERN DAN PROFIL KERENTANAN
ANTIBIOTIK *Pseudomonas aeruginosa* PADA ANJING : A SYSTEMATIC
LITERATURE REVIEW**

***Advances in Modern Diagnostic Methods and Antibiotic Susceptibility of Pseudomonas
aeruginosa in Dogs: A Systematic Review***

*Maria Trisiana Dhue Nay,¹ Maxs Urias Ebenhaizar Sanam,² Elisabet Tangkonda²

¹ Program Studi Sains Veteriner Program Magister, Fakultas Kedokteran dan Kedokteran Hewan,
Universitas Nusa Cendana, Kupang, Indonesia

²Departemen Ilmu Penyakit Hewan dan Kesehatan Masyarakat Veteriner, Program Studi
Kedokteran Hewan, Fakultas Kedokteran dan Kedokteran Hewan, Universitas Nusa Cendana,
Kupang, Indonesia

*Koresponden Penulis. Email: isnanay26@gmail.com

ABSTRAK

Pseudomonas aeruginosa merupakan bakteri Gram-negatif oportunistik yang sering menyebabkan infeksi pada anjing dan memiliki kemampuan tinggi dalam mengembangkan resistensi terhadap antibiotik. Tingginya variasi pola resistensi serta keterbatasan pilihan terapi yang efektif menjadikan identifikasi bakteri yang akurat dan pemetaan pola kerentanan antibiotik sebagai aspek penting dalam pengendalian infeksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji metode identifikasi molekuler serta pola kerentanan dan resistensi antibiotik *P. aeruginosa* pada anjing yang dilaporkan dalam berbagai penelitian menggunakan metode Systematic Literature Review (SLR). Pencarian literatur dilakukan pada basis data PubMed, Scopus, ScienceDirect, dan Google Scholar pada rentang tahun 2015–2025 dengan menggunakan kata kunci (*keyword*) dan pendekatan Research Question. Kriteria inklusi utama meliputi artikel penelitian asli berbahasa Inggris atau Indonesia yang membahas identifikasi *P. aeruginosa* pada anjing, metode diagnosis bakteri, serta uji kerentanan atau resistensi antibiotik. Dari 57 artikel yang teridentifikasi, sebanyak 21 artikel memenuhi kriteria inklusi berdasarkan hasil screening menggunakan aplikasi Rayyan. Data dianalisis secara deskriptif melalui proses ekstraksi, pengelompokan, dan sintesis naratif terhadap metode identifikasi bakteri dan pola resistensi antibiotik yang dilaporkan. Hasil SLR menunjukkan bahwa *Pseudomonas aeruginosa* sering diisolasi dari anjing, dengan jenis sampel dominan berupa swab telinga dan luka, serta sampel dari infeksi traktus urinari, traktus respiratori, dan pioderma. Metode diagnosis bakteri meliputi kultur bakteri konvensional serta perkembangan diagnosis modern seperti sistem otomatis VITEK® 2 Compact, MALDI-TOF, metode molekuler berbasis PCR, dan *Whole Genome Sequencing* (WGS). Gen target yang paling sering digunakan untuk identifikasi adalah gen 16S rRNA. Pola kerentanan antibiotik menunjukkan bahwa *P. aeruginosa* paling sering dilaporkan memiliki tingkat resistensi tinggi terhadap golongan fluoroquinolone, diikuti sulfonamide dan golongan antibiotik lainnya. Sebaliknya, golongan karbapenem, sefalosporin antipseudomonal, dan aminoglikosida masih menunjukkan tingkat kerentanan yang relatif tinggi.

Kata kunci: *Pseudomonas aeruginosa*, diagnosa molekuler, pola kerentanan antibiotik, Anjing

ABSTRACT

Pseudomonas aeruginosa (*P. aeruginosa*) is an opportunistic Gram-negative bacterium that frequently causes infections in dogs and has a high capability to develop antibiotic resistance. The wide variation in resistance patterns and the limited availability of effective therapeutic options make accurate bacterial identification and mapping of antibiotic susceptibility patterns essential for infection control. This study aimed to review molecular identification methods as well as antibiotic susceptibility and resistance patterns of *Pseudomonas aeruginosa* in dogs reported in previous studies using a Systematic Literature Review (SLR) approach. Literature searches were conducted using PubMed, Scopus, ScienceDirect, and Google Scholar databases for articles published between 2017 and 2025 using specific keywords and a Research Question approach. The main inclusion criteria included original research articles published in English or Indonesian that discussed the identification of *P. aeruginosa* in dogs, bacterial diagnostic methods, and antibiotic susceptibility or resistance testing. Of the 57 articles identified, 21 articles met the inclusion criteria based on the screening process using the Rayyan application. Data were analyzed descriptively through data extraction, categorization, and narrative synthesis of the reported bacterial identification methods and antibiotic resistance patterns. The SLR results showed that *P. aeruginosa* was frequently isolated from dogs, with dominant sample types including ear and wound swabs, as well as samples from urinary tract infections, respiratory tract infections, and pyoderma. Bacterial diagnostic methods included conventional bacterial culture and the development of modern diagnostic techniques such as the automated VITEK® 2 Compact system, MALDI-TOF, PCR-based molecular methods, and Whole Genome Sequencing (WGS). The most commonly used target gene for identification was the 16S rRNA gene. Antibiotic susceptibility patterns indicated that *P. aeruginosa* most frequently exhibited high resistance to fluoroquinolones, followed by sulfonamides and other antibiotic classes. In contrast, carbapenems, antipseudomonal cephalosporins, and aminoglycosides still demonstrated relatively high susceptibility rates.

Keywords: *Pseudomonas aeruginosa*; molecular diagnostic; antimicrobial susceptibility testing; dogs

PENDAHULUAN

Pseudomonas aeruginosa (*P. aeruginosa*) merupakan bakteri zoonosis Gram-negatif, bersifat aerobik dan berbentuk basil (Wood *et al.*, 2023), serta memiliki flagel dan tidak dapat memfermentasi glukosa (Mohammed *et al.*, 2024). Bakteri ini bersifat oportunistik pada anjing yang dapat menyebabkan infeksi pada jaringan lunak dan telinga (Hattab *et al.*, 2021), serta merupakan patogen penting penyebab luka kronis dan luka bakar, infeksi mata, otitis, infeksi saluran pernapasan, dan infeksi saluran kemih (Jasim & Hayyawi, 2025). Bakteri tersebut dapat hidup diberbagai lingkungan seperti tanah, air dan tumbuhan (Nielsen *et al.*,

2022), sehingga penularan pada hewan maupun manusia dapat terjadi melalui lingkungan tersebut. Menurut Mohammed *et al* (2024), *P. aeruginosa* memasuki jaringan melalui faktor virulensi ekstraseluler (protease, hemolisin, eksotoksin A, eksoenzim S, dan piosianin) dan seluler (flagela, pilus, adhesi nonpilus, alginat, dan lipopolisakarida).

Salah satu faktor virulensi yang paling relevan dari *P. aeruginosa* adalah kemampuan bakteri dalam pembentukan biofilm, yaitu komunitas bakteri kompleks yang terorganisasi dan terperangkap dalam matriks pelindung zat ekstraseluler atau EPS (de Sousa *et al.*, 2023). Tahapan

pembentukan biofilm, yaitu perlekatan awal, pembentukan mikrokoloni, produksi EPS dan pematangan (Vetrivel *et al.*, 2021).

Matriks dari EPS terdiri dari berbagai polisakarida, protein dan DNA ekstraseluler yang menjadi pelindung dan mendukung struktur dari bakteri dalam biofilm. Bakteri ini juga memiliki beberapa mekanisme untuk menghindari sistem kekebalan tubuh, yaitu produksi pigmen yang menyulitkan sel kekebalan (sel imun) dalam mengenali lipopolisakarida bakteri (de Sousa *et al.*, 2023). Keragaman mekanisme virulensi *P. aeruginosa* menyebabkan kesulitan dalam memberantas bakteri dari lingkungan (Płókarz *et al.*, 2023), sehingga diperlukan strategi yang efektif untuk mendeteksi dan mengendalikan keberadaan bakteri ini.

Pseudomonas aeruginosa menjadi salah satu bakteri dengan tingkat resistensi yang cukup tinggi. Hal tersebut dipengaruhi karena kemampuan bakteri dalam membentuk biofilm. Selain itu, resistensi dapat dipengaruhi oleh kombinasi resistensi intrinsik dan didapat, antara lain rendahnya permeabilitas membran luar, keberadaan pompa efluks dan produksi enzim ampC (de Sousa *et al.*, 2021) yang dapat menginaktivasi antimikroba. Bakteri ini juga mampu memperoleh gen resistensi melalui mutasi gen horizontal (Pang *et al.*, 2019), sehingga berpotensi terjadi *Multi-Drug Resistant* (MDR) dan *Extensively Drug Resistant* (XDR). Kondisi ini mempengaruhi pemilihan terapi yang efektif dan dapat berpotensi terjadi kegagalan dalam pengobatan infeksi

bakteri. Penanganan infeksi bakteri umumnya masih menggunakan terapi antibiotik empiris (sesuai pengalaman), sehingga perlu adanya pemantauan pola resistensi antibiotik secara berkala.

Ketepatan identifikasi bakteri *P. aeruginosa* menjadi faktor krusial dalam menentukan keberadaan bakteri pada hewan serta menjamin keakuratan diagnosis yang menjadi kunci dalam interpretasi uji kerentanan antibiotik. Saat ini, metode identifikasi bakteri telah berkembang pesat, transisi dari metode konvensional berbasis kultur dan uji biokimia menuju metode diagnosis modern yang menawarkan kecepatan dan akurasi lebih tinggi. Perkembangan ini mencakup penggunaan sistem otomatis seperti VITEK®2 Compact dan teknologi MALDI-TOF MS (*Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization-Time of Flight Mass Spectrometry*) yang mampu mengidentifikasi bakteri berdasarkan profil protein secara cepat. Selain itu, metode molekuler berbasis PCR (*Polymerase Chain Reaction*) dan WGS (*Whole Genome Sequencing*) menjadi standar tinggi (*gold standard*).

Berdasarkan permasalahan di atas, perlu dilakukan kajian sistematis terkait perkembangan metode diagnosa, mulai dari konvensional hingga sistem otomatis dan molekuler serta profil kerentanan antibiotik *P. aeruginosa* pada anjing. Kajian *Systematic Literature Review* (SLR) ini diharapkan dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai efektivitas berbagai metode tersebut.

MATERI DAN METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) yang disusun menggunakan protokol *Preferred Reporting Items for*

Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA). Fokus utama kajian adalah untuk mensintesis data mengenai metode identifikasi modern serta pola resistensi antibiotik *P. aeruginosa* pada anjing.

Fokus utama kajian ini didasarkan pada beberapa pertimbangan. Pertama, *P. aeruginosa* merupakan bakteri oportunistik yang dapat menginfeksi anjing dan menyebabkan berbagai gangguan klinis. Kedua, bakteri diketahui memiliki tingkat resistensi antibiotik yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan tinjauan terhadap metode deteksi bakteri dan pola kerentanan antibiotik guna mendukung penegakkan diagnosis serta pemilihan terapi yang tepat dan sesuai.

Pertanyaan Penelitian (Research Question)

Penelitian ini dirancang untuk menjawab tiga pertanyaan utama yang berdasarkan kebutuhan dari topik.

RQ1 : Bagaimana perkembangan metode identifikasi modern (VITEK, MALDI-TOF, PCR, WGS) dibandingkan metode konvensional pada *P. aeruginosa* ?

RQ2 : Bagaimana tren pola resistensi antibiotik *P. aeruginosa* pada anjing ?

RQ3 : Jenis antibiotik apa yang menunjukkan tingkat keefektifitas dan resistensi tinggi ?

Strategi Pencarian Data

Pencarian (*search process*) dilakukan melalui basis data ilmiah, yaitu PubMed, Scopus dan Google Scholar dengan rentang tahun yang digunakan 2015-2025. Strategi pencarian menggunakan kata kunci (*keywords*), yang meliputi “*Pseudomonas aeruginosa*” AND “molecular detection” or “molecular diagnostic” or “PCR” AND “antibiotic susceptibility” or “antibiotic resistance” AND “dog” “canine” or “dogs”.

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria Inklusi :

- Artikel penelitian asli berbahasa Inggris atau Indonesia
- Terbit dalam rentang tahun 2015-2025
- Membahas metode identifikasi bakteri *P. aeruginosa*
- Menyertakan pengujian dan data kerentanan antibiotik

Kriteria Eksklusi :

- Artikel ulasan (*review*)
- Terbit dibawah tahun 2015
- Tidak membahas metode identifikasi *P. aeruginosa* dan data resistensi antibiotik yang jelas

Penyaringan (screening) Data

Penyaringan data dilakukan sebagai proses seleksi artikel yang dilakukan menggunakan bantuan aplikasi Rayyan. Artikel yang diperoleh dari database (57 artikel) kemudian diimpor Rayyan, selanjutnya dilakukan identifikasi artikel duplikat. Proses penyaringan (*screening*) dilakukan berdasarkan judul dan abstrak menggunakan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan. Artikel yang memenuhi kriteria inklusi akan dipertahankan, sedangkan artikel yang tidak memenuhi kriteria eksklusi akan dieliminasi. Setelah itu, dilakukan peninjauan full text untuk menentukan artikel akhir yang akan digunakan dalam penelitian. Sebanyak 21 artikel dari hasil *screening*, yang dipilih dalam penelitian ini.

Ekstraksi Data

Data hasil *screening* sebanyak 21 artikel, diekstraksi secara sistematis pada menggunakan tabel ekstraksi yang mencakup: nama penulis, tahun publikasi, negara, metode diagnosis (Kultur, VITEK®2, MALDI-TOF, PCR, atau WGS), jumlah isolat, serta data profil resistensi antibiotik.

Kualitas dan Risk of Bias

Penilaian dilakukan menggunakan instrumen JBI (*Joanna Briggs Institute Critical Appraisal Tools*). Artikel yang dinilai berdasarkan kesesuaian metodologi, kejelasan deskripsi sampel, dan standarisasi uji laboratorium. *Risk of Bias* dinilai secara mandiri dan artikel dengan skor terendah yang tidak memiliki kejelasan dalam metode identifikasi dan uji sensitivitas dikeluarkan dari analisis untuk menjamin reliabilitas hasil tinjauan.

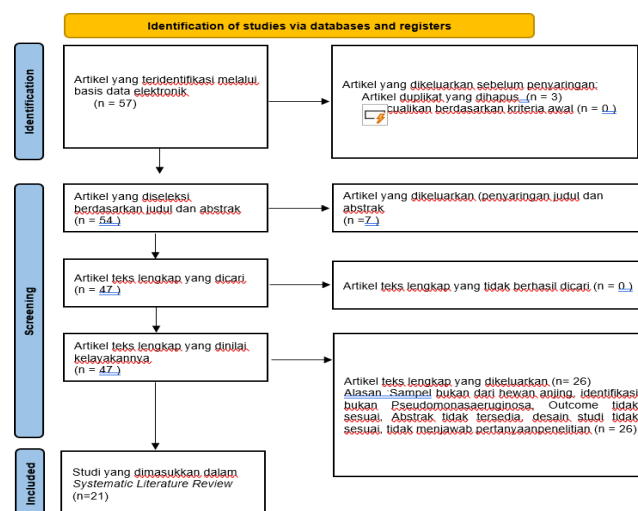
Kategori Resistensi dan Sintesis Data

Data resistensi dikategorikan berdasarkan pedoman CLSI (*Clinical and Laboratory Standards Institute*). Klasifikasi khusus digunakan untuk mengidentifikasi status *Multidrug-Resistant* (MDR) (resisten terhadap ≥ 1 agen pada ≥ 3 kategori antibiotik) dan *Extensively Drug-Resistant* (XDR)

(Magiorakos *et al.*, 2012).

Analisis Komparatif

Analisis komparatif dilakukan dengan membandingkan hasil antar penelitian berdasarkan metode identifikasi bakteri, metode pengujian antibiotik, serta kategori resistensi antibiotik (MDR dan XDR).



Gambar 1. Diagram Alur PRISMA

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Berdasarkan hasil tinjauan artikel pada kategori “Diagnosis Modern dan Kerentanan Antibiotik *Pseudomonas aeruginosa* pada Anjing” diperoleh 57 artikel yang cocok dengan topik

penelitian, selanjutnya dilakukan penyaringan (*screening*) terkait kesamaan judul artikel yang sama dan kesesuaian syarat dengan kriteria inklusi dan eksklusi. Pada tahap ini, diperoleh 21 artikel yang disaring.

Tabel 1. Karakteristik studi yang dianalisis dari 21 artikel

Penulis dan Negara	Jenis hewan	Jenis sampel	Metode deteksi	Uji antibiotic
(Vingopoulou <i>et al.</i> , 2018) Greece (Yunani)	Anjing	Cairan telinga	Uji fenotip, PCR (gen spesifik)	Disk diffusion,
(Hattab <i>et al.</i> , 2021) Italia	Anjing	Abses,otitis,infeksi saluran urinari	Uji fenotip, PCR (gen virulensi)	Disk diffusion
(Eliasi <i>et al.</i> , 2020)	Anjing	Berbagai sistem organ	Uji fenotip	Data dari klinik

Afrika Selatan

(Al-zubaidy & Al-Jabbari 2025) Iraq	Anjing, Kucing	Luka	Uji fenotip, VITEK®2, PCR	Disk diffusion
(Elfadadny <i>et al.</i> , 2023) Jepang	Anjing	Swab telinga	Uji fenotip, PCR	Disk diffusion
(Biçakcioğlu <i>et al.</i> , 2021) Turkey	Anjing	Swab telinga	Uji fenotip	Disk diffusion
(Mohammed <i>et al.</i> , 2024) Irak	Anjing	Swab telinga	Uji fenotip, VITEK®2, PCR	Disk diffusion
(Jasim & Hayyawi, 2025) Irak	Anjing	Urin	Uji fenotip, VITEK®2, PCR	Disk diffusion
(Park <i>et al.</i> , 2020) Korea Selatan	Anjing	Swab telinga	PCR	Disk diffusion
(Jangsangthong <i>et al.</i> , 2024) Thailand	Anjing, Kucing	Kulit, saluran urinasi, telinga	<i>Whole Genome Sequencing (WGS)</i>	Broth Microdilution- MIC
(Rosales <i>et al.</i> , 2024) Spanyol	Anjing	Swab telinga	Uji Fenotip, PCR	Uji standar laboratorium
(Dégi <i>et al.</i> , 2021) Rumania	Anjing	Infeksi kulit, otitis externa dan abses	Uji fenotip, PCR	Disk diffusion
(Płókarz <i>et al.</i> , 2023) Polandia	Anjing, Kucing	Swab saluran pernapasan, konjungtiva, mulut, kulit, luka, saluran urinari	Uji fenotip, PCR	Disk diffusion
(Chan <i>et al.</i> , 2025) Hongkong	Anjing	Pioderma, swab telinga (otitis)	Uji fenotip	Disk diffusion

(Yudhanto <i>et al.</i> , 2022) Amerika serikat	Anjing	Infeksi tractus urinari	Uji fenotip, MALDI-TOF	Broth Microdilution-MIC
(Hayashi <i>et al.</i> , 2021) Jepang	Anjing, Kucing	Isolat kondisi klinis	Uji fenotip, PCR	Broth Microdilution-MIC
(Ekapopphan <i>et al.</i> , 2018) Thailand	Anjing	Swab kornea dan konjungtiva	Uji fenotip, PCR	Broth Microdilution-MIC
(Newstead <i>et al.</i> , 2025) Skotlandia	Anjing	Swab telinga (otitis)	<i>Whole Genome Sequencing</i> (WGS)	Disk diffusion, MIC
(Serrano <i>et al.</i> , 2017) Portugal	Berbagai jenis hewan	Tidak spesifik	Uji fenotip, PCR	Tidak spesifik
(de Sousa <i>et al.</i> , 2023) Portugal	Anjing	Isolat kondisi klinis	Uji fenotip, PCR	Disk diffusion
(Nocera <i>et al.</i> , 2025) Italia	Anjing	Swab telinga (otitis)	MALDI-TOF, PCR	Disk diffusion

Keterangan : PCR = *Polymerase Chain Reaction*, MIC = *Minimum Inhibitor Reaction*

Systematic Literature Review (SLR) ini mencakup 21 artikel penelitian primer yang melaporkan identifikasi *P. aeruginosa* disertai pola resistensi antibiotiknya. Jenis hewan yang paling banyak dilaporkan dalam penelitian-penelitian tersebut adalah anjing. Jenis sampel yang digunakan meliputi swab telinga, swab luka serta sampel dari kondisi klinis infeksi traktus urinari, traktus respiratori dan pioderma.

Deteksi *Pseudomonas aeruginosa* pada sebagian besar studi dilakukan menggunakan metode fenotipik dan uji biokimia konvensional, baik secara

langsung maupun dengan menggunakan sistem otomatis seperti VITEK® 2 Compact, MALDI-TOF MS. Beberapa penelitian juga menerapkan metode molekuler berbasis *Polymerase Chain Reaction* (PCR) dan *Whole Genome Sequencing* (WGS) sebagai konfirmasi identitas bakteri. Gen target yang umum digunakan adalah gen 16S rRNA. Beberapa studi juga melaporkan identifikasi gen virulensi, gen resistensi dan gen yang berperan dalam sistem efluks.

Metode uji kerentanan antibiotik yang dominan digunakan dalam studi-studi tersebut meliputi metode difusi cakram

(*disk diffusison*)-Kirby bauer dan Broth Microdilution-MIC (*Minimum Inhibitor Concentration*). Hasil pengujian menunjukkan adanya variasi pola resistensi antibiotik pada isolat *P. aeruginosa*. resistensi dilaporkan pada golongan fluoroquinolone dan sulfonamide (Tabel 4), sedangkan kerentanan antibiotik dilaporkan pada golongan sefalosporin dan karbapenem (Tabel 5).

Pembahasan

Berdasarkan hasil pencarian dan seleksi artikel yang telah dilakukan (Tabel 1). Pembahasan ini menguraikan temuan-temuan dari artikel terkait identifikasi molekuler dan uji kerentanan antibiotik *Pseudomonas aeruginosa* pada anjing. Pembahasan ini berfokus pada metode yang digunakan untuk identifikasi *P. aeruginosa*, metode pengujian antibiotik, serta pola resistensi antibiotik yang ditemukan dalam berbagai penelitian.

a. Deteksi *Pseudomonas aeruginosa*

Berdasarkan artikel-artikel yang direview, identifikasi *P. aeruginosa* pada anjing dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu metode kultur bakteri (isolasi), identifikasi fenotipik dan konfirmasi molekuler. Tahap awal meliputi persiapan sampel, dengan jenis sampel yang paling sering berupa swab telinga dan luka serta kondisi klinis lainnya pada infeksi traktus urinari, traktus respiratori dan pioderma.

Kultur bakteri dilakukan menggunakan media, seperti *MacConkey*, *blood agar*, media selektif ceftrimide yang merupakan media paling sering digunakan untuk identifikasi *P. aeruginosa*. Inkubasi dilakukan pada suhu 37°C dengan rentang waktu selama 24-48 jam. Selanjutnya, isolat yang dicurigai dilakukan pengujian lanjutan seperti pewarnaan Gram, uji oksidase (positif), uji katalase (positif) dan uji fermentasi glukosa (negatif). Secara fenotipik, koloni *P. aeruginosa* tampak

terlihat bulat, berlendir, halus serta terjadi perubahan warna hijau kekuningan pada media selektif ceftrimide. Pada *blood agar*, bakteri ini memberikan pola beta hemolisis dan pada media *MacConkey* tidak menunjukkan kemampuan fermentasi glukosa.

Pengujian lanjutan dalam meningkatkan akurasi, beberapa penelitian menggunakan sistem otomatis seperti MALDI-TOF MS dan VITEK®2 Compact. MALDI-TOF MS mampu mengidentifikasi bakteri secara cepat dan sensitif berdasarkan profil protein, sedangkan VITEK®2 Compact menggunakan karakteristik biokimia bakteri dengan tingkat akurasi hingga 99%. Kedua metode ini dinilai efektif, reliabel, dan banyak digunakan untuk konfirmasi *Pseudomonas aeruginosa* dari sampel klinis hewan. Hasil identifikasi menggunakan VITEK®2 pada berbagai penelitian menunjukkan kesesuaian dengan karakteristik fenotipik dan hasil uji biokimia sebelumnya, sehingga metode ini dinilai efektif dan andal dalam mendukung diagnosis bakteriologi veteriner

Identifikasi *P. aeruginosa* juga dapat menggunakan metode molekuler berbasis PCR dan WGS. Pada tahap PCR, hal-hal yang perlu dilakukan yaitu persiapan sampel, ekstraksi DNA, persiapan primer dan melakukan proses amplifikasi. Sampel umumnya berasal dari isolat bakteri yang diambil dari sampel klinis hewan. Ekstraksi DNA menggunakan QIAamp DNA Mini Kit, Kaneka Easy DNA Extraction, Genomic DNA Mini Kit, iNtRON Biotechnology G-spin DNA Extraction Kit atau metode perebusan (*boilling method*). Identifikasi spesies *Pseudomonas aeruginosa* dilakukan melalui PCR gen 16S rRNA dengan jenis primer yang bervariasi (Tabel 1.) dari berbagai penelitian. Variasi jenis primer dapat mempengaruhi sensitivitas dan spesifisitas deteksi, namun secara umum

metode tersebut tetap dianggap reliabel sebagai konfirmasi molekuler *P. aeruginosa*. Selanjutnya metode WGS untuk menganalisis kesamaan sekuens

menggunakan BLAST GenBank.

Tabel 2. Data primer gen 1S rRNA dan gen spesifik *Pseudomonas aeruginosa*

Gen target	Ukuran produk (bp)	Urutan primer	Sumber
16S rRNA	1250	(R) 5'- GGTTACCTTGTTACGACTT-3' (F) 5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG- 3'	(Mohammed <i>et al.</i> , 2024), (Al-zubaidy & Al-Jabbari 2025)
16S rRNA	1250	(27F) 5'AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3' (1392 R) 5' GGTTACCTTGTTACGACTT-3'	Jasim, S. E., & Hayyawi, S. M. (2025)

Metode molekuler berbasis PCR juga digunakan untuk mendeteksi gen virulensi, seperti *lasB* (elastase), *toxA* (eksotoksin A), *aprA* (protease alkali), *plcH* (fosfolipase C hemolitik) dan *exoS* (eksoenzim S). Analisis Multilocus Sequence Typing (MLST) juga digunakan untuk menentukan sequence type (ST) dan hubungan filogenetik, dengan menggunakan tujuh gen housekeeping, yaitu *acsA*, *aroE*, *guaA*, *mutL*, *nuoD*, *ppsA*, dan *trpE* dari *P. aeruginosa*.

Data alel dan ST akan dibandingkan dengan basis data MLST yang memiliki

standar internasional, dan pohon filogenetik dikonstruksi menggunakan metode neighbor-joining dengan perangkat lunak MEGA serta divisualisasikan menggunakan iTOL.

Deteksi gen resistensi antibiotik juga dilaporkan menggunakan gen ESBL (*blaCTX-M*, *blaTEM*, *blaSHV*, *blaPER*) dan gen MBL (*blaOXA-48*, *blaIMP*, *blaVIM*, *blaNDM*, *blaGES*) serta deteksi gen sistem efflux (*mexA* dan *mexB*) menggunakan PCR konvensional melalui elektroforesis gel agarosa. Berikut adalah :

Tabel 3. Data Gen Target *Pseudomonas aeruginosa*

GEN VIRULENSI			
Gen target	Ukuran produk (bp)	Urutan primer (5'-3')	Sumber
lasB	300	(F)-GGAATGAACGAAGCGTTCTC- (R)-GGTCCAGTAGTAGCGGTTGG-	(Hattab <i>et al.</i> , 2021)
	284	(F)-GGAATGAACGAAGCGTTCTCCGAC- (R)-TTGGCGTCGACGAACACCTCG-	(Płókarz <i>et al.</i> , 2023)
toxA	352	(F)-GGTAACCAGCTCAGCCACAT- (R)-TGATGTCCAGGTCATGCTTC-	(Hattab <i>et al.</i> , 2021)
	270	(F)-CTGCGCGGGTCTATGTGCC- (R)-GATGCTGGACGGGTCGAG-	(Płókarz <i>et al.</i> , 2023)
plcH	307	(F)-GAAGCCATGGGCTACTTCAA- (R)-AGAGTGACGAGGAGCGGTAG-	(Hattab <i>et al.</i> , 2021)
	608	(R)-GCACGTGGTCATCCTGATGC- (F)-TCCGTAGGCGTCGACGTAC-	(Płókarz <i>et al.</i> , 2023)
plcN	481	(F)-TCCGTTATCGCAACCAGCCCTACG- (R)-TCGCTGTCGAGCAGGTCGAAC-	(Płókarz <i>et al.</i> , 2023)
exoS	504	(F)-CTTGAAGGGACTCGACAAGG- (R)-TTCAGGTCCGCGTAGTGAAT-	(Hattab <i>et al.</i> , 2021)
	444	(F)-CGTCGTGTTCAAGCAGATGGTGCTG- (R)-CCGAACCGCTTCACCAGGC-	(Płókarz <i>et al.</i> , 2023)
exoU	134	(F)-CCGTTGTGGTGCCGTTGAAG- (R)-CCAGATGTTCAACCGACTCGC-	(Płókarz <i>et al.</i> , 2023)
exoY	289	(F)-CGGATTCTATGGCAGGGAGG- (R)-GCCCTTGATGCACTCGACCA-	(Płókarz <i>et al.</i> , 2023)
exoT	152	(F)-AATCGCCGTCCAACCTGCATGCG- (R)-TGTTGCGCCGAGGTACTGCTC-	(Płókarz <i>et al.</i> , 2023)
aprA	140	(F)-ACCCTGTCTTATTCGTTCC- (R)-GATTGCAGCGACAACCTTGG-	(Hattab <i>et al.</i> , 2021)

GEN RESISTENSI (ESBL DAN MBL)

Gen target	Ukuran produk (bp)	Urutan primer (5'-3')	Sumber
blaTEM	403	(F)-TTTCGTGTCGCCCTTATTCC (R)-ATCGTTGTCAGAAGTAAGTTGG	
blaSHV	472	(F)-TCAGCGAAAAACACCTTG (R)-TCCCGCAGATAAATCACC	
blaPER	925	(F)-AATTTGGGCTTAGGGCAGAA (R)-ATGAATGTCATTATAAAAAGC	
blaOXA-48	438	(F)-GCGTGGTTAAGGATGAACAC (R)-CATCAAGTTCAACCCAACCG	(Nocera <i>et al.</i>)

blaIMP	587	(F)-ACCGCAGCAGAGTCTTTGCC (R)-ACAACAAGTTTTGCCTTACC	al., 2025)
blaVIM	801	(F)-ATGTTAAAAGTTATTAGTAGT (R)-CTACTCGGCGACTGAGCGAT	
blaNDM	621	(F)-GGTTTGGCGATCTGGTTTTC (R)-CGGAATGGCTCATCACGATC	
blaNDM	621	(F)-GGTTTGGCGATCTGGTTTTC (R)-CGGAATGGCTCATCACGATC	
blaGES	864	(F)-CTGGCAGGGATCGCTCACTC (R)-TTCCGATCAGCCACCTCTCA	
GEN SISTEM EFFLUX			
Gen target	Ukuran produk (bp)	Urutan primer (5'-3')	Sumber
mexA	142	(F)- GACCCTGAATACCGAGCTGC (R)- GGTCGATCTGGTAGAGCTGC	(Al-zubaidy & Al-Jabbari 2025)
mexB	215	(F)- CTGTTCGATCCTCAGTCTGCC (R)- CTGTTCGAAGGTCACGGTGA	

b. Pengujian Kerentanan Antibiotik

Berdasarkan hasil review dari berbagai studi, metode pengujian kerentanan antibiotik yang paling sering digunakan terhadap *P. aeruginosa* adalah metode difusi cakram (*disk diffusion*)-Kirby bauer pada media Mueller Hinton Agar (MHA) berdasarkan pedoman CLSI, sedangkan beberapa penelitian menggunakan standar EUCAST. Beberapa penelitian juga menggunakan metode broth microdilution untuk menentukan Minimum Inhibitory Concentration (MIC), terutama pada antibiotik antipseudomonal, seperti imipenem, meropenem, ceftazidime, gentamicin dan fluoroquinolone.

Variasi jenis antibiotik yang digunakan dalam penelitian ini, sebagian besar studi menggunakan antibiotik dari golongan β -lactam, aminoglycoside, fluoroquinolone, carbapenem, dan polymyxin. Antibiotik yang paling sering digunakan dalam pengujian, yaitu ciprofloxacin, gentamicin, amikacin, tobramycin, ceftazidime, imipenem, dan meropenem. Perbedaan pengujian jenis

antibiotik antar studi kemungkinan dipengaruhi oleh ketersediaan antibiotik, pedoman interpretasi yang digunakan, serta tujuan klinis masing-masing penelitian.

Sebagian besar penelitian mengategorikan hasil uji sensitivitas menjadi sensitif, intermediet, dan resisten berdasarkan breakpoint CLSI atau EUCAST. Selain itu, beberapa studi juga mengidentifikasi isolat *multidrug-resistant* (MDR), *extensively drug-resistant* (XDR) berdasarkan definisi dari Magiorakos *et al.* (2012).

c. Pola Resistensi dan Kerentanan Antibiotik

Berdasarkan hasil yang telah dianalisis dari berbagai studi penelitian *P. aeruginosa* yang diisolasi dari anjing menunjukkan pola atau tingkat resistensi yang bervariasi dan kompleks.

Hasil ini menunjukkan dua kecenderungan utama, yaitu masih adanya tingkat kerentanan antibiotik yang tinggi (pola resistensi rendah) dan meningkatnya resistensi terhadap antibiotik (pola resistensi tinggi).

Tingkat resistensi tinggi berasal dari berbagai golongan antibiotik, yaitu dari golongan fluoroquinolone, sefalosporin, kloramfenikol, tetrasiklin, penisilin makrolide dan antibiotik Trimethoprim-sulfamethoxazole. Sedangkan tingkat

resistensi rendah berasal dari golongan sefalosporin, karbapenem, piperacillin-tazobactam dan polimiksin. Tingkat resistensi dari setiap golongan antibiotik akan disajikan pada tabel berikut :

Tabel 4. Tingkat Resistensi Tinggi terhadap Antibiotik

Golongan antibiotik	Jenis antibiotik	Rentang resistensi	Pola umum
Sulfonamide	Trimethoprim sulfamethoxazole	92%-100%	Resisten
Kloramfenikol	Kloramfenikol	91.6%-100%	Resisten
Makrolida	Eritromisin	100%	Resisten
	Azitromisin	41.37%	Intermediet
	Siprofloksasin	13.95%-100%	Bervariasi
Fluoroquinolone	Enrofloksasin	34.88%-50%	Intermediet
	Levofloksasin	12.2%-35.3%	Intermediet
	Nalidixid acid	91.6%	Resisten
β -laktam	Ampisilin	54.7%-100%	Resisten
Tetrasiklin	Doksisiklin	59.3%-96%	Resisten
β -laktam (Sefalosporin)	Sefaleksin	82%-100%	Resisten
	Sefotaxime	28%-100%	Bervariasi

Tabel 5. Tingkat Resistensi Rendah terhadap Antibiotik

Golongan antibiotik	Jenis antibiotik	Rentang resistensi	Pola umum
β -laktam (Sefalosporin)	Seftazidim	0-2.7 %	Sensitif
	Sefepim	0-9.6 %	Sensitif
β -laktam (Karbapenem)	Imipenem	0-6.67 %	Sensitif
	Meropenem	0-2.08 %	Sensitif
β -laktam	Piperasilin	0.83 % - 8.33 %	Sensitif
	Tazobaktam	0-8.33 %	Sensitif
Polimiksin	Kolistin	0	Sensitif
Aminoglikosida	Amikasin	0-14.3 %	Sensitif
	Tobramisin	1.67 %-5.9 %	Sensitif
	Gentamisin	2.08% - 33 %	Intermediet

Variasi tingkat resistensi antar studi kemungkinan dipengaruhi oleh perbedaan lokasi penelitian, periode pengambilan sampel, serta pola penggunaan antibiotik di masing-masing wilayah. Berbagai penelitian menjelaskan bahwa golongan fluoroquinolone (siprofloksasin, enrofloksasin, levofloksasin) merupakan antibiotik dengan tingkat resistensi yang tinggi dan paling konsisten dilaporkan pada isolat *Pseudomonas aeruginosa*. Resistensi golongan antibiotik ini berkaitan dengan mutasi gen QRDR, yaitu gen *gyrA*, *parC* (Park *et al.*, 2020) serta adanya pengaruh permeabilitas membran luar bakteri yang rendah sehingga membatasi laju penetrasi molekul antibiotik ke dalam sel (Eliasi *et al.*, 2020).

Mayoritas penelitian melaporkan tingkat kerentanan yang tinggi terhadap golongan sefalosporin seperti seftazidim (*ceftazidime*) dan sefepim (*cefepime*), golongan karbapenem (imipenem dan meropenem), serta kombinasi piperasilin-tazobaktam (Tabel 5). Akan tetapi, tingkat resistensi yang tinggi dari jenis antibiotik tersebut yang mengindikasikan adanya keberadaan mekanisme resistensi gen ESBL (*Extended Spectrum β -lactamase*) dan gen MBL (*Metallo- β -laktamase*). Keberadaan gen ESBL dan MBL pada isolat bakteri ini menunjukkan tantangan yang signifikan dalam proses pengobatan (Nocera *et al.*, 2025). Meskipun golongan obat (karbapenem, sefalosporin) tergolong antibiotik β -laktam yang penggunaannya pada hewan peliharaan dibatasi secara ketat di Uni Eropa, keberadaan gen ESBL dan MBL *P. aeruginosa* sudah terdeteksi pada hewan dan produk hewan (Nocera *et al.*, 2025). Temuan ini mengindikasikan bahwa penyebaran strain resisten tersebut kemungkinan berasal dari kontak erat antara manusia dan hewan peliharaan yang berpotensi memfasilitasi transmisi lintas spesies patogen MDR beserta gen resistensinya, sehingga menimbulkan risiko kesehatan masyarakat. Hal tersebut perlu

adanya penekanan terkait pendekatan terpadu kesehatan manusia dan hewan (One Health) dalam pengendalian resistensi antimikroba. Golongan aminoglikosida (amikasin) juga menunjukkan tingkat kerentanan (sensitif) yang relatif tinggi dibandingkan gentamisin dan tobramisin. Akan tetapi, variasi resistensi ini bisa dipengaruhi oleh perbedaan penggunaan antibiotik dan tekanan seleksi lokal. Jenis antibiotik terakhir yang tidak memiliki resistensi berdasarkan hasil laporan penelitian yang ditelaah, yaitu polimiksin. Polimiksin menjadi salah satu antibiotik yang tidak resisten terhadap *Pseudomonas aeruginosa* karena kemampuan antibiotik ini dalam mengembangkan resistensi mutasionalnya cukup terbatas (Biçakcioğlu *et al.*, 2021).

d. Profil Multidrug-Resistant (MDR) dan Extensively Drug-Resistant (XDR)

Multidrug-resistant (MDR) umumnya didefinisikan sebagai resistensi terhadap minimal satu agen pada tiga atau lebih kategori antibiotik, sedangkan *extensively drug-resistant* (XDR) didefinisikan sebagai isolat yang hanya masih sensitif terhadap satu atau dua kategori antibiotik (Magiorakos *et al.*, 2012).

Berdasarkan hasil tinjauan dari beberapa literatur, sejumlah penelitian melaporkan adanya isolat *P. aeruginosa* dengan fenotipe *Multidrug-resistant* (MDR) dan *extensively drug-resistant* (XDR) yang bervariasi. Beberapa penelitian melaporkan prevalensi MDR sebesar 11–39,53%, dan beberapa penelitian lain menunjukkan prevalensi yang jauh lebih tinggi, yaitu 67,5%, 92%, bahkan seluruh isolat (100%) dari *P. aeruginosa* dikategorikan sebagai MDR terhadap antibiotik. Beberapa studi juga melaporkan keberadaan isolat XDR dengan prevalensi mencapai 58,6%. Variasi tersebut menunjukkan adanya perbedaan pola penggunaan antibiotik, kebijakan terapi, tingkat pengawasan antimikroba, serta kondisi geografis di masing-masing wilayah penelitian.

Tingginya prevalensi MDR dan XDR pada isolat *P. aeruginosa* menunjukkan bahwa bakteri ini memiliki kemampuan adaptasi dan mekanisme resistensi yang sangat kompleks, salah satunya memiliki kemampuan dalam pembentukan biofilm. Resistensi dilaporkan melibatkan berbagai golongan antibiotik, seperti fluoroquinolone, sulfonamida, tetrasiklin, aminoglikosida, sefalosporin, penisilin, dan β -laktam lainnya. Beberapa penelitian melaporkan resistensi yang sangat tinggi terhadap chloramphenicol, cephalosporin generasi ketiga, serta fluoroquinolone (enrofloxacin dan ciprofloxacin). Tingginya resistensi terhadap berbagai kelas antibiotik tersebut menyebabkan banyak isolat memenuhi kriteria MDR, yaitu resisten terhadap ≥ 1 jenis antibiotik pada ≥ 3 kategori antibiotik.

Pseudomonas aeruginosa memiliki kemampuan dalam membentuk MDR dan XDR berkaitan erat dengan resistensi intrinsik maupun resistensi didapat. Secara intrinsik, bakteri ini memiliki permeabilitas membran luar yang rendah, sistem efflux pump yang aktif, serta kemampuan membentuk biofilm yang dapat menghambat penetrasi antibiotik (Pang *et al.*, 2019). Selain itu, produksi enzim β -laktamase, termasuk kemungkinan Extended Spectrum β -Lactamase (ESBL) dan Metallo- β -laktamase (MBL), juga berperan terhadap tingginya resistensi pada antibiotik β -laktam dan karbapenem (Nocera *et al.*, 2025). Beberapa studi juga melaporkan adanya hubungan antara kemampuan pembentukan biofilm dengan meningkatnya resistensi antimikroba pada isolat yang berasal dari infeksi saluran telinga anjing.

Meskipun demikian, terdapat beberapa penelitian yang menjelaskan bahwa masih terdapat antibiotik yang menunjukkan tingkat sensitivitas relatif baik. Antibiotik tersebut, seperti amikacin, tobramycin, polymyxin B, colistin, piperacillin-tazobactam, cefepime,

ceftazidime, imipenem, dan meropenem. Beberapa studi lain juga melaporkan peningkatan resistensi terhadap karbapenem seperti imipenem dan meropenem, bahkan terdapat isolat yang menunjukkan resistensi 100% terhadap kedua antibiotik tersebut. Temuan ini menunjukkan bahwa efektivitas antibiotik dapat dipengaruhi oleh perbedaan antarwilayah dan dapat berubah kapan saja tergantung dengan pada seleksi penggunaan antibiotik. Variabilitas ini mencerminkan perbedaan kondisi geografis, sumber sampel, serta tekanan penggunaan antibiotik. Tingginya prevalensi isolat resisten tersebut menjadi salah satu tantangan besar dalam manajemen terapi infeksi bakteri pada anjing, serta mengindikasikan potensi risiko zoonosis dan penyebaran gen resistensi antibiotik.

e. Implikasi Klinis dan Dampak terhadap Terapi Veteriner

Tingginya prevalensi MDR dan XDR pada isolat *P. aeruginosa* memberikan implikasi klinis yang signifikan dalam praktik kedokteran hewan. Berbagai golongan antibiotik yang mengalami resistensi menyebabkan semakin terbatasnya pilihan terapi yang efektif, terutama pada kasus infeksi kronis seperti otitis eksterna, pioderma, infeksi luka, dan infeksi saluran kemih pada anjing. Hal ini dapat meningkatkan kegagalan pemberian terapi, memperpanjang durasi pengobatan, serta dapat meningkatkan terjadinya infeksi berulang.

Beberapa penelitian pada tinjauan ini menunjukkan bahwa isolat MDR dan XDR memiliki resistensi tinggi terhadap antibiotik yang umum digunakan dalam praktik veteriner, seperti antibiotik dari golongan fluoroquinolone, tetrasiklin, sulfonamida, dan sefalosporin. Akibatnya, terapi empiris tanpa didahului uji kultur dan uji sensitivitas antibiotik menjadi kurang efektif dan berpotensi memperburuk perkembangan resistensi antimikroba. Hal tersebut sehingga perlu adanya identifikasi bakteri dan pengujian kerentanan antibiotik sebelum menentukan pilihan terapi antibiotik.

Tingginya resistensi antibiotik dapat menyebabkan penggunaan antibiotik menjadi lebih sering dipertimbangkan dalam pengobatan infeksi *P. aeruginosa*. Namun, penggunaan antibiotik tersebut perlu dilakukan secara hati-hati karena termasuk antibiotik penting dalam pengobatan infeksi serius pada manusia. Penggunaan yang tidak rasional dapat meningkatkan tekanan seleksi dan mempercepat munculnya strain bakteri yang lebih resisten.

Selain itu, kemampuan *P. aeruginosa* dalam membentuk biofilm juga meningkatkan keberhasilan terapi. Biofilm dapat melindungi bakteri dari penetrasi antibiotik dan respons imun inang, yang menyebabkan bakteri sulit dieliminasi dan terjadi infeksi persisten. Kondisi tersebut sering ditemukan pada kasus infeksi otitis kronis dan infeksi luka pada anjing, yang memerlukan terapi jangka panjang dan kombinasi pengobatan

Berdasarkan aspek kesejahteraan hewan dan ekonomi, hal tersebut dapat meningkatkan biaya pengobatan, frekuensi kunjungan klinik, serta risiko penurunan kualitas hidup hewan akibat infeksi yang berkepanjangan. Oleh karena itu, diperlukan

penerapan penggunaan antibiotik secara bijaksana, pengawasan resistensi

antimikroba secara berkala, serta perlu adanya kesadaran dokter hewan dan pemilik hewan (*client*) mengenai pentingnya penggunaan antibiotik yang rasional untuk mencegah terjadinya perkembangan resistensi antimikroba di bidang veteriner.

f. Jenis antibiotik yang paling efektif dalam terapi infeksi

Golongan antibiotik yang efektif dalam terapi infeksi bakteri adalah golongan yang berdasarkan beberapa hasil penelitian menunjukkan tingkat kerentanan cukup tinggi terhadap *Pseudomonas aeruginosa*. Golongan antibiotik tersebut, meliputi golongan karbapenem dan Sebagian jenis antibiotik dari golongan aminoglikosida. Berdasarkan beberapa penelitian, golongan polimiksin tidak memiliki tingkat resistensi sehingga dapat menjadi opsi pemberian terapi selain dari 3 jenis golongan diatas lainnya. Sebaliknya, golongan antibiotik yang harus dihindari yaitu golongan yang memiliki tingkat resistensi tinggi berdasarkan beberapa penelitian, seperti golongan fluoroquinolon dan sulfonamid.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil *Systematic Literature Review* (SLR) terhadap 21 artikel penelitian primer, dapat disimpulkan bahwa *P. aeruginosa* merupakan bakteri oportunistik yang sering menginfeksi anjing, terutama pada kasus otitis, luka, abses, pioderma, serta infeksi saluran urinari dan respiratori. Metode identifikasi yang umum digunakan meliputi kultur bakteri, uji biokimia, sistem otomatis VITEK®2 dan MALDI-TOF MS, serta konfirmasi molekuler menggunakan PCR dan *Whole Genome Sequencing* (WGS). Pengujian kerentanan antibiotik umumnya dilakukan dengan metode disk diffusion dan *Broth Microdilution*-MIC. Pola resistensi

menunjukkan tingginya resistensi terhadap golongan fluoroquinolone dan sulfonamide, sedangkan karbapenem dan sebagian aminoglikosida masih menunjukkan tingkat sensitivitas yang relatif baik. Temuan ini menunjukkan pentingnya penggunaan antibiotik secara rasional dan pengawasan resistensi antimikroba dalam praktik kedokteran hewan.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-zubaidy, I. A. (2025). Antibiotic susceptibility and molecular identification of *Pseudomonas aeruginosa* isolated from dog and cat wound samples. *I(1)*, 14–25
- Biçakcioğlu, T., Yörük, Ş., & Müştak, H. K. (2021). Antibiotic resistance profiles of *Pseudomonas aeruginosa* strains isolated from dogs with otitis externa. *Etlik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi*, *32(2)*, 118–123. <https://doi.org/10.35864/evmd.986820>
- Cases, S., Externa, O., & Poveda, J. B. (2024). *Microbiological Survey and Evaluation of Antimicrobial*.
- Chan, W. Y., Hobi, S., Ferguson, A., & Elsohaby, I. (2025). Canine Pyoderma and Otitis Externa: A Retrospective Analysis of Multidrug-Resistant Bacterial Carriage in Hong Kong. *Antibiotics*, *14(7)*, 1–17. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14070685>
- de Sousa, T., Garcês, A., Silva, A., Lopes, R., Alegria, N., Hébraud, M., Igrejas, G., & Poeta, P. (2023). The Impact of the Virulence of *Pseudomonas aeruginosa* Isolated from Dogs. *Veterinary Sciences*, *10(5)*. <https://doi.org/10.3390/vetsci10050343>
- de Sousa, T., Hébraud, M., Enes Dapkevicius, M. L. N., Maltez, L., Pereira, J. E., Capita, R., Alonso-Calleja, C., Igrejas, G., & Poeta, P. (2021). Genomic and metabolic characteristics of the pathogenicity in *Pseudomonas aeruginosa*. *International Journal of Molecular Sciences*, *22(23)*. <https://doi.org/10.3390/ijms222312892>
- Dégi, J., Moçco, O. A., Dégi, D. M., Suici, T., Mareş, M., Imre, K., & Cristina, R. T. (2021). Antibiotic susceptibility profile of *Pseudomonas aeruginosa* canine isolates from a multicentric study in romania. *Antibiotics*, *10(7)*, 1–12. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10070846>
- Ekapopphan, D., Srisutthakarn, A., Moonarmart, W., Buddhirongawatr, R., & Bangphoomi, N. (2018). Identification and antimicrobial susceptibility of microorganisms isolated from severe corneal ulcers of dogs in Thailand. *Journal of Veterinary Medical Science*, *80(8)*, 1259–1265. <https://doi.org/10.1292/jvms.18-0045>
- Elfadadny, A., Uchiyama, J., Goto, K., Imanishi, I., Ragab, R. F., Nageeb, W. M., Iyori, K., Toyoda, Y., Tsukui, T., Ide, K., Kawamoto, K., & Nishifuji, K. (2023). Antimicrobial resistance and genotyping of *Pseudomonas aeruginosa* isolated from the ear canals of dogs in Japan. *Frontiers in Veterinary Science*, *10*(July), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1074127>
- Eliasi, U. L., Sebola, D., Oguttu, J. W., & Qekwana, D. N., (2020)., Antimicrobial resistance patterns of *Pseudomonas aeruginosa* isolated from canine clinical cases at a veterinary academic hospital in South Africa. *Journal of the South African Veterinary Association*, *91*, 1–6. <https://doi.org/10.4102/jsava.v91i>

- [0.2052](#)
Hattab, J., Mosca, F., Di Francesco, C. E., Aste, G., Marruchella, G., Guardiani, P., & Giorgio Tiscar, P. (2021). Occurrence, antimicrobial susceptibility, and pathogenic factors of *Pseudomonas aeruginosa* in canine clinical samples. *Veterinary World*, 14(4), 978–985.
<https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.978-985>
- Hayashi, W., Izumi, K., Yoshida, S., Takizawa, S., Sakaguchi, K., Iyori, K., Minoshima, K., Takano, S., Kitagawa, M., Nagano, Y., & Nagano, N. (2021). Antimicrobial Resistance and Type III Secretion System Virulotypes of *Pseudomonas aeruginosa* Isolates from Dogs and Cats in Primary Veterinary Hospitals in Japan: Identification of the International High-Risk Clone Sequence Type 235. *Microbiology Spectrum*, 9(2).
<https://doi.org/10.1128/spectrum.00408-21>
- Jangsangthong, A., Lugsomya, K., Apiratwarrasakul, S., & Phumthanakorn, N. (2024). Distribution of sequence types and antimicrobial resistance of clinical *Pseudomonas aeruginosa* isolates from dogs and cats visiting a veterinary teaching hospital in Thailand. *BMC Veterinary Research*, 20(1), 1–6.
<https://doi.org/10.1186/s12917-024-04098-5>
- Jasim, S. E., & Hayyawi, S. M. (2025). Isolation and Detection of Biofilm Producing *Pseudomonas aeruginosa* from Suspected Urinary Tract Infections in Dogs and Its Resistance to Antibiotics. *Iraqi Journal of Veterinary Medicine*, 49(1), 45–54.
<https://doi.org/10.30539/ggeaaq50>
- Mohammed, B. Q., Abdullah, A. H., & Rayshan, A. R. (2024). *Pseudomonas* that Causes Otitis in Dogs: An Increasing Opposition. *International Journal of Agriculture and Biosciences*, 13(1), 59–64.
<https://doi.org/10.47278/journal.ijab/2024.087>
- Newstead, L., Smith-Zaitlik, T., Kelly, C., Roberts, E., Street, S., & Paterson, G. K. (2025). Genomic characterization of *Pseudomonas aeruginosa* from canine otitis highlights the need for a One Health approach to this opportunistic pathogen. *Microbial Genomics*, 11(5), 1–9.
<https://doi.org/10.1099/mgen.0.001407>
- Nielsen, S. S., Bicout, D. J., Calistri, P., Canali, E., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Gonzales Rojas, J. L., Gortázar, C., Herskin, M., Michel, V., Miranda Chueca, M. Á., Padalino, B., Pasquali, P., Roberts, H. C., Spoolder, H., Ståhl, K., Velarde, A., Viltrop, A., Winckler, C., ... Alvarez, J. (2022). Assessment of listing and categorisation of animal diseases within the framework of the Animal Health Law (Regulation (EU) No 1016/429): antimicrobial-resistant *Pseudomonas aeruginosa* in dogs and cats. *EFSA Journal*, 20(5).
<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7310>
- Nocera, F. P., Chiaromonte, A., Schena, R., Pizzano, F., Arslan, S., Pedicini, C., & De Martino, L. (2025). Detection of Extended-Spectrum β -Lactamases, Metallo- β -Lactamases, Antimicrobial Resistance Profiles, and Biofilm-Forming Capacity in *Pseudomonas aeruginosa* Strains Recovered From Dogs With Otitis Externa in Italy. *Veterinary Medicine International*, (1).

<https://doi.org/10.1155/vmi/55661>
51

<https://doi.org/10.3390/biologics1030019>

- Pang, Z., Raudonis, R., Glick, B. R., Lin, T. J., & Cheng, Z. (2019). Antibiotic resistance in *Pseudomonas aeruginosa*: mechanisms and alternative therapeutic strategies. *Biotechnology Advances*, 37(1),177–192.<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.11.013>
- Park, Y., Oh, J., Park, S., Sum, S., Song, W., Chae, J., & Park, H. (2020). Antimicrobial resistance and novel mutations detected in the gyrA and parC genes of *Pseudomonas aeruginosa* strains isolated from companion dogs. *BMC Veterinary Research*,16(1),1–8.
<https://doi.org/10.1186/s1291702002328-0>
- Plókarz, D., Bierowiec, K., & Rypuła, K. (2023). Screening for Antimicrobial Resistance and Genes of Exotoxins in *Pseudomonas aeruginosa* Isolates from Infected Dogs and Cats in Poland.*Antibiotics*,12(7).<https://doi.org/10.3390/antibiotics12071226>
- Serrano, I., Oliveira, M., Santos, J. P., Bilocq, F., Leitão, A., Tavares, L., Pirnay, J. P., & De Vos, D. (2017). Antimicrobial resistance and genomic rep-PCR fingerprints of *Pseudomonas aeruginosa* strains from animals on the background of the global population structure. *BMC Veterinary Research*, 13(1), 1–8.
<https://doi.org/10.1186/s12917-017-0977-8>
- Vetrivel, A., Ramasamy, M., Vetrivel, P., Natchimuthu, S., Arunachalam, S., Kim, G.-S., & Murugesan, R. (2021). *Pseudomonas aeruginosa* Biofilm Formation and Its Control. *Biologics*, 1(3),312–336.
- Vingopoulou, E. I., Delis, G. A., Batzias, G. C., Kaltsogianni, F., Koutinas, A., Kristo, I., Pournaras, S., Saridomichelakis, M. N., & Siarkou, V. I. (2018). Prevalence and mechanisms of resistance to fluoroquinolones in *Pseudomonas aeruginosa* and *Escherichia coli* isolates recovered from dogs suffering from otitis in Greece. *Veterinary Microbiology*, 213(102–107).
<https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2017.11.024>
- Wang, C., Ye, Q., Jiang, A., Zhang, J., Shang, Y., Li, F., Zhou, B., Xiang, X., Gu, Q., Pang, R., Ding, Y., Wu, S., Chen, M., Wu, Q., & Wang, J. (2022). *Pseudomonas aeruginosa* Detection Using Conventional PCR and Quantitative Real-Time PCR Based on Species-Specific Novel Gene Target Identified by Pangenome Analysis. *Frontiers in Microbiology*,13.<https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.820431>
- Wood, S. J., Kuzel, T. M., & Shafikhani, S. H. (2023). *Pseudomonas aeruginosa*: Infections, Animal Modeling, and Therapeutics. In *Cells* 12(1).MDPI.<https://doi.org/10.3390/cells12010199>
- Yudhanto, S., Hung, C. C., Maddox, C. W., & Varga, C. (2022). Antimicrobial Resistance in Bacteria Isolated From Canine Urine Samples Submitted to a Veterinary Diagnostic Laboratory, Illinois, United States. *Frontiers in Veterinary Science*, 9.
<https://doi.org/10.3389/fvets.2022.867784>