Original Research

HIJP Health Information : Jurnal Penelitian

HEALTH INFORMATION : JURNAL PENELITIAN (HIJP)

Profil Bakteri *Proteus* sp., *Klebsiella* sp., Dan *Streptococcus* sp., Yang Diisolasi Dari Penderita Ulkus Diabetikum

Bacterial Profiles of Proteus Sp., Klebsiella. Sp, and Streptococcus Sp., Isolated from Diabetic Ulcer Patients

Tuty Yuniarty[1*], Hasmia Naningsih[2], Reni Yunus[3], Theosobia Grace Orno[4], Ahmat Rediansya Putra[5], Elvia Citranti[6]

[1,3,4,5,6] Jurusan Teknologi Laboratorium Medis, Poltekkes Kemenkes Kendari, Indonesis;
[2]Jurusan Kebidanan, Poltekkes Kemenkes Kendari, Indonesia;
* Email korespondensi: thutyyuniarty@gmail.com

Kata kunci: *Proteus* Sp., *Klebsiella* Sp., *Streptococcus* Sp., Ulkus Diabetikum, Identifikasi Bakteri.

Keywords: *Proteus Sp., Klebsiella Sp., Streptococcus Sp., Diabetic Ulcer, Bacterial Identification.*

Poltekkes Kemenkes Kendari, Indonesia
ISSN : 2085-0840
ISSN-e : 2622-5905
Periodicity: Bianual vol. 18 no. 1 2026
jurnaldanhakcipta@poltekkes-kdi.ac.id
Received : 22 Oktober 2025
Accepted : 20 Januari 2026

Funding source: -
DOI : 10.36990/hijp.v18i1.1784
URL : https://myjurnal.poltekkes-kdi.ac.id/index.php/hijp
Contract number: -

Ringkasan: Latar Belakang: Ulkus diabetikum merupakan komplikasi kronik diabetes melitus yang rentan terhadap infeksi polimikroba. **Tujuan:** Mengidentifikasi profil bakteri *Proteus sp., Klebsiella sp.,* dan *Streptococcus sp.* dari penderita ulkus diabetikum. **Metode:** Desain deskriptif observasional, potong lintang, pada 20 sampel swab ulkus diabetikum di RSUD Bahteramas, Sulawesi Tenggara. Identifikasi bakteri melalui kultur *Brain Heart Infusion Broth* (BHIB), MacConkey Agar (MCA), *Blood Agar Plate* (BAP), uji biokimia (IMViC, TSIA, katalase) dan pewarnaan Gram. **Hasil:** Seluruh sampel (100%) menunjukkan pertumbuhan bakteri pada BHIB. Tiga genus yang berhasil diidentifikasi: *Proteus sp.* (30%, n=6), *Klebsiella sp.* (30%, n=6), dan *Streptococcus sp.* (40%, n=8). Bakteri Gram-negatif mendominasi 60% (13/20 isolat). **Kesimpulan:** Infeksi ulkus diabetikum bersifat polimikroba dengan dominasi Gram-negatif. Identifikasi bakteri akurat esensial untuk terapi antimikroba rasional dan pencegahan komplikasi **Saran:** Disarankan setiap laboratorium klinik melakukan kultur dan uji resistensi antibiotik secara rutin.

Abstrack: ***Background:*** *Diabetic ulcers are a chronic complication of diabetes mellitus that is susceptible to polymicrobial infections.* ***Objective:*** *To identify the bacterial profiles of Proteus sp., Klebsiella sp., and Streptococcus sp. from diabetic ulcer sufferers.* ***Methods:*** *Observational descriptive design, cross-section, on 20 swab samples of diabetic ulcers at Bahteramas Hospital, Southeast Sulawesi. Identification of bacteria through Brain Heart Infusion Broth (BHIB), MacConkey Agar (MCA), Blood Agar Plate (BAP), biochemical tests (IMViC, TSIA, catalase) and Gram staining.* ***Results:*** *The entire sample (100%) showed bacterial growth in BHIB. Three genera were successfully identified: Proteus sp. (30%, n=6), Klebsiella sp. (30%, n=6), and Streptococcus sp. (40%, n=8). Gram-negative bacteria dominate 60% (13/20 isolates).* ***Conclusion:*** *Diabetic ulcer infections are*

polymicrobial with a Gram-negative predominance. Accurate bacterial identification is essential for rational antimicrobial therapy and complication prevention ***Suggestion:*** *It is recommended that each clinical laboratory conduct routine cultures and antibiotic resistance tests.*

PENDAHULUAN

Menurut *World Health Organization* (WHO) diabetes melitus (DM) merupakan salah satu penyakit tidak menular yang ditandai dengan peningkatan kadar glukosa darah akibat ketidakmampuan tubuh memproduksi insulin dalam jumlah cukup atau karena sel-sel tubuh tidak dapat memanfaatkan insulin secara efektif. Kondisi resistensi insulin ini mengakibatkan hiperglikemia (Kumar, 2020; WHO, 2021). Komplikasi kronis DM yang paling serius termasuk ulkus diabetikum, yaitu luka terbuka pada kulit yang sering disertai infeksi bakteri dan dapat berakibat pada amputasi (Septiana et al., 2024; Alfaqih & Bayu Akbar Khayudin, 2022).

Secara global, DM menjadi masalah kesehatan utama. Data *International Diabetes Federation* (IDF, 2021) menyebutkan jumlah penderita DM di dunia pada tahun 2024 mencapai 588,7 juta orang. Di kawasan Asia Tenggara (*South-East Asia* region), kasus DM pada tahun 2024 tercatat sebanyak 106,9 juta (WHO, 2021). Sementara itu, jumlah kasus DM di Indonesia tahun 2024 mencapai 20,4 juta penderita, menempatkan Indonesia pada posisi kelima negara dengan jumlah penderita diabetes terbanyak di dunia (IDF, 2021). Di Sulawesi Tenggara sendiri, Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas, 2018) melaporkan terdapat 10.167 penderita DM yang terdiagnosis.

Ulkus diabetikum rentan terhadap infeksi polimikroba, dengan *Proteus* sp., *Klebsiella* sp., dan *Streptococcus* sp (Pratiwi & Putri 2022). Biofilm oral dan implikasi klinis pada rongga mulut. Universitas Brawijaya Press.. Ketiga bakteri ini adalah **"***Silent Killers***"** atau patogen *co-infection* yang sering terlewatkan atau salah diobati karena fokus klinisi terlalu berat ke *S. aureus*. Bakteri-bakteri ini memiliki faktor virulensi yang berbeda: *Proteus mirabilis* memproduksi urease dan protease yang merusak jaringan serta membentuk biofilm (Veisi et al., 2025). *Klebsiella pneumoniae* menghasilkan kapsul polisakarida yang meningkatkan ketahanan terhadap fagositosis dan sering menunjukkan resistensi antibiotik multiresisten (Patil et al., 2024). Sementara *Streptococcus* spp. menghasilkan enzim pemecah jaringan dan toksin hemolitik yang mempercepat nekrosis (Rajha et al., 2024). Infeksi polimikroba ini memperlambat penyembuhan luka dan meningkatkan risiko amputasi.

Identifikasi akurat terhadap ketiga genus bakteri ini menjadi sangat krusial karena masing-masing memiliki profil virulensi dan pola resistensi alami yang berbeda, yang berdampak langsung pada pemilihan terapi antibiotik empiris. Sayangnya, data epidemiologi mengenai profil bakteri ini di Sulawesi Tenggara, khususnya di RSUD Bahteramas, masih sangat terbatas. Ketiadaan peta bakteriologis lokal ini berisiko menyebabkan ketidaktepatan pemberian terapi antibiotik, yang dapat memicu resistensi dan kegagalan penyembuhan luka

Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi profil bakteri *Proteus* sp., *Klebsiella* sp., dan *Streptococcus* sp. yang diisolasi dari penderita ulkus diabetikum di RSUD Bahtermas Provinsi Sulawesi Tenggara, temuan dari studi ini diharapkan memberikan informasi penting bagi laboratorium klinik dan tenaga kesehatan dalam merumuskan strategi pengobatan antimikroba yang rasional dan efektif sesuai karakteristik bakteri penyebab infeksi, serta berkontribusi pada upaya penurunan angka morbiditas dan risiko amputasi pada pasien diabetes.

METODE

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain deskriptif observasional dengan pendekatan potong lintang (*cross-sectional*) untuk mengidentifikasi bakteri *Proteus* sp., *Klebsiella* sp., dan *Streptococcus* sp. yang diisolasi dari penderita ulkus diabetikum.

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni 2025 di RSUD Bahteramas Provinsi Sulawesi Tenggara. Penelitian ini telah mendapatkan persetujuan etik dari Komite Etik Penelitian Kesehatan Rumah sakit Umum Daerah Bahteramas Provinsi Sulawesi Tenggara, tanggal 2 Juni 2025, dengan nomor surat izin Nomor: 36/KEP/RSUD/VI/2025.

Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah penderita DM dengan ulkus diabetikum di RSUD Bahteramas, pada periode penelitian diperoleh sebanyak 35 subjek penelitian yang memenuhi kriteria awal. Namun berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi sebanyak 20 sampel dinyatakan memenuhi syarat. Kriteria inklusi meliputi pasien dengan diagnosis klinis diabetes melitus disertai ulkus diabetikum, tidak sedang mendapat terapi antibiotik minimal 48 jam sebelum pengambilan sampel, serta bersedia menjadi responden dengan menandatangani *informed consent*. Pasien dengan luka non-diabetik atau kondisi klinis yang tidak memungkinkan dilakukan pengambilan sampel dikecualikan dari penelitian ini. Penelitian ini menggunakan desain deskriptif yang fokus pada identifikasi bakteri secara rinci melalui kultur dan uji biokimia. Sampel diperoleh secara *purposive sampling* dari pasien diabetes melitus dengan komplikasi ulkus.

Pengumpulan Sampel

Sampel usap ulkus diabetik diambil dari area luka yang dibersihkan sebelumnya dengan larutan NaCl fisiologis 0,85% untuk menghilangkan debris dan kontaminan permukaan. Usapan diarahkan pada bagian dasar atau tepi luka yang masih aktif dan dimasukkan ke dalam *Amies transport medium* dengan arang untuk menjaga viabilitas bakteri. Sampel dikirim ke Laboratorium Bakteriologi Politeknik Kesehatan Kemenkes Kendari dalam waktu kurang dari 2 jam. Sampel pus diinokulasi ke dalam *Brain Heart Infusion Broth* (BHIB) dengan rasio 1 ose : 5 mL media dan diinkubasi pada 37°C selama 24 jam. Kultur yang menunjukkan kekeruhan dilanjutkan untuk isolasi ke *MacConkey Agar* (MCA) dan *Blood Agar Plate* (BAP), diinkubasi pada 37°C selama 18–24 jam.

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *laminar air flow cabinet*, timbangan analitik, *waterbath*, gelas Erlenmeyer, mikroskop, inkubator, gelas ukur, gelas beaker, pipet ukur, batang pengaduk, autoklaf, cawan petri, tabung reaksi, kaca objek, ose, push ball, corong, pinset, serta rak pewarnaan. Media pertumbuhan yang digunakan pada penelitian ini meliputi *Brain Heart Infusion Broth* (BHIB), *MacConkey Agar* (MCA), media *Indole, Methyl Red, Voges–Proskauer, Citrate* (IMViC), serta *Triple Sugar Iron Agar* (TSIA). Untuk pengambilan dan transportasi sampel digunakan *transport swab*. Reagen yang digunakan antara lain larutan NaCl fisiologis 0,85%, minyak imersi, reagen Kovac's, reagen α-naftol 5%, reagen *Methyl Red*, serta reagen pewarnaan Gram (kristal violet, lugol, alkohol, dan safranin). Selain itu, digunakan juga aquades steril, etanol 95% sebagai bahan bakar lampu bunsen, kertas indikator pH, kapas steril, serta sarung tangan medis sebagai perlengkapan kerja aseptik.

Pengelolaan dan Analisis Data

Media kultur yang digunakan dalam penelitian ini meliputi BHIB, MCA, BAP, *Triple Sugar Iron Agar* (TSIA), *Sulfide Indole Motility* (SIM), *Methyl Red-Voges Proskauer* (MR-VP), dan Simmons Citrate Agar. Semua media disiapkan sesuai dengan prosedur standar: serbuk media ditimbang, dilarutkan dalam akuades (volume sesuai media), dipanaskan hingga homogen, dan disterilisasi dengan autoklaf pada 121°C selama 15 menit. Media agar didinginkan hingga 45–50°C sebelum dituang ke cawan petri atau tabung reaksi steril secara aseptik, kemudian dibiarkan memadat sebelum digunakan. *Blood Agar Plate* disiapkan dengan menambahkan 5–10% darah defibrinasi secara aseptik setelah sterilisasi dan pendinginan.

Identifikasi bakteri dilakukan melalui: (1) pewarnaan Gram dengan suspensi koloni pada kaca objek, fiksasi, pewarnaan gentian violet-lugol-alkohol-safranin, pengamatan mikroskop 100× dengan oil immersion; (2) uji IMViC menggunakan media SIM, MR-VP, dan Simmons Citrate Agar dengan interpretasi hasil indol, methyl red, VP, dan citrate utilization setelah inkubasi 24 jam pada 37°C; (3) uji TSIA dengan inokulasi pada dasar (*butt*) dan permukaan miring (*slant*), diinkubasi 24 jam untuk menilai fermentasi gula dan produksi H_2S; dan (4) uji katalase dengan H_2O_2 3% untuk mendeteksi aktivitas enzim katalase. Data hasil identifikasi dianalisis secara deskriptif dan disajikan dalam bentuk tabel distribusi frekuensi dan persentase untuk menggambarkan profil genus bakteri *Proteus* sp., *Klebsiella* sp., dan *Streptococcus* sp. yang ditemukan pada sampel ulkus diabetikum.

HASIL

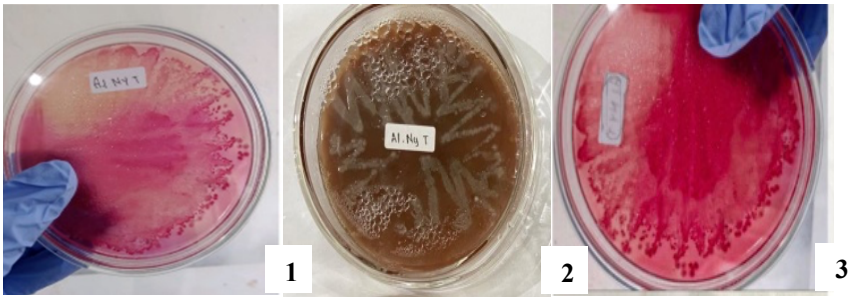
Hasil inokulasi pada media penyubur *Brain Heart Infusion Broth* (BHIB) menunjukkan bahwa seluruh sampel (100%, n=20) positif mengalami pertumbuhan bakteri, yang ditandai dengan terjadinya kekeruhan (*turbidity*) pada media cair setelah inkubasi 24 jam pada suhu 37°C. Temuan ini mengonfirmasi bahwa seluruh spesimen ulkus diabetikum yang diambil memiliki beban mikroba (*microbial load*) yang tinggi dan viabilitas bakteri yang baik untuk proses isolasi selanjutnya.

Isolasi lanjutan pada media selektif (*MacConkey Agar* dan *Blood Agar Plate*) yang dikonfirmasi dengan pewarnaan Gram berhasil mengidentifikasi tiga genus bakteri utama: *Streptococcus* sp., *Proteus* sp., dan *Klebsiella* sp. Rincian distribusi frekuensi tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Distribusi Frekuensi Bakteri yang Diisolasi dari Ulkus Diabetikum (n=20)

Genus Bakteri	Karakteristik Gram	Jumlah Isolat (n)	Persentase (%)
Streptococcus sp.	Gram Positif (Kokus)	8	40%
Proteus sp.	Gram Negatif (Basil)	6	30%
Klebsiella sp.	Gram Negatif (Basil)	6	30%
Total		**20**	**100%**

Tabel 1 menunjukkan bahwa pola distribusi bakteri yang ditemukan cukup unik. Meskipun secara kumulatif kelompok bakteri Gram-negatif mendominasi populasi dengan total proporsi 60% (gabungan *Proteus* sp. dan *Klebsiella* sp.), isolat tunggal yang memiliki prevalensi tertinggi justru berasal dari kelompok Gram-positif, yaitu *Streptococcus* sp.



Gambar 2. Hasil Identifikasi Bakteri (1) *Proteus* sp., (2) *Streptococcus* sp., (3) *Klebsiella* sp

Gambar 2 menunjukkan morfologi tiga spesies bakteri pada media kultur yang berbeda. (1) *Proteus* sp. pada media *MacConkey* menghasilkan koloni tidak berwarna sebagai ciri non-laktosa fermenter, dengan koloni tampak sedikit menyebar namun tanpa fenomena swarming karena media bersifat selektif. (b) *Streptococcus* sp. pada *Blood Agar Plate* (BAP) membentuk koloni kecil, bulat, halus, disertai pola hemolisis sesuai jenis spesiesnya. *Klebsiella* sp. pada media *MacConkey* menunjukkan koloni besar, licin, mukoid, dan berwarna pink, menggambarkan sifatnya sebagai laktosa fermenter.

Untuk memastikan identifikasi spesies hingga tingkat genus, dilakukan serangkaian uji karakteristik yang meliputi morfologi koloni, sifat hemolisis, dan aktivitas biokimiawi. Rangkuman karakteristik fenotipik dari ketiga bakteri yang ditemukan disajikan secara komprehensif pada Tabel 2.

Tabel 2. Profil Identifikasi Morfologi dan Biokimia Isolat Bakteri

Parameter Identifikasi	*Proteus* sp.	*Klebsiella* sp.	*Streptococcus* sp.
Pewarnaan Gram	Gram Negatif (Merah)	Gram Negatif (Merah)	Gram Positif (Ungu)
Bentuk Sel Mikroskopis	Batang (Basil)	Batang (Basil)	Bulat (Kokus)
Koloni pada MacConkey	Tak berwarna (*Non-Lactose*)	Merah muda (*Lactose*)	Tidak Tumbuh
Sifat Khas Koloni	*Swarming* (Menyebar)	Mukoid (Basah/Lendir)	Kecil, Halus
Hemolisis pada BAP	Non-hemolitik	Non-hemolitik	Hemolitik (Zona bening)
Motilitas (SIM)	Positif (Motil)	Negatif (Non-motil)	Negatif (Non-motil)
Uji Indole	Positif (+)	Negatif (-)	Negatif (-)
Methyl Red (MR)	Positif (+)	Negatif (-)	Positif (+)
Voges-Proskauer (VP)	Negatif (-)	Positif (+)	Negatif (-)
Simmons Citrate	Positif (+)	Positif (+)	Negatif (-)
Uji TSIA	K/A, Gas (+), H_2S (+)	A/A, Gas (+), H_2S (-)	-
Uji Katalase	Positif (+)	Positif (+)	Negatif (-)

Keterangan: K (Alkali/Merah), A (Acid/Kuning), (+) Reaksi Positif, (-) Reaksi Negatif

Berdasarkan Tabel 2, Profil diagnostik ketiga genus bakteri menunjukkan diferensiasi yang jelas. Dalam kelompok Gram-negatif, *Proteus* sp. dan *Klebsiella* sp. meskipun sesama *Enterobacteriaceae* menampilkan karakteristik yang berbeda: *Proteus* sp. ditandai motilitas tinggi dengan pola *swarming* pada media agar padat dan kemampuan memproduksi H_2S (penghitaman TSIA), sementara *Klebsiella* sp. menunjukkan koloni mukoid besar (mencerminkan kapsul polisakarida), memfermentasi laktosa (merah muda pada MacConkey), namun non-motil. Dalam kelompok Gram-

positif, *Streptococcus* sp. dibedakan dari *Staphylococcus* melalui uji katalase negatif dan kemampuan menghasilkan zona hemolisis pada BAP fenomena yang tidak hanya menjadi ciri identifikasi taksonomi tetapi juga mencerminkan potensi virulensi bakteri dalam melisiskan sel darah merah dan menginvasi jaringan inang, yang memiliki implikasi klinis signifikan dalam patogenesis ulkus diabetikum.

PEMBAHASAN

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi tiga genus utama bakteri patogen pada 20 sampel ulkus diabetikum di RSUD Bahteramas Provinsi Sulawesi Tenggara, yakni *Proteus* sp. (30%), *Klebsiella* sp. (30%), dan *Streptococcus* sp. (40%). Temuan ini mengkonfirmasi sifat polimikroba infeksi ulkus diabetikum dan menyajikan profil epidemiologis yang berkaitan dengan manifestasi klinis infeksi luka kronis yang kompleks. Sebagai hasil penelitian pertama yang mengkurasi profil bakteri spesifik pada populasi pasien diabetes di Sulawesi Tenggara, studi ini memberikan kontribusi penting untuk strategi antimikroba lokal dan pemahaman patogenesis infeksi luka diabetes.

Karakteristik Pertumbuhan Bakteri dan Signifikansi Media Kultur BHIB

Hasil inokulasi menunjukkan 100% (20/20) sampel positif mengalami pertumbuhan pada media *Brain Heart Infusion Broth* (BHIB) setelah 24 jam inkubasi pada 37°C. Temuan ini mengindikasikan beban mikroba (*microbial load*) yang tinggi pada jaringan ulkus diabetikum dan viabilitas bakteri yang cukup baik untuk propagasi lebih lanjut. Universalitas pertumbuhan pada BHIB mencerminkan lingkungan ulkus yang kaya nutrien dan anaerob-toleran, yang memfasilitasi pertumbuhan flora polimikroba. Hal ini konsisten dengan penelitian (Mahmuda et al., 2025) pada 56 pasien ulkus diabetikum, di mana BHIB mendukung pertumbuhan 60,17% bakteri Gram-negatif dan 39,29% Gram-positif, menunjukkan bahwa medium cair yang kaya nutrien lebih superior dibandingkan media selektif dalam mengungkap komposisi komunitas mikroba asli pada luka diabetik.

Signifikansi klinis dari result 100% positif adalah bahwa seluruh sampel ulkus memerlukan intervensi antimikroba yang agresif, bukan sekadar perawatan luka konvensional. Namun, pertumbuhan universal juga meningkatkan peringatan tentang kontaminasi sekunder dan perlu upaya debriding yang cermat untuk membedakan infeksi sejati dari kolonisasi superfisial. Implikasi laboratoris adalah bahwa media BHIB dapat dipertimbangkan sebagai media primer dalam pemeriksaan rutin ulkus diabetikum di laboratorium klinik, terutama ketika pertanyaan klinis berfokus pada deteksi patogen oportunistik (Wijesinghe et al., 2019).

Distribusi Genus Bakteri dan Pola Gram-Negatif yang Dominan

Meskipun isolat tunggal tertinggi adalah *Streptococcus* sp. (40%), komposisi bakteri Gram-negatif secara kumulatif mendominasi dengan 60% (kombinasi *Proteus* sp. 30% dan *Klebsiella* sp. 30%). Pola dominasi Gram-negatif ini sejalan dengan literatur internasional dan penelitian lokal sebelumnya. Studi di RS Riau (2015-2018) melaporkan *Klebsiella pneumoniae* (17,9%), *Proteus mirabilis* dan *Proteus vulgaris* sebagai isolat utama (Anggraini et al., 2020), sementara penelitian di Poltekkes Kemenkes Surabaya (pada 40 sampel) menemukan *Klebsiella pneumoniae* (15%), *Proteus mirabilis* (7,5%), dan *Proteus vulgaris* (7,5%) sebagai flora signifikan (Zuliana et al., 2023). Konsistensi temuan ini di berbagai institusi di Indonesia menunjukkan pola epidemiologis yang kuat dan dapat diandalkan untuk perencanaan strategi antimikroba.

Dominasi Gram-negatif dijelaskan oleh beberapa mekanisme biologis. Pertama, bakteri Gram-negatif terutama yang tergolong *Enterobacteriaceae* adalah flora normal gastrointestinal manusia dan mudah mengkontaminasi luka terbuka melalui translokasi dari area perianal atau lingkungan yang terkontaminasi. Kedua, bakteri ini memiliki kapabilitas superior dalam pembentukan biofilm dan produksi faktor virulensi yang memfasilitasi persistensi pada luka kronis. Ketiga, dalam lingkungan

ulkus yang mengandung sisa jaringan nekrotik dan debris, bakteri Gram-negatif memproduksi enzim proteolitik yang mengubah komposisi lingkungan lokal menjadi kondisi yang lebih menguntungkan bagi pertumbuhan mereka (Macdonald et al., 2021).

Temuan yang menarik adalah prevalensi *Streptococcus* sp. (40%) yang lebih tinggi daripada dua bakteri Gram-negatif. Prevalensi ini dapat dijelaskan melalui beberapa hipotesis patofisiologis. Pertama, *Streptococcus* sp., khususnya spesies β-hemolitik, adalah flora kulit normal dan mudah mencapai luka terbuka. Kedua, dalam fase awal infeksi ulkus, spesies ini dapat berkolonisasi sebelum flora Gram-negatif yang lebih oportunistik mendominasi. Ketiga, metodologi sampling di penelitian ini pengambilan usapan dari area dasar/tepi luka mungkin lebih menangkap flora superfisial di mana *Streptococcus* lebih berlimpah dibandingkan bakteri yang lebih dalam di dalam biofilm. Ini menunjukkan bahwa stratifikasi sampel (superfisial vs. dalam) mungkin menghasilkan profil bakteri yang berbeda dan perlu dipertimbangkan dalam desain penelitian masa depan.

Karakteristik Fenotipik dan Implikasi Patogenesis

Hasil uji biokimia dan morfologi koloni memberikan insight mendalam tentang mekanisme virulensi ketiga genus bakteri yang beroperasi pada level molekuler dan selular. Pada *proteus sp* isolat ini menunjukkan motilitas positif dengan fenomena *swarming* pada media agar padat karakteristik yang merupakan manifestasi ekspresi flagela yang meluas dan memungkinkan penyebaran cepat pada permukaan basah. Motilitas ini secara fungsional meningkatkan kemampuan bakteri untuk menembus jaringan yang rusak dan menciptakan saluran infeksi baru. Hasil positif pada uji H_2S menunjukkan produksi hydrogen sulfide, yang merupakan indikator aktivitas proteolitik dan kemampuan bakteri merombak asam amino yang mengandung sulfur. Dalam konteks ulkus diabetikum, H_2S adalah mediator inflamasi yang memperkuat vasodilasi lokal dan meningkatkan permeabilitas vaskular, mempercepat nekrosis jaringan. Kemampuan *Proteus mirabilis* memproduksi urease meskipun tidak langsung diuji adalah faktor virulensi utama yang meningkatkan pH lokal dan membentuk kristal yang merusak integritas jaringan. Kombinasi motilitas tinggi, proteolisis, dan pembentukan biofilm yang telah didokumentasikan dalam literatur (Veisi et al., 2025; Stolarek et al., 2023; (Augustine, 2024) menjadikan *Proteus* sp. sebagai pathogen yang agresif dan sulit dieradikasi.

Pada *klebsiella sp* isolat ini menunjukkan nonmotilitas yang dikombinasikan dengan koloni mukoid besar pada BAP fenotype yang mencerminkan kapsul polisakarida yang tebal. Kapsul ini adalah mekanisme immune evasion utama: dengan menutupi antigen permukaan, kapsul mencegah pengikatan opsonin dan aktivasi komplemen, sehingga meningkatkan resistensi terhadap fagositosis oleh neutrofil dan makrofag. Hasil positif pada uji VP (Voges-Proskauer) menunjukkan produksi asetoin dan diasetil, metabolit yang mengindikasikan fermentasi 2,3-butanediol jalur yang menghasilkan asid asetat yang bersifat pro-inflamasi. Kemampuan laktosa fermentasi (merah muda pada MacConkey) menunjukkan ekspresi complete lac operon, yang memungkinkan pemanfaatan lactose sebagai sumber karbon alternatif dalam lingkungan ulkus yang nutrient-limited. Penelitian (Patil et al., 2024) menunjukkan resistensi *extended-spectrum β-lactamase* (ESBL) dan *metallo-β-lactamase* (MBL), menciptakan profil antimikroba yang sangat terbatas. Kombinasi *immune evasion* yang superior dan potensi resistensi antibiotik multiresisten (MDR) membuat *Klebsiella* sp. menjadi patogen yang terutama menantang dalam manajemen diabetic foot infection.

Pada *streptococcus sp* isolat ini menunjukkan hemolisis pada BAP fenotype yang mengindikasikan produksi eksotoksin hemolitik (streptolysins) yang melisis membran sel darah merah dan sel-sel inang lainnya. Hemolisis β (zona jernih mengelilingi koloni) adalah tanda spesifik *Streptococcus pyogenes* atau spesies β-hemolitik lainnya dan menunjukkan potensi virulensi tinggi. Hasil negatif pada uji katalase membedakan *Streptococcus* dari *Staphylococcus* dan mengonfirmasi bahwa isolat ini tidak dapat memanfaatkan peroksida yang dihasilkan oleh sistem imun host, sehingga lebih tergantung pada mekanisme escape lainnya seperti anti-phagocytic M protein dan hyaluronic acid capsule. Enzim pemecah jaringan (*hyaluronidase*, *streptokinase*, *collagenase*) yang diproduksi *Streptococcus* sp. mempercepat nekrosis dan diseminasi infeksi ke jaringan yang berdekatan. Dalam konteks ulkus diabetikum, hemolysis dan tissue-invasive enzymes menjadikan *Streptococcus* sp. sebagai pathogen yang dengan cepat

mengubah luka superfisial menjadi infeksi yang lebih dalam dan luas (Rajha et al., 2024)(Darwis et al., 2021).

Infeksi Polimikroba: Sinergi dan Dampak pada Penyembuhan Luka

Identifikasi simultan ketiga genus bakteri dalam 20 sampel (n=20) mengkonfirmasi bahwa ulkus diabetikum adalah infeksi polimikroba yang tidak dapat dipahami sebagai infeksi monokultural. Dalam ekosistem polimikroba, bakteri berinteraksi melalui mekanisme-mekanisme yang kompleks: kompetisi untuk nutrien, cross-feeding, quorum sensing, dan signal transduction antar spesies. Penelitian (Wu et al., 2024) menunjukkan bahwa kombinasi *Proteus* dan *Klebsiella* menghasilkan sinergi yang memperkuat resistensi antibiotik *Proteus* sp. dapat memproduksi β-lactamase yang melindungi *Klebsiella* dari antibiotik β-laktam, sementara *Klebsiella* menghasilkan compound yang meningkatkan motilitas *Proteus*, menciptakan ekosistem yang *self-protecting*.

Dampak klinis dari polimikroba ini terhadap penyembuhan luka diabetik adalah multifaktorial. Pertama, beban pro-inflamatory cytokine meningkat secara eksponensial karena setiap bakteri menghasilkan *pathogen-associated molecular patterns* (PAMPs) yang berbeda. Host immune response yang berlebihan ini menghasilkan neutrophil infiltration yang menyebabkan collateral tissue damage, memperlambat angiogenesis, dan menghambat phase remodeling dalam wound healing. Kedua, metabolit sekunder dari fermentasi anaerobic seperti H_2S, amonia, dan *short-chain fatty acids* mengubah pH lokal menjadi alkaline, menginhibisi aktivitas *matrix metalloproteinases* yang diperlukan untuk debridement autolitik. Ketiga, biofilm polimikroba yang terbentuk dari sinergis ketiga bakteri (terutama *Proteus* dan *Klebsiella*) menciptakan barrier fisiko-kimia yang menghambat penetrasi antibiotik ke 1000-1500 μm dalam biofilm, mengakibatkan therapeutic failure meskipun antibiotik sensitif in vitro. Fenomen ini discrepancy antara *in vitro susceptibility* dan *in vivo clinical failure* adalah masalah klinis yang serius dan menjelaskan mengapa banyak pasien ulkus diabetikum gagal penyembuhan luka meskipun diberikan antibiotik yang sesuai (Macdonald et al., 2021); Wijesinghe et al., 2019).

Implikasi terhadap Pemilihan Terapi Antimikroba Empiris

Identifikasi profil bakteri pada penelitian ini memiliki implikasi langsung pada strategi antimikroba empiris. Prevalensi 60% bakteri Gram-negatif (terutama *Proteus* dan *Klebsiella*) menunjukkan bahwa terapi awal harus mengcover kedua spesies ini dengan coverage yang adequate. Pilihan empiris tradisional seperti amoksisilin-klavulanat atau cephalosporin generasi pertama mungkin sudah tidak sufficient, mengingat tingginya resistensi ESBL pada *Klebsiella* yang dilaporkan 50,9% MDR prevalence menurut meta-analysis (Yang et al., 2024).

Implikasi laboratoris yang kritis adalah bahwa *routine culture* dengan *susceptibility testing* tidak lagi opsional tetapi mandatory untuk setiap ulkus diabetikum yang menunjukkan *clinical signs of infection* (increased purulence, odor, delayed healing). Pola resistensi lokal yang berubah yang kemungkinan terus berkembang dengan penggunaan antibiotik yang indiscriminate harus dipantau secara epidemiologis melalui antibiogram berkala untuk inform *clinical practice guidelines*.

Konteks Epidemiologis Lokal dan Pencegahan Sekunder

Data ini adalah yang pertama mendokumentasikan profil bakteri ulkus diabetikum di Sulawesi Tenggara, dengan peningkatan prevalensi diabetes. Konteks epidemiologis lokal menunjukkan bahwa Sulawesi Tenggara menghadapi *dual burden*: (1) *increasing incidence of diabetes mellitus* seiring dengan urbanisasi dan lifestyle change, dan (2) *limited healthcare infrastructure* untuk *early detection* dan *management of diabetic complications*. Profil bakteri yang ditemukan *Proteus*, *Klebsiella*, dan *Streptococcus* adalah bakteri ubiquitous dalam lingkungan rumah dan komunitas, mengindikasikan bahwa infeksi sekunder pada ulkus diabetikum sangat mudah terjadi dalam setting dengan *limited access to sterile wound care*.

Implikasi pencegahan sekunder adalah bahwa strategi edukasi pasien menjadi krusial: edukasi mengenai Kebersihan kaki, pengenalan dini ulkus kaki, perawatan luka yang tepat, dan prompt medical attention dapat mengurangi beban infeksi sekunder. Program screening rutin untuk deteksi ulkus *asymptomatic* (menggunakan *monofilament testing* dan *ankle-brachial index*) pada pasien diabetes di pusat

kesehatan primer dapat mengidentifikasi pasien resiko tinggi sebelum komplikasi infeksi berkembang. Kolaborasi antara laboratorium klinik dan tenaga Kesehatan lain dalam memberikan umpan balik mikrobiologis tepat waktu juga essential untuk memandu pengelolaan antimikroba lokal.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini mengidentifikasi tiga genus bakteri penyebab ulkus diabetikum dari 20 sampel: Streptococcus sp. (40%, n=8), Proteus sp. (30%, n=6), dan Klebsiella sp. (30%, n=6), dengan dominasi bakteri Gram negatif 60% (13/20 isolat). Identifikasi bakteri secara akurat penting untuk mendukung terapi antimikroba yang rasional dan mencegah komplikasi lanjutan pada ulkus diabetikum. Disarankan setiap laboratorium klinik melakukan kultur dan uji resistensi antibiotik secara rutin, serta mengembangkan antibiogram lokal untuk membimbing pemilihan terapi empiris; penelitian lanjutan diperlukan untuk mengkarakterisasi pola resistensi antibiotik ketiga genus dan mengkonfirmasi identifikasi di tingkat spesies menggunakan metode molekuler.

REKOMENDASI

Penelitian lanjutan disarankan untuk melakukan uji resistensi antibiotik dan identifikasi molekuler (16S rRNA *sequencing* atau MALDI-TOF) guna mengkonfirmasi spesies bakteri secara akurat dan memetakan profil resistensi antimikroba lokal untuk informed clinical decision-making. Selain itu, perlu dilakukan peningkatan jumlah sampel untuk meningkatkan power statistik dan validitas hasil epidemiologis, serta stratifikasi sampel berdasarkan kedalaman luka (superfisial vs. dalam) untuk menganalisis komposisi komunitas mikrobial yang lebih komprehensif dan representatif terhadap populasi pasien ulkus.

PERNYATAAN

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi sehingga penelitian ini dapat terlaksanakan.

Pendanaan

Pendanaan pada penelitian ini di danai secara mandiri oleh penulis.

Kontribusi Setiap Penulis

Seluruh nama yang tercantum didalam artikel ini berkontribusi dalam pelaksanaan penelitian hingga penyusunan artikel ini.

Pernyataan Konflik Kepentingan

Tidak ada konflik kepentingan.

DAFTAR PUSTAKA

Anggraini, D., Yovi, I., Yefri, R., Christianto, E., & Syahputra, E. Z. (2020). Pola Bakteri Dan Antibiogram Penyebab Ulkus Diabetikum Di RS X Riau Periode 2015 – 2018. *Biomedika*, *12*(1), 27–35. https://doi.org/10.23917/biomedika.v12i1.9316

Augustine, E. I. (2024). Identification of Proteus Vulgaris using Series of Biochemical Test and Staining Technique : Ecology , Pathogenicity (Enteric Pathogen), Description and Prevention of It ' s Diseases. *International Journal of Contemporary Microbiology*, *10*(1).

Alfaqih, N. M. R., Kep, M., & Ns Bayu Akbar Khayudin, M. K. (2022). Manajemen penatalaksanaan diabetes mellitus. Guepedia.

Darwis, I., Hidayat, H., Wisnu, G. N. P. P., & Mentari, S. (2021). Bacteriological profile and antibiotic susceptibility pattern of diabetic foot infection in a tertiary care hospital in Lampung, Indonesia. *Malaysian Journal of Medical Sciences*, *28*(5), 42–53. https://doi.org/10.21315/mjms2021.28.5.4

International Diabetes Federation. (2021). Diabetes Atlas. In *IDF* (Vol. 10, Issue 5). https://doi.org/10.1111/1753-0407.12644

Kumar, R., Saha, P., Kumar, Y., Sahana, S., Dubey, A., & Prakash, O. (2020). Tinjauan tentang diabetes melitus: tipe 1 & tipe 2. World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences , 9 (10), 838-850.

Macdonald, K. E., Boeckh, S., Stacey, H. J., & Jones, J. D. (2021). The microbiology of diabetic foot infections: a meta-analysis. *BMC Infectious Diseases*, *21*(1), 1–10. https://doi.org/10.1186/s12879-021-06516-7

Mahmuda, I. N. N., Rosyidah, D. U., Prakoeswa, F. R. S., Kania, Y. I., Faizah, I. N., Afifah, F. N., & Prasetyo, A. S. (2025). Pola Resistensi Bakteri Penyebab Ulkus Diabetikum terhadap Antibiotik di Salah Satu Rumah Sakit Swasta di Surakarta. *Journal of Pharmaceutical Science and Clinical Research*, *10*(1), 80–89.

Patil, H. V, Patil, V. C., Patange, A. P., & Asim Khan, M. (2024). Antibiotic Resistance Profiles of Extended-Spectrum β-Lactamase (ESBL)- and Metallo-β-Lactamase (MBL)-Producing Klebsiella pneumoniae Isolates From Diabetic Foot Ulcers: Implications for Treatment Strategies. *Cureus*, *16*(8). https://doi.org/10.7759/cureus.66089

Pratiwi, A. R., & Putri, D. K. T. (2022). Biofilm oral dan implikasi klinis pada rongga mulut. Universitas Brawijaya Press.

Rajha, H., Alsheikh, R., Zar, A., Mohsen, S., & M. Zughaier, S. (2024). Microbiology and Antimicrobial Resistance in Diabetic Foot Infections. In *Diabetic Foot Ulcers - Pathogenesis, Innovative Treatments and AI Applications*. https://doi.org/10.5772/intechopen.1004761

Riskesdas. (2018). RISKESDAS 2018. In *Lembaga Penerbit Balitbangkes*. https://repository.badankebijakan.kemkes.go.id/id/eprint/3514/1/Laporan Riskesdas 2018 Nasional.pdf

Septiana, S., Anjarani, A. V. P., & Wahyudi, D. (2024). Identifikasi dan Uji Sensitivitas Staphylococcus sp. Terhadap Beberapa Antibiotik pada Ulkus Diabetikum. *Media Kesehatan Politeknik Kesehatan Makassar*, *19*(1), 91–95. https://doi.org/10.32382/medkes.v19i1.571

Stolarek, P., Bernat, P., & Różalski, A. (2023). Adjustment in the Composition and Organization of Proteus mirabilis Lipids during the Swarming Process. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(22). https://doi.org/10.3390/ijms242216461

Veisi, M., Hosseini-Nave, H., & Tadjrobehkar, O. (2025). Biofilm Formation Ability and Swarming Motility are Associated with Some Virulence Genes in Proteus mirabilis. *BMC Microbiology*, *25*(1), 0–9. https://doi.org/10.1186/s12866-025-04090-5

Wijesinghe, G., Dilhari, A., Gayani, B., Kottegoda, N., Samaranayake, L., & Weerasekera, M. (2019). Influence of Laboratory Culture Media on in vitro Growth, Adhesion, and Biofilm Formation of Pseudomonas aeruginosa and Staphylococcus aureus. *Medical Principles and Practice*, *28*(1), 28–35. https://doi.org/10.1159/000494757

Word Health Organization. (2021). Diabetes. In *Who* (Vol. 2030, Issue November 2025).

http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diabetes
Wu, M., Guo, F., He, X., Zheng, D., Ye, W., Li, S., Lin, Z., & Wang, F. (2024). Analysis of Distribution and Drug Susceptibility Test Results of Pathogenic Bacteria in Diabetic Foot Ulcers. *Diabetes Therapy*, *15*(7), 1627–1637. https://doi.org/10.1007/s13300-024-01601-x
Yang, S., Hu, L., Zhao, Y., Meng, G., Xu, S., & Han, R. (2024). Prevalence of multidrug-resistant bacterial infections in diabetic foot ulcers : A meta-analysis. *International Wound Journal*, *21*(4), 1–14. https://doi.org/10.1111/iwj.14864
Zuliana, N. M., Suliati, & Endarini, L. H. (2023). Identifikasi Bakteri pada Luka Ulkus Pasien Diabetes Mellitus. *JPP (Jurnal Kesehatan Poltekkes Palembang)*, *18*(2), 205–211. https://doi.org/10.36086/jpp.v18i2.1835