



UNTAD

**IDENTIFIKASI BAKTERI *Proteus mirabilis* DENGAN
PEMERIKSAAN KULTUR DAN MORFOLOGI DI TAMAN
WISATA PEMANDIAN AIR PANAS BORA SIGI**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan
dalam menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Strata Satu (S1)
Program Studi Kedokteran
Fakultas Kedokteran
Universitas Tadulako**

**ABDILLAH RIZQIE MUHDIE
N 101 22 066**

**PROGRAM STUDI KEDOKTERAN
FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS TADULAKO**

DESEMBER 2025

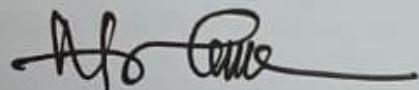
PERSETUJUAN PEMBIMBING

Judul : Identifikasi Bakteri *Proteus mirabilis* Dengan Pemeriksaan
Kultur Dan Morfologi Di Pemandian Air Panas Bora Sigi
Nama : Abdillah Rizqie Muhdie
Stambuk : N 101 22 066

Telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan.

Palu, 03 Desember 2025

Pembimbing



Dr. dr. M. Sabir, M.Si
NIP. 197305262008011011

Mengetahui

Dekan Fakultas Kedokteran



Dr. dr. M. Sabir, M.Si
NIP. 197305262008011011

PENGESAHAN DEWAN PENGUJI

Judul : Identifikasi Bakteri *Proteus mirabilis* Dengan
Pemeriksaan Kultur Dan Morfologi Di Pemandian Air
Panas Bora Sigi

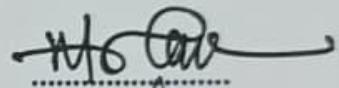
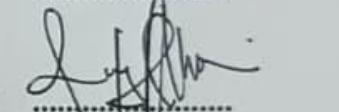
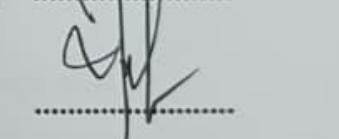
Nama : Abdillah Rizqie Muhdie

Stambuk : N 101 22 066

Disetujui Tanggal : 03 Desember 2025

DEWAN PENGUJI

Ketua : Dr. dr. M. Sabir, M.Si

Penguji I : Dr. dr. Ressy Dwiyanti, M.Kes, Sp.FM

Penguji II : dr. Junjun Fitriani, M.Biomed

Mengetahui

Dekan Fakultas Kedokteran
Universitas Tadulako



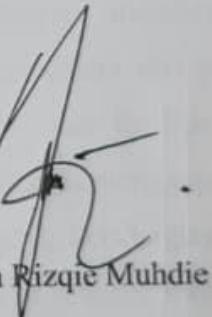
Dr. dr. M. Sabir, M.Si
NIP. 197305262008011011

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Palu, 03 Desember 2025

Penulis



A handwritten signature consisting of stylized, fluid lines forming the letters 'R' and 'E'.

Abdillah Rizqie Muhdie

KATA PENGANTAR

Bismillahirahmanirrahim. Segala puji dan rasa syukur tanpa henti kepada Allah SWT. karena atas nikmat dan rahmat- Nya kepada penulis sehingga mampu menyelesaikan skripsi dengan judul ” **Identifikasi Bakteri *Proteus mirabilis* Dengan Pemeriksaan Kultur Dan Morfologi Di Pemandian Air Panas Bora Sigi**”. Penyusunan dan penulisan naskah skripsi ini adalah salah satu syarat dalam menyelesaikan program studi yang ditempuh di Fakultas Kedokteran Universitas Tadulako. Penyelesaian skripsi ini didasarkan pada literatur, arahan, dan bimbingan dari bapak/ibu dosen pembimbing serta pihak-pihak terkait lainnya.

Penulis menyadari bahwa terselesaikannya skripsi ini tidak terlepas dari dukungan dan doa keluarga. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang tulus kepada ayahanda tercinta Bapak **Maryadi Dzs, M.Pd** dan ibunda tersayang Umi **Muhayati, S.Pd., Gr.**, yang telah melahirkan, membesarkan, mendidik, serta membentuk karakter disiplin dan keteguhan dalam diri penulis. Terima kasih atas kasih sayang, bimbingan, kepercayaan, dan fasilitas yang diberikan sehingga penulis mampu melangkah dan terus berusaha menggapai cita-cita. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan kesehatan, kebahagiaan, dan keberkahan kepada kedua orang tua, serta memperkenankan mereka menikmati buah keberhasilan anak-anaknya. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada saudara tercinta, **Rizqillah Muhdie, S.Kom** dan **Rizqiyah Hayatunnisa Muhdie**, atas semangat, dukungan, dan doa yang selalu menguatkan penulis selama proses penyusunan skripsi ini. Semoga Allah SWT senantiasa melindungi dan menjaga keluarga penulis di setiap langkahnya. Aamiin.

Penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada **Dr. dr. M. Sabir, M.Si** selaku pembimbing skripsi yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pemikiran untuk memberikan bimbingan, arahan, serta nasihat dari tahap awal hingga selesaiya penyusunan skripsi ini. Terima kasih yang tulus juga penulis sampaikan kepada **Dr. dr. Ressy Dwiyanti, M.Kes., Sp.FM** selaku Penguji I, dan **dr. Junjun Fitriani, M.Biomed** selaku Penguji II, atas kritik, saran, dan masukan berharga yang sangat membantu dalam penyempurnaan penelitian ini.

Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan dan dedikasi beliau dengan limpahan rahmat, kesehatan, serta perlindungan. Aamiin. Penulis ingin mengucapkan terimakasih sebanyak-banyaknya kepada :

1. Bapak **Prof. Dr. Ir. Amar, S.T.,M.T.,IPU.Asean. Eng.** Selaku Rektor Universitas Tadulako.
2. Bapak **Dr. dr. M. Sabir, M.Si** selaku Dekan Fakultas Kedokteran Universitas Tadulako
3. Ibu **Dr. dr. Rahma, M.Kes, Sp.A** selaku Wakil Dekan Bidang Akademik Fakultas Kedokteran Universitas Tadulako.
4. Ibu **Dr. dr. Rossa Dwi Wahyuni, M.Kes, Sp.PK** selaku Wakil Dekan Bidang Keuangan dan Umum Fakultas Kedokteran Universitas Tadulako.
5. Ibu **Dr. dr. Ressy Dwiyanti, M.Kes, Sp.FM** selaku Wakil Dekan Bidang Mahasiswa dan Alumni Fakultas Kedokteran Universitas Tadulako.
6. Ibu **Dr. dr. Haerani Harun, M.Kes, Sp.PK** selaku Koordinator Program Studi S1 Kedokteran Fakultas Kedokteran Universitas Tadulako.
7. Bapak/Ibu Dosen Fakultas Kedokteran Universitas Tadulako yang telah mendidik dan membantu penulis sejak awal perkuliahan hingga akhir
8. Segenap pegawai **Tata usaha, Pegawai akademik, Laboran, dan Cleaning Service** Fakultas Kedokteran Universitas Tadulako yang telah membantu banyak proses dari penyelesaian naskah skripsi ini.
9. Keluarga besar **angkatan 2022 (A22ECTORES)** yang selalu mendukung dan membersamai.
10. Keluarga besar “**MA5TOID**” yang selalu hadir di setiap suka dan duka penulis dari semester 1 hingga sekarang.
11. Kawan-kawan peneliti di lingkungan belajar dan bermain “**Ayam Geprek**”, “**Baku Pangkas**”, “**Wali Songo**”, “**ALIANCES SQUAD**”, “**SINTUVU ASA**”, “**KITE KITE AJE**”, “**RI 123**”, dan “**KKN Alitupu 1**” yang selalu hadir memberi dukungan, masukan dan hiburan.

12. Kelompok penelitian “**Lancar Luncur**”, **Faizal Arif Rusdin, Annisa Putri Sumantri, Salsabila Aguli, Wanda** yang sudah membantu dari proses pengambilan sampel hingga pengolahan hasil.
13. Segenap keluarga besar peneliti yang memberi doa, ridho, nasihat, dan fasilitas selama proses pendidikan
14. Seseorang pengisi hati untuk sementara ini dengan inisial **ANH** yang telah memberikan dukungan batin serta emosional peneliti dan semoga kata “sementara” berubah menjadi “selamanya”.

Serta semua pihak yang turut membantu dalam penyelesaian pendidikan, penelitian, dan penyusunan naskah skripsi yang mana tidak dapat penulis sebutkan satu per satu. Tidak ada harapan lain selain skripsi dan ilmu yang tertuang di dalamnya dapat menjadi manfaat bagi pembaca. Sekali lagi penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya untuk seluruh bantuan yang telah diberikan.

Palu, 03 Desember 2025
Penulis

Abdillah Rizqie Muhdie

DAFTAR ISI

| | |
|---|------------|
| PERSETUJUAN PEMBIMBING | i |
| PENGESAHAN DEWAN PENGUJI | ii |
| PERNYATAAN..... | iii |
| KATA PENGANTAR..... | iv |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR TABEL | x |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR SINGKATAN..... | xii |
| ABSTRAK | xiv |
| <i>ABSTRACT</i> | xv |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| A. Latar Belakang | 1 |
| B. Rumusan Masalah | 2 |
| C. Tujuan..... | 2 |
| 1. Tujuan Umum | 2 |
| 2. Tujuan Khusus | 2 |
| D. Manfaat Penelitian..... | 3 |
| 1. Manfaat bagi peneliti | 3 |
| 2. Manfaat bagi instansi..... | 3 |
| 3. Manfaat bagi peneliti selanjutnya..... | 3 |
| 4. Manfaat bagi masyarakat..... | 3 |
| E. Keaslian Penelitian..... | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 7 |
| A. Telaah Pustaka..... | 7 |

| | |
|--|-----------|
| 1. Bakteri | 7 |
| 2. Bakteri <i>Proteus spp</i> | 8 |
| 3. Bakteri <i>Proteus mirabilis</i> | 14 |
| 4. Pemeriksaan Kultur dan Morfologi Bakteri | 18 |
| B. Kerangka Teori | 21 |
| C. Kerangka Konsep | 22 |
| D. Landasan Teori | 22 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 23 |
| A. Rancangan Penelitian | 23 |
| 1. Desain Penelitian | 23 |
| 2. Tempat Pelaksanaan | 23 |
| 3. Waktu Penelitian..... | 23 |
| B. Populasi dan Sampel | 23 |
| 1. Populasi | 23 |
| 2. Sampel Penelitian | 23 |
| C. Identifikasi Variabel Penelitian dan Definisi Operasional | 24 |
| 1. Variabel Penelitian | 24 |
| 2. Definisi Operasional..... | 24 |
| D. Instrumen Penelitian..... | 25 |
| 1. Alat Penelitian | 25 |
| 2. Bahan Penelitian..... | 25 |
| E. Prosedur Penelitian..... | 26 |
| 1. Pengambilan Sampel | 26 |
| 2. Pembuatan Media Natrium Agar | 26 |
| 3. Kultur Bakteri | 26 |

| | |
|--|-----------|
| 4. Inokulasi Bakteri | 27 |
| 5. Pewarnaan Gram..... | 27 |
| F. Analisis Data | 28 |
| G. Etika Penelitian | 28 |
| H. Alur Penelitian..... | 29 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 30 |
| A. Gambaran Umum Lokasi dan Sampel Penelitian..... | 30 |
| 1. Taman Wisata Pemandian Air Panas Bora Sigi | 30 |
| 2. Deskripsi Sampel..... | 32 |
| B. Hasil Penelitian | 34 |
| 1. Pemeriksaan Kultur Bakteri..... | 34 |
| 2. Pemeriksaan Morfologi Dengan Pewarnaan Gram | 38 |
| C. Pembahasan | 43 |
| BAB V PENUTUP..... | 54 |
| A. Kesimpulan..... | 54 |
| B. Keterbatasan | 54 |
| C. Saran | 55 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 56 |
| LAMPIRAN..... | 64 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 1. Keaslian Penelitian | 4 |
| Tabel 2. Definisi Operasional..... | 24 |
| Tabel 3. Sampel penelitian | 33 |
| Tabel 4. Hasil Kultur Bakteri | 35 |
| Tabel 5. Identifikasi Koloni <i>Proteus mirabilis</i> | 37 |
| Tabel 6. Distribusi Jenis Bakteri | 39 |
| Tabel 7. Hasil Pewarnaan Gram dan Karakteristik Sel | 41 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 1. Bentuk Mikroskopik Bakteri Gram Positif <i>coccus</i> (<i>Staphylococcus aureus</i>) dan Bakteri Gram Negatif <i>Basil</i> (<i>E.Coli</i>)..... | 8 |
| Gambar 2 Rekonstruksi <i>filogenetik</i> galur Proteus berdasarkan sekuens gen <i>dnaJ</i> , <i>mdh</i> , <i>pyrC</i> , <i>recA</i> , dan <i>rpoD</i> yang terkonkatenasi. Pohon filogenetik ini didasarkan pada 3157 sekuens umum | 9 |
| Gambar 3 <i>DNA-DNA hybridization</i> (dDDH) dan <i>Average Nucleotide Identity</i> (ANI) | 10 |
| Gambar 4. Kultur Bakteri <i>Proteus mirabilis</i> Pada Natrium Agar | 14 |
| Gambar 5. Mikroskopis Bakteri <i>P. mirabilis</i> | 14 |
| Gambar 6. Mikroskopik <i>Proteus mirabilis</i> | 15 |
| Gambar 7. <i>Falgella Proteus mirabilis</i> | 15 |
| Gambar 8. Proses swarming <i>P. mirabili</i> | 16 |
| Gambar 9. Bentuk morfologi 1. Kokus, 2. Basilus, 3. Vibrio, 4. Spiral, 5. Spirochete | 20 |
| Gambar 10. Kerangka Teori | 21 |
| Gambar 11. Kerangka Konsep | 22 |
| Gambar 12. Pengenceran sampel | 26 |
| Gambar 13. Alur Penelitian..... | 29 |
| Gambar 14. Kelurahan Bora. Kabupaten Sigi. Sulawesi Tengah..... | 30 |
| Gambar 15. Titik kolam permandian air panas Bora Sigi (a kolam 1, b kolam 2, c&d Kolam 3)..... | 31 |

DAFTAR SINGKATAN

| | |
|-------------------|--|
| <i>acrAB-tolC</i> | = <i>Acriflavine resistance protein A and B – Tolerance to colicin C</i> |
| ANI | = <i>Average Nucleotide Identity</i> |
| <i>blaTEM</i> | = <i>Beta-lactamase TEM-type</i> |
| Ca | = <i>Cancer</i> |
| CAD | = <i>Coronary Artery Disease</i> |
| CD4 | = <i>Cluster of Differentiation 4</i> |
| CAUTIs | = <i>catheterassociated urinary tract infections</i> |
| CDI | = <i>Contact-Dependent Inhibition</i> |
| CFU/ml | = <i>Colony Forming Units per milliliter</i> |
| <i>cheA</i> | = <i>Chemotaxis histidine kinase A</i> |
| dDDH | = <i>digital DNA-DNA hybridization</i> |
| DM | = <i>Diabetes Melitus</i> |
| DNA | = <i>Deoxyribonucleic Acid</i> |
| <i>Dnaj</i> | = <i>DnaJ heat shock protein</i> |
| EMB | = <i>Eosin Methylene Blue</i> |
| <i>fimA</i> | = <i>Fimbrial subunit A</i> |
| <i>fthDC</i> | = <i>Flagellar transcriptional regulator D and C</i> |
| <i>fliC</i> | = <i>Flagellin C</i> |
| <i>fumC</i> | = <i>Fumarate hydratase class II</i> |
| <i>hpmA/hpmB</i> | = <i>Hemolysin A and B</i> |
| ICEPm2 | = <i>Integrative and Conjugative Element Proteus mirabilis 2</i> |
| ISK | = Infeksi Saluran Kemih |
| MCA | = <i>Mac Conkey Agar</i> |
| <i>Mdh</i> | = <i>malate dehydrogenase</i> |
| MLSA | = <i>Multilocus Sequence Analysis</i> |
| MR | = <i>Methyl Red</i> |
| <i>mrpA–mrpH</i> | = <i>Mannose-resistant Proteus-like fimbriae subunits A to H</i> |

| | |
|---------------------|--|
| NA | = <i>Nutrient Agar</i> |
| <i>P. mirabilis</i> | = <i>Proteus mirabilis</i> |
| <i>pstS</i> | = <i>Phosphate-binding protein S</i> |
| <i>pyrC</i> | = <i>dihydroorotase</i> |
| <i>recA</i> | = <i>recombinase A</i> |
| RSUP | = Rumah Sakit Umum Pendidikan |
| <i>rpoD</i> | = <i>RNA polymerase sigma factor D</i> |
| SIM | = <i>Sulfide Indole Motility</i> |
| <i>sodB</i> | = <i>Superoxide dismutase B</i> |
| <i>ucaA</i> | = <i>Uroepithelial cell adhesin A</i> |
| WGS | = <i>whole genome sequencing</i> |
| VP | = <i>Voges Proskauer</i> |
| <i>zapA</i> | = <i>Zinc metalloprotease A</i> |

IDENTIFIKASI BAKTERI *Proteus mirabilis* DENGAN PEMERIKSAAN KULTUR DAN MORFOLOGI DI PEMANDIAN AIR PANAS BORA SIGI

Abdillah Rizqie Muhdie*, M. Sabir**, Ressy Dwiyanti***, Junjun Fitriani****

*Mahasiswa Kedokteran, Fakultas Kedokteran, Universitas Tadulako

**Departemen Mikrobiologi, Fakultas Kedokteran, Universitas Tadulako

***Departemen Mikrobiologi, Fakultas Kedokteran, Universitas Tadulako

****Departemen Farmakologi, Fakultas Kedokteran, Universitas Tadulako

ABSTRAK

Pemandian air panas alami banyak diminati masyarakat karena dipercaya bermanfaat untuk relaksasi dan terapi kulit. Namun, lingkungan air panas juga dapat menjadi tempat hidup berbagai mikroorganisme, termasuk bakteri patogen yang mampu beradaptasi pada suhu tinggi. Salah satunya adalah *Proteus mirabilis*, bakteri Gram negatif penyebab infeksi saluran kemih dan infeksi luka. Tujuan penelitian ini untuk mengidentifikasi keberadaan *Proteus mirabilis* pada air di Taman Wisata Pemandian Air Panas Bora, Kabupaten Sigi. Metode penelitian ini menggunakan deskriptif kualitatif. Sebanyak 9 sampel air diambil dari tiga titik kolam selama tiga hari pengambilan. Sampel dikultur pada media Nutrient Agar, diamati karakteristik koloninya, dan dilakukan pewarnaan Gram untuk menentukan morfologi bakteri. Hasil dari penelitian ini dari 9 sampel yang dikumpulkan, diperoleh 30 isolat bakteri, di mana 5 isolat teridentifikasi sebagai *Proteus mirabilis*. Hasil pewarnaan Gram menunjukkan bentuk sel *basil* berwarna merah muda yang menandakan sifat Gram negatif. Keberadaan *Proteus mirabilis* pada air Pemandian Air Panas Bora menunjukkan kemampuannya beradaptasi di lingkungan panas alami. Temuan ini menandakan adanya potensi risiko kesehatan bagi pengunjung.

Kata Kunci: *Proteus mirabilis*, kultur bakteri, morfologi, pemandian air panas, Bora Sigi.

IDENTIFICATION OF *Proteus mirabilis* BACTERIA USING CULTURE AND MORPHOLOGY EXAMINATION AT THE BORA SIGI HOT SPRINGS

Abdillah Rizqie Muhdie, M. Sabir**, Ressy Dwiyanti***, Junjun Fitriani*****

**Medical Student, Faculty of Medicine, Tadulako University*

***Department of Microbiology, Faculty of Medicine, Tadulako University*

****Department of Microbiology, Faculty of Medicine, Tadulako University*

*****Department of Pharmacology, Faculty of Medicine, Tadulako University*

ABSTRACT

*Natural hot springs are popular among the public because they are believed to be beneficial for relaxation and skin therapy. However, hot spring environments can also be home to various microorganisms, including pathogenic bacteria that can adapt to high temperatures. One such bacterium is *Proteus mirabilis*, a Gram-negative bacterium that causes urinary tract infections and wound infections. The objective of this study was to identify the presence of *Proteus mirabilis* in the water at the Bora Hot Spring Tourism Park, Sigi Regency. This research method used qualitative descriptive analysis. A total of 9 water samples were taken from three points in the pond over three days. The samples were cultured on Nutrient Agar media, their colony characteristics were observed, and Gram staining was performed to determine the morphology of the bacteria. The results of this study from the 9 samples collected yielded 30 bacterial isolates, of which 5 isolates were identified as *Proteus mirabilis*. Gram staining results showed pink-colored bacilli cells, indicating Gram-negative properties. The presence of *Proteus mirabilis* in the water of the Bora Hot Springs indicates its ability to adapt to natural hot environments. This finding indicates a potential health risk for visitors.*

Keywords: *Proteus mirabilis, bacterial culture, morphology, hot springs, Bora Sigi*



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pemandian air panas atau wisata air panas merupakan salah satu destinasi wisata yang populer karena dianggap banyak memiliki manfaat kesehatan, terutama untuk terapi relaksasi, pengobatan beberapa penyakit kulit atau sekedar berendam dan bersantai. Namun, mata air panas alami juga dapat menjadi habitat pertumbuhan bagi berbagai mikroorganisme, termasuk jenis bakteri yang dapat menyesuaikan habitatnya dari suhu, pH maupun kandungan air tersebut (Narsing Rao *et al.*, 2021).

Taman Wisata Pemandian Air Panas Bora Sigi menjadi salah satu objek wisata alam yang banyak dikunjungi oleh masyarakat lokal maupun turis dan mengalami lonjakan setelah masa pandemi covid-19 (Setiawan, 2023). Namun, saat ini belum ada penelitian yang mengidentifikasi keberadaan bakteri patogen yang menjadi penyebab dari penyakit infeksi seperti Infeksi Saluran Kemih (ISK) yang salah satunya disebabkan oleh bakteri *Proteus mirabilis*.

Walaupun suhu air panas bisa membunuh beberapa mikroorganisme di dalamnya, kondisi geologi yang alamiah ini merupakan lingkungan alami bagi kelompok mikroorganisme tertentu, termasuk bakteri yang bersifat kosmopolitan. Sebagaimana yang ditulis oleh (Harahap *et al.*, 2024) di bukunya yang berjudul Keragaman Mikroba Dan Potensinya: Pendekatan Sains, kita bisa temukan makhluk ini di mana saja kita berada. Tersebar di titik-titik potensial, termasuk pada kondisi ekstrem seperti kawasan geothermal. Bakteri termofil sebutan untuk bakteri toleran suhu tinggi. Sebagaimana dibuktikan oleh penelitian yang dilakukan di Arab Saudi, aktivitas bioaktif bakteri termofilik yang diisolasi dari mata air panas di wilayah selatan Arab Saudi telah diteliti. Dari 84 isolat bakteri, 50 di antaranya menunjukkan aktivitas antimikroba yang memiliki efek antagonis terhadap satu atau lebih patogen manusia yang diuji yang di antaranya: *Candida albicans*, *Proteus mirabilis*, *Staphylococcus aureus*, *Shigella flexneri*, dan *Klebsiella pneumoniae* (Alrumman *et al.*, 2019)

Bakteri *Proteus mirabilis* ini dikenal sebagai penyebab infeksi saluran kemih (ISK), luka, dan infeksi nosokomial (Andriani *et al.*, 2023). Pada penelitian yang dilakukan di RSUP Sanglah Denpasar Bali selama tahun 2018 – 2019, *Proteus mirabilis* menginfeksi 71,4 % dari 1.756 pasien ISK (Arnatha *et al.*, 2021). Sedangkan pada studi yang dilakukan di RSUD Abdoel Wahab Sjahranie Kalimantan Timur, *Proteus mirabilis* menempati 14,8 % hasil dari kultur bakteri pada Pus pasien *Ulkus Dekubitus, DM type II, Abses pedis, Ca. Cervix, Abses abdomen, Abses submandibular, Abses gluteus, dan Coronary Artery Disease (CAD)*, (Kesuma *et al.*, 2023).

Keberadaan *Proteus mirabilis* di lingkungan pemandian air panas dapat menjadi risiko kesehatan bagi pengunjung, terutama jika kebersihan dan sanitasi lingkungan tidak terjaga dengan baik. Identifikasi bakteri melalui pemeriksaan kultur dan morfologi merupakan langkah awal untuk mengetahui potensi risiko kesehatan yang mungkin timbul. Dengan demikian, berdasarkan uraian latar belakang di atas peneliti tertarik untuk meneliti tentang Identifikasi Bakteri *Proteus mirabilis* di Taman Wisata Air Panas Bora Sigi. Penelitian ini penting dilakukan untuk memberikan informasi ilmiah tentang keberadaan bakteri tersebut serta upaya pencegahan yang dapat dilakukan.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas maka peneliti merumuskan rumusan masalah sebagai berikut. Apakah bakteri *Proteus mirabilis* terdapat di Taman Wisata Pemandian Air Panas Bora Sigi?

C. Tujuan

1. Tujuan Umum

Mengidentifikasi keberadaan bakteri *Proteus mirabilis* di Taman Wisata Pemandian Air Panas Bora Sigi melalui pemeriksaan kultur dan morfologi.

2. Tujuan Khusus

- a. Mengisolasi bakteri *Proteus mirabilis* dari sampel air Taman Wisata Pemandian Air Panas Bora Sigi

- b. Menganalisis karakteristik morfologi bakteri *Proteus mirabilis* dari sampel air Taman Wisata Pemandian Air Panas Bora Sigi

D. Manfaat Penelitian

1. Manfaat bagi peneliti

Peneliti mendapat pengetahuan dan keterampilan baru dalam bidang mikrobiologi, khususnya dalam mengidentifikasi bakteri patogen di Taman Wisata Pemandian Air Panas Bora Sigi.

2. Manfaat bagi instansi

Institusi dapat menjalin kerja sama dengan berbagai pihak seperti lembaga kesehatan, industri farmasi, dan lembaga penelitian lainnya untuk mengembangkan aplikasi lebih lanjut dari hasil penelitian ini.

3. Manfaat bagi peneliti selanjutnya

Penelitian ini dapat menjadi rujukan atau dasar awal bagi penelitian lanjutan yang ingin mengeksplorasi mikroorganisme di lingkungan pemandian air panas, khususnya bakteri *Proteus mirabilis*.

4. Manfaat bagi masyarakat

Hasil penelitian ini dapat memberikan informasi tentang risiko kesehatan yang mungkin timbul dari keberadaan bakteri *Proteus mirabilis* serta memberikan rekomendasi kepada pengelola wisata untuk meningkatkan standar kebersihan dan keamanan bagi pengunjung Taman Wisata Air Panas Bora Sigi Sulawesi Tengah.

E. Keaslian Penelitian

Tabel 1. Keaslian Penelitian

| NO | Nama Peneliti | Judul Peneliti | Desain Penelitian | Hasil Penelitian | Perbedaan |
|----|--|--|--|--|---|
| 1 | Massora, M., Salosa, Y. Y., Mogea, R. A., dkk 2022 (Massora <i>et al.</i> , 2022) | Bakteri Termofilik dari Air dan Sedimen Kolam Air Panas War Arema di Kampung Matatun Distrik Kebar Kebupaten Tambrauw Papua Barat | Isolasi bakteri termofilik menggunakan teknik <i>pour plate</i> dengan memasukkan 1 mL dari tiga tingkat pengenceran akhir ke cawan petri. Uji biokimia mencakup: fermentasi glukosa, sukrosa, laktosa; deteksi H_2S , indol, urease, katalase; serta uji MR-VP, TSIA, dan Simmon's sitrat | Hasil pewarnaan Gram dan analisis morfologi sel menunjukkan bahwa ketujuh isolat bakteri termofilik yang berhasil diisolasi tergolong sebagai bakteri Gram positif dengan bentuk sel batang (basil). Berdasarkan karakterisasi biokimia, pewarnaan Gram, dan morfologi sel, ketujuh isolat tersebut dapat diklasifikasikan ke dalam genus <i>Bacillus</i> . | Pada penelitian tersebut jenis variabel bebas yang digunakan adalah bakteri termofilik. Sedangkan penelitian saya memilih variabel bebas bakteri <i>Proteus</i> <i>mirabilis</i> . Dan pada penelitian ini bertempat di Taman Wisata Air Panas Bora Sigi Sulawesi Tengah |

| | | | | | |
|---|--|--|---|---|--|
| 2 | Ginting, C. N., Piska, F., Harmileni, H., dan Fachrial, E. 2023 (Ginting <i>et al.</i> , 2023) | <i>Molecular identification of thermophilic bacteria with antimicrobial activity isolated from hot springs in North Sumatra, Indonesia</i> | Aktivitas antimikroba diuji menggunakan metode difusi cakram terhadap <i>Escherichia coli</i> dan <i>Staphylococcus aureus</i> . Isolat yang paling potensial diidentifikasi secara molekuler dengan amplifikasi gen <i>16S rRNA</i> menggunakan primer universal. Hasil sekuen dipangkas dan disusun menggunakan <i>BioEdit</i> dan dikirim ke <i>BLAST</i> untuk menentukan homologi bakteri. | Megaterium termofilik ITU9 berhasil diisolasi dari sumber air panas Sidebuk Debuk dan memiliki aktivitas antimikroba yang stabil selama 72 jam terhadap <i>E. coli</i> dan <i>S. aureus</i> . | Perbedaan pada penelitian tersebut adalah menggunakan variabel bebas bakteri termofilik dan bertempat di sumber air panas Sumatera Utara |
|---|--|--|---|---|--|

| | | | | | |
|---|---|--|---|---|---|
| 3 | Andriani,G., Harlita, T. D., dan Lamri, L. 2023 (Andriani <i>et al.</i> , 2023) | Identifikasi Bakteri Yang Menyebabkan Infeksi Saluran Kemih (ISK) pada Urine Pengguna <i>Pantyliner</i> | Penelitian ini menggunakan desain deskriptif observasional dengan teknik pengambilan sampel secara total sampling. Sampel berupa urin porsi tengah diperoleh dari 30 mahasiswa Diploma III Teknologi Laboratorium Medis Poltekkes Kemenkes Kaltim yang menggunakan <i>pantyliner</i> . Identifikasi bakteri dilakukan melalui metode kultur. | Analisis menunjukkan 20 dari 30 sampel urin (66,7%) positif mengandung bakteri, dengan distribusi: <i>Staphylococcus sp.</i> (65%), <i>Klebsiella sp.</i> (10%), serta kombinasi <i>Streptococcus</i> <i>sp.-Acinetobacter baumanii</i> (5%) dan <i>Staphylococcus</i> <i>sp.-Klebsiella sp.</i> (20%). <i>Staphylococcus sp.</i> teridentifikasi sebagai bakteri utama penyebab ISK. | Jenis variabel bebas yang digunakan adalah bakteri penyebab ISK. Sedangkan penelitian ini memilih variabel bebas bakteri <i>Proteus</i> <i>mirabilis</i> . Dan pada penelitian ini memilih sampel air di Taman Wisata Air Panas Bora Sigi Sulawesi Tengah |
|---|---|--|---|---|---|

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Telaah Pustaka

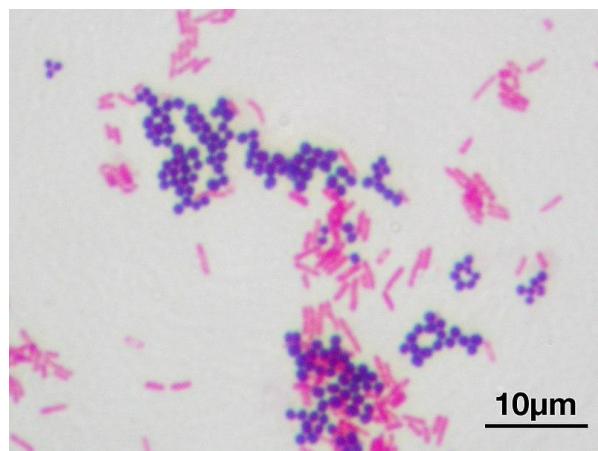
1. Bakteri

Mikroorganisme atau mikroba merupakan organisme yang berukuran sangat kecil atau organisme bersel tunggal yang tidak bisa dilihat dengan kasat mata dan harus menggunakan mikroskop. Kelompok mikroba yang ditemukan pada saat ini antara lain *protozoa*, alga, jamur, bakteri dan virus (Sriyono, 2020). Bakteri adalah salah satu jenis mikroorganisme yang ada di alam dengan ciri khas bersel satu. Prokariot tidak mempunyai klorofil, bentuk tubuh yang beraneka seperti *basil* (batang), *kokus* (bulat), *spirillum* (spiral), *kokobasil* (bulat dan batang), dan *vibrio* (tanda baca koma). Memiliki dinding sel serta hidup di lingkungan yang ekstrem (Sriyono, 2020).

Secara struktural, bakteri dapat diklasifikasikan menjadi dua komponen utama, yaitu struktur dasar dan struktur tambahan. Struktur dasar mencakup komponen esensial seperti dinding sel, membran plasma, sitoplasma, ribosom, granula penyimpanan, serta materi genetik (DNA). Sedangkan struktur tambahan yang tidak dimiliki semua bakteri mencakup *kapsul* (perlindungan), *flagela* (motilitas), *pili/fimbria* (pelekatan), *klorosom* (fotosintesis), *vakuola* (bouyansi), dan *endospora* (ketahanan ekstrem) (Sriyono, 2020).

Klasifikasi bakteri berdasarkan pewarnaan Gram membaginya menjadi dua kelompok utama, yaitu Gram positif dan Gram negatif. Berdasarkan buku Bakteriologi yang ditulis oleh (Apriani *et al.*, 2022), Perbedaan mendasar antara keduanya terdapat pada komposisi dinding selnya. Bakteri Gram positif memiliki lapisan *peptidoglikan* yang tebal, sedangkan Gram negatif memiliki membran luar tambahan yang mengandung *lipopolisakarida*. Perbedaan dari keduanya adalah hasil akhir dari perwarnaan gram, Bakteri Gram positif akan tampak berwarna ungu karena dinding selnya yang tebal mengikat pewarna kristal violet-iodin dan

tidak luntur saat dicuci alkohol. Sebaliknya, bakteri Gram negatif memiliki lapisan peptidoglikan tipis sehingga pewarna utama hilang saat proses pencucian, lalu sel menyerap pewarna safranin sehingga tampak merah muda.



Gambar 1. Bentuk Mikroskopik Bakteri Gram Positif *coccus* (*Staphylococcus aureus*) dan Bakteri Gram Negatif *Basil* (*E.Coli*)
(Apriani *et al.*, 2022).

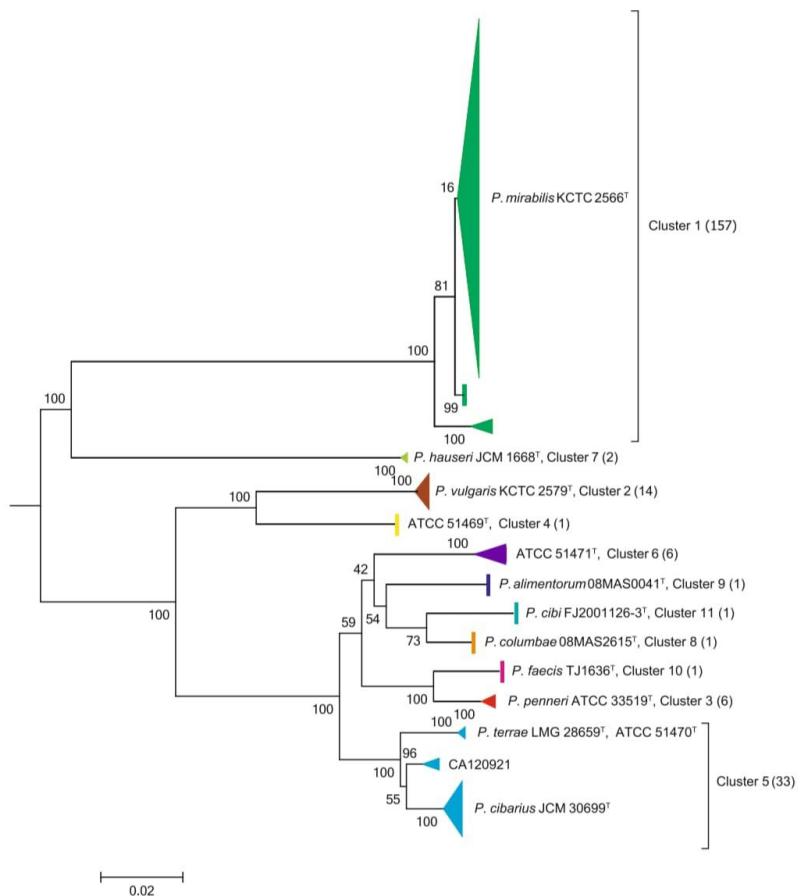
Perbedaan struktural ini tidak hanya memengaruhi hasil pewarnaan, tetapi juga menentukan resistensi terhadap antibiotik. Bakteri Gram negatif umumnya menunjukkan ketahanan yang lebih tinggi terhadap antibiotik dibandingkan Gram positif, sekaligus memiliki tingkat patogenisitas yang lebih besar karena adanya lapisan lipopolisakarida yang bersifat toksik. (Salsabila *et al.*, 2023).

2. Bakteri *Proteus spp*

a) Taksonomi *Proteus spp.*

Multilocus Sequence Analysis (MLSA) merupakan metode molekuler yang digunakan untuk menganalisis hubungan evolusioner dan klasifikasi taksonomi mikroorganisme pada tingkat spesies. Teknik ini dilakukan dengan mengamplifikasi dan mengurutkan beberapa gen rumah tangga (*housekeeping genes* atau HKGs) untuk membedakan spesies yang berkerabat dekat. Dalam studi oleh Dai *et al.* (2020), lima gen digunakan sebagai marker genetik, yaitu *dnaJ* (*DnaJ heat shock*

protein) berfungsi dalam respon terhadap stres panas dan pelipatan protein, *mdh* (*malate dehydrogenase*) berperan dalam siklus asam sitrat, *pyrC* (*dihydroorotase*) terlibat dalam biosintesis nukleotida pirimidin, dan *recA* (*recombinase A*) berperan penting dalam perbaikan DNA dan *rpoD* (*RNA polymerase sigma factor D*) rekombinasi genetik.



Gambar 2 Rekonstruksi filogenetik galur *Proteus* berdasarkan sekuensi gen *dnaJ*, *mdh*, *pyrC*, *recA*, dan *rpoD* yang terkonkatenasi. Pohon filogenetik ini didasarkan pada 3157 sekuensi umum (Dai et al., 2020)

Pohon filogenetik yang dibangun dari sekuensi gabungan lima gen rumah tangga menunjukkan bahwa dari 223 strain *Proteus* yang dianalisis, klaster terbesar terbentuk oleh *Proteus mirabilis*, yaitu sebanyak 157 strain atau sekitar 70,4% dari total populasi. Hasil ini menegaskan bahwa *P. mirabilis* merupakan spesies paling dominan dalam isolat klinis yang dianalisis (Dai et al., 2020).

| Strains ^a | a | b | c | d | e | f | g | h | i | j | k | l | m | n | | |
|----------------------|---------------------|-------------------|--------------------|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------|------------------|----------|---------------------------------|--------------------|-----------------------|------------------|----------------|-------|-------|
| Species | <i>P. mirabilis</i> | <i>P. penneri</i> | <i>P. vulgaris</i> | <i>P. hauseri</i> | <i>Proteus</i> genospecies 4 | <i>Proteus</i> genospecies 5 | <i>P. cibarius</i> | <i>P. terrae</i> | CA142267 | <i>Proteus</i> genospecies 6 | <i>P. columbae</i> | <i>P. alimentorum</i> | <i>P. faecis</i> | <i>P. cibi</i> | | |
| DDH/ANI | DDH | ANI | DDH | ANI | DDH | ANI | DDH | ANI | DDH | ANI | DDH | ANI | DDH | ANI | DDH | ANI |
| Strains ^a | a | 100.0 | 100.0 | | | | | | | | | | | | | |
| b | 24.7 | 82.1 | 100.0 | 100.0 | | | | | | | | | | | | |
| c | 24.4 | 81.7 | 37.5 | 89.4 | 100.0 | 100.0 | | | | | | | | | | |
| d | 23.5 | 80.8 | 25.8 | 83.3 | 25.1 | 82.6 | 100.0 | 100.0 | | | | | | | | |
| e | 24.6 | 81.8 | 41.5 | 90.9 | 44.5 | 91.6 | 25.8 | 83.2 | 100.0 | 100.0 | | | | | | |
| f | 24.3 | 81.8 | 44.6 | 91.7 | 37.7 | 89.6 | 25.8 | 83.1 | 40.0 | 90.2 | 100.0 | 100.0 | | | | |
| g | 25.1 | 82.6 | 44.5 | 91.7 | 37.5 | 89.6 | 25.7 | 83.2 | 39.9 | 90.2 | 72.3 | 96.9 | 100.0 | 100.0 | | |
| h | 24.1 | 81.5 | 44.6 | 91.8 | 37.5 | 89.5 | 25.7 | 83.3 | 39.9 | 90.2 | 93.1 | 99.2 | 71.2 | 96.7 | 100.0 | 100.0 |
| i | 24.4 | 82.0 | 44.9 | 91.8 | 37.6 | 89.7 | 25.8 | 83.1 | 39.8 | 90.3 | 74.4 | 97.1 | 72.3 | 96.8 | 72.6 | 96.8 |
| j | 25.0 | 82.4 | 44.8 | 91.7 | 36.0 | 89.0 | 26.1 | 83.4 | 37.8 | 89.5 | 47.3 | 92.3 | 47.1 | 92.5 | 47.3 | 92.4 |
| k | 24.8 | 81.9 | 46.3 | 92.1 | 36.8 | 89.1 | 26.0 | 83.4 | 37.9 | 89.6 | 48.9 | 92.7 | 48.3 | 92.6 | 48.8 | 93.0 |
| l | 24.9 | 82.0 | 46.3 | 92.1 | 36.4 | 89.0 | 25.9 | 83.3 | 37.8 | 89.6 | 48.7 | 92.8 | 48.1 | 92.7 | 48.5 | 92.7 |
| m | 24.1 | 81.6 | 52.7 | 93.7 | 35.8 | 88.7 | 25.7 | 83.1 | 36.5 | 89.1 | 45.9 | 91.9 | 45.5 | 91.9 | 45.9 | 92.0 |
| n | 24.6 | 81.9 | 45.3 | 92.0 | 35.5 | 88.3 | 25.8 | 83.0 | 36.5 | 89.0 | 45.8 | 92.0 | 45.5 | 92.0 | 45.9 | 92.0 |

^a Strain: a, *P. mirabilis* ATCC 29906^T(GenBank accession no. ACLE000000000.1); b, *P. penneri* ATCC 33519^T (PHFJ000000000); c, *P. vulgaris* KCTC 2579^T (PHNN000000000); d, *P. hauseri* JCM 1668^T (PGWU000000000); e, *Proteus* genospecies 4 ATCC 51469^T (PENV000000000); f, *Proteus* genospecies 5 ATCC 51470^T (PENU000000000); g, *P. cibarius* JCM 30699^T (PGWT000000000); h, *P. terrae* LMG 28659^T (PENS000000000); i, CA142267; j, *Proteus* genospecies 6 ATCC 51471^T (PENT000000000); k, *P. columbae* 08MAS2615^T (NGVR000000000); l, *P. alimentorum* 08MAS0041^T (NBVR000000000); m, *P. faecis* TJ1636^T (PENZ000000000); n, *P. cibi* FJ2001126-3^T (PENW000000000)

Gambar 3 digital DNA-DNA hybridization (dDDH) dan Average Nucleotide Identity (ANI)

(Dai *et al.*, 2020)

digital DNA–DNA hybridization (dDDH) dan *average nucleotide identity* (ANI) digunakan sebagai metode komputasional untuk mengevaluasi kedekatan genomik antarstrain dalam genus *Proteus*. dDDH merupakan pendekatan digital yang meniru metode laboratorium klasik *DNA–DNA hybridization* untuk menilai persentase kemiripan genom total antara dua isolat, sedangkan ANI menghitung rata-rata kesamaan nukleotida dari semua segmen sekuens homolog yang dibagikan oleh dua genom. Nilai ambang batas yang digunakan untuk menetapkan perbedaan spesies adalah <70% untuk dDDH dan <95% untuk ANI (Dai *et al.*, 2020).

Berdasarkan interpretasi nilai dDDH dan ANI dalam penelitian (Dai *et al.*, 2020), dapat disimpulkan bahwa genus *Proteus* secara taksonomi valid terdiri atas lima spesies utama, yaitu *P. mirabilis*, *P. vulgaris*, *P. penneri*, *P. hauseri*, dan *P. terrae*. Penggabungan *P. terrae* dengan *P. cibarius* dan *Proteus genospecies 5* didasarkan pada kemiripan genomik yang tinggi, yakni nilai ANI >95% dan dDDH >70%, yang menunjukkan bahwa ketiganya termasuk dalam spesies yang sama secara molekuler. Sementara itu, meskipun dalam studi tersebut juga diidentifikasi beberapa genospecies dan strain baru seperti *P. columbae*, *P. alimentorum*, dan genospecies 4 serta 6, hanya lima spesies tersebut yang dikonfirmasi valid dan konsisten secara taksonomi berdasarkan batas molekuler dan dukungan filogenetik yang kuat. Dari uraian diatas dapat dituliskan Taksonomi *Proteus spp.* sebagai berikut:

Domain : Bakteri
Filum : *Proteobacteria*
Kelas : *Gamma proteobacteria*
Ordo : *Enterobacteriales*
Family : *Enterobacteriaceae*
Genus : *Proteus*
Spesies : *P. mirabilis*, *P. vulgaris*, *P. penneri*, *P. hauseri*, *P. terrae*

b) Morfologi *Proteus sp*

Genus *Proteus* terdiri dari bakteri Gram-negatif, berbentuk batang, dan bersifat fakultatif anaerob. Anggota genus ini dikenal dengan kemampuan motilitas *swarming*, yaitu pergerakan kolektif di permukaan padat, serta produksi enzim urease yang menghidrolisis urea menjadi amonia, meningkatkan pH lingkungan (Chakkour, Hammoud, Farhat, *et al.*, 2024). Spesies utama dalam genus ini meliputi *Proteus mirabilis*, *P. vulgaris*, *P. penneri*, *P. terrae* dan *P. hauseri* (Dai *et al.*, 2020).

Proteus vulgaris adalah bakteri Gram-negatif yang motil, menghasilkan urease, dan memiliki kemampuan *swarming*. Bakteri ini sering dikaitkan dengan infeksi saluran kemih dan luka yang berat, serta menunjukkan resistensi antibiotik yang tinggi akibat produksi beta-laktamase yang dapat diinduksi (Gravinda Widyaswara *et al.*, 2022). Dalam penelitian di RSUD Undata Palu, *P. vulgaris* merupakan bakteri Gram-negatif terbanyak kedua yang diisolasi dari pus, dan menunjukkan resistensi tinggi terhadap streptomisin dan asam nalidiksat (Asrinawaty & Sabir, 2022). Dibandingkan dengan *Proteus mirabilis*, *P. vulgaris* lebih jarang ditemukan, namun lebih sering dikaitkan dengan komorbiditas kanker dan tingkat kematian dalam 30 hari yang lebih tinggi (23,2% vs. 18,5%) (Laupland *et al.*, 2024).

Proteus penneri sebelumnya diklasifikasikan sebagai *P. vulgaris*, namun kini dianggap sebagai spesies tersendiri. Bakteri ini jarang dilaporkan dalam literatur klinis karena sering salah diidentifikasi sebagai *P. mirabilis*, tetapi diketahui memiliki resistensi antibiotik yang lebih tinggi dan sering menyerang pasien dengan penyakit hati (Laupland *et al.*, 2024). Dalam studi tersebut, *P. penneri* menunjukkan tingkat resistensi tertinggi terhadap *seftriakson* (Laupland *et al.*, 2024). Selain itu, *P. penneri* juga ditemukan di lingkungan umum seperti pegangan eskalator di pusat perbelanjaan Palu (Harun *et al.*, 2024).

Proteus hauseri termasuk kelompok *Proteus genomospesies* yang memiliki kemiripan tinggi dengan *P. vulgaris* dan *P. penneri*, dan sering kali salah identifikasi dalam sistem otomasi (Dai *et al.*, 2020). Dalam studi genomik terbaru, strain yang sebelumnya dianggap sebagai *P. columbae* ternyata termasuk dalam *Proteus genomo sp. 6* (salah satu nama yang merujuk pada *P. hauseri*), yang ditemukan pada pasien dengan *appendicitis* dan *abses* (Zhang *et al.*, 2025).

Proteus terrae adalah spesies bakteri gram negatif dari genus *Proteus* yang secara genetik terbukti mencakup strain yang sebelumnya diklasifikasikan sebagai *P. cibarius* dan *Proteus genospecies 5*. Berdasarkan analisis MLSA, dDDH, dan ANI, ketiga strain tersebut menunjukkan kesamaan genomik yang tinggi, sehingga direklasifikasi menjadi satu spesies yaitu *P. terrae*. Bakteri ini umumnya ditemukan di lingkungan seperti tanah, air, serta dapat bersifat oportunistik pada manusia, dan memiliki karakteristik motil, anaerob fakultatif, serta mampu tumbuh dalam rentang suhu dan salinitas yang cukup luas.

Pada media *Mac Conkey Agar* (MCA), *Proteus sp.* membentuk koloni berukuran sedang hingga besar dengan warna transparan atau merah muda, menunjukkan sifat non-fermentasi laktosa. Koloni memiliki permukaan halus (*smooth*) dengan pola pertumbuhan yang dapat berupa koloni terisolasi maupun menyebar (*swarming*). Di media *Eosin Methylene Blue* (EMB), koloni tampak tidak berwarna, transparan, dan halus. Bakteri ini menunjukkan kemampuan pertumbuhan menyebar yang optimal pada suhu 37°C. (Arya Sukman Jaya *et al.*, 2023). *Proteus sp.* berbentuk batang, mampu menghidrolisis hidrogen peroksida, positif indol, positif MR, negatif VP, positif Sitrat dan memiliki flagela peritrik untuk membantu pergerakannya (Bariz & Syaputi, 2024).



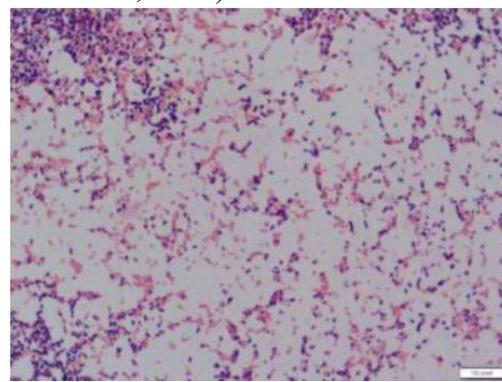
Gambar 4. Kultur Bakteri *Proteus mirabilis* Pada Natrium Agar
(Microbe Canvas, 2013)

3. Bakteri *Proteus mirabilis*

a) Morfologi *Proteus mirabilis*

Proteus mirabilis adalah bakteri Gram-negatif yang dikenal karena motilitasnya yang unik dan kemampuannya menyebabkan infeksi saluran kemih. Bakteri ini menunjukkan perubahan morfologi yang signifikan selama proses *swarming* yang berperan penting dalam patogenesis dan adaptasi lingkungan (Stolarek *et al.*, 2023).

Pada pewarnaan gram, *Proteus mirabilis* memiliki karakteristik berwarna merah muda karena bakteri tersebut termasuk dalam bakteri gram negatif. Bakteri gram negatif memiliki lapisan *peptidoglikan* yang lebih tipis dibandingkan bakteri gram positif. Oleh karena itu, pada saat proses pewarnaan gram tidak dapat mempertahankan warna ungu (*Crystal violet*) dan menyerap *safranin* karena lapisan *polisakarida* yang tebal (Salsabila *et al.*, 2023).



Gambar 5. Mikroskopis Bakteri *P. mirabilis*
(Arya Sukman Jaya *et al.*, 2023)

Pada tampakan mikroskopik dengan perbesaran yang lebih tinggi. Terlihat jelas bahwa bakteri tampak sebagai batang pendek berwarna merah muda (*pink*), warna merah muda berasal dari pewarna *safranin*, yang merupakan pewarna kontras dalam pewarnaan Gram dan diserap oleh dinding sel Gram-negatif setelah pencucian dengan alkohol (Microbe Canvas, 2013).



Gambar 6. Mikroskopik *Proteus mirabilis*
(Microbe Canvas, 2013)

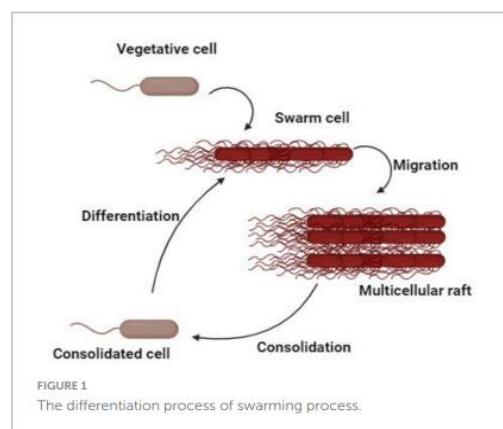
Tahap pertama dari adaptasi lingkungan (*Swarming*) adalah Motilitas. Selama proses *swarming*, *P. mirabilis* mengalami perubahan morfologi yang signifikan, termasuk pemanjangan sel dan peningkatan jumlah flagela. Sel-sel ini menjadi panjang dan multinukleat, dengan kepadatan flagela yang lebih tinggi, memungkinkan mereka bergerak lebih cepat melalui cairan dengan viskositas tinggi (Stolarek *et al.*, 2023).



Gambar 7. *Falgella Proteus mirabilis*
(Kamel & Jarjes, 2015)

Proses selanjutnya adalah perubahan Komposisi Lipid. Tahap ini *swarming* mempengaruhi komposisi lipid dalam membran sel *P. mirabilis*. Ada perubahan signifikan dalam komposisi lipid, yang berkontribusi pada peningkatan permeabilitas *swarming* (Stolarek *et al.*, 2023). Tahap terakhir dari proses *Swarming* adalah Kekakuan Sel. Sel swarmer *P. mirabilis* menunjukkan penurunan kekakuan sel yang membuat mereka lebih fleksibel dan lebih rentan terhadap tekanan osmotik dan antibiotik yang menargetkan dinding sel (Stolarek *et al.*, 2023).

Siklus hidup *Proteus mirabilis* didukung oleh berbagai gen yang memungkinkan adaptasi, motilitas, dan kolonisasi. Gen motilitas seperti *flhDC* dan *fliC* mengatur pembentukan flagela dan *swarming*, sedangkan gen adhesi seperti *mrpA* dan *fimA* membantu pembentukan biofilm. Gen *pstS*, *sodB*, dan *fumC* mendukung kelangsungan hidup di lingkungan ekstrem melalui transportasi fosfat, perlindungan oksidatif, dan metabolisme energi. Sementara gen virulensi seperti *ureC* (urease) dan *zapA* (protease) memfasilitasi infeksi, serta gen *blaTEM* dan *acrAB-tolC* memberi perlindungan terhadap antibiotik. Kombinasi gen-gen ini memungkinkan *P. mirabilis* bertahan dan berkembang di lingkungan yang bervariasi, termasuk sistem urinaria dan sumber air panas (Wang *et al.*, 2021).



Gambar 8. Proses *swarming* *P. mirabili*
(Chakkour, Hammoud, & Farhat, 2024)

b) Infeksi Saluran Kemih (ISK) Bakteri *P. mirabilis*

Bakteri *P. mirabilis* dapat menyebabkan berbagai infeksi pada manusia, meliputi luka, daerah mata, saluran pencernaan, dan sistem kemih (Govindarajan & Kandaswamy, 2022). *P. mirabilis* khususnya dikenal karena hubungannya dengan infeksi pada saluran kemih yang dipasangi kateter yang disebut *catheter-associated urinary tract infections* (CAUTIs), dengan insiden tertinggi pada pasien lanjut usia (Werneburg, 2022a).

Salah satu aspek terpenting dari patofisiologi *P. mirabilis* adalah urease. Ketika tumbuh di laboratorium (pada agar ureA dasar), urease mengubah ureA menjadi karbon dioksida dan amonia alkali. Hal ini meningkatkan pH dan mengubah indikator fenol merah menjadi merah muda. Namun, secara *in vivo* (di dalam tubuh manusia), enzim ini mengkatalisis produksi batu kandung kemih dan ginjal, atau pengerasan dan penyumbatan sistem kemih (Kareem Shameel & Hameed Alkhafaji, 2025).

Faktor risiko untuk perkembangan ISK yang dimediasi *Proteus* meliputi aktivitas seksual pada kedua jenis kelamin, dengan risiko spesifik tambahan disertai hubungan seks anal tanpa kondom antara laki-laki dan adanya kulup. Selain itu, kondisi imunokompromais seperti penurunan jumlah sel CD4 hingga kurang dari 200 sel per mikroliter meningkatkan risiko ISK. Kemungkinan infeksi *P. mirabilis* diperkuat pada wanita dengan kateterisasi yang berkepanjangan, sanitasi atau perawatan kateter yang tidak memadai, kondisi medis yang sudah ada sebelumnya, dan tidak tersedianya terapi antibiotik sistemik (Jamil *et al.*, 2023).

Cara penularan utama bakteri ini melibatkan kontak langsung dengan individu yang terinfeksi atau paparan permukaan yang terkontaminasi. Kemampuan bergeraknya yang luar biasa (*Swarming*) mendukung penyebaran yang cepat sehingga bakteri ini dapat memasuki sistem urogenital manusia dari usus (Mirabilis, 2024). Pasien

yang mengalami infeksi *Proteus* dapat menunjukkan gejala klinis yang konsisten dengan *uretritis*, *sistitis*, *prostatitis*, atau *pielonefritis* (Jamil *et al.*, 2023).

c) Infeksi Bakteri *Proteus mirabilis* pada Ulkus

Bakteri *Proteus mirabilis* merupakan salah satu bakteri yang sering menginfeksi *ulkus diabetic*, terutama pada penderita diabetes dengan kontrol gula darah yang buruk (Kesuma *et al.*, 2023). Dalam konteks *ulkus diabetic*, *Proteus mirabilis* sering ditemukan sebagai salah satu bakteri yang menginfeksi luka kronis pada penderita diabetes. Infeksi ini dapat memperparah kondisi luka dan meningkatkan risiko komplikasi serius (Delima & Saharuddin, 2021). Infeksi bakteri bukanlah penyebab langsung dari ulkus diabetikum tetapi infeksi dapat memperlambat penyembuhan, menyebabkan deformitas dan kematian (Delima *et al.*, 2022)

Salah satu faktor virulensi yang teridentifikasi adalah bakteri tersebut memiliki pili. Pada ujung pili terdapat zat kimia tertentu yang memungkinkan organisme untuk bergerak menuju lokasi yang diinginkan, *Proteus* menjadi sangat motil karena adanya flagella perinatal (*Swarming*). Infeksi yang disebabkan oleh bakteri *Proteus* meliputi infeksi saluran kemih dan infeksi luka (Alfiyah *et al.*, 2024).

4. Pemeriksaan Kultur dan Morfologi Bakteri

a) Pemeriksaan Kultur

Tujuan dari kultur bakteri adalah untuk menumbuhkan dan mengisolasi bakteri dalam kondisi laboratorium yang terkontrol sehingga memungkinkan identifikasi, studi, dan analisis lebih lanjut terhadap bakteri tersebut (Marro *et al.*, 2022). Kultur bakteri memungkinkan identifikasi jenis bakteri berdasarkan morfologi koloni, sifat biokimia, dan reaksi terhadap berbagai media pertumbuhan (Apriani *et al.*, 2023).

Perkembangan bakteri ditentukan oleh berbagai faktor lingkungan dan nutrisional, meliputi jenis media pertumbuhan, ketersediaan nutrisi, suhu inkubasi, kadar oksigen, tingkat keasaman (pH), serta kondisi lingkungan sekitarnya. Media pertumbuhan yang ideal harus mengandung komponen esensial seperti sumber karbon sebagai bahan dasar energi, sumber nitrogen untuk sintesis protein, serta tambahan asam amino dan vitamin sebagai faktor pertumbuhan. (Wardhani *et al.*, 2020). Media kultur bakteri berdasarkan bentuknya dikategorikan menjadi tiga yaitu media cair (broth), media padat (solid) dan media semi padat (Apriani *et al.*, 2023).

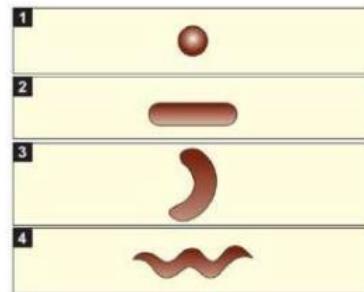
Media cair umumnya digunakan untuk menumbuhkan kultur biomassa, uji metabolisme atau inokulasi jenis bakteri tertentu. Beberapa jenis media cair diantaranya *nutrient broth*, *tryptic soy broth*, *thioglycolate broth* dan *lysogeny broth*. Media padat, media ini ditambahkan zat pematat (agar) kurang lebih 15% sehingga menjadi padat. Inokulasi bakteri pada media padat memungkinkan bakteri tumbuh membentuk koloni dengan ciri yang khas pada masing-masing spesies. Beberapa jenis media padat diantaranya *Muller Hinton Agar*, *Nutrient Agar*, *Eosin Methylene Blue Agar*, dan *MacConkey agar* (Apriani *et al.*, 2023).

Media semi padat adalah media yang mengandung agar kurang lebih 0,3 – 0,4% sehingga media menjadi semipadat. Media ini dapat digunakan untuk uji motilitas atau transport spesimen. Beberapa jenis media semi padat diantaranya *Sulfide Indole Motility (SIM)*, *Mannitol Motility Medium* dan *Amies Medium* (Apriani *et al.*, 2023).

b) Pemeriksaan Morfologi Bakteri

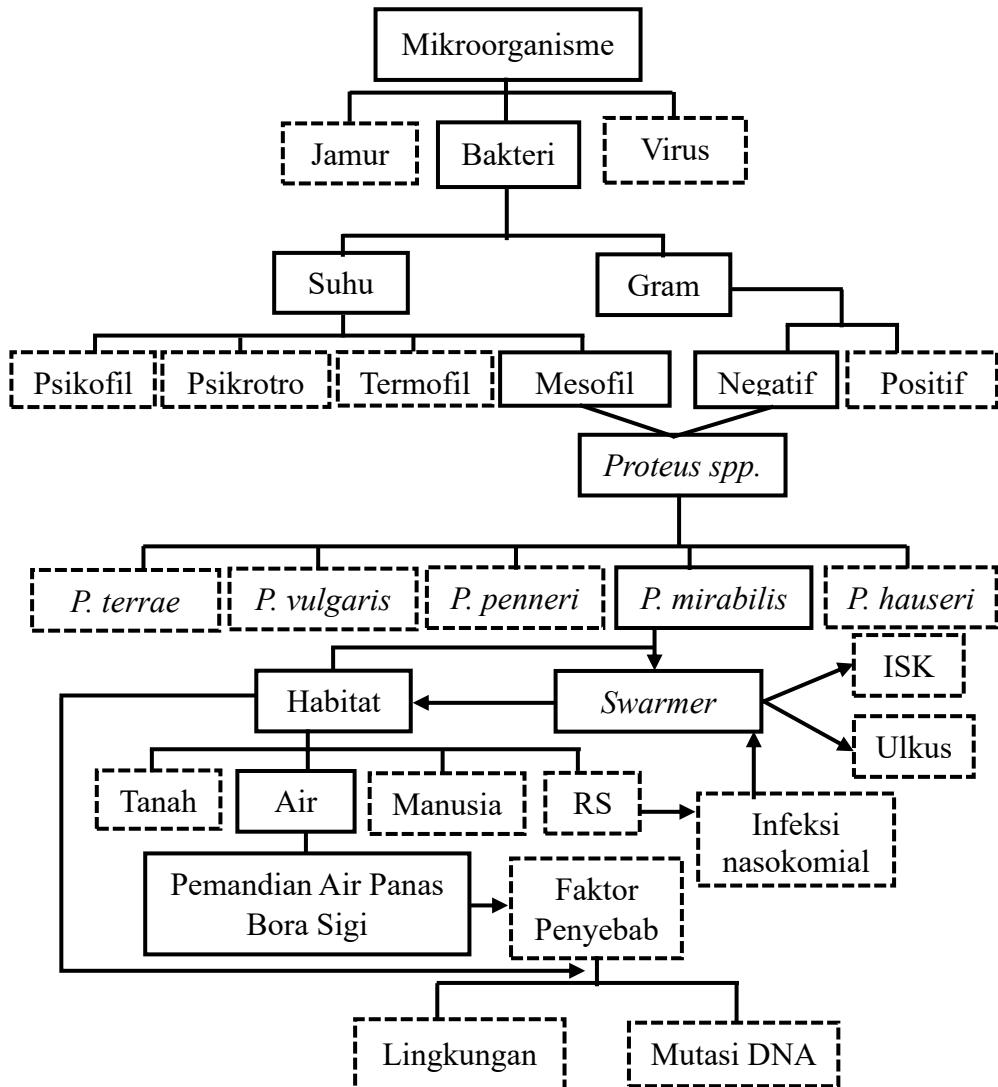
Observasi karakteristik morfologi koloni bakteri merupakan tahapan krusial dalam prosedur mikrobiologi. Analisis ini berperan penting sebagai langkah awal identifikasi yang memungkinkan diferensiasi berbagai jenis mikroorganisme berdasarkan ciri visual pertumbuhannya (Ifandi *et al.*, 2023). Mikroorganisme prokariotik ini

menunjukkan keragaman bentuk sel yang diklasifikasikan menjadi tiga tipe utama: bentuk sferis (kokus), silindris (basil), dan spiral (spirokaeta). (Gambar 2) (Apriani *et al.*, 2023; Panjaitan *et al.*, 2023)



Gambar 9. Bentuk morfologi 1. *Kokus*, 2. *Basilus*, 3. *Vibrio*, 4. *Spiral*, 5. *Spirochete*
(Kumar, 2016).

B. Kerangka Teori



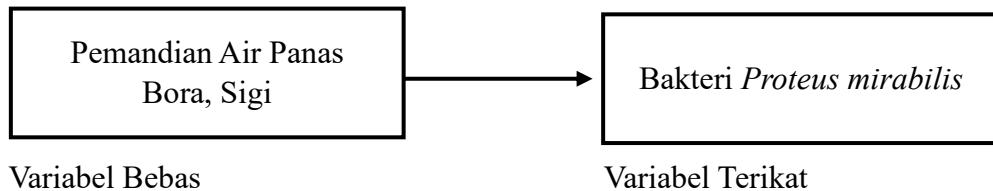
Penelitian : : Diteliti

 : Tidak diteliti

→ : Menyebabkan/mempengaruhi

Gambar 10. Kerangka
 (Alrumman *et al.*, 2019; Basuki & Warsiyah, 2023; Chylen Setiyo Rini & Jamilatur Rohmah, n.d.; Dai *et al.*, 2020; Fatimah *et al.*, 2023).

C. Kerangka Konsep



Gambar 11. Kerangka Konsep

D. Landasan Teori

Bakteri *Proteus mirabilis* termasuk bakteri Gram-negatif dari keluarga *Enterobacteriaceae* yang bersifat motil dan dikenal sebagai penyebab infeksi saluran kemih. Bakteri ini dapat ditemukan di lingkungan seperti tanah dan air, termasuk pada pemandian air panas. Identifikasi dilakukan melalui pemeriksaan kultur dengan media seperti Nutrient Agar untuk mengamati pola pertumbuhan koloni yang khas, serta melalui pemeriksaan morfologi menggunakan pewarnaan Gram untuk melihat bentuk sel batang Gram-negatif. Deteksi *P. mirabilis* di Taman Wisata Pemandian Air Panas Bora Sigi penting sebagai indikator kebersihan lingkungan dan potensi risiko kesehatan bagi pengunjung.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Rancangan Penelitian

1. Desain Penelitian

Penelitian ini mengadopsi pendekatan kualitatif deskriptif dengan menganalisis karakteristik morfologi koloni bakteri *Proteus mirabilis* yang diisolasi dari sampel air pemandian panas Bora, Sigi. Data hasil observasi akan divisualisasikan dalam bentuk tabel dan gambar, kemudian diinterpretasikan secara komprehensif melalui kajian literatur terkait.

2. Tempat Pelaksanaan

Penelitian dilaksanakan di Taman Wisata Pemandian Air Panas Bora, Sigi dan Laboratorium Mikrobiologi Farmasi Prodi Farmasi Fakultas MIPA Universitas Tadulako.

3. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret – Juni 2025

B. Populasi dan Sampel

1. Populasi

Populasi merupakan orang, hewan, tumbuhan, benda-benda, gejala, nilai tes, atau peristiwa yang menjadi subjek penelitian atau sesuatu yang karakteristiknya hendak diteliti (Rofflin *et al.*, 2021). Populasi dalam penelitian ini adalah mikroorganisme yang tumbuh di kolam air Taman Wisata Air Panas Bora, Sigi.

2. Sampel Penelitian

Sampel merupakan bagian dari populasi yang harus bisa menggambarkan populasi (Rofflin *et al.*, 2021). Pada penelitian ini, sampel yang diambil adalah air dari tiga titik yang berbeda selama 3 hari di pemandian air panas Bora Sigi. Titik satu yaitu kolam pertama yang merupakan sumber air panas nya yang memiliki suhu paling tinggi. Selanjutnya titik dua adalah di kolam tempat penyesuaian suhu dan titik tiga

di tempat pengunjung berendam. Total sampel yang diambil selama 3 hari di 3 titik yaitu 9 sampel.

C. Identifikasi Variabel Penelitian dan Definisi Operasional

1. Variabel Penelitian

a. Variabel Bebas (*Independen*)

Air Kolam di Pemandian Air Panas Bora Sigi

b. Variabel Terikat (*Dependen*)

Keberadaan Bakteri *Proteus mirabilis* dengan Kultur dan Morfologi

2. Definisi Operasional

Tabel 2. Definisi Operasional

| Variabel | Definisi Operasional | Alat Ukur | Hasil Ukur | Skala Ukur |
|--|--|------------------------------------|--|------------|
| Variabel Bebas | Air kolam pemandian air panas Bora yang terdapat 3 titik kolam yang berbeda dan di ambil pada 3 waktu yang berbeda (9 sampel air). | Gelas ukur | 1. Hari 1 Sampel 1a Sampel 1b Sampel 1c 2. Hari 2 Sampel 2a Sampel 2b Sampel 3c 3. Hari 3 Sampel 3a Sampel 3b Sampel 3c | Nominal |
| Air kolam pada pemandian air panas Bora Sigi | Mengidentifikasi koloni bakteri dari hasil kultur yang tumbuh | <i>Nutrient agar</i> dan Mikroskop | Koloni : Bentuk, Ukuran, | Rasio |
| Variabel Terikat | | | | |
| Keberadaan bakteri | | | | |

| | | | | |
|--|---|--|---|--|
| <i>Proteus mirabilis</i> dengan Kultur dan Morfologi | pada media <i>Nutrient agar</i> , kemudian koloni tersebut dibuat sediaan <i>slide</i> (Pewarnaan gram) dan diamati morfologinya di mikroskop | | Warna, Tepi, Elevasi Morfologi : <i>Kokus, Basil, Vibrio, Spiral, Spirochete</i> | |
|--|---|--|---|--|

D. Instrumen Penelitian

1. Alat Penelitian

- a) Mikroskop Cahaya
- b) Kaca objek & kaca penutup
- c) Loop ose dan jarum inokulasi
- d) Bunsen
- e) Cawan petri
- f) Tabung reaksi & rak tabung
- g) Inkubator
- h) Pipet mikro dan manual
- i) Autoklaf
- j) Tabung reaksi
- k) Termos/botol sampel
- l) Gayung

2. Bahan Penelitian

- a) Media nutrient agar (NA)
- b) Pewarna gram (krista violet, iodin, alkohol, safranin)
- c) Minyak imersi
- d) Aquadest
- e) Larutan fisiologi (NaCl 0,85%)

f) Aluminium foil

E. Prosedur Penelitian

1. Pengambilan Sampel

Sebanyak 300 mL sampel air panas diambil dari kedalaman sekitar 10 cm pada tiga lokasi berbeda. Pengukuran suhu dilakukan dengan mencelupkan termometer di setiap titik pengambilan hingga mencapai suhu stabil, kemudian nilai tersebut dicatat. Pengukuran tambahan juga dilakukan terhadap suhu air setelah berada dalam wadah penampungan (gayung).

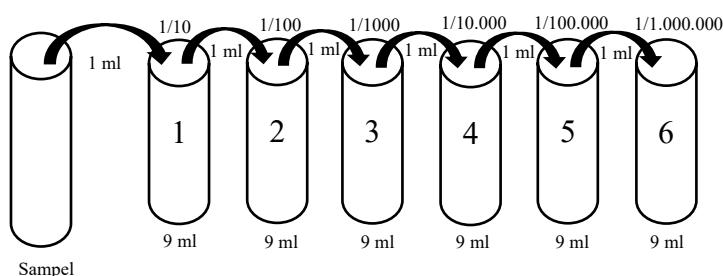
Botol sampel ditutup rapat, dibungkus menggunakan aluminium foil, dan dilengkapi dengan label identifikasi. Sampel kemudian dibawa menuju Laboratorium FMIPA Program Studi Farmasi UNTAD. Analisis sampel dilakukan dalam waktu 24 jam pasca pengambilan untuk memastikan validitas hasil.

2. Pembuatan Media Natrium Agar

Medium NA dibuat dengan menimbang 23 gram NA, kemudian dimasukkan ke dalam *beaker glass* dan dicampur dengan 1000 mL aquades. Campuran tersebut dipanaskan hingga mendidih sambil diaduk menggunakan magnetic stirer sampai larut sempurna. Setelah itu, medium ditutup dengan kapas dan disterilisasi dalam autoklaf pada suhu 121°C dan tekanan 1 atm selama 15 menit. Setelah sterilisasi selesai, medium dituang ke dalam cawan petri dengan volume 20 mL per cawan.

3. Kultur Bakteri

Pengenceran Sampel



Gambar 12. Pengenceran (Ulilalbab *et al.*, 2023)

Sampel yang sudah diambil dari air pemandian air panas bora, Sigi. Dilakukan pengenceran sebanyak 6 kali. Dengan campuran 9 ml aquadest dan 1 ml sampel. Seperti pada (*Gambar 6*), pada pengenceran -1 di tambahkan 1 ml sampel dan di vortex menjadi 1/10. Pada pengenceran -2 tambahkan 1 ml dari pengenceran 1 (1/10) menjadi 1/100, pengenceran -3 tambahkan 1 ml dari pengenceran 1 (1/100) menjadi 1/1.000, pengenceran -4 tambahkan 1 ml dari pengenceran 1 (1/1000) menjadi 1/10.000, pengenceran -2 tambahkan 1 ml dari pengenceran 1 (1/10.000) menjadi 1/100.000, pengenceran -2 tambahkan 1 ml dari pengenceran 1 (1/100.000) menjadi 1/1.000.000 (Ulilalbab *et al.*, 2023)

Pembuatan Kultur Bakteri

Sampel yang digunakan untuk pertumbuhan bakteri adalah pengenceran -2 sampai -5. Pembuatan kultur dilakukan dengan menambahkan 1 ml pengenceran -2 ke cawan petri dan ditambahkan 20 ml nutrient agar setelah itu dihomogenkan dan diinkubasi selama 24 jam di suhu 37 derajat celcius. Begitupun pada pengenceran sampel -3, -4, dan -5.

4. Inokulasi Bakteri

Sterilisasi alat dengan memanaskan loop ose dalam api Bunsen hingga berpijar. Selanjutnya inokulasi sampel dengan mengambil koloni dari NA. Oleskan pada media Nutrient Agar (NA) menggunakan teknik goresan kuadran dan di inkubasi selama 24 jam di suhu 37 derajat.

5. Pewarnaan Gram

Ambil koloni bakteri dari media agar menggunakan loop ose steril. Buat apusan bakteri pada kaca objek dan keringkan. Fiksasi dengan memanaskan kaca objek sebentar di atas api Bunsen. Tambahkan Kristal violet (2 menit), bilas dengan air dan fiksasi. Tambahkan Lugol (iodin) (1 menit), bilas dengan air dan fiksasi. Tambahkan Alkohol 95% (5-10 detik), bilas dengan air. Tambahkan Safranin (1 menit), bilas dengan air dan keringkan. Amati di bawah mikroskop perbesaran 100 \times (minyak imersi).

F. Analisis Data

Hasil data yang diperoleh pada semua tahapan penelitian dianalisis secara deskriptif, yakni dengan memberikan penjelasan data yang diperoleh disajikan dengan tabel dan gambar.

G. Etika Penelitian

Penelitian ini melibatkan instansi terkait dalam identifikasi *Proteus mirabilis* di Taman Wisata Pemandian Air Panas Bora, Kabupaten Sigi. Prinsip etika penelitian diterapkan secara ketat untuk menjamin hak, kerahasiaan, dan keamanan partisipan, mengacu pada Pernyataan Komisi Etik No. 5990/UN28.10/KL/2025. Tiga prinsip utama etika yang diterapkan adalah:

1. *Legality*

Penelitian telah mendapatkan izin resmi dari instansi terkait, disertai surat pengantar dari institusi pendidikan dan persetujuan pelaksanaan uji coba. Seluruh prosedur dilaksanakan sesuai peraturan yang berlaku.

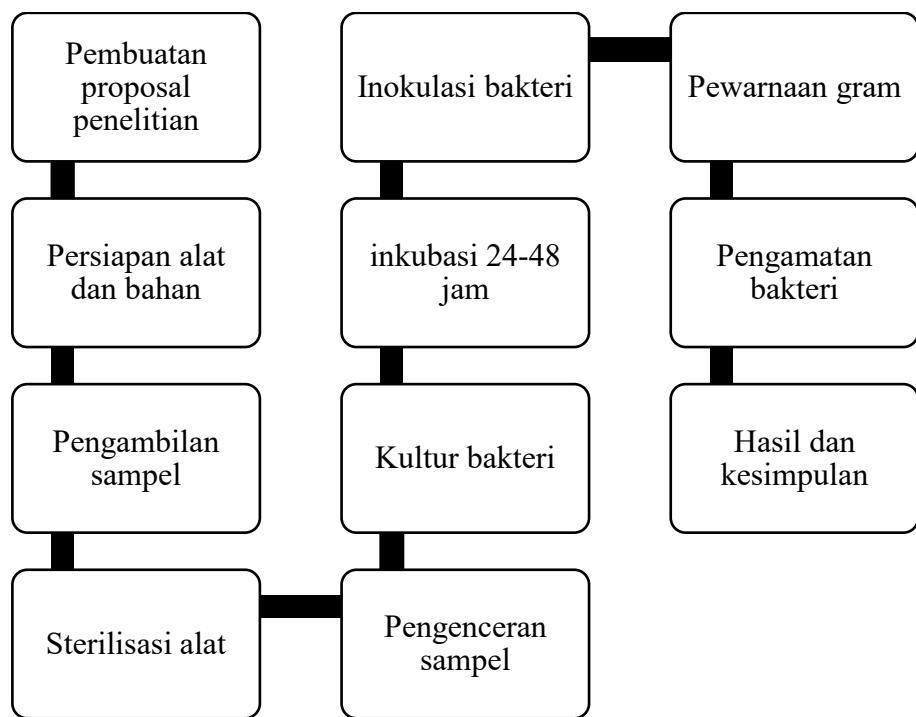
2. *Anonymity*

Identitas partisipan dirahasiakan menggunakan kode unik. Informasi pribadi seperti nama, alamat, atau data sensitif tidak dicantumkan atau disebarluaskan.

3. *Confidentiality*

Seluruh data yang diperoleh dijaga kerahasiaannya dan hanya digunakan untuk keperluan penelitian. Data disimpan dengan sistem keamanan yang memadai dan tidak akan diberikan kepada pihak lain tanpa persetujuan tertulis.

H. Alur Penelitian



Gambar 13. Alur Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum Lokasi dan Sampel Penelitian

1. Taman Wisata Pemandian Air Panas Bora Sigi

Taman Wisata Pemandian Air Panas Bora terletak di Desa Bora, Kecamatan Sigi Biromaru, Kabupaten Sigi, Provinsi Sulawesi Tengah. Lokasi ini berada sekitar 15 kilometer dari Kota Palu, ibu kota provinsi. Dikelilingi oleh perbukitan dan pepohonan tropis yang rindang, kawasan ini menawarkan suasana alam yang asri dan sejuk. Sumber air panas alami yang mengalir di lokasi ini berasal dari aktivitas geothermal di bawah permukaan tanah, menjadikan pemandian ini populer sebagai tempat rekreasi dan terapi kesehatan. Fasilitas umum seperti kolam rendam, kamar bilas, area parkir, serta kios makanan turut menunjang kenyamanan pengunjung.



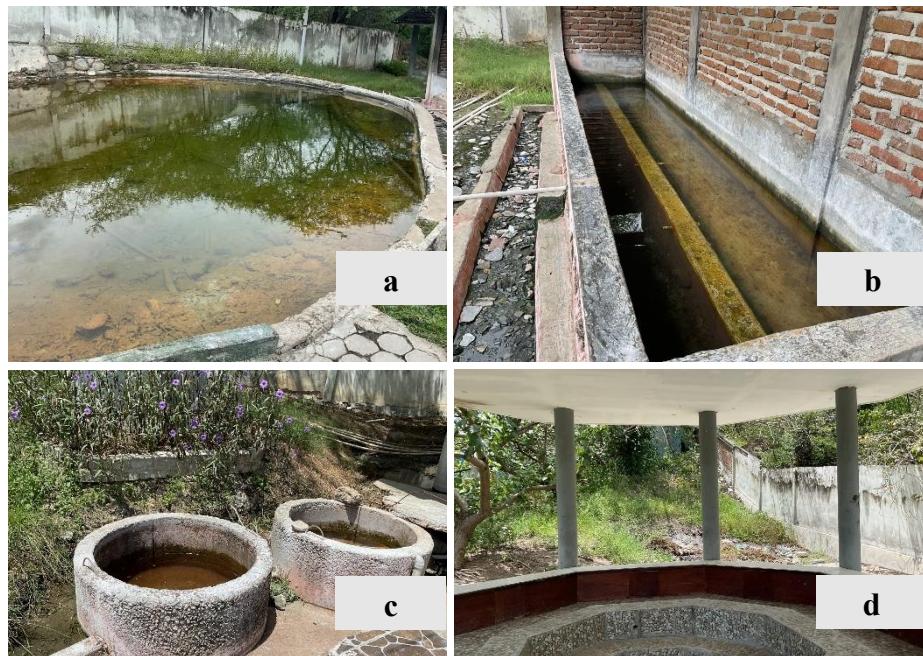
Gambar 14. Kelurahan Bora. Kabupaten Sigi. Sulawesi Tengah

Terdapat tiga kolam air panas pada Taman Wisata Pemandian Air Panas Bora. Kolam pertama merupakan sumber utama air panas yang mempunyai ukuran cukup besar (Gambar 15a). Pada kolam pertama

mempunyai suhu 50-60°C, mempunyai karakteristik air jernih kekuningan dan pada dasar kolam terdapat benda-benda seperti sampah.

Kolam kedua merupakan tempat menstabilkan suhu air sebelum dialirkan ke kolam ketiga. Bangunan kolam ini merupakan bangunan yang dibuat oleh pengelola dengan bentuk seperti bak mandi persegi panjang dengan atap yang menutupinya (Gambar 15b). Terdapat pipa untuk pengaliran air dari kolam pertama ke kolam kedua dan pipa untuk mengalirkan air yang sudah distabilkan suhunya ke kolam ketiga. Karakteristik air pada kolam ini jernih dan mempunyai suhu rata rata 40-50°C.

Kolam terakhir atau kolam ketiga yaitu tempat berendam nya para pengunjung. Pada kolam ini terdapat dua penampungan, penampungan pertama menggunakan dua buis beton yang airnya selalu (Gambar 15c). Penampungan kedua merupakan bangunan untuk pengunjung merendam kaki atau badan dengan bentuk gazebo kecil disertai kolam bertingkat di tengahnya (Gambar 15d). Pada penampungan kedua di kolam ketiga airnya tidak selalu ada karena bergantung dengan pengunjung yang datang.



Gambar 15. Titik kolam permandian air panas Bora Sigi (a kolam 1, b kolam 2, c&d Kolam 3)

2. Deskripsi Sampel

Pengambilan sampel dilakukan dari tiga titik berbeda di kolam selama tiga kali di hari yang berbeda, sehingga total diperoleh sembilan sampel air. Pengambilan sampel secara aseptik menggunakan sarung tangan, masker dan jas laboratorium. Pada setiap titik pengambilan dilakukan pengukuran suhu air kolam terlebih dahulu setelah itu suhu diukur pada saat di wadah pengambilan dan di ukur kembali pada saat sampai di laboratorium untuk menilai perbedaan suhu di setiap perlakuan.

Tabel hasil sampel menunjukkan pengamatan tiga titik kolam selama tiga hari, mencakup suhu, aroma, dan warna air. Titik 1 memiliki suhu tertinggi dengan rata-rata suhu awal 56,67 °C, wadah 56 °C, dan laboratorium 53,33 °C, beraroma belerang dan berwarna kuning kehijauan. Titik 2 memiliki rata-rata suhu awal 42 °C dan tidak beraroma dengan air jernih, sedangkan titik 3 bersuhu rata-rata 40,67 °C dan berwarna kuning tanpa aroma. Perbandingan ini menunjukkan bahwa titik 1 jauh lebih panas, dengan penurunan suhu di laboratorium sekitar 2–3 °C, kemungkinan akibat pendinginan saat pengangkutan. Berikut adalah tabel sampel penelitian:

Tabel 3. Sampel penelitian

| Titik Kolam | Waktu | Suhu awal | Suhu di wadah | Suhu di laboratorium | Rata-rata suhu setiap kolam | Aroma | Warna | Keberadaan <i>Proteus mirabilis</i> |
|------------------------|--------------|----------------------|--------------------------|---------------------------------|--|----------------|------------------|--|
| Hari 1 | | | | | | | | |
| 1 | 10.55 | 56 °C | 56 °C | 53 °C | 55 °C | Belerang | Kuning kehijauan | Ada |
| 2 | 11.02 | 40 °C | 40 °C | 42 °C | 40,6 °C | Tidak beraroma | Jernih | Ada |
| 3 | 11.11 | 40 °C | 40 °C | 41 °C | 40,3 °C | Tidak beraroma | Kuning | Ada |
| Hari 2 | | | | | | | | |
| 1 | 10.35 | 58 °C | 56 °C | 54 °C | 56 °C | Belerang | Kuning kehijauan | Tidak ada |
| 2 | 10.40 | 44 °C | 44 °C | 41 °C | 43 °C | Tidak beraroma | Jernih | Ada |
| 3 | 10.46 | 40 °C | 40 °C | 38 °C | 39,3 °C | Tidak beraroma | Kuning | Tidak ada |
| Hari 3 | | | | | | | | |
| 1 | 10.10 | 56 °C | 56 °C | 53 °C | 55 °C | Belerang | Kuning kehijauan | Ada |
| 2 | 10.20 | 42 °C | 42 °C | 40 °C | 41,3 °C | Tidak beraroma | Jernih | Tidak ada |
| 3 | 10.15 | 42 °C | 42 °C | 39 °C | 41 °C | Tidak beraroma | Kuning | Tidak ada |

(Sumber: Data Primer, 2025)

B. Hasil Penelitian

1. Pemeriksaan Kultur Bakteri

Pemeriksaan kultur adalah metode diagnostik mikrobiologi yang digunakan untuk menumbuhkan mikroorganisme (seperti bakteri, jamur, atau virus) dari sampel klinis (misalnya darah, urin, feses, sputum, luka, air dll.) dalam media pertumbuhan tertentu untuk mengidentifikasi jenis patogen penyebab infeksi. Pada kali ini menggunakan sampel air dari tiga titik kolam diencerkan sebanyak enam kali pengenceran. Dimana setiap sampel akan diambil tiga sampai lima pengenceran dari pengenceran untuk dikultur di media Nutrient Agar dengan perbandingan 1 ml untuk sampel dan 20 ml untuk Nutrient Agar. Sampel akan diinkubasi selama 24 – 48 jam di suhu 37°C. Setelah itu media akan diamati karakteristik koloninya.

Berdasarkan hasil kultur menggunakan media Natrium Agar jumlah dan karakteristik koloni sangat bervariasi. NA merupakan media umum untuk pertumbuhan koloni bakteri maupun jamur. Untuk perhitungan jumlah koloni bisa menggunakan CFU/ml (*Colony Forming Units per milliliter*). Perhitungan ini digunakan untuk menghitung jumlah sel bakteri hidup per mililiter sampel asli, dan bisa digunakan jika jumlah koloni 30-300, kurang atau lebih dari itu tidak bisa dihitung dengan CFU/ml. Berikut adalah tabel hasil kultur sampel dan tabel koloni yang menunjukkan karakteristik bakteri *Proteus mirabilis*:

Tabel 4. Hasil Kultur Bakteri

| Hari | Kolam | Pengenceran | Jumlah koloni | Warna koloni | Karakteristik koloni |
|-------------|--------------|--------------------|----------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 1 | -1 | ∞ | Putih keruh | Bulat, beberapa tepi rata |
| | | -2 | ± 45 | Putih keabuan | Bulat tepi halus |
| | | -3 | ± 3 | Putih kekuningan | Koloni besar dan kasar |
| 1 | 2 | -3 | ± 30 | Putih krem | Bulat, licin, dan kasar |
| | | -4 | ± 40 | Putih krem pucat | Bulat tepi halus |
| | | -5 | ± 20 | Krem kekuningan | Besar tepi tidak teratur |
| 1 | 3 | -1 | ∞ | Putih krem | Banyak koloni menyatu |
| | | -2 | ± 250 | Putih susu | Bulat kecil merata |
| | | -3 | ± 75 | Putih kekuningan | Bulat merata |
| | | -4 | ± 60 | Putih susu | Bulat mengkilap |
| | | -5 | ± 30 | Putih krem | Bulat hanya di satu sisi |
| 2 | 1 | -1 | ∞ | Putih krem | Koloni padat, kecil-sedang, halus |
| | | -2 | ± 180 | Putih kekuningan | Kecil, permukaan licin dan cembung |
| | | -3 | ± 35 | Krem, abu-abu | Koloni besar bergerigi |
| | | -4 | ± 45 | Putih kekuningan | Kecil, bulat, permukaan halus |
| 2 | 2 | -1 | ∞ | Putih, krem, kekuningan | Koloni padat, bulat |
| | | -2 | ± 150 | Putih krem | Ukuran bervariasi, cembung, tersebar |
| | | -3 | ± 45 | Krem kekuningan | Bulat permukaan halus |
| | | -4 | ± 5 | Transparan | Sedikit titik kecil |
| | | -5 | ± 20 | Putih krem | Kemungkinan jamur |
| 2 | 3 | -2 | ± 60 | Krem, putih | Bulat, permukaan rata – cembung |
| | | -3 | ± 120 | Putih kream | Bulat, kecil, merata |
| | | -4 | ± 8 | Putih keabuan | Koloni besar, permukaan bercak |

| | | | | | |
|----------|---|----|----------|-----------------------|---------------------------------------|
| | | -5 | ± 2 | Putih krem | Koloni besar berbulu |
| 3 | 1 | -1 | ± 75 | Krem, kuning pucat | Kecil hingga sedang, bulat dan merata |
| | | -2 | ± 35 | Krem kekuningan | Bulat sedang, tidak merata |
| | | -3 | ± 15 | Transparan, krem | Tidak padat, koloni besar-sedang |
| 3 | 2 | -1 | ± 25 | Krem transparan | Besar menyatu,tidak merata |
| | | -2 | ± 40 | Krem kekuningan | Bulat kecil-sedang, tepi tidak rata |
| | | -3 | ± 30 | Krem pucat | Seperti rantai, bentuk bervariasi |
| 3 | 3 | -1 | ± 50 | Kerem agak transparan | Ukuran bervariasi. Bulat menyatu |
| | | -2 | ± 20 | Krem pucat | Bulat kecil, menyebar merata |
| | | -3 | ± 35 | Krem agak gelap | Nulat besar tepi halus |

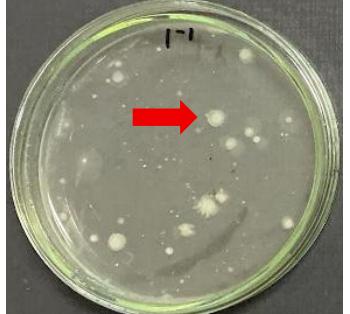
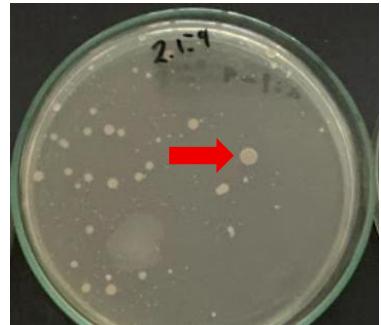
(Sumber: Data Primer, 2025)

Keterangan:

∞ : tak terhingga (>300)

\pm : kurang lebih

Tabel 5. Identifikasi Koloni *Proteus mirabilis*

| Sampel | Karakteristik | Gambar |
|------------------|---|--|
| H1.1 (-1) | Bulat, putih keruh, transparan di bagian tepi seperti lapisan tipis yang menandakan <i>swarming</i> , tepi tidak rata. |  |
| H1.2 (-4) | Bulat sedang, putih kekuningan, tepi agak pudah dan terdapat lapisan di tepinya (<i>swarming</i>), tepi rata. |  |
| H1.3 (-2) | Bulat sedang, putih keruh kekuningan, transparan di bagian tepi seperti lapisan tipis yang menandakan adanya <i>swarming</i> , permukaan halus. |  |
| H2.2 (-2) | Bulat sedang, putih kekuningan, transparan di sebagian sisi (<i>swarming</i>), tepi tidak rata. |  |

| | | |
|------------------|--|--|
| H3.1 (-3) | Bulat kecil-sedang, tampak lebih jelas di tengah dan tepinya transparan/samar dengan media, tepi tidak rata. |  |
|------------------|--|--|

(Sumber: Data Primer, 2025)

Keterangan :

H1 = Hari

.1 = Kolam 1

(-1) = Pengenceran

Hasil pengamatan pada tahap ini tentunya membutuhkan pemeriksaan lebih lanjut seperti pemeriksaan gram dan uji biokim (Ifandi, *et al.*, 2023). Pemeriksaan kultur pada media NA hanya untuk menumbuhkan berbagai jenis bakteri gram positif, bakteri gram negatif hingga jamur. Pertumbuhan bakteri pada pemeriksaan kultur dipengaruhi beberapa faktor, seperti media kultur, suhu inkubasi, tingkat keasaman (pH) dan sterilisasi alat ataupun penggerjaan nya (Wardhani., *et al.*, 2020).

2. Pemeriksaan Morfologi Dengan Pewarnaan Gram

Pemeriksaan Gram atau pewarnaan Gram adalah metode pewarnaan mikroskopik yang digunakan untuk membedakan jenis bakteri berdasarkan komposisi dinding selnya. Tujuan pemeriksaan ini untuk menentukan bakteri gram negatif atau positif dan untuk melihat morfologi sel bakteri. Sebanyak 9 sampel diperiksa menggunakan metode pewarnaan Gram dan pengamatan morfologi koloni. Dari seluruh sampel, ditemukan beberapa jenis bakteri Gram-positif dan Gram-negatif. Berikut adalah tabel distribusi hasil pewarnaan gram dari sampel:

Tabel 6. Distribusi Jenis Bakteri

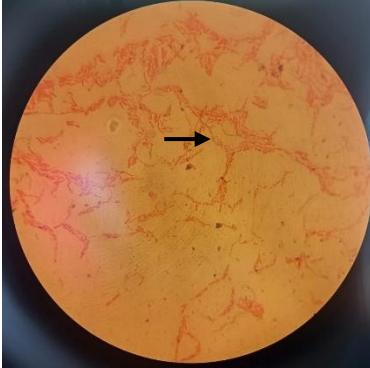
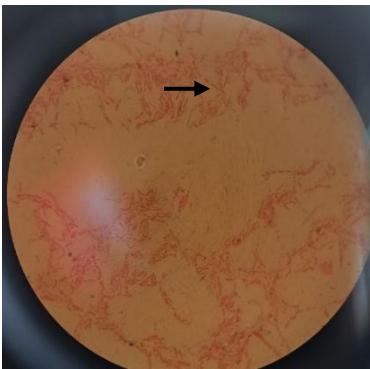
| Hari | Kolam | Rata-rata suhu sampel | Bakteri | Gram | Sifat suhu |
|-------------|--------------|------------------------------|------------------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 1 | 55 °C | <i>Proteus mirabilis</i> | Negatif | Mesofilik |
| | | | <i>Staphylococcus aureus</i> | Positif | Mesofilik |
| | | | <i>Escherichia coli</i> | Negatif | Mesofilik |
| | 2 | 40,6 °C | <i>Proteus mirabilis</i> | Negatif | Mesofilik |
| | | | <i>Aureginosa sp.</i> | Negatif | Mesofilik |
| | | | <i>Salmonella tippy</i> | Negatif | Mesofilik |
| 2 | 3 | 40,3 °C | <i>Staphylococcus aureus</i> | Positif | Mesofilik |
| | | | <i>Proteus mirabilis</i> | Negatif | Mesofilik |
| | | | <i>Escherichia coli</i> | Negatif | Mesofilik |
| | | | <i>Salmonella tippy</i> | Negatif | Mesofilik |
| | | | <i>Campylobacter sp.</i> | Negatif | Termofilik |
| | | | <i>Salmonella tippy</i> | Negatif | Mesofilik |
| 3 | 1 | 56 °C | <i>Escherichia coli</i> | Negatif | Mesofilik |
| | | | <i>Proteus mirabilis</i> | Negatif | Mesofilik |
| | | | <i>Streptobacillus</i> | Negatif | Mesofilik |
| | 2 | 43 °C | <i>Escherichia coli</i> | Negatif | Mesofilik |
| | | | <i>Staphylococcus aureus</i> | Positif | Mesofilik |
| | | | <i>Escherichia coli</i> | Negatif | Mesofilik |
| 3 | 3 | 39,3 °C | <i>Campylobacter sp.</i> | Negatif | Termofilik |
| | | | <i>Staphylococcus aureus</i> | Positif | Mesofilik |
| | | | <i>Escherichia coli</i> | Negatif | Mesofilik |
| | 1 | 55 °C | <i>Campylobacter sp.</i> | Negatif | Termofilik |
| | | | <i>Staphylococcus aureus</i> | Positif | Mesofilik |
| | | | <i>Proteus mirabilis</i> | Negatif | Mesofilik |
| 3 | 2 | 41,3 °C | <i>Escherichia coli</i> | Negatif | Mesofilik |
| | | | <i>Staphylococcus aureus</i> | Positif | Mesofilik |
| | | | <i>N. gonorrhoe</i> | Negatif | Mesofilik |
| | | | <i>Staphylococcus aureus</i> | Positif | Mesofilik |

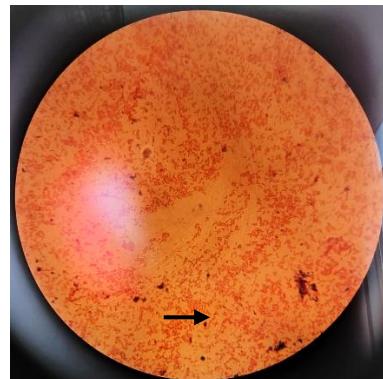
| | | | | |
|---|-------|------------------------------|---------|-----------|
| | | <i>Streptobacillus</i> | Negatif | Mesofilik |
| | | <i>Bacillus anthracis</i> | Positif | Mesofilik |
| 3 | 41 °C | <i>Staphylococcus aureus</i> | Positif | Mesofilik |
| | | <i>Escherichia coli</i> | Negatif | Mesofilik |
| | | <i>Salmonella tippy</i> | Negatif | Mesofilik |

(Sumber: Data Primer, 2025)

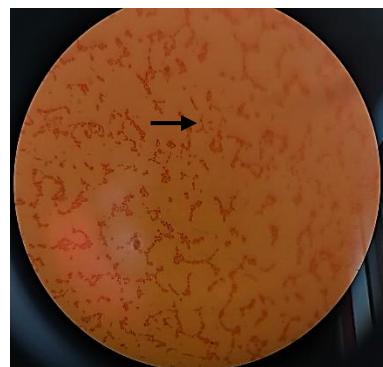
Tabel 6 menunjukkan distribusi jenis bakteri berdasarkan jumlah isolat, karakter pewarnaan Gram, sifat suhu pertumbuhan, serta persentase kemunculannya dari total 30 isolat yang diperoleh. Berdasarkan Tabel 6, *Proteus mirabilis* merupakan salah satu bakteri yang cukup dominan ditemukan dalam sampel, dengan jumlah 5 isolat dari total 30, atau sebesar 16,67%. Bakteri ini termasuk ke dalam kelompok Gram negatif, berbentuk batang, dan bersifat mesofilik, artinya tumbuh optimal pada suhu sedang sekitar 37°C. Berikut adalah tabel hasil gambaran mikroskopis bakteri *Proteus mirabilis*:

Tabel 7. Hasil Pewarnaan Gram dan Karakteristik Sel

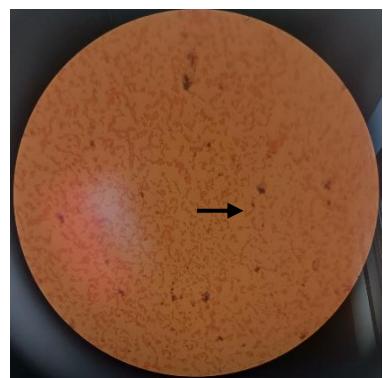
| Kode Sampel | Gram | Mikroskopik | Gambaran sel |
|------------------|---------|--|--|
| H1.1 (-1) | Negatif |  | Berbentuk batang (basil) panjang, sel berwarna merah, sel bergerombol atau tampak saling menempel. |
| H1.2 (-4) | Negatif |  | Berbentuk batang (basil) panjang, sel berwarna merah, sel bergerombol atau tampak saling menempel. |

H1.3 (-2) Negatif

Berbentuk batang (basil) kecil sampai sedang, sel berwarna merah muda, sel tampak tersebar.

H2.2 (-2) Negatif

Berbentuk batang (basil) kecil, sel berwarna merah, kelompok sel tersebar rata.

H3.1 (-3) Negatif

Berbentuk batang (basil) kecil, sel berwarna merah, kelompok sel tersebar rata.

(Sumber: Data Primer, 2025)

Keterangan :

H1 = Hari 1

.1 = Kolam 1

(-1) = Pengenceran

C. Pembahasan

Taman Wisata Pemandian Air Panas Bora terletak di Desa Bora, Kecamatan Sigi Biromaru, Kabupaten Sigi, Provinsi Sulawesi Tengah. Secara geografis, kawasan ini berada di wilayah kaki pegunungan yang termasuk dalam jajaran Pegunungan Gawai, dengan elevasi yang relatif rendah namun cukup dekat dengan kawasan pegunungan vulkanik aktif. Keberadaan sumber air panas di Bora ini berkaitan erat dengan aktivitas geotermal di bawah permukaan bumi yang masih aktif di wilayah Sulawesi Tengah, yang secara tektonik termasuk dalam kawasan rawan gempa karena berada di zona pertemuan Lempeng Eurasia dan Indo-Australia. Keunggulan geografis ini menjadikan Taman Bora tidak hanya menarik sebagai destinasi rekreasi, tetapi juga sebagai lokasi potensial untuk penelitian geologi dan pemanfaatan energi panas bumi (geothermal) secara berkelanjutan. Selain itu, lokasi ini memiliki akses yang cukup mudah dari Kota Palu, menjadikannya destinasi favorit masyarakat lokal dan wisatawan domestik

Sampel yang dipilih pada penelitian ini adalah air kolam dari pemandian air panas Bora Sigi. Air dipilih karena merupakan habitat yang ideal untuk pertumbuhan bakteri ataupun mikroorganisme yang lainnya. Menurut Apriani *et al.*, (2022), dalam buku Bakteriologi Untuk Mahasiswa Kesehatan menyebutkan bahwa air adalah komponen penting yang dibutuhkan untuk mendukung kehidupan bakteri. Lingkungan yang memiliki tingkat kelembaban tinggi atau dalam kondisi basah sangat mendukung pertumbuhan dan kelangsungan hidup bakteri. Sebagian besar bakteri dapat tumbuh dan berkembang secara optimal pada media yang lembab serta di udara yang mengandung kadar air tinggi.

Sampel pada penelitian ini dinilai suhu dan karakteristik air nya dan diambil selama 3 hari. Perubahan suhu di setiap waktu tidak terlalu signifikan karena kami menggunakan botol tahan panas dan dibungkus dengan alumunium foil. Suhu pada sampel air tergolong tinggi dibandingkan dengan air tanah lainnya, terutama pada kolam 1 yang merupakan sumber mata air panas. Meskipun suhu air panas mampu membunuh sebagian mikroorganisme, kondisi

geologis alami ini justru menjadi habitat yang sesuai bagi kelompok mikroorganisme tertentu, termasuk bakteri yang bersifat kosmopolit (Harahap *et al.*, 2024).

Berdasarkan tabel 3 karakteristik sampel, menunjukkan perbandingan rata-rata yang tidak signifikan dari suhu awal di kolam hingga sampai di laboratorium. Hal ini bertujuan untuk menjaga konsistensi sampel agar mikroorganisme yang terkandung di sampel tidak mengalami perubahan. Sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Narsing Rao *et al.*, (2021), menunjukkan bukti bahwa beberapa bakteri dapat menyesuaikan habitatnya dari suhu, pH maupun kandungan air tersebut.

Penelitian yang dilakukan oleh Massora *et al.*, (2022) membuktikan bahwa umumnya bakteri yang ditemukan adalah bakteri termofilik yang hidup di suhu 50°C. Tetapi, pada penelitian kali ini ada beberapa bakteri non termofilik yang ditemukan pada sampel, kemungkinan karena faktor lingkungan atau adanya adaptasi fisiologi pada bakteri yang hidup di suhu tinggi. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Alrumman *et al.*, (2019) dimana dari total 84 isolat bakteri, sebanyak 50 (59,52%) isolat menunjukkan kemampuan antimikroba dengan efek antagonis terhadap satu atau lebih patogen manusia yang diuji, seperti *Candida albicans*, *Proteus mirabilis*, *Staphylococcus aureus*, *Shigella*, dan *Klebsiella pneumoniae*. Bakteri tersebut termasuk dalam bakteri mesofilik yang hidup di suhu 30–37°C.

Media kultur bakteri merupakan suatu bahan yang mengandung nutrisi yang dibutuhkan untuk menumbuhkan atau mengembangiakkan bakteri secara in vitro di laboratorium. Selain sebagai tempat pertumbuhan, media ini juga berperan penting dalam pengujian karakter fisiologis dan biokimiawi bakteri, serta digunakan untuk menghitung jumlah bakteri yang ada (Apriani *et al.*, 2022). Media *Natrium agar* (NA) dipilih karena merupakan media yang umum digunakan untuk menumbuhkan mikroorganisme seperti bakteri.

Hasil pemeriksaan kultur dari sampel air menunjukkan pertumbuhan mikroorganisme yang sangat beragam baik dalam jumlah maupun morfologi koloninya. Variasi warna seperti putih keruh, putih kekuningan, krem, hingga

abu-abu, serta karakteristik koloni seperti bentuk bulat, permukaan kasar, licin, tepi halus atau tidak teratur, menunjukkan keberadaan berbagai jenis mikroorganisme, kemungkinan terdiri dari bakteri dan jamur. Sampel air dilakukan pengenceran seri bertingkat (*serial dilution*) untuk mengurangi jumlah mikroorganisme agar koloni dapat tumbuh secara terpisah di media agar, sehingga dapat dihitung secara akurat sebagai CFU/mL (*colony forming unit per milliliter*). Jumlah koloni yang teramat bervariasi tergantung pada tingkat pengenceran yang digunakan, sebagaimana yang dibuktikan oleh Azzahra *et al.*, (2021), bahwa semakin rendah pengenceran semakin padat pula pertumbuhan koloninya.

Berdasarkan tabel 4, hasil kultur bakteri memiliki jumlah koloni yang bervariasi. Pada pengenceran -1 (1/10), sebagian besar sampel menunjukkan pertumbuhan koloni yang sangat padat hingga menyatu, sehingga tidak dapat dihitung. Sementara itu, pada tabel 4, pengenceran yang lebih tinggi jumlah koloni menjadi lebih terukur misalnya koloni yang berjumlah ± 45 , ± 150 , ini memungkinkan dilakukan estimasi populasi mikroba asli dalam sampel melalui perhitungan CFU. Rumus CFU sebagai berikut:

$$\text{CFU/ml} = \frac{\text{Jumlah koloni}}{\text{Volume inokulasi (ml)}} \times \text{Faktor pengenceran}$$

Keterangan:

Perhitungan ini bisa diulang untuk sampel lain yang jumlah koloninya masih bisa dihitung secara valid (biasanya antara 30–300 koloni).

Berdasarkan tabel 5, Hasil kultur yang diduga merupakan koloni *Proteus mirabilis* pada media Nutrient Agar (NA) menunjukkan morfologi khas yang mendukung identifikasi awal terhadap bakteri ini. Pada sampel koloni tampak berbentuk bulat dengan warna putih keruh hingga kekuningan dan menunjukkan fenomena *swarming*, yaitu pertumbuhan menyebar yang merupakan karakteristik khas *P. mirabilis* (Chakkour, Hammoud, Farhat, *et al.*, 2024). Fenomena *swarming* pada *Proteus mirabilis* ditandai oleh pola koloni berlapis (*bull's-eye concentric rings*) dengan tepi yang tipis dan halus yang mencerminkan gelombang sel hipermotil di permukaan padat (Chakkour,

Hammoud, Farhat, *et al.*, 2024). Secara fisiologis, sel bakteri mengalami diferensiasi menjadi sel-*swarmed* yang memanjang hingga 20–40 × panjang sel vegetatif dan memproduksi *flagela peritrik* lebih, serta mengeluarkan *polisakarida* atau biosurfaktan yang melicinkan permukaan agar sehingga memfasilitasi pergerakan tertata dalam bentuk raft sel → sel bergerak keluar → berhenti → membelah → bergerak lagi, menghasilkan pola berlapis tipis dan rata sebagai manifestasi visualnya (Little *et al.*, 2019).

Pada tabel 5, Beberapa koloni dicurigai sebagai pertumbuhan bakteri *Proteus mirabilis*, sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Arya Sukman Jaya *et al.*, (2023) dan Hao *et al.*, (2023), yang menunjukkan karakteristik koloni tampak tidak berwarna, transparan, halus dan motil. Pada uji biokim *Proteus mirabilis* menunjukkan hasil indol negatif karena tidak memiliki atau tidak mengekspresikan enzim triptofanase yang diperlukan untuk mengubah triptofan menjadi indol. Ia juga bersifat urease positif karena memproduksi enzim urease yang menghidrolisis urea menjadi amonia dan karbon dioksida, yang menyebabkan kenaikan pH dan perubahan warna indicator (Madigan *et al.*, 2021). Selain itu, *P. mirabilis* dapat melakukan fermentasi glukosa tanpa menghasilkan gas, karena menggunakan jalur metabolismik yang hanya menghasilkan asam (seperti asam laktat atau asetat), tanpa pembentukan gas seperti CO₂ atau H₂. Sebaliknya, jika suatu bakteri memfermentasi glukosa dengan gas, hal ini menandakan adanya jalur fermentatif yang melibatkan enzim penghasil gas, dan menunjukkan potensi fisiologis yang berbeda dalam adaptasi lingkungan atau identifikasi mikrobiologis. Keberadaan bakteri ini penting untuk diperhatikan karena dapat menyebabkan infeksi saluran kemih, luka, bahkan septikemia, terutama pada individu dengan sistem imun yang lemah (Cappuccino & Welsh, 2020).

Kondisi suhu tinggi di pemandian air panas tidak serta-merta membunuh semua mikroorganisme. *P. mirabilis* termasuk bakteri yang dapat bertahan pada rentang suhu yang cukup luas dan mampu membentuk biofilm sebagai mekanisme pertahanan (Stolarek *et al.*, 2023). Faktor-faktor seperti kebersihan kolam, kepadatan pengunjung, dan sirkulasi air yang kurang optimal turut

berperan dalam memperbesar risiko kontaminasi mikroba (Basuki & Warsiyah, 2023). Oleh karena itu, penting untuk dilakukan monitoring rutin terhadap kualitas mikrobiologi air kolam, terutama di tempat wisata alam seperti ini.

Pewarnaan Gram dilakukan dengan tujuan untuk mengidentifikasi jenis bakteri dari isolat, apakah termasuk dalam kelompok bakteri Gram positif atau Gram negatif (Salsabila *et al.*, 2022). Selain untuk menentukan jenis bakteri gram, pewarnaan gram juga bertujuan untuk melihat karakteristik yang nantinya menjadi acuan untuk menentukan jenis bakteri lebih lanjut.

Berdasarkan Tabel 6, *Proteus mirabilis* ditemukan sebanyak 5 isolat dari total 30 isolat bakteri yang diidentifikasi, dengan persentase sebesar 16,67%. Bakteri ini tergolong Gram negatif dan bersifat mesofilik, yaitu tumbuh optimal pada suhu sedang sekitar 20–45°C. Jumlah isolat ini menempatkan *P. mirabilis* sebagai salah satu dari tiga jenis bakteri terbanyak yang ditemukan dalam sampel, setelah *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*.

Kehadiran *Proteus mirabilis* dalam jumlah signifikan menunjukkan kemungkinan kontaminasi fekal atau lingkungan yang mendukung pertumbuhan bakteri enterik oportunistik. *P. mirabilis* dikenal sebagai bakteri patogen oportunistik yang umum ditemukan di lingkungan lembab dan produk limbah, serta sering terlibat dalam infeksi saluran kemih, luka, atau sistemik pada individu dengan daya tahan tubuh rendah. Kemampuannya untuk tumbuh dalam kondisi mesofilik juga menegaskan adaptasi bakteri ini terhadap suhu lingkungan sekitar.

Berdasarkan hasil pewarnaan Gram pada Tabel 7, seluruh sampel yang tumbuh dari koloni diduga bakteri *Proteus mirabilis* menunjukkan hasil Gram negatif. Hal ini sesuai dengan karakteristik umum *Proteus mirabilis*, yang merupakan bakteri Gram negatif berbentuk batang (*basil*). Pewarnaan Gram negatif ditandai dengan tidak tertahannya pewarna kristal violet sehingga sel bakteri tampak berwarna merah muda atau merah akibat pewarnaan safranin. Karakteristik ini mencerminkan struktur dinding sel *P. mirabilis* yang memiliki lapisan *peptidoglikan* tipis dan membran luar *lipopolisakarida*, sehingga tidak mampu mempertahankan pewarna utama. Sebagaimana yang dibuktikan oleh

Salsabila *et al.*, (2023), selama proses pewarnaan Gram, bakteri ini tidak mampu mempertahankan warna ungu dari kristal violet dan justru menyerap pewarna safranin, karena keberadaan lapisan *lipopolisakarida* yang tebal pada membran luarnya.

Keberadaan *Proteus mirabilis* di pemandian air panas Bora Sigi dapat dikaitkan dengan karakteristik ekologis bakteri ini sebagai anggota famili *Enterobacteriaceae* yang umum ditemukan di lingkungan air, khususnya yang terkontaminasi oleh aktivitas manusia. *P. mirabilis* dikenal sebagai bakteri enterik yang dapat bertahan di lingkungan lembap dan kaya bahan organik, termasuk air pemandian yang kurang higienis atau memiliki paparan dari tubuh manusia, seperti melalui urin atau keringat. Hubungannya dengan kasus infeksi saluran kemih akibat kateter (*CAUTIs*), sebagaimana dijelaskan oleh Werneburg, (2022), menunjukkan bahwa *P. mirabilis* memiliki potensi patogenik yang tinggi jika masuk ke sistem tubuh manusia, terutama dalam kondisi imunitas rendah atau paparan luka terbuka. Maka, keberadaannya di pemandian air panas Bora Sigi tidak hanya mencerminkan potensi kontaminasi fekal, tetapi juga menandakan risiko kesehatan masyarakat, khususnya bagi pengguna dengan luka terbuka, gangguan kulit, atau sistem imun lemah. Ini memperkuat pentingnya pengawasan sanitasi di lokasi wisata tersebut.

Selain itu, hasil mikroskopik menunjukkan secara umum, *Proteus mirabilis* dikenal memiliki bentuk batang yang motil dan mampu menunjukkan aktivitas “swarming” pada media padat. Ciri khas ini mendukung identifikasi awal bakteri dalam kultur maupun pewarnaan Gram sebagai bagian dari diagnosis laboratorium (Stolarek *et al.*, 2023). Pada gambar 5 dan 6, bisa menjadi pembanding sekaligus acuan untuk Gambaran karakteristik sel *P. mirabilis* di mikroskop, yakni berbentuk batang dengan tersebar atau bergerombol.

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan adanya dugaan isolat *Proteus mirabilis*, penting untuk membedakan spesies ini dari spesies lain dalam genus *Proteus*, seperti *P. vulgaris*, *P. penneri*, *P. hauseri* dan *P. terrae*. Menurut penelitian oleh Dai *et al.*, (2020), *P. mirabilis* merupakan spesies yang paling

dominan di antara 223 isolat yang diteliti, dengan frekuensi 70,4%. Spesies ini dikenal memiliki kemampuan *swarming* yang sangat aktif di media padat, menghasilkan koloni yang menyebar luas, serta menghasilkan enzim urease yang sangat aktif yang berkaitan erat dengan pembentukan batu ginjal pada infeksi saluran kemih (ISK). Secara biokimia, *P. mirabilis* berbeda karena menunjukkan reaksi positif terhadap *ornithin decarboxylase* dan fermentasi maltosa, namun negatif terhadap indole. Karakteristik ini membedakan *P. mirabilis* dari *P. vulgaris*, yang justru positif terhadap *indole* dan memiliki profil biokimia yang berbeda.

Di sisi lain, spesies *Proteus vulgaris*, *P. penneri*, dan *P. hauseri* dulunya dikelompokkan sebagai biogroup dalam *P. vulgaris* berdasarkan reaksi biokimia seperti fermentasi *salicin*, *aesculin*, dan produksi *indole*. *P. vulgaris* (biogroup 2) menunjukkan ketiganya positif, sementara *P. penneri* (biogroup 1) negatif terhadap semuanya, dan *P. hauseri* (biogroup 3) positif terhadap indole namun negatif terhadap salicin dan aesculin. Penelitian terbaru oleh Dai *et al.*, (2020) menggunakan analisis multilokus (MLSA) membuktikan bahwa pendekatan biokimia klasik tidak cukup akurat untuk membedakan spesies, dan perlu dikonfirmasi secara genetik.

Hasil pemeriksaan mikrobiologi terhadap sampel air kolam pemandian air panas Bora menunjukkan adanya pertumbuhan koloni bakteri *Proteus mirabilis*. Bakteri ini merupakan salah satu spesies dari famili *Enterobacteriaceae* yang bersifat patogen oportunistik dan umumnya ditemukan di lingkungan yang kaya bahan organik, termasuk air yang tercemar (Dai *et al.*, 2020). Keberadaan *P. mirabilis* pada kolam pemandian mengindikasikan adanya potensi kontaminasi biologis, yang bisa berasal dari aktivitas manusia seperti mandi atau mencuci, serta dari bahan organik alami di sekitar sumber air (Basuki & Warsiyah, 2023; Fatimah *et al.*, 2023).

Hasil wawancara dengan Dinas Pariwisata dan masyarakat sekitar pemandian air panas Bora, Sigi, menunjukkan adanya masalah mendasar terkait persepsi, kebersihan lingkungan, dan keterbatasan pengelolaan kawasan wisata. Kepercayaan yang berkembang di masyarakat dan pihak pengelola bahwa air

panas secara otomatis membunuh seluruh jenis mikroorganisme patogen tampaknya menjadi akar dari kelalaian terhadap prinsip sanitasi dasar. Padahal, beberapa jenis bakteri dan mikroorganisme dapat tetap bertahan atau bereproduksi di lingkungan bersuhu tinggi, terutama jika air tercemar oleh feses atau limbah biologis lainnya. Oleh karena itu, asumsi ini perlu dikaji ulang secara ilmiah untuk mencegah potensi risiko kesehatan bagi pengunjung maupun warga lokal.

Penemuan bangkai hewan dan feses manusia di sekitar kolam menunjukkan rendahnya pengawasan dan minimnya kesadaran akan kebersihan lingkungan. Keberadaan hewan liar atau ternak di area pemandian, serta kebiasaan buang air sembarangan, dapat menyebabkan kontaminasi biologis yang serius. Meski ada fasilitas toilet, sebagian besar tidak berfungsi akibat kerusakan pasca-gempa tahun 2018, dan keterbatasan anggaran membuat perbaikan infrastruktur menjadi sulit dilakukan. Situasi ini diperparah oleh rendahnya pemasukan dari sektor wisata dan kebijakan efisiensi anggaran yang membatasi dukungan dana dari pemerintah.

Dari sisi pengelolaan sumber daya manusia, jumlah petugas kebersihan dan pengelola yang berasal dari masyarakat lokal dinilai masih belum mencukupi. Hal ini berdampak langsung pada kebersihan dan penataan area wisata. Keterlibatan ASN dalam pekerjaan teknis seperti pembersihan kawasan wisata menunjukkan bahwa sistem pengelolaan belum berjalan optimal dan masih bersifat darurat.

Wawancara dengan warga sekitar juga memperlihatkan bahwa kolam air panas bukan hanya fasilitas wisata, tetapi telah menjadi bagian dari kehidupan sehari-hari masyarakat. Ketergantungan warga terhadap kolam ini, terutama saat terjadi gangguan pasokan air bersih di rumah, menambah kompleksitas permasalahan. Penggunaan kolam untuk mandi dan buang air oleh warga memperbesar risiko pencemaran jika tidak dikelola dengan sistem sanitasi yang layak.

Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Basuki & Warsiyah, (2023), yang membuktikan bahwa sanitasi yang buruk seperti sumber

pembuangan sampah yang dekat dengan kolam air ataupun tempat pembuangan tinja mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme melalui rembesan tanah. Penelitian yang dilakukan oleh Fatimah *et al.*, (2023) juga mendukung hal tersebut dimana faktor penumpukan sampah, udara yang tidak bersih dan pencemaran melalui kulit manusia berpengaruh pada pertumbuhan mikroorganisme. Hal ini juga didukung dengan lokasi geografis Pemandian Air Bora Sigi yang berada di daerah perbukitan dan di sekitar pemukiman masyarakat yang beberapa mempunyai hewan ternak.

Penelitian Narsing Rao *et al.*, (2021), menunjukkan hasil yang berbeda pada fenomena ini, yakni berkaitan dengan perubahan genetik ataupun fisiologi mikroorganisme yang hidup di perairan tersebut, dimana disebutkan ada isolat dengan kemiripan genetik rendah terhadap spesies yang sudah dikenal berdasarkan sekvens gen *16S rRNA*. Hal ini mengindikasikan kemungkinan adanya spesies baru yang telah berevolusi atau beradaptasi secara genetik terhadap lingkungan ekstrem. Tentunya fenomena tersebut membutuhkan penelitian lebih lanjut untuk memastikan hal tersebut.

Proteus mirabilis merupakan bakteri Gram-negatif yang menunjukkan kemampuan luar biasa dalam beradaptasi terhadap berbagai kondisi lingkungan ekstrem. Salah satu studi oleh Wang *et al.*, (2021) menunjukkan bahwa bakteri ini mampu bertahan meskipun terjadi penurunan pembentukan biofilm akibat paparan jangka pendek terhadap lingkungan mikrogravitasi simulasi (*simulated microgravity*). Meskipun paparan tersebut menyebabkan penurunan ekspresi beberapa gen penting seperti Gen *pstS* (*phosphate-specific transport system S*) yang berperan dalam pengambilan fosfat dari lingkungan, *sodB* (*superoxide dismutase B*) yang mengkode enzim pelindung terhadap stres oksidatif, dan *fumC* (*fumarase C*) terlibat dalam produksi energi melalui siklus Krebs. Ketiganya penting untuk pertumbuhan dan pembentukan biofilm pada *Proteus mirabilis*. Hal ini menunjukkan adanya fleksibilitas adaptif secara genetik dan fisiologis untuk menghadapi tekanan lingkungan yang tidak biasa.

Penelitian lain oleh Gazel *et al.*, (2021) mengkaji respons *P. mirabilis* terhadap kondisi hipertermia (40–45 °C), yang disimulasikan sebagai bentuk

tekanan suhu lingkungan ekstrem. Hasilnya menunjukkan bahwa seluruh isolat mengalami hambatan motilitas "swarming" pada suhu tinggi, tetapi fenomena tersebut bersifat sementara dan dapat kembali aktif setelah suhu dinormalkan. Selain itu, walau motilitas terganggu, aktivitas enzim urease tetap terjaga di semua tingkat suhu, menandakan stabilitas fungsi enzimatik sebagai salah satu bentuk adaptasi. Perubahan morfologi sel dari bentuk batang menjadi bentuk bulat (*coccus/coccobacillus*) juga diamati sebagai respons terhadap panas, yang menunjukkan bahwa *P. mirabilis* dapat memodifikasi strukturnya untuk bertahan hidup dalam tekanan suhu tinggi.

Sementara itu, studi oleh El Tayeb *et al.*, (2022), memberikan perspektif genomik terhadap adaptasi *P. mirabilis*, khususnya pada strain yang tidak memproduksi urease. Meskipun gen *ureC* (urease) lengkap terdeteksi melalui *whole genome sequencing* (WGS), mutasi pada beberapa gen kunci menyebabkan tidak aktifnya enzim ini. Menariknya, strain tersebut tetap mampu menyebabkan infeksi serius pada manusia, menunjukkan bahwa *P. mirabilis* dapat menggantikan atau mengkompensasi kehilangan satu faktor virulensi utama dengan menggunakan faktor lain. Hal ini menunjukkan bahwa adaptasi bukan hanya terjadi pada tingkat fisiologi, tetapi juga melibatkan regulasi dan reorganisasi genetik untuk memastikan kelangsungan hidup dan patogenisitas di lingkungan yang menekan.

Berdasarkan Tatarenkov *et al.*, (2024), hasil penelitian menunjukkan bahwa *Proteus mirabilis* strain BL95 mengalami perubahan genetik yang signifikan melalui akuisisi elemen genetik bergerak yang disebut *ICEPm2* (*Integrative and Conjugative Element Proteus mirabilis 2*). ICE ini mengandung lebih dari 50 gen unik yang tidak ditemukan pada 98 genom lengkap *P. mirabilis* lainnya, termasuk dua operon penting yang sebelumnya tidak diketahui terdapat pada spesies ini, yaitu *operon biosintesis fenazin* dan sistem penghambatan pertumbuhan berbasis kontak (CDI: *Contact-Dependent Inhibition*). *Operon fenazin* diduga berperan dalam meningkatkan daya saing, virulensi, serta pembentukan biofilm dan akuisisi zat besi, sementara sistem CDI memungkinkan *P. mirabilis* BL95 untuk menekan pertumbuhan bakteri pesaing

dengan cara langsung menyerang sel target menggunakan racun spesifik. Temuan ini menunjukkan bahwa perubahan genetik melalui transfer horizontal memungkinkan *P. mirabilis* beradaptasi dengan lebih baik terhadap tekanan lingkungan mikroba yang kompleks, seperti di saluran pencernaan atau habitat padat mikroorganisme lainnya. Dengan demikian, perubahan genetik pada strain ini bukan hanya memperluas kapasitas metabolismik dan kompetitifnya, tetapi juga menjadi bukti penting evolusi adaptif pada bakteri oportunistik.

Secara keseluruhan, beberapa studi tersebut mengungkapkan bahwa *Proteus mirabilis* memiliki beragam mekanisme adaptasi, baik melalui perubahan genetik, morfologis, enzimatik, maupun perilaku fenotipik seperti motilitas dan biofilm. Fleksibilitas ini memungkinkan bakteri tersebut tidak hanya bertahan, tetapi juga tetap virulen dalam kondisi lingkungan yang ekstrem, termasuk suhu tinggi, tekanan fisik rendah seperti mikrogravitasi, hingga hilangnya fungsi genetik tertentu. Kemampuan ini menjadikan *P. mirabilis* sebagai patogen yang sangat resilien dan menantang untuk dikendalikan dalam konteks klinis maupun lingkungan.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian “Identifikasi Bakteri *Proteus mirabilis* Dengan Pemeriksaan Kultur Dan Morfologi di Taman Wisata Pemandian Air Panas Bora Sigi”, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Terdapat bakteri *Proteus mirabilis* di air kolam Pemandian Air Panas Bora Sigi
2. Dari 9 sampel yang diambil selama 3 hari, ditemukan 30 isolat bakteri, dengan 5 di antaranya merupakan *Proteus mirabilis*.
3. Berdasarkan hasil kultur, koloni *P. mirabilis* memiliki ciri bulat, putih transparan, dan memiliki lapisan menyebar di sisinya atau yang disebut *swarming*, hal ini yang membedakan dengan spesies *Proteus* lainnya.
4. *Proteus mirabilis* pada pewarnaan Gram menunjukkan morfologi sebagai basil (batang) Gram negatif yang berbentuk ramping dan sering tampak bergerombol atau membentuk kawanan karena kemampuannya bergerak aktif (motil).

B. Keterbatasan

Dalam pelaksanaan penelitian ini, terdapat beberapa keterbatasan yang berpotensi memengaruhi kualitas dan keluasan hasil, yaitu:

1. Keterbatasan waktu, tenaga, dan kapasitas peneliti menjadi salah satu hambatan dalam pelaksanaan penelitian secara lebih mendalam dan optimal.
2. Belum dilakukannya uji biokimia dan analisis genomik mengakibatkan terbatasnya validasi spesifik terhadap identifikasi *Proteus mirabilis*, sehingga berpotensi memengaruhi akurasi penentuan spesies.
3. Ruang lingkup penelitian masih terbatas pada aspek identifikasi bakteri, tanpa mengeksplorasi hubungan antara kondisi lingkungan sekitar dengan keberadaan *Proteus mirabilis* di kawasan pemandian air panas Bora, Sigi.

C. Saran

1. Bagi Instansi terkait

Pengelola pemandian air panas Bora disarankan untuk meningkatkan pengawasan, memperbaiki fasilitas sanitasi, memberikan edukasi kepada masyarakat, serta mengupayakan kerja sama atau alternatif pendanaan untuk menjaga kebersihan dan kenyamanan area wisata.

2. Bagi Masyarakat

Masyarakat di sekitar pemandian air panas Bora diharapkan lebih sadar akan pentingnya menjaga kebersihan dan sanitasi lingkungan, terutama dengan tidak membuang feses sembarangan dan tidak bergantung pada anggapan bahwa air panas membunuh semua bakteri.

3. Bagi Peneliti Selanjutnya

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan uji biokimia guna meningkatkan akurasi dalam identifikasi spesies bakteri. Selain itu, penting pula untuk mengkaji hubungan antara kondisi sanitasi dengan pertumbuhan bakteri, serta mengeksplorasi kemampuan adaptasi bakteri terhadap lingkungan ekstrem.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfiyah, S., Susanti, M., Analis, A., Pekalongan, K., & Penulis, K. (2024). Gambaran Bakteri pada Luka Infeksi Pasca Operasi Carcinoma Mammaria di RSUD Kraton. *Jurnal Medika Husada*, 4(1), 17–24. <https://doi.org/10.62383/demokrasi.v1i3.62>
- Alrumman, S. A., Mustafa, Y. S., Al-Qahtani, S. T. S., Sahlabji, T., & Taha, T. H. (2019). Antimicrobial Activity and GC-MS Analysis of Bioactive Constituents of Thermophilic Bacteria Isolated from Saudi Hot Springs. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44, 75–85.
- Andriani, G., Harlita, T. D., & Lamri, L. (2023). Identifikasi Bakteri Yang Dapat Menyebabkan Infeksi Saluran Kemih Pada Urine Pengguna Pantyliner. *Jambura Journal of Health Sciences and Research*, 5(3), 851–861. <https://doi.org/10.35971/jjhsr.v5i3.20579>
- Apriani, Bintari, N. W. D., Ilsan, N. A., Istyanto, F., Suhartati, R., Dewi, R. K., Zuraida, B., Herlina, Inggraini, M., Pratami, S., Nur, J., Setiawan, D., Wijayanti, B. D. R., & Fitriani Safari, W. (2022). *BAKTERIOLOGI UNTUK MAHASISWA KESEHATAN*.
- Apriani, Bintari, N. W. D., Ilsan, N. A., Istyanto, F., Suhartati, R., Dewi, R. K., Zuraida, Herlina, & Inggraini, M. (2023). *BAKTERIOLOGI UNTUK MAHASISWA KESEHATAN* (1st ed.). PT. MASAGENA MANDIRI MEDICA.
- Arnatha, I. N., Kurniawathi, N. L. R., & Pinatih, K. J. P. (2021). Karakteristik Isolat Proteus mirabilis Pada Spesimen Urin Di RSUP Sanglah Selama Tahun 2018 - 2019. *Jurnal Kedokteran*, 06(02), 121–130.
- Arya Sukman Jaya, I. G., Sang Ayu Made Putri Suryani, Ni Made Darmadi, & I Wayan Arya. (2023a). A Identifikasi Bakteri Patogen Pada Ikan Nyalian (Rasbora lateristriata) Yang Didomestikasi. *Gema Agro*, 28(1), 66–76. <https://doi.org/10.22225/ga.28.1.6849.66-76>
- Arya Sukman Jaya, I. G., Sang Ayu Made Putri Suryani, Ni Made Darmadi, & I Wayan Arya. (2023b). A Identifikasi Bakteri Patogen Pada Ikan Nyalian (Rasbora lateristriata) Yang Didomestikasi. *Gema Agro*, 28(1), 66–76. <https://doi.org/10.22225/ga.28.1.6849.66-76>

Asrinawaty, A. N., & Sabir, M. (2022). PROFIL BAKTERI DARI SPESIMEN PUS DAN RESISTENSINYA TERHADAP ANTIBIOTIK. *Jurnal Ilmiah Kedokteran*, 7(2).

Azzahra, S. C., Effendy, Y., & Slamet, S. (2021). Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Pemacu Pertumbuhan Tanaman (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) Asal Tanah Desa Akar-Akar, Lombok Utara. *JURNAL AL-AZHAR INDONESIA SERI SAINS DAN TEKNOLOGI*, 6(2), 70. <https://doi.org/10.36722/sst.v6i2.662>

Bariz, A. M., & Syaputi, Y. (2024). ISOLASI DAN IDENTIFIKASI BAKTERI PENYEBAB FOODBORNE DISEASE PADA DAGING SAPI YANG BERASAL DARI PASAR TRADISIONAL KOTA BANDUNG. *Prosiding Seminar Nasional Kesehatan Masyarakat Universitas Muhammadiyah Surakarta*.

Basuki, & Warsiyah. (2023). PENGARUH SANITASI LINGKUNGAN TERHADAP KUALITAS COLI TINJA AIR SUMUR GALI DI DUSUN GONDANG LUTUNG DONOHARJO NGAGLIK SLEMAN. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 23(2), 44–51. [file:///C:/Users/hp/Downloads/5+Basuki+-+LAPORAN+PENELITIAN+BAKTERI+COLI+2022+\(1\).pdf](file:///C:/Users/hp/Downloads/5+Basuki+-+LAPORAN+PENELITIAN+BAKTERI+COLI+2022+(1).pdf)

Cappuccino, J. G., & Welsh, C. (2020). *Microbiology: A Laboratory Manual*, 12th ed.

Chakkour, M., Hammoud, Z., & Farhat, S. (2024). Overview of *Proteus mirabilis* pathogenicity and virulence . Insights into the role of metals. 1885(April), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1383618>

Chakkour, M., Hammoud, Z., Farhat, S., El Roz, A., Ezzeddine, Z., & Ghssein, G. (2024). Overview of *Proteus mirabilis* pathogenicity and virulence. Insights into the role of metals. In *Frontiers in Microbiology* (Vol. 15). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1383618>

Chylen Setiyo Rini, O., & Jamilatur Rohmah, Ms. (n.d.). *BUKU AJAR MATA KULIAH BAKTERIOLOGI DASAR UMSIDA PRESS SIDOARJO UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SIDOARJO 2020*.

Dai, H., Dai, H., Lu, B., Li, Z., Huang, Z., Huang, Z., Cai, H., Cai, H., Yu, K., Yu, K., Wang, D., & Wang, D. (2020). Multilocus sequence analysis for the taxonomic updating and identification of the genus *Proteus* and reclassification of *Proteus* genospecies 5 O'Hara *et al.* 2000, *Proteus cibarius* Hyun *et al.* 2016 as later heterotypic synonyms

of *Proteus terrae* Behrendt *et al.* 2015. *BMC Microbiology*, 20(1).
<https://doi.org/10.1186/s12866-020-01844-1>

Delima, A. A., Kedokteran, F., Kesehatan Uin, I., & Makassar, A. (n.d.). POLA BAKTERI PADA ULKUS DIABETIKUM GRADE TIGA DI KLINIK LUKA DIABETES KOTA MAKASSAR. In *KOLONI: Jurnal Multidisiplin Ilmu* (Vol. 1, Issue 2).

Delima, A. A., & Saharuddin, S. (2021). PENGARUH HABBATUSSAUDA (NIGELLA SATIVA) TERHADAP VIABILITAS BAKTERI PROTEUS MIRABILIS PADA LUKA KAKI DIABETIK SECARA IN VITRO. *Alami Journal (Alauddin Islamic Medical) Journal*, 5(2), 97. <https://doi.org/10.24252/alami.v5i2.24894>

Dept. Medical Microbiology and Infectious diseases Erasmus MC. (2013). *Microbe Canvas*. University Medical Center Rotterdam. <https://microbe-canvas.com/Bacteria/gram-negative-rods/facultative-anaerobic-3/catalase-positive-3/oxidase-negative/colistin-resistant/proteus-mirabilis.html>

El Tayeb, S. H. M., Abdelhamed, M. R., Gamal, D., Soliman, M. S., & El-Kholy, A. A. (2022). A case oriented study: Whole genome sequencing on a wild urease negative *Proteus mirabilis* isolated from deep surgical site infection at El Hussein University Hospital, Al Azhar University Cairo, Egypt. *Microbes and Infectious Diseases*, 3(4), 972–978. <https://doi.org/10.21608/MID.2022.153180.1360>

Fatimah, I., Mutsyahidan, A. M. A., Trisnawati, N. K. Y., & Indah, N. (2023). PENGARUH SANITASI TERHADAP CEMARAN BAKTERI PADA IKAN TONGKOL (*Euthynnus affinis*) DI PASAR SENTRAL KOTA GORONTALO. *Prosiding Seminar Nasional Mini Riset Mahasiswa*, 2, 1–10. <file:///C:/Users/hp/Downloads/21101-55305-2-PB.pdf>

Gazel, D., Demirbakan, H., & Erinmez, M. (2021). In vitro activity of hyperthermia on swarming motility and antimicrobial susceptibility profiles of *Proteus mirabilis* isolates. *International Journal of Hyperthermia*, 38(1), 1002–1012. <https://doi.org/10.1080/02656736.2021.1943546>

Ginting, C. N., Piska, F., Harmileni, & Fachrial, E. (2023). Molecular identification of thermophilic bacteria with antimicrobial activity isolated from hot springs in North Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas*, 24(2), 752–758. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240210>

- Govindarajan, D. K., & Kandaswamy, K. (2022). Virulence factors of uropathogens and their role in host pathogen interactions. *The Cell Surface*, 8(February), 100075. <https://doi.org/10.1016/j.tcs.2022.100075>
- Gravinda WidyaSwara, Rochmanah Suhartati, Siti Raudah, Iis Herawati, Dewi Peti Virgianti, Kurnia Kusumawati, Yolan Dunggio, Yuliana Prasetyaningsih, Yety Eka Sispita Sari, Rudy Dwi Laksono, & Ni Wayan Desi Bintari. (2022). *Bakteriologi 2* (Oktavianis, Ed.; 2nd ed.). GET PRESS INDONESIA. www.researchgate.net
- Hao, X., Cen, X., He, M., Wen, Y., & Zhang, H. (2023). Isolation, biological and whole genome characteristics of a *Proteus mirabilis* bacteriophage strain. *BMC Microbiology*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s12866-023-02960-4>
- Harahap, D., Harahap, D. N., & Harahap, R. F. (2024). *Keragaman Mikroba Dan Potensinya: Pendekatan Sains* (R. Gunadi, Ed.). CV Budi Utama.
- Harun, H., Sibarani, D. E., Asrinawaty, A. N., Tulaka, B. D., Harun, H., Ezra Sibarani, D., Nur Asrinawaty, A., & Dharmono Tulaka, B. (2024). BACTERIAL IDENTIFICATION ON ESCALATOR HANDRAIL IN SHOPPING CENTER PALU. In *Jurnal Ilmiah Kedokteran* (Vol. 9, Issue 1).
- Ifandi, S., Iffaf, A. F., Gintoe, H. L., & Palu, P. C. (2023). *Pelatihan Pengamatan Morfologi Bakteri Bagi Siswa Kelas X di SMA Negeri 1 Parigi Tengah*. 1(5).
- Jamil, R. T., Foris, L. A., & Snowden, J. (2023). *Proteus mirabilis Infections*No Title. StatPearls Publishing LLC.
- Kamel, F. H., & Jarjes, S. F. (2015). *Essentials of Bacteriology and Immunology* (1st ed.). Hawler Polytechnic University. [https://www.researchgate.net/publication/290911856](http://www.researchgate.net/publication/290911856)
- Kareem Shameel, R., & Hameed Alkhafaji, M. M. (2025). *Molecular Detection of the hpmA and ureA Genes in Clinical Proteus Mirabilis Isolates*. <https://doi.org/10.30526/38.1.3545>
- Kesuma, S., Saputri, M. J., & Aleksandra, P. (2023). Profil Bakteri Penginfeksi Pus Pada Luka Di Laboratorium Mikrobiologi Rsud Abdoel Wahab Sjahrani Periode Bulan Januari-Juni Tahun 2023. *Jurnal Kesehatan Tambusai*, 4(4), 6013–6023. <https://doi.org/10.31004/jkt.v4i4.20623>

Kumar, S. (2016). *Essentials of Microbiology* (1st ed.). Jaypee Brother Medical Publishers (P) Ltd.

Laupland, K. B., Edwards, F., & Harris, P. N. A. (2024). Proteus species bloodstream infections: Comparative epidemiology of three species. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*, 109(2). <https://doi.org/10.1016/j.diagmicrobio.2024.116286>

Little, K., Austerman, J., Zheng, J., & Gibbs, K. A. (2019). Cell Shape and Population Migration Are Distinct Steps of *Proteus mirabilis* Swarming That Are Decoupled on High-Percentage Agar. *Jb.Asm.Org 1 Journal of Bacteriology*, 201, 726–744. <https://doi.org/10.1128/JB>

Madigan, Bender, Buckley, Sattley, & Stahl. (2021). *Brock Biology of Microorganisms FIFTEENTH EDITION*.

Mariah Bariz, A., & Syaputri, Y. (n.d.). *ISOLASI DAN IDENTIFIKASI BAKTERI PENYEBAB FOODBORNE DISEASE PADA DAGING SAPI YANG BERASAL DARI PASAR TRADISIONAL KOTA BANDUNG*.

Marro, F. C., Laurent, F., Josse, J., & Blocker, A. J. (2022). Methods to monitor bacterial growth and replicative rates at the single-cell level. *FEMS Microbiology Reviews*, 46(6), 1–30. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuac030>

Massora, M., Salosa, Y. Y., Mogea, R. A., Sutarno, S., Sinuraya, S., Krey, M. E., Ratnawati, S., Biologi, J., Unipa, F., Salju, J. G., & Manokwari, A. (2022). BAKTERI TERMOFILIK DARI AIR DAN SEDIMENT KOLAM AIR PANAS WAR AREMI DI KAMPUNG MATATUN DISTRIK KEVAR KABUPATEN TAMBRAUW PAPUA BARAT. In *Jurnal Natural, Oktober* (Vol. 18).

Mirabilis, P. (2024). *Infections: Conditions of development: Treatment. Prevent & Protect Platform for Infection Control*. <https://prevent-and-protect.com/pathogen/proteus-mirabilis-en/>

Morfologi Dan Pertumbuhan Bakteri Pada Cairan Terfermentasi Silase Pakan Ikan, I., Kusuma Wardhani, A., & LAUKtolseja, J. (n.d.). Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek (SNPBS) ke-V 2020 | 411.

Narsing Rao, M. P., Dong, Z. Y., Luo, Z. H., Li, M. M., Liu, B. B., Guo, S. X., Hozzein, W. N., Xiao, M., & Li, W. J. (2021a). Physicochemical and Microbial Diversity Analyses

- of Indian Hot Springs. *Frontiers in Microbiology*, 12(March), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.627200>
- Narsing Rao, M. P., Dong, Z. Y., Luo, Z. H., Li, M. M., Liu, B. B., Guo, S. X., Hozzein, W. N., Xiao, M., & Li, W. J. (2021b). Physicochemical and Microbial Diversity Analyses of Indian Hot Springs. *Frontiers in Microbiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.627200>
- Panjaitan, D., Wardhana, V. W., Hadi, R., Tsuraya, F., & Naibaho, F. G. (2023). PELATIHAN KARAKTERISASI MORFOLOGI BAKTERI DAN FUNGI SEBAGAI PENGAYAAN PRAKTIKUM BIOLOGI BAGI GURU SEKOLAH MENENGAH ATAS. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, 7(1), 556. <https://doi.org/10.31764/jmm.v7i1.12355>
- Pengamatan, P., Bagi, M. B., Kelas, S., Di, X., Negeri, S., Tengah, P., Ifandi, S., Febriana Iffaf, A., & Gintoe, H. L. (2023). *Bacterial Morphology Observation Training for Grade X Students at SMA Negeri 1 Parigi Tengah*. 1(5), 177–183. <https://doi.org/10.61132/aspirasi.v1i5.1207>
- Rofflin, E., Liberty, I., & Pariyana. (2021). *Populasi, Sampel, Variabel Dalam Penelitian Kedokteran* (M. Nasrudin, Ed.; 1st ed.). Penerbit NEM.
- Salsabila, Z. N., Lanny Mulqie, & Umi Yuniarni. (2023). Pewarnaan Gram Bakteri Isolat Klinis pada Pasien ISK di RSUD Karawang. *Bandung Conference Series: Pharmacy*, 195–202. <https://doi.org/10.29313/bcsp.v3i2.8468>
- Salsabila, Z. N., Mulqie, L., Yuniarni, U., Farmasi, P., Matematika, F., Ilmu, D., & Alam, P. (n.d.). *Bandung Conference Series: Pharmacy Pewarnaan Gram Bakteri Isolat Klinis pada Pasien ISK di RSUD Karawang*. <https://doi.org/10.29313/bcsp.v2i2.8468>
- Setiawan, A. (2023). Pengelolaan Keuangan Dalam Skema Bagi Hasil Pada Sektor Pariwisata (Pada Wisata Air Panas Desa Bora Kecamatan Sigi Kota Kabupaten sigi). *UIN Datokarama Palu*, 1–23.
- Soedarto, S. (2016). *Infeksi nosokomial di rumah sakit. hospital nosocomial infections*. November, 233–240; 257–26.
- Sriyono, Dr. M., & SE, H. M. K. (2020). Buku Ajar Mata Kuliah. In *Umsida Press Sidoarjo Universitas* (Vol. 1, Issue 1).

- Stolarek, P., Bernat, P., & Różalski, A. (2023a). 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>
- Stolarek, P., Bernat, P., & Różalski, A. (2023b). 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>
- Tatarenkov, A., Muñoz-Gutiérrez, I., Vargas, I., Behnsen, J., & Mota-Bravo, L. (2024). Pangenome Analysis Reveals Novel Contact-Dependent Growth Inhibition System and Phenazine Biosynthesis Operons in *Proteus mirabilis* BL95 That Are Located in An Integrative and Conjugative Element. *Microorganisms*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/microorganisms12071321>
- Ulilalbab, A., Qomariyah, U., Wulandari, E. Y., Khoerul, M., Ningtyas, R., Nurdyansyah, F., Palupi, C., & Widayastuti, D. A. (2023). *Pengantar Mikrobiologi* (F. Fadhila, Ed.; 1st ed.). Penerbit PT Sada Kurnia Pustaka.
- Wang, D., Bai, P., Zhang, B., Su, X., Jiang, X., Fang, T., Wang, J., & Liu, C. (2021). *Decreased biofilm formation in Proteus mirabilis after short-term exposure to a simulated microgravity environment*. <https://doi.org/10.1007/s42770-021-00588-y/Published>
- Wardhani, A. K., Uktolseja, J. L. A., & Djohan. (2020). Identifikasi Morfologi Dan Pertumbuhan Bakteri Padapada Cairan Terfermentasi Silase Pakan Ikan. *Seminar Nasional Pendidikan Biologi Dan Saintek (SNPBS) Ke-V*, 5(1), 411–419.
- Werneburg, G. T. (2022a). Catheter-Associated Urinary Tract Infections: Current Challenges and Future Prospects. *Research and Reports in Urology*, 14(March), 109–133. <https://doi.org/10.2147/RRU.S273663>
- Werneburg, G. T. (2022b). Catheter-Associated Urinary Tract Infections: Current Challenges and Future Prospects. In *Research and Reports in Urology* (Vol. 14, pp. 109–133). Dove Medical Press Ltd. <https://doi.org/10.2147/RRU.S273663>
- Zhang, Z., He, J., Liu, X., Huang, L., Zeng, Z., Peng, Y., & Cai, X. (2025). Genome-based analyses from four clinically-isolated strains refined the taxonomy of *Proteus*

genomosp. 6 and revealed their underestimated role in gastrointestinal diseases. *Gut Pathogens*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s13099-025-00701-8>

LAMPIRAN

Lampiran 1: Perbandingan *Proteus mirabilis* dengan spesies *Proteus* lainnya

Multilocus Sequence Analysis For The Taxonomic Updating And Identification Of The Genus Proteus And Reclassification Of Proteus Genospecies 5 O'Hara Et al. 2000, Proteus Cibarius Hyun Et al. 2016 As Later Heterotypic Synonyms Of Proteus Terrae Behrendt Et al. 2015

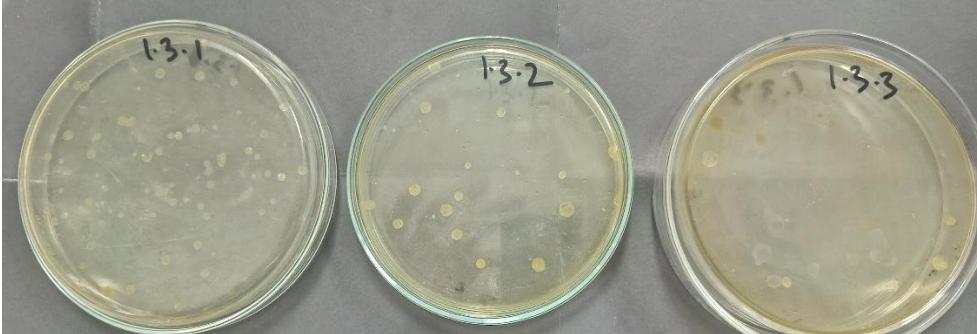
| Spesies | Habitat | Patogen | Karakteristik koloni | Biokim | Cirikhas |
|--------------------------|---|---|--|---|---|
| <i>Proteus mirabilis</i> | Tanah, air, gastrointestinal manusia/hewan dan RS | Infeksi Saluran Kemih (ISK), batu saluran kemih, infeksi luka, dan sepsis | <i>Swarming</i> kuat, koloni menyebar cepat, dan konsentris | <ul style="list-style-type: none"> • Indole (-) • Salicin (-) • Aesculin (-) • Urease (+) | Spesies paling dominan dari genus <i>Proteus</i> yang ditemukan di air dan mempunyai kemampuan adaptasi yang tinggi |
| <i>Proteus vulgaris</i> | Lingkungan dan flora usus, | ISK, infeksi luka, lebih sering pada pasien imunokompromais | <i>Swarming</i> sedang, koloni besar dan licin | <ul style="list-style-type: none"> • Indole (+) • Salicin (+) • Aesculin (+) | Dulu sering ditemukan di air, tapi sekarang jumlahnya lebih sedikit. |
| <i>Proteus penneri</i> | Usus manusia, lingkungan rumah sakit | ISK, luka terinfeksi, infeksi nosokomial | <i>Swarming</i> lemah, koloni lebih kecil dari <i>P. mirabilis</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Indole (-) • Salicin (-) • Aesculin (-) | Umumnya dari isolat rumah sakit dan usus manusia. |
| <i>Proteus hauseri</i> | Ditemukan di lingkungan dan usus | Belum banyak kasus klinis, potensi patogen oportunistik | Mirip <i>P. vulgaris</i> , perbedaan koloni tidak terlalu mencolok | <ul style="list-style-type: none"> • Indole (+) • Salicin (-) • Aesculin (-) | Spesies baru; jarang ditemukan di air, data masih terbatas. |
| <i>Proteus terrae</i> | Umumnya ditemukan di tanah dan lingkungan | Jarang dilaporkan sebagai patogen; potensi patogenik rendah | <i>Swarming</i> juga terjadi, tapi lebih lambat | <ul style="list-style-type: none"> • Indole (+) • Salicin (-) • Aesculin (-) | Lebih sering ditemukan di lingkungan tanah |

(Dai et al., 2020).

Lampiran 2: Hasil Kultur Bakteri

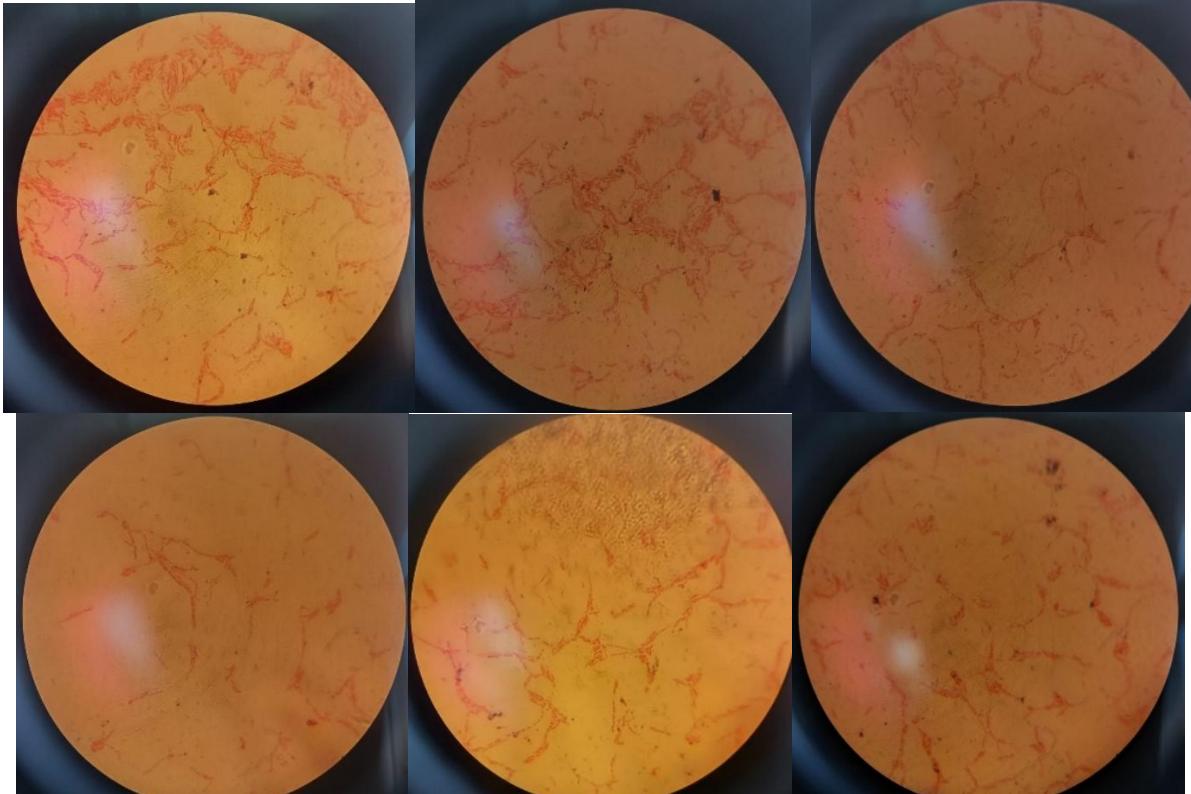
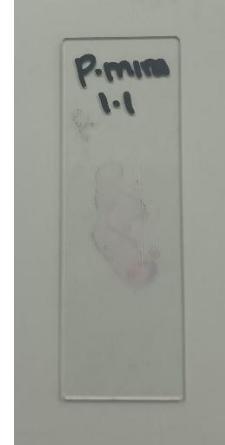
| Hari | Sampel | Gambar | | | Catatan |
|------|--------|--------|---|--|---|
| 1 | 1 | |  |  |  |
| | 2 | |  |  |  |
| | 3 | |  |  |  |

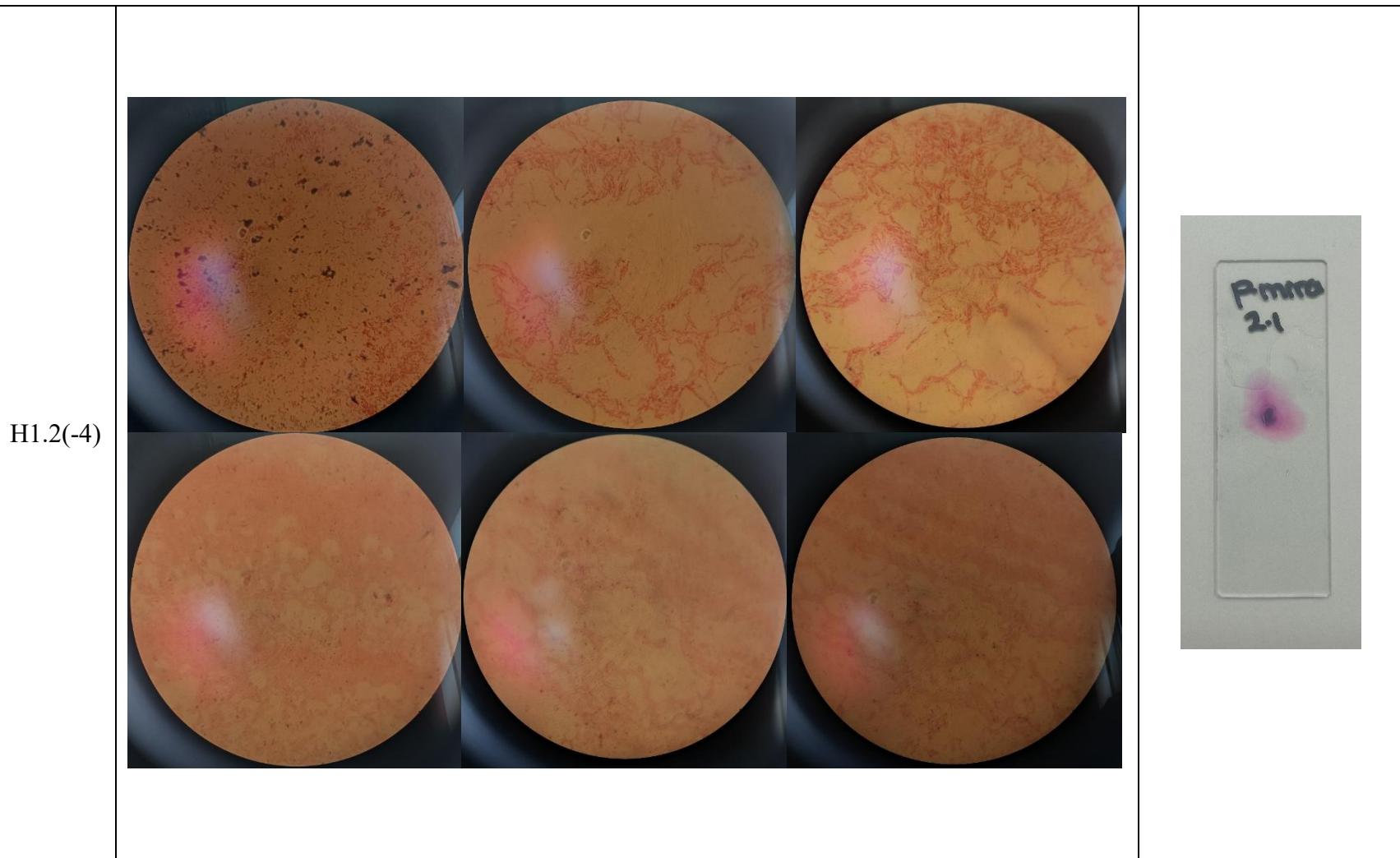
| | | | |
|---|---|---|---|
| | 1 |  | |
| 2 | 2 |  | <p>Koloni muncul setelah 24 jam diinkubasi di suhu 37°C. Pengenceran yang diambil bervariasi bertujuan menumbuhkan variasi kepadatan dan jenis koloni. Koloni yang tumbuh besar diduga pertumbuhan jamur ataupun kontaminasi.</p> |
| | 3 |  | |

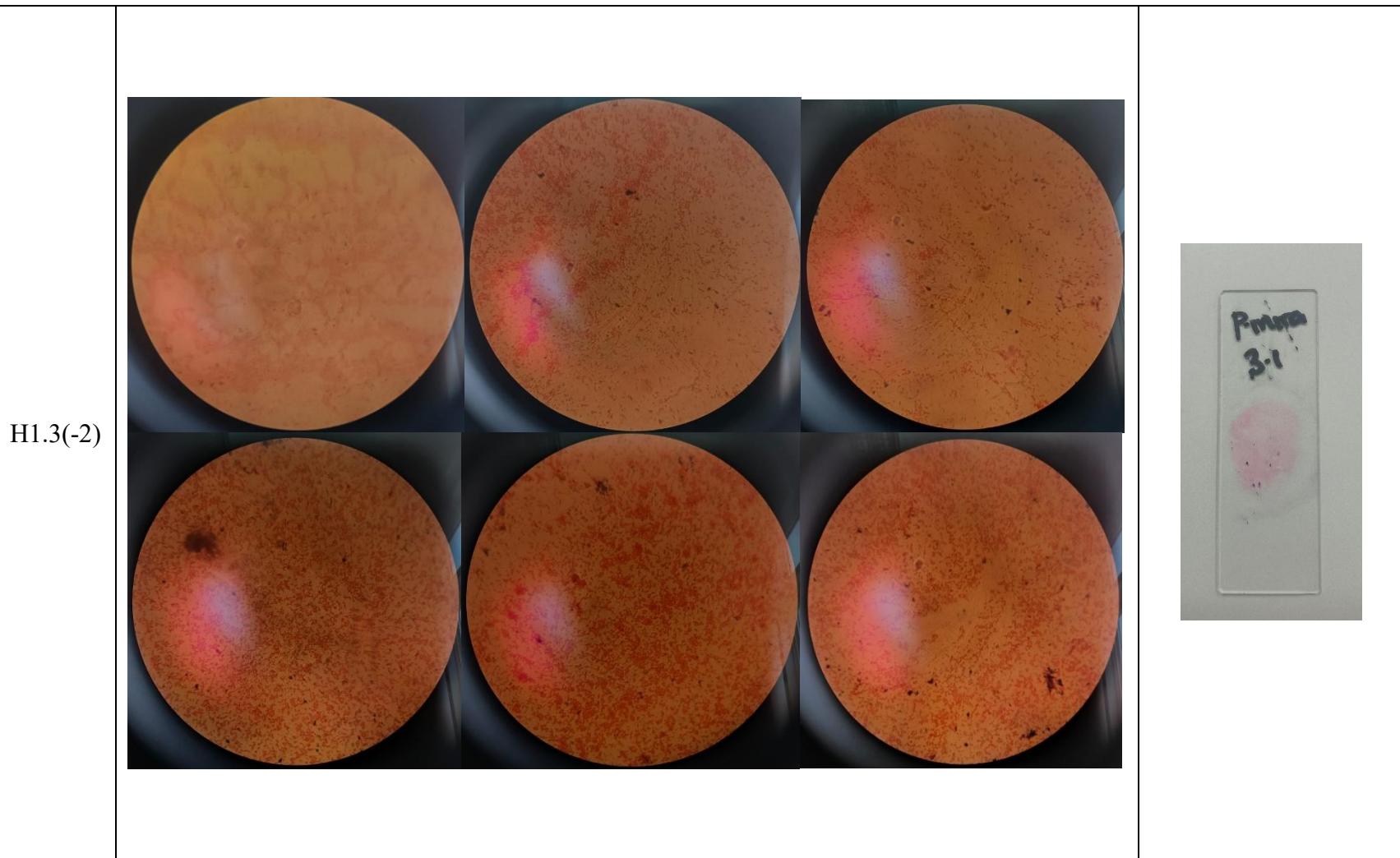
| | | | |
|---|---|---|--|
| | 1 |  | |
| 3 | 2 |  | Koloni muncul setelah 24 jam diinkubasi di suhu 37°C. Pengenceran yang diambil bervariasi bertujuan menumbuhkan variasi kepadatan dan jenis koloni |
| | 3 |  | |

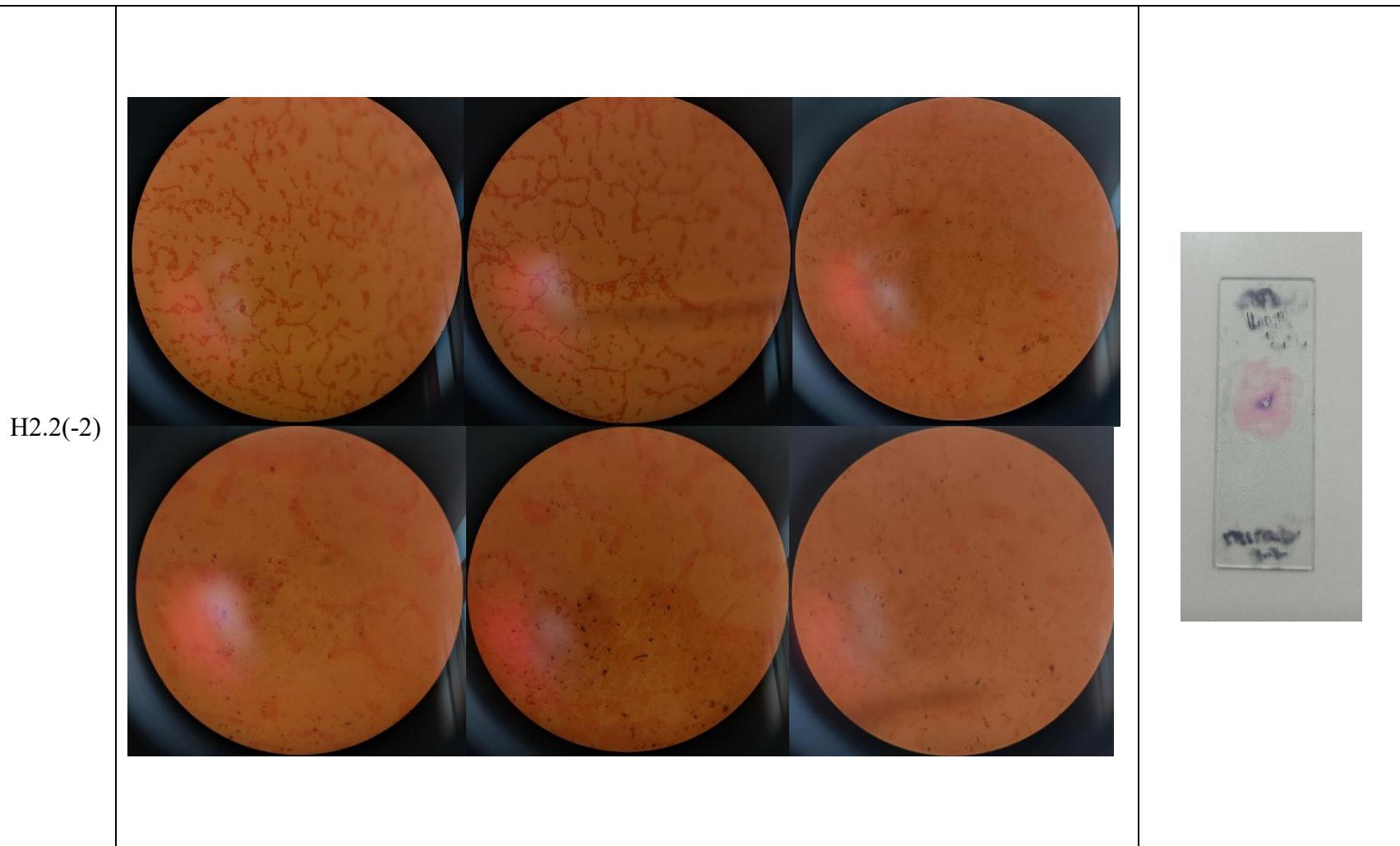
(Sumber: Data Primer, 2025)

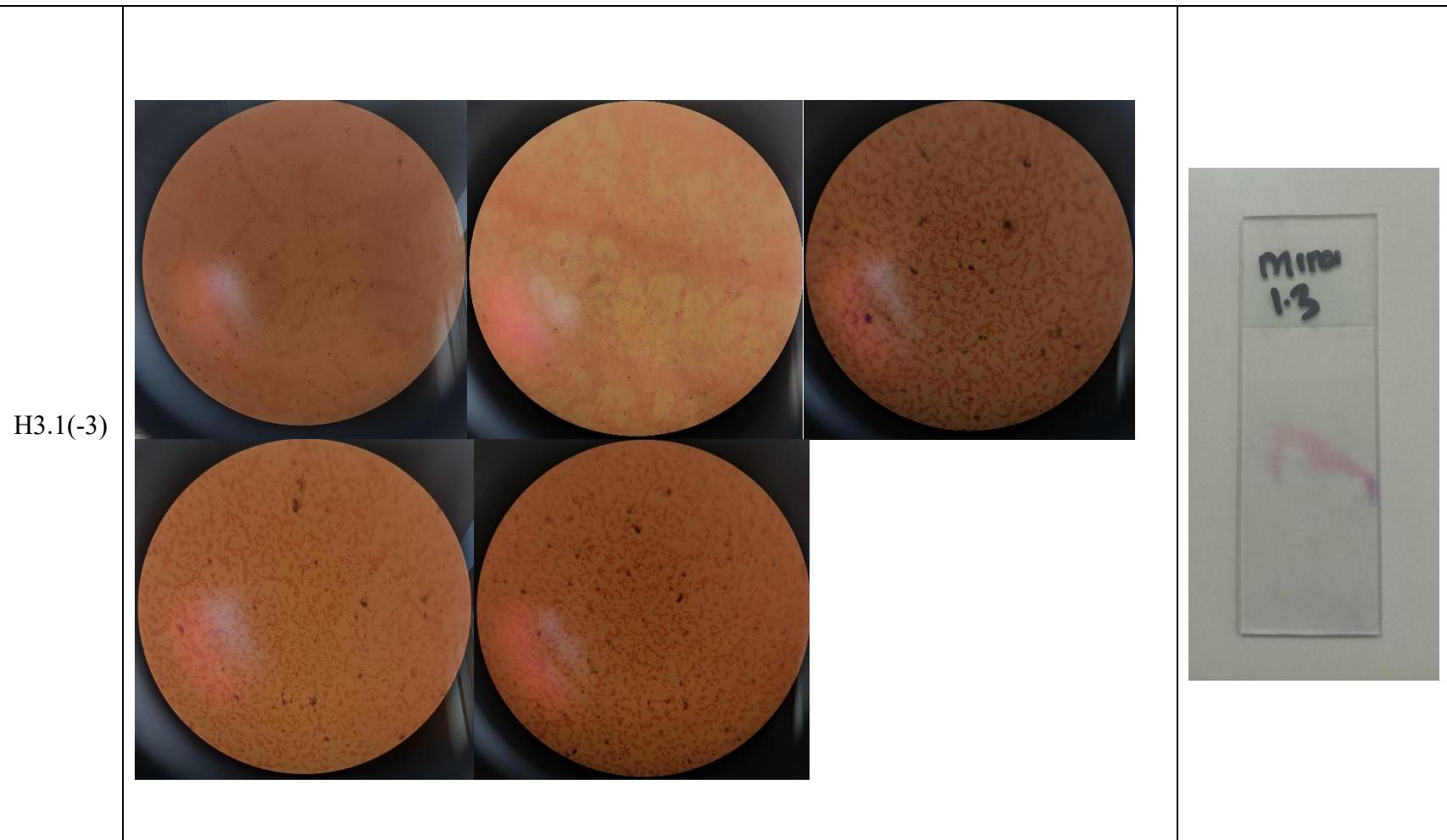
Lampiran 3: Hasil Pewarnaan Gram

| Kode | Gambar | Sediaan |
|----------|---|---------|
| H1.1(-1) |   | |



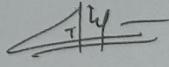




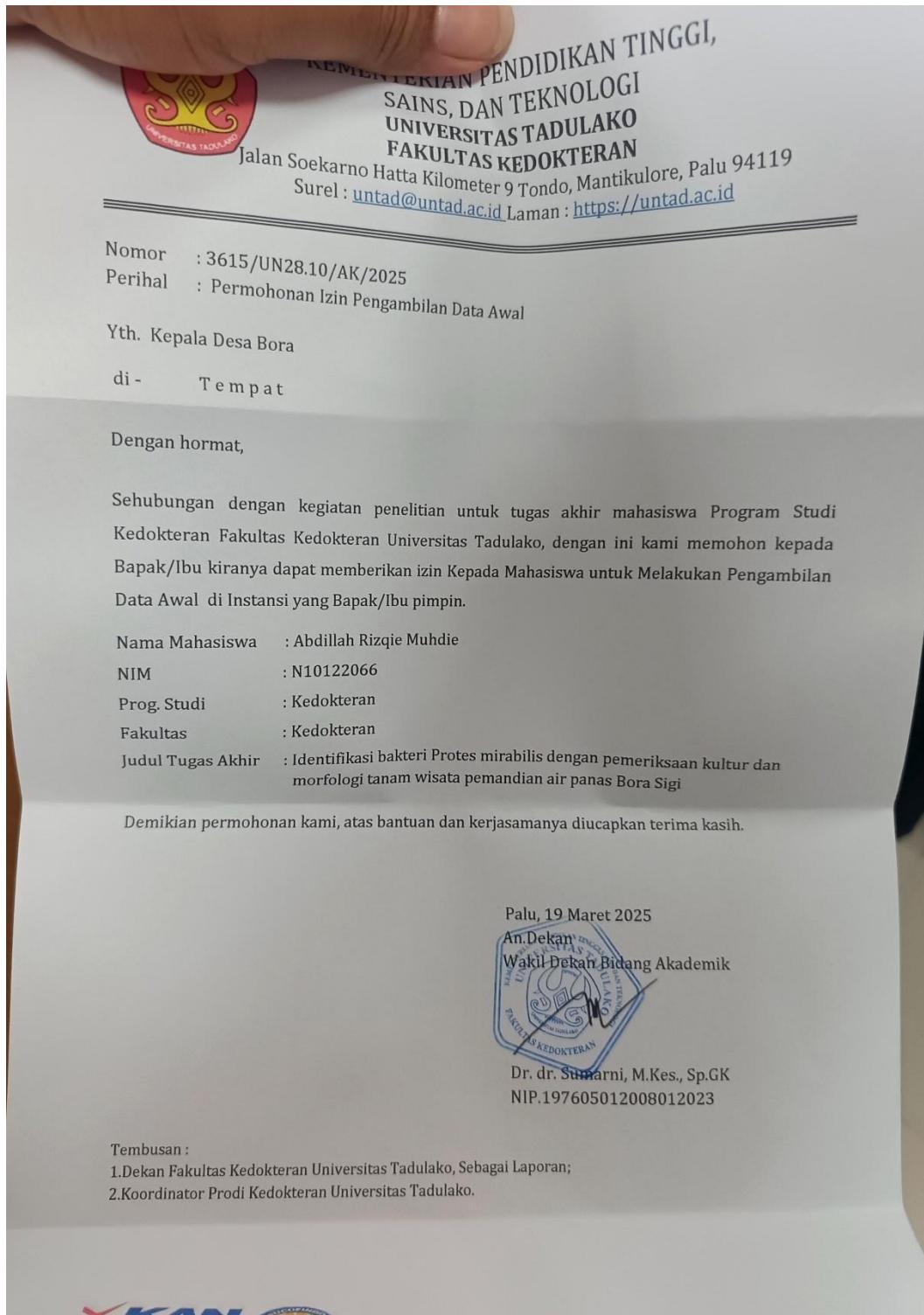


(Sumber: Data Primer, 2025)

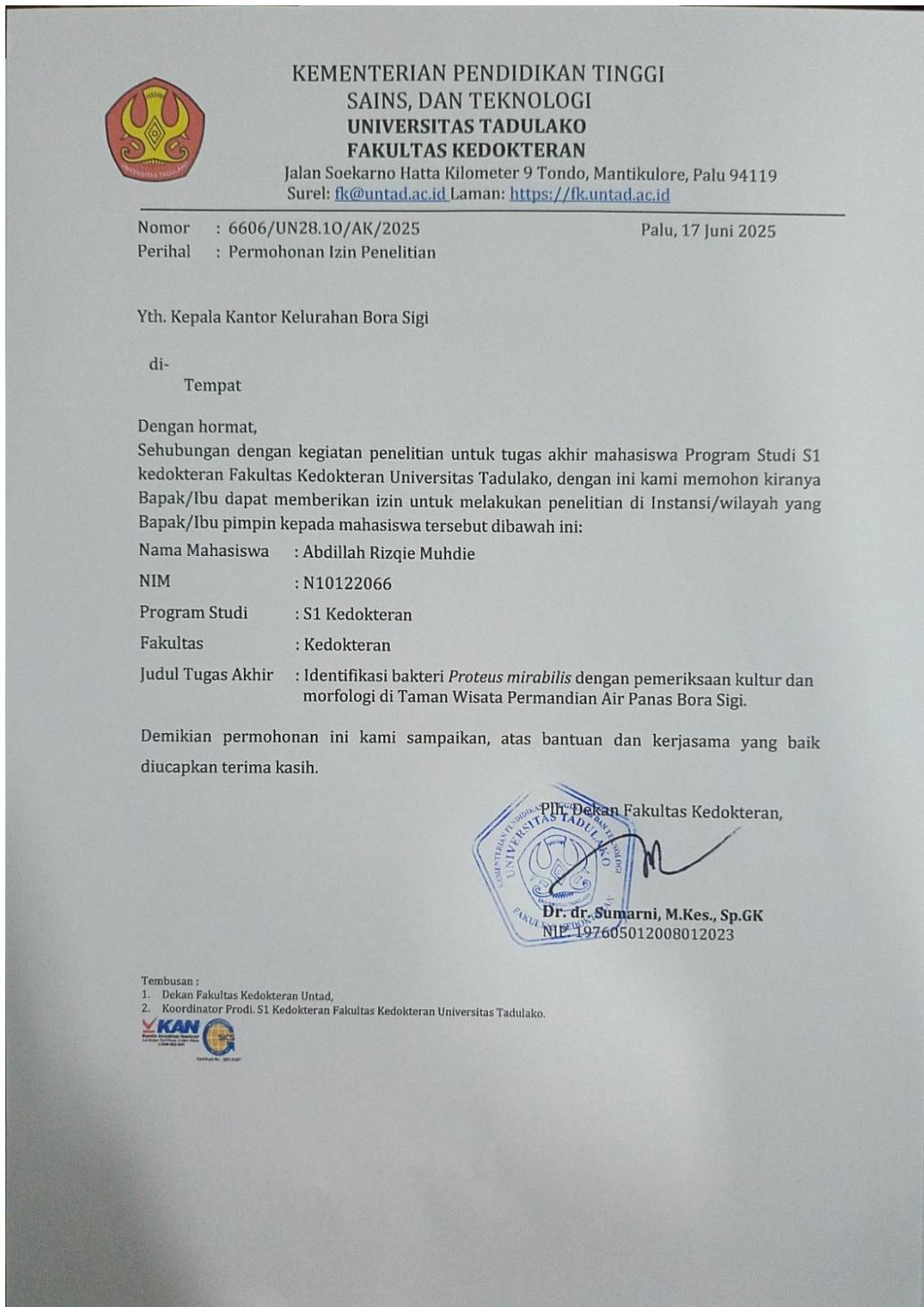
Lampiran 4 : Etika Penelitian

| | |
|---|--|
| <p style="text-align: center;">KOMITE ETIK PENELITIAN KEDOKTERAN DAN KESEHATAN FAKULTAS KEDOKTERAN UNIVERSITAS TADULAKO Jalan Sockarno Hatta Km. 9 Tondo, Mantikulore, Palu 94119 Surel : fk@untad.ac.id Laman : https://fk.untad.ac.id</p> | |
| <p style="text-align: center;">PERNYATAAN KOMITE ETIK Nomor : V990 / UN28.10 / KL / 2025</p> | |
| Judul penelitian | : Identifikasi Bakteri <i>Proteus mirabilis</i> dengan Pemeriksaan Kultur dan Morfologi di Taman Wisata Pemandian Air Panas Bora Sigi. |
| Peneliti Utama | : Abdillah Rizqie Muhdie |
| No. Stambuk | : N.101 22 066 |
| Anggota peneliti (bisa lebih dari 1) : - | |
| Tanggal disetujui | : 03 Juni 2025 |
| Nama Supervisor | : Dr. dr. M. Sabir, M. Si |
| Lokasi Penelitian (bisa lebih dari 1): Taman Wisata Pemandian Air Panas Bora Sigi. | |
| <p>Komite Etik Penelitian Fakultas Kedokteran Universitas Tadulako menyatakan bahwa protokol penelitian yang diajukan oleh peneliti telah sesuai dengan prinsip-prinsip etika penelitian menurut prinsip etik dari Deklarasi Helsinki Tahun 2008.</p> | |
| <p>Komite Etik Penelitian memiliki hak melakukan monitoring dan evaluasi atas segala aktivitas penelitian pada waktu yang telah ditentukan oleh Komite Etik Penelitian Fakultas Kedokteran Universitas Tadulako.</p> | |
| <p>Kewajiban Peneliti kepada Komite Etik sebagai berikut :</p> <ul style="list-style-type: none">- Melaporkan perkembangan penelitian secara berkala.- Melaporkan apabila terjadi kejadian serius atau fatal pada saat penelitian- Membuat dan mengumpulkan laporan lengkap penelitian ke komite etik penelitian. | |
| <p>Demikian persetujuan etik penelitian ini dibuat, untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.</p> | |
| <p style="text-align: right;">Palu, 03 Juni 2025 a.n. Ketua, Sekretaris</p> <p style="text-align: right;"> Dr. drg. Tri Setyawati, M.Sc NIP.198111172008012006</p> | |

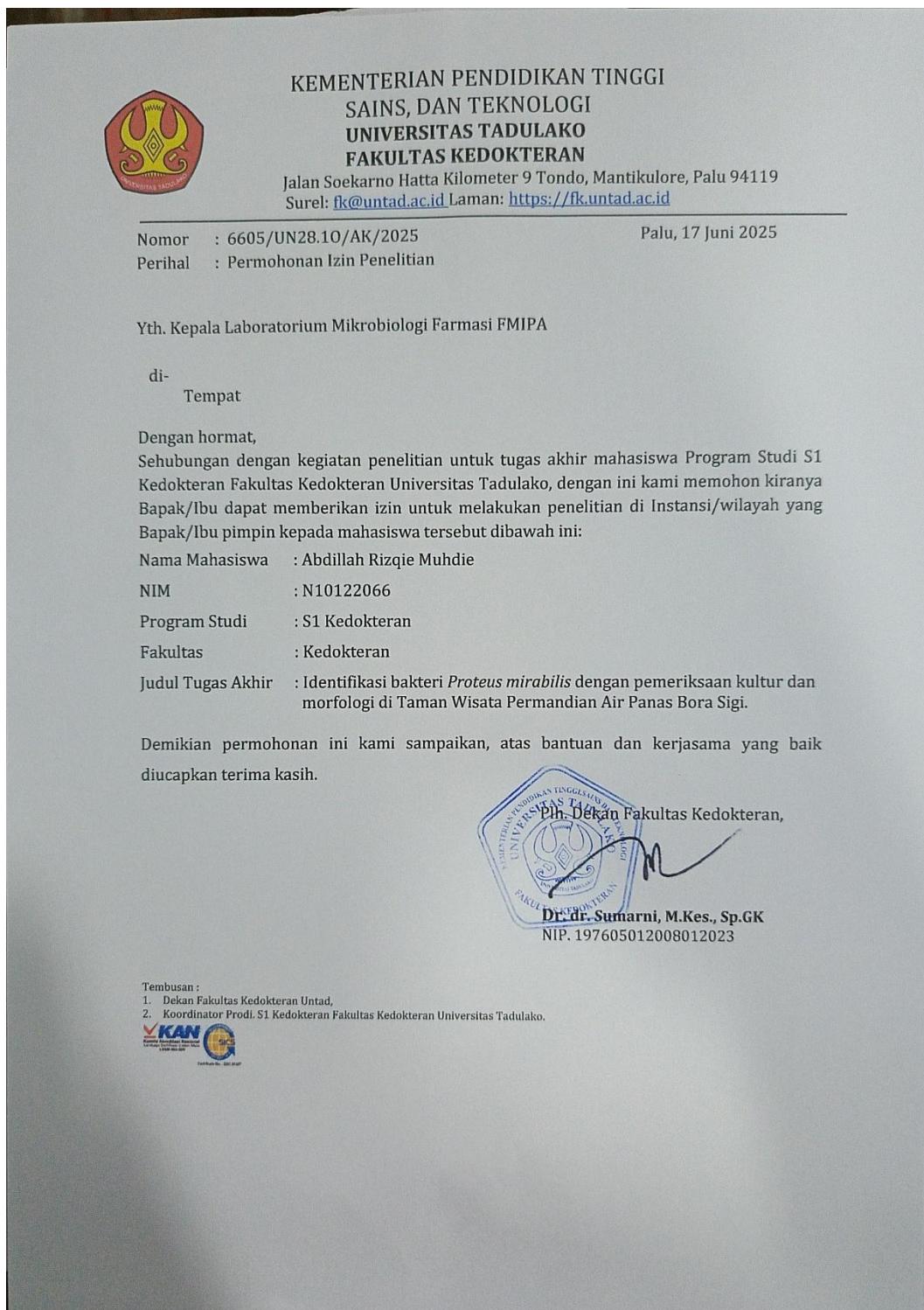
Lampiran 5 : Surat Izin Observasi Awal



Lampiran 6: Surat Izin Penelitian Kelurahan Bora



Lampiran 7: Surat Izin Penelitian Lab. Mikrobiologi Farmasi FMIPA



Lampiran 8: Dokumentasi Penelitian



Lampiran 9: Submission Jurnal

The screenshot shows the 'Submissions' section of the Promotif journal management system. At the top, there are tabs for 'My Queue' and 'Archives'. Below this, the 'My Assigned' section is displayed, featuring a search bar and a 'New Submission' button. A specific submission is listed: '9089 Abdillah Rizqie Muhdie, M. Sabir, Ressy Dwiyanti, Junjun Fitriani Identification Of Proteus mirabilis Bacteria Using Culture And Morphology Examin...' with a status of 'Review' and '0/0' reviews. Below this, there are three categories: 'Assigned reviews completed' (0/0), 'Revisions submitted' (0), and 'Open discussions' (0). A note at the bottom states 'Last activity recorded on 11/4/2025'. A 'View Submission' button is located at the bottom right.

Lampiran 10: Turnitin

File_mendeley ii.pdf

ORIGINALITY REPORT

17%

SIMILARITY INDEX

15%

INTERNET SOURCES

5%

PUBLICATIONS

7%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

Lampiran 11: Curriculum Vitae***Curriculum Vitae***

Nama Lengkap : Abdillah Rizqie Muhdie

Nama Panggilan : EQ

Tempat/Tanggal Lahir : Bekasi

Alamat : Kp. Buni, Desa Buni Bakti, Babelan. Kab Bekasi

Kontak : 081299821560

Email : abdillahsapro14@gmail.com

Riwayat Pendidikan :

| JENJANG | INSTANSI | JURUSAN | TAHUN |
|---------|----------------------|--|-----------------|
| SD/MI | MIT Bani Jinan | | 2010-2016 |
| SMP/MTs | MTs Darul Amal | | 2016-2019 |
| SMA | SMA Negeri 4 Babelan | MIPA | 2019-2022 |
| S-1 | Universitas Tadulako | Fakultas Kedokteran Prodi. Kedokteran | 2022 - Sekarang |

Riwayat Organisasi :

| ORGANISASI | JABATAN | TAHUN |
|------------------------------|------------------------------|-------------|
| BEM KM FK UNTAD | Ketua | 2024 – 2025 |
| FKI Assyifa FK UNTAD | Kaderisasi | 2024 – 2025 |
| HMI Kom. Kedokteran UNTAD | Staf Bidang PTKP | 2023 – 2024 |
| BPM FK UNTAD | Komisi Aspirasi Mahasiswa | 2023 – 2024 |
| Majlis Mahasiswa UNTAD | Komisi Aspirasi dan Advokasi | 2023 – 2024 |