

## Isolation and Antibacterial Activity of Mangrove-Derived Streptomyces from the Mandeh Coast, West Sumatra

Ayu Septia Fatriza<sup>1\*</sup>, Marlina<sup>2</sup>, Djong Hon Tjong<sup>3</sup>, Irfan Suliansyah<sup>4</sup>, Anthoni Agustien<sup>3</sup>, Rusfidra<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Biotechnology Study Program, Graduate School, Universitas Andalas, Padang 25163, West Sumatra, Indonesia;

<sup>2</sup>Faculty of Pharmacy, Universitas Andalas, Padang 25163, West Sumatra, Indonesia;

<sup>3</sup>Department of Biology, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Andalas, Padang 25163, West Sumatra, Indonesia;

<sup>4</sup>Faculty of Agriculture, Universitas Andalas, Padang 25163, West Sumatra, Indonesia;

<sup>5</sup>Faculty of Animal Science, Universitas Andalas, Padang 25163, West Sumatra, Indonesia;

### Article History

Received : May 14<sup>th</sup>, 2026

Revised : May 26<sup>th</sup>, 2026

Accepted : June 06<sup>th</sup>, 2026

\*Corresponding Author:

**Ayu Septia Fatriza**,  
Biotechnology Study Program,  
Graduate School, Universitas  
Andalas, Padang 25163, West  
Sumatra, Indonesia;  
Email:  
[ayuseptiafatriza1991@gmail.com](mailto:ayuseptiafatriza1991@gmail.com)

**Abstract:** Mangrove ecosystems are recognized as potential environments for microorganisms that produce antibiotics, owing to their distinct environmental features and high levels of microbial rivalry. The objective of this research was to extract and assess the antibacterial properties of Streptomyces species sourced from the mangroves within the Mandeh coastal ecosystem in West Sumatra, Indonesia, targeting specific pathogenic bacteria. Sediment samples were collected from three mangrove locations and processed using serial dilution and spread plate methods on International Streptomyces Project 2 (ISP-2) media. Data were analyzed descriptively based on the size of the inhibition zone formed against the tested bacteria. The results showed Streptomyces-like characteristics characterized by colony morphology and Gram staining. Antibacterial activity was evaluated using a disc diffusion test against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA), *Escherichia coli* ATCC 25922, and *Cutibacterium acnes*. A total of seventeen isolates exhibiting typical Streptomyces characteristics were obtained. The antibacterial test showed varying inhibitory activity among the isolates against the tested pathogens. The STMMI isolate showed the strongest inhibition against MRSA with an inhibition zone of  $23.61 \pm 0.62$  mm and also showed considerable activity against *C. acnes* ( $16.64 \pm 1.12$  mm). Meanwhile, the STMML isolate showed the highest inhibition against *E. coli* ATCC 25922 with an inhibition zone of  $17.06 \pm 0.63$  mm. Some isolates showed broad-spectrum antibacterial activity, while others showed selective inhibition against certain pathogens. In conclusion, mangrove sediments from the Mandeh coastal ecosystem harbor a variety of Streptomyces with promising antibacterial potential. This study highlights the importance of Indonesian mangrove ecosystems as a potential reservoir of bioactive microorganisms for future antibiotic discovery.

**Keywords:** Antibacterial activity; Actinomycetes; Mangrove-derived Streptomyces; MRSA; Mandeh coast.

### Pendahuluan

Resistensi antimikroba menjadi salah satu tantangan utama dalam pengendalian penyakit infeksi karena meningkatnya kemampuan bakteri patogen bertahan terhadap berbagai antibiotik

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

yang digunakan secara klinis. Kondisi tersebut berdampak pada meningkatnya angka kesakitan, kematian, serta biaya pelayanan kesehatan akibat keterbatasan pilihan terapi yang efektif. Laporan global menunjukkan bahwa infeksi akibat bakteri resisten terus mengalami peningkatan dan

© 2026 The Author(s). This article is open access

diperkirakan akan menjadi ancaman kesehatan yang semakin serius apabila tidak diimbangi dengan penemuan agen antimikroba baru (Murray *et al.*, 2022). Karena keadaan ini, sekarang perlu untuk menyelidiki sumber daya biologis yang dapat menghasilkan bahan kimia antibakteri, terutama mikroorganisme dari habitat liar yang belum dipelajari.

Genus *Streptomyces* adalah salah satu kelompok mikroorganisme yang dikenal memiliki kemampuan yang luar biasa untuk menghasilkan metabolit sekunder bioaktif. Telah lama diketahui bahwa kelas bakteri ini menghasilkan sejumlah antibiotik penting, termasuk tetrasiklin, kloramfenikol, dan streptomisin. Kemampuan tersebut berkaitan dengan keberadaan kluster gen biosintesis metabolit sekunder yang beragam pada genom *Streptomyces*, sehingga kelompok ini masih menjadi fokus dalam penelitian pencarian kandidat antibiotik baru (Barka *et al.*, 2016; Genilloud, 2019). Meskipun demikian, eksplorasi *Streptomyces* dari habitat tanah konvensional sering menghasilkan senyawa yang telah banyak dilaporkan sebelumnya sehingga diperlukan pencarian isolat dari habitat yang berbeda dan memiliki tekanan lingkungan khas.

Ekosistem mangrove merupakan salah satu habitat yang mulai banyak mendapat perhatian dalam penelitian bioprospeksi mikroorganisme. Lingkungan mangrove memiliki karakteristik ekologis yang kompleks, seperti fluktuasi salinitas, kondisi oksigen rendah, dan kandungan bahan organik tinggi yang dapat memengaruhi keragaman metabolisme mikroorganisme di dalamnya. Tekanan lingkungan tersebut diduga mendorong mikroorganisme menghasilkan metabolit sekunder tertentu sebagai bentuk adaptasi dan mekanisme kompetisi. Aktinomisetes yang diperoleh dari hutan bakau telah terbukti dalam berbagai penelitian menunjukkan aktivitas antibakteri terhadap berbagai bakteri patogen, termasuk bakteri yang resisten terhadap antibiotik tertentu (Adnani *et al.*, 2017; Kemung *et al.*, 2020; Law *et al.*, 2019). Namun, sebagian besar penelitian masih terfokus pada wilayah tertentu dan belum banyak mengeksplorasi potensi mikroorganisme dari kawasan mangrove Indonesia.

Kawasan mangrove Mandeh di Sumatera Barat merupakan wilayah pesisir dengan tingkat

keanekaragaman hayati yang tinggi dan kemampuan untuk menampung mikroorganisme penghasil zat-zat obat. Akan tetapi, informasi mengenai aktivitas antibakteri isolat *Streptomyces* dari sedimen mangrove kawasan tersebut masih terbatas. Selain itu, data mengenai kemampuan isolat lokal dalam menghambat bakteri patogen seperti methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA), *Escherichia coli* ATCC 25922, dan *Cutibacterium acnes* masih belum banyak dilaporkan. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengisolasi dan mengevaluasi aktivitas antibakteri isolat *Streptomyces* yang diperoleh dari sedimen mangrove kawasan Mandeh. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi awal mengenai potensi *Streptomyces* mangrove sebagai sumber kandidat antibakteri baru serta memperkaya data bioprospeksi mikroorganisme lokal Indonesia.

## Bahan dan Metode

### Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus hingga November 2025. Pengambilan sampel dilakukan di kawasan mangrove Mandeh, Kecamatan Koto XI Tarusan, Kabupaten Pesisir Selatan, Sumatera Barat. Proses isolasi bakteri, karakterisasi isolat, dan pengujian aktivitas antibakteri dilakukan di Laboratorium Biota Sumatera Universitas Andalas.

### Pengambilan Sampel Sedimen Mangrove

Sampel sedimen diambil dari tiga titik lokasi mangrove yang berbeda pada kondisi surut. Sedimen diambil pada kedalaman sekitar 10–15 cm di sekitar area perakaran mangrove menggunakan spatula steril. Untuk mengurangi perubahan kondisi mikrobiologis, sampel diangkut ke laboratorium dalam wadah steril dan disimpan dalam lemari pendingin.

### Isolasi dan Pemurnian Isolat *Streptomyces*

Vorteks digunakan untuk menghomogenkan 1 g lumpur yang telah disuspensikan dalam 9 mL larutan NaCl fisiologis steril (0,85%). Pengenceran  $10^{-2}$  dicapai dengan secara bertahap mengencerkan suspensi sampel. Metode penyebaran permukaan digunakan untuk mengkultivasi 0,1 mL dari setiap pengenceran pada media International *Streptomyces* Project-2

(ISP-2). Media ISP-2 terdiri dari 4 g/L ekstrak ragi, 10 g/L ekstrak malt, 4 g/L dekstroza, dan 20 g/L agar. Kultur diinkubasi selama tujuh hingga empat belas hari pada suhu 28°C. Karena media ISP-2 sering digunakan untuk pertumbuhan dan isolasi aktinomisetes, khususnya genus *Streptomyces*, maka media ini dipilih (Shirling & Gottlieb, 1966).

Koloni yang menunjukkan karakteristik menyerupai *Streptomyces*, seperti tekstur kering, pertumbuhan filamentous, dan pembentukan miselium aerial, dipisahkan dan dimurnikan dengan metode streak plate pada medium ISP-2 baru hingga diperoleh kultur murni. Tahapan pemurnian dilakukan untuk memperoleh isolat tunggal sebelum pengujian lebih lanjut (Barka *et al.*, 2016).

### Karakterisasi Morfologi Isolat

Karakterisasi makroskopik dan mikroskopik dilakukan. Warna koloni, bentuk pertumbuhan, tekstur permukaan, dan keberadaan miselium udara termasuk dalam pengamatan makroskopik. Pewarnaan Gram digunakan dalam pengamatan mikroskopik untuk memastikan karakteristik Gram-positif dan bentuk sel isolat. Kelompok aktinomisetes pertama kali diidentifikasi menggunakan karakterisasi morfologi berdasarkan ciri-ciri fenotip koloni (Goodfellow & Williams, 1983).

### Uji Aktivitas Antibakteri

Pengujian menggunakan metode difusi cakram yang dimodifikasi dari Kemung *et al.*, (2020), aktivitas antibakteri isolat dievaluasi terhadap *Staphylococcus aureus* resisten metisilin (MRSA), *Escherichia coli* ATCC 25922, dan *Cutibacterium acnes*. Mengikuti instruksi dari *Clinical and Laboratory Standards Institute* (CLSI, 2021), suspensi bakteri uji disesuaikan dengan standar 0,5 McFarland dan kemudian disuntikkan secara merata ke permukaan media Mueller Hinton Agar steril menggunakan kapas steril.

Isolat dengan karakteristik *Streptomyces* pertama kali dikultur dalam medium cair ISP-2 dan diinkubasi pada suhu 28°C selama 5–7 hari. Kultur kemudian disentrifugasi untuk mendapatkan supernatan yang mengandung

metabolit sekunder. Cakram kertas steril dengan diameter 6 mm direndam dengan supernatan isolat selama beberapa menit, kemudian diletakkan di permukaan medium yang diinokulasi dengan bakteri uji. Kloramfenikol 30 µg digunakan sebagai kontrol positif, sedangkan cakram dengan air suling steril digunakan sebagai kontrol negatif. Semua pengujian dilakukan dalam tiga kali pengulangan dan diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam. Aktivitas antibakteri ditentukan berdasarkan pembentukan zona inhibisi di sekitar cakram dan diukur menggunakan jangka sorong digital. Diameter zona inhibisi dinyatakan dalam milimeter (mm).

### Analisis Data

Data hasil pengukuran zona hambat disajikan dalam bentuk rerata dan standar deviasi. Aktivitas antibakteri masing-masing isolat dianalisis secara deskriptif berdasarkan besar zona hambat yang terbentuk terhadap bakteri uji.

### Hasil dan Pembahasan

#### Isolasi dan Karakterisasi Isolat

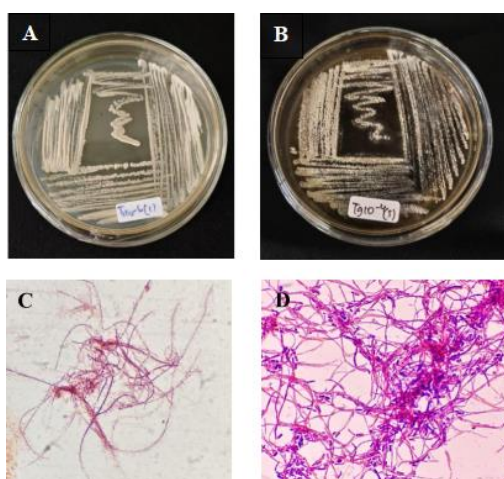
Isolasi bakteri dari sedimen mangrove kawasan Mandeh menghasilkan 17 isolat yang menunjukkan karakteristik menyerupai genus *Streptomyces*. Seluruh isolat tumbuh baik pada medium ISP-2 dengan morfologi koloni yang bervariasi. Koloni biasanya menghasilkan miselium udara berwarna putih, krem, atau abu-abu muda dan berbentuk filamen dengan tekstur kering hingga seperti bubuk. Semua isolat, termasuk bakteri Gram-positif, mengembangkan filamen bercabang, menurut data pewarnaan Gram. Karakteristik morfologi beberapa isolat potensial disajikan pada Tabel 1.

Perbedaan warna dan tekstur koloni menunjukkan adanya keragaman fenotipik antar isolat yang diperoleh dari lingkungan mangrove. Variasi tersebut diduga dipengaruhi oleh kemampuan adaptasi masing-masing isolat terhadap kondisi habitat asalnya yang memiliki tekanan lingkungan cukup tinggi, seperti perubahan salinitas dan kandungan bahan organik yang fluktuatif.

**Tabel 1.** Karakteristik morfologi beberapa isolat dengan karakteristik *Streptomyces* asal sedimen mangrove kawasan Mandeh

Kode Isolat	Warna Koloni	Tekstur Koloni	Miselium Aerial	Gram
STMMG	Putih	Kering	Ada	Positif
STMMH	Krem pucat	Bertepung	Ada	Positif
STMMI	Putih keabu-abuan	Kering	Ada	Positif
STMMK	Putih krem	Kering	Ada	Positif
STMML	Abu-abu muda	Bertepung	Ada	Positif
STMMO	Abu-abu	Kering	Ada	Positif
STMMQ	Krem	Kering	Ada	Positif

Karakteristik morfologi isolat dengan karakteristik *Streptomyces* pada medium ISP-2 ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Karakterisasi morfologi isolat dengan karakteristik *Streptomyces*. (A,B) Morfologi koloni isolat pada medium ISP-2, (C,D) Preparat mikroskopis hasil pewarnaan Gram

### Aktivitas Antibakteri Isolat

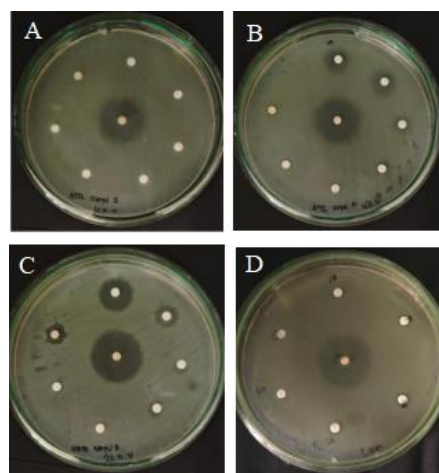
Pengujian aktivitas antibakteri menunjukkan bahwa beberapa isolat mampu menghambat pertumbuhan bakteri uji dengan berbagai tingkat penghambatan. Zona inhibisi terbentuk di sekitar cakram yang mengandung supernatan kultur isolat *Streptomyces* dalam medium yang diinokulasi dengan bakteri uji. Aktivitas antibakteri diamati terhadap *Staphylococcus aureus* resisten metisilin (MRSA), *Escherichia coli* ATCC 25922, dan *Cutibacterium acnes*. Diameter zona inhibisi dari beberapa isolat potensial disajikan pada Tabel 2.

Dengan diameter zona inhibisi  $23,61 \pm 0,62$  mm, isolat STMMI menunjukkan efikasi penghambatan terkuat terhadap MRSA. Sebaliknya, isolat STMML menghasilkan zona inhibisi terbesar ( $17,06 \pm 0,63$  mm) terhadap *E. coli* ATCC 25922. Beberapa isolat lain, termasuk

STMMH dan STMMO, juga menunjukkan aksi penghambatan terhadap berbagai mikroorganisme uji, menunjukkan potensi aktivitas antibakteri yang relatif luas. Gambar 2 menampilkan aktivitas antibakteri isolat yang menunjukkan ciri-ciri *Streptomyces* terhadap mikroorganisme uji.

**Tabel 2.** Diameter zona hambat beberapa isolat dengan karakteristik *Streptomyces* terhadap bakteri uji

Kode Isolat	MRSA (mm)	<i>E. coli</i> ATCC 25922 (mm)	<i>C. acnes</i> (mm)
STMMG	$16,12 \pm 0,58$	$12,45 \pm 0,35$	$13,50 \pm 0,48$
STMMH	$17,08 \pm 0,61$	$13,12 \pm 0,27$	$14,26 \pm 0,36$
STMMI	$23,61 \pm 0,62$	$14,33 \pm 0,42$	$16,64 \pm 1,12$
STMMK	$15,40 \pm 0,38$	$12,04 \pm 0,40$	$13,05 \pm 0,32$
STMML	$12,11 \pm 0,44$	$17,06 \pm 0,63$	$10,22 \pm 0,55$
STMMO	$16,20 \pm 0,48$	$13,55 \pm 0,47$	$14,08 \pm 0,36$
STMMQ	$15,22 \pm 0,35$	$12,48 \pm 0,43$	$13,26 \pm 0,39$



**Gambar 2.** Aktivitas antibakteri isolat dengan karakteristik *Streptomyces* terhadap bakteri uji menggunakan metode difusi cakram. (A) Kontrol negatif pada medium yang diinokulasi *Escherichia coli* ATCC 25922, (B) zona hambat isolat terhadap *E. coli* ATCC 25922, (C) zona hambat isolat terhadap MRSA, dan (D) zona hambat isolat terhadap *Cutibacterium acnes*.

## Pembahasan

### Karakteristik Morfologi Isolat

Karakteristik morfologi isolat yang diperoleh pada penelitian ini menunjukkan ciri umum kelompok *Streptomyces*, yaitu pertumbuhan koloni berbentuk filamentous, tekstur kering atau bertepung, serta adanya pembentukan miselium aerial. Selain itu, seluruh isolat menunjukkan hasil Gram positif berbentuk filamen bercabang. Karakter tersebut merupakan ciri khas aktinomiset yang banyak digunakan sebagai identifikasi awal genus *Streptomyces* pada medium kultur (Barka *et al.*, 2016). Keberadaan miselium aerial dan pertumbuhan menyerupai hifa menunjukkan kemampuan diferensiasi sel yang umum ditemukan pada kelompok bakteri penghasil metabolit sekunder.

Variasi warna dan tekstur koloni antar isolat mengindikasikan adanya keragaman fenotipik pada isolat yang diperoleh dari sedimen mangrove kawasan Mandeh. Keragaman tersebut kemungkinan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan mangrove yang memiliki tekanan ekologis tinggi, seperti fluktuasi salinitas, kadar oksigen rendah, dan tingginya kandungan bahan organik. Kondisi tersebut dapat memengaruhi adaptasi fisiologis dan metabolisme mikroorganisme, termasuk produksi pigmen dan metabolit sekunder tertentu (Adnani *et al.*, 2017). Law *et al.*, (2019) juga melaporkan bahwa isolat *Streptomyces* asal mangrove menunjukkan variasi morfologi koloni yang cukup beragam dan berkaitan dengan kemampuan adaptasi terhadap habitat pesisir.

Keanekaragaman morfologi yang ditemukan pada penelitian ini menunjukkan bahwa sedimen mangrove kawasan Mandeh berpotensi menjadi habitat berbagai jenis *Streptomyces*. Kondisi tersebut penting dalam eksplorasi mikroorganisme penghasil antibakteri karena perbedaan karakter fenotipik sering kali diikuti oleh variasi kemampuan menghasilkan metabolit bioaktif. Menurut Genilloud (2019), isolat *Streptomyces* dari habitat yang berbeda dapat memiliki kapasitas biosintesis metabolit sekunder yang bervariasi akibat pengaruh lingkungan dan keragaman genetik.

### Aktivitas Antibakteri Isolat

Berdasarkan hasil pengujian, supernatan kultur dari sejumlah isolat *Streptomyces* mampu

menghentikan pertumbuhan bakteri patogen. Keberadaan zat antibakteri yang dihasilkan dan disekresikan ke dalam media kultur ditunjukkan oleh terbentuknya zona penghambat di sekitar cakram. Variasi diameter zona hambat antar isolat menunjukkan bahwa kemampuan produksi metabolit sekunder setiap isolat berbeda-beda. Genus *Streptomyces* diketahui memiliki kemampuan menghasilkan berbagai metabolit bioaktif melalui jalur biosintesis yang kompleks, termasuk antibiotik dengan spektrum aktivitas yang luas (Genilloud, 2019).

Dibandingkan dengan *E. coli* ATCC 25922, aktivitas penghambatan terhadap MRSA umumnya lebih kuat dalam penelitian kami. Struktur dinding sel bakteri Gram-positif dan Gram-negatif mungkin berdampak pada perbedaan ini. Dibandingkan dengan bakteri Gram-positif, bakteri Gram-negatif memiliki membran luar yang mengandung lipopolisakarida, yang membuat beberapa zat antibiotik lebih sulit masuk (Silhavy *et al.*, 2010). Beberapa isolat menunjukkan penurunan aktivitas penghambatan terhadap *E. coli* sebagai akibat dari situasi ini.

Isolat STMMI menunjukkan aktivitas tertinggi terhadap MRSA dengan diameter zona hambat sebesar  $23,61 \pm 0,62$  mm. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa isolat tersebut berpotensi menghasilkan metabolit antibakteri yang aktif terhadap bakteri Gram positif resisten antibiotik. Di sisi lain, isolat STMML menghasilkan aktivitas terbesar terhadap *E. coli* ATCC 25922 sehingga diduga memiliki spektrum aktivitas antibakteri yang berbeda dibandingkan isolat lainnya. Kemampuan beberapa isolat dalam menghambat lebih dari satu bakteri uji menunjukkan adanya potensi senyawa antibakteri berspektrum luas.

Menurut publikasi oleh Kemung *et al.*, (2020), *Streptomyces* dari hutan bakau dapat menghasilkan senyawa antibakteri terhadap bakteri yang resisten terhadap antibiotik, yang konsisten dengan temuan penelitian ini. Actinomycetes dari habitat pesisir menunjukkan kemanjuran antibakteri terhadap bakteri Gram-positif dan Gram-negatif, menurut penelitian berbeda oleh Law *et al.*, (2019). Gagasan bahwa ekosistem hutan bakau dapat berfungsi sebagai habitat bagi mikroorganisme yang menghasilkan bahan kimia bermanfaat didukung oleh temuan-temuan yang sebanding ini.

Meskipun beberapa isolat menunjukkan aktivitas antibakteri yang cukup tinggi, penelitian ini masih terbatas pada pengujian aktivitas secara in vitro menggunakan supernatan kultur. Identifikasi senyawa aktif, pengujian *minimum inhibitory concentration* (MIC), serta karakterisasi metabolit sekunder belum dilakukan sehingga mekanisme aktivitas antibakteri masing-masing isolat belum dapat dijelaskan secara spesifik. Oleh karena itu, penelitian lanjutan diperlukan untuk mengidentifikasi senyawa bioaktif yang dihasilkan isolat potensial dan mengevaluasi potensi aplikasinya sebagai kandidat antibakteri baru.

### Kesimpulan

Isolat yang memiliki karakteristik *Streptomyces* yang diperoleh dari sedimen mangrove kawasan Mandeh menunjukkan karakteristik morfologi khas aktinomiset dan memiliki aktivitas antibakteri terhadap methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA), *Escherichia coli* ATCC 25922, dan *Cutibacterium acnes*. Isolat STMMI menghasilkan aktivitas penghambatan tertinggi terhadap MRSA, sedangkan STMML menunjukkan aktivitas terbesar terhadap *E. coli* ATCC 25922. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sedimen mangrove kawasan Mandeh berpotensi menjadi sumber isolat *Streptomyces* penghasil senyawa antibakteri. Penelitian ini memberikan informasi awal mengenai potensi mikroorganisme lokal dari ekosistem mangrove Indonesia sebagai sumber kandidat antibakteri baru. Temuan ini diharapkan dapat mendukung pengembangan penelitian lanjutan terkait identifikasi senyawa bioaktif, karakterisasi metabolit sekunder, serta pengembangan agen antimikroba berbasis sumber daya hayati lokal yang berpotensi memiliki nilai ilmiah dan ekonomi di bidang kesehatan dan bioteknologi.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Bioteknologi Pascasarjana Universitas Andalas atas fasilitas dan dukungan selama pelaksanaan penelitian. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada seluruh pihak yang telah membantu proses pengambilan

sampel, pelaksanaan penelitian laboratorium, serta penyusunan naskah ini. Penelitian ini didanai oleh Hibah Pascasarjana Universitas Andalas, Padang. Dukungan pendanaan tersebut sangat membantu dalam pelaksanaan penelitian dan pengembangan kajian mengenai potensi antibakteri *Streptomyces* asal mangrove kawasan Mandeh, Sumatera Barat.

### Referensi

- Adnani, N., Chevrette, M. G., Adibhatla, S. N., Zhang, F. & Bugni, T. S. (2017). Coculture of Marine Invertebrate-Associated Bacteria and Interdisciplinary Technologies Enable Biosynthesis and Discovery of a New Antibiotic, Keyicin. *ACS Chemical Biology*, 12 (12): 3093–3102. DOI: <https://doi.org/10.1021/acscchembio.7b00699>
- Barka, E. A., Vatsa, P., Sanchez, L., Gaveau-Vaillant, N., Jacquard, C., Klenk, H. P., Clément, C., Ouhdouch, Y. & van Wezel, G. P. (2016). Taxonomy, Physiology, and Natural Products of Actinobacteria. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 80 (1): 1–43. DOI: <https://doi.org/10.1128/MMBR.00019-15>
- Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI). (2021). Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing. 31st Edition. CLSI Supplement M100. Clinical and Laboratory Standards Institute, Pennsylvania. <https://clsi.org/standards/products/microbiology/documents/m100/>
- Genilloud, O. (2019). Actinomycetes: Still a Source of Novel Antibiotics. *Natural Product Reports*, 36 (10): 1393–1416. DOI: <https://doi.org/10.1039/C9NP00026J>
- Goodfellow, M. & Williams, S. T. (1983). Ecology of Actinomycetes. *Annual Review of Microbiology*, 37: 189–216. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.mi.37.100183.001201>
- Hassan, R., Shaaban, M., Abdel Bar, F. M., El-Mahdy, A. M. & Shokralla, S. (2017). Quorum Sensing Inhibiting Activity of *Streptomyces coelicoflavus* Isolated from Soil. *Frontiers in Microbiology*, 8: 659. DOI:

- <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00659>
- Jose, P. A. & Jebakumar, S. R. D. (2013). Unexplored Hypersaline Habitats Are Sources of Novel Actinomycetes. *Frontiers in Microbiology*, 4: 242. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2013.00242>
- Kemung, H. M., Tan, L. T. H., Khan, T. M., Chan, K. G., Pusparajah, P., Goh, B. H. & Lee, L. H. (2020). Streptomyces as a Prominent Resource of Future Anti-MRSA Drugs. *Frontiers in Microbiology*, 10: 2221. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02221>
- Law, J. W. F., Ser, H. L., Duangjai, A., Saokaew, S., Bukhari, S. I., Khan, T. M., Mutalib, N. S. A., Goh, B. H. & Lee, L. H. (2019). The Potential of Streptomyces as Biocontrol Agents Against the Rice Blast Fungus, Magnaporthe oryzae. *Frontiers in Microbiology*, 10: 429. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00429>
- Manivasagan, P., Venkatesan, J., Sivakumar, K. & Kim, S. K. (2014). Marine Actinobacterial Metabolites: Current Status and Future Perspectives. *Microbiological Research*, 169 (4): 262–278. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.07.001>
- Murray, C. J. L., Ikuta, K. S., Sharara, F., Swetschinski, L., Aguilar, G. R., Gray, A., Han, C., Bisignano, C., Rao, P., Wool, E. & et al. (2022). Global Burden of Bacterial Antimicrobial Resistance in 2019: A Systematic Analysis. *The Lancet*, 399 (10325): 629–655. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)02724-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)02724-0)
- Navarro-Muñoz, J. C., Selem-Mojica, N., Mallowney, M. W., Kautsar, S. A., Tryon, J. H., Parkinson, E. I., ... & Medema, M. H. (2020). A computational framework to explore large-scale biosynthetic diversity. *Nature chemical biology*, 16(1), 60-68. <https://doi.org/10.1038/s41589-019-0400-9>
- Nedialkova, D. & Naidenova, M. (2005). Screening the Antimicrobial Activity of Actinomycetes Strains Isolated from Antarctica. *Journal of Culture Collections*, 4: 29–35. [http://www.biomed.bas.bg/bioautomation/2005/vol\\_4.1/files/4.1\\_02.pdf](http://www.biomed.bas.bg/bioautomation/2005/vol_4.1/files/4.1_02.pdf)
- Oskay, M., Tamer, A. U. & Azeri, C. (2004). Antibacterial Activity of Some Actinomycetes Isolated from Farming Soils of Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 3 (9): 441–446. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJB2004.000-2087>
- Procópio, R. E. L., Silva, I. R., Martins, M. K., Azevedo, J. L. & Araújo, J. M. (2012). Antibiotics Produced by Streptomyces. *The Brazilian Journal of Infectious Diseases*, 16 (5): 466–471. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bjid.2012.08.014>
- Shirling, E. B. & Gottlieb, D. (1966). Methods for Characterization of Streptomyces Species. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 16 (3): 313–340. DOI: <https://doi.org/10.1099/00207713-16-3-313>
- Silhavy, T. J., Kahne, D., & Walker, S. (2010). The bacterial cell envelope. *Cold Spring Harbor perspectives in biology*, 2(5), a000414. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a000414>
- Subramani, R. & Aalbersberg, W. (2012). Marine Actinomycetes: An Ongoing Source of Novel Bioactive Metabolites. *Microbiological Research*, 167 (10): 571–580. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2012.06.005>
- Tan, L. T. H., Lee, L. H. & Goh, B. H. (2019). Critical Review of Fermentation and Extraction of Anti-VRE Compounds from Streptomyces Species. *Microorganisms*, 7 (11): 514. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms7110514>
- Tresner, H. D. & Backus, E. J. (1963). System of Color Wheels for Streptomyces Taxonomy. *Applied Microbiology*, 11 (4): 335–338. DOI: <https://doi.org/10.1128/am.11.4.335-338.1963>
- Ventola, C. L. (2015). The antibiotic resistance crisis: part 1: causes and threats. *Pharmacy and therapeutics*, 40(4), 277. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4378521/>
- Waksman, S. A. (1959). The Actinomycetes:

- Classification, Identification and Descriptions of Genera and Species. Vol. II. Williams and Wilkins Company, Baltimore.  
<https://archive.org/details/actinomycetescla00waks>
- Watve, M. G., Tickoo, R., Jog, M. M., & Bhole, B. D. (2001). How many antibiotics are produced by the genus *Streptomyces*?. *Archives of microbiology*, 176(5), 386-390. 390. DOI: <https://doi.org/10.1007/s002030100345>
- Williams, S. T., & Cross, T. (1971). Chapter XI actinomycetes. In *Methods in microbiology* (Vol. 4, pp. 295-334). Academic Press.  
[https://doi.org/10.1016/S0580-9517\(08\)70554-4](https://doi.org/10.1016/S0580-9517(08)70554-4)
- Zothanpuia., Passari, A. K., Gupta, V. K., Singh, B. P. & Kumar, B. (2018). Production of Potent Antimicrobial Compounds from *Streptomyces cyaneofuscatus* Associated with Freshwater Sediment. *Frontiers in Microbiology*, 9: 1875. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01875>