

Eksplorasi Potensi Bakteri Asosiasi Polymesoda erosa Sebagai Sumber Antibakteri dan Enzim untuk Bioindustri

Sayyidatur Rahma*, Delianis Pringgenies, Wilis Ari Setyati

Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacob Rais, Tembalang, Semarang 50275 Indonesia
Email: ayyirahma45@gmail.com

Abstract

Exploring the Potential of Polymesoda erosa Associated Bacteria as a Source of Antibacterials and Enzymes for Bioindustry

The bivalve *Polymesoda erosa* is known to harbor symbiotic bacteria that potentially produce secondary metabolites and extracellular enzymes with applications in health and bioindustry. This study aimed to: (1) characterize bacterial isolates associated with *P. erosa* from Semarang waters, and examine the enzymatic activity of potential isolates. The research methods included bacterial isolation and purification using Nutrient Agar (NA), colony morphology characterization and Gram staining, antibacterial activity testing using the agar plug method against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*, and enzymatic assays (protease, amylase, lipase) on selective media. Selected isolates were further identified molecularly through 16S rRNA gene sequencing, BLAST analysis via NCBI, and phylogenetic tree construction. The results revealed five bacterial isolates with distinct morphological characteristics. Most isolates were Gram-positive with coccus, diplobacilli, and staphylococci forms. One isolate showed antibacterial activity: B1.5.1 (a2), which inhibited *S. aureus*. Enzymatic assays demonstrated that three isolates exhibited proteolytic, amylolytic, and lipolytic activities, with the highest activity recorded in isolate B1.5.1 (a2). Molecular identification confirmed that this isolate belonged to *Enterobacter cloacae* (100% homolog). In conclusion, the symbiotic bacteria of *P. erosa* exhibit diversity and possess significant potential as producers of antibacterial compounds and extracellular enzymes, highlighting their prospective role in sustainable bioindustry development.

Keywords: Bivalve; Secondary Metabolites; Molecular Identification

Abstrak

Bivalvia Polymesoda erosa merupakan salah satu organisme laut yang diketahui memiliki hubungan simbiosis dengan bakteri. Bakteri simbiosis tersebut berpotensi menghasilkan metabolit sekunder dan enzim ekstraseluler yang dapat dimanfaatkan dalam bidang kesehatan maupun bioindustri. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaraktisasi isolat bakteri asosiasi *P. erosa* dari perairan Semarang dan mengetahui aktivitas enzimatis isolat potensial. Metode penelitian meliputi isolasi dan pemurnian bakteri menggunakan media Nutrient Agar (NA), karakterisasi morfologi koloni dan pewarnaan Gram, uji aktivitas antibakteri menggunakan metode agar plug terhadap *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*, serta uji enzimatis (protease, amilase, lipase) dengan media selektif. Isolasi terpilih kemudian diidentifikasi secara molekuler berdasarkan sekuens gen 16S rRNA melalui BLAST NCBI dan analisis filogenetik. Hasil penelitian menunjukkan lima isolat bakteri dengan karakteristik morfologi yang bervariasi. Mayoritas isolat merupakan Gram positif dengan bentuk coccus, diplobacilli, dan staphylococci. Satu isolat menunjukkan aktivitas antibakteri, yaitu B1.5.1 (a2) yang aktif terhadap *S. aureus*. Uji enzimatis memperlihatkan tiga isolat memiliki kemampuan proteolitik, amilolitik, dan lipolitik, dengan aktivitas tertinggi pada isolat B1.5.1 (a2). Identifikasi molekuler mengonfirmasi bahwa isolat tersebut merupakan *Enterobacter cloacae* (100% homologi). Kesimpulan penelitian ini menegaskan bahwa simbiosis *P. erosa* memiliki keanekaragaman bakteri dengan potensi menghasilkan senyawa antibakteri dan enzim ekstraseluler yang bernilai strategis untuk pengembangan bioindustri ramah lingkungan.

Kata kunci : Bivalvia; Metabolit Sekunder; Identifikasi Molekuler

PENDAHULUAN

Bioindustri adalah aplikasi bioteknologi yang memanfaatkan enzim dan mikroorganisme untuk produksi massal (Wignyanto dan Hidayat, 2017). Berbagai senyawa bioaktif dengan kemampuannya sebagai antibakteri, antijamur, dan antikanker dihasilkan oleh organisme akuatik dari beragam mikroorganisme yang ada di lingkungan laut (Bharathi *et al.*, 2024). Invertebrata laut seperti moluska menghasilkan metabolit sekunder sebagai bentuk adaptasi dan perlindungan diri. Hal ini sering terjadi melalui interaksi antara organisme dengan mikroorganisme yang menghasilkan senyawa bioaktif (Stincone dan Brandelli, 2020; De Guzman dan Argente, 2023).

Bakteri asosiasi invertebrata laut, terutama bivalvia, memiliki kemampuan untuk menghasilkan sintesis antibakteri yang signifikan terhadap patogen. Senyawa antibakteri yang dihasilkan bakteri asosiasi memiliki jalur metabolisme unik yang memungkinkan mereka menghasilkan senyawa bioaktif yang jarang ditemukan pada ekosistem darat (Biswas *et al.*, 2016). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa bakteri asosiasi invertebrata laut mampu menghasilkan senyawa antibakteri dengan aktivitas signifikan terhadap patogen dengan struktur kimia dan fungsi biologis yang unik (Kuo *et al.*, 2019; Sayavedra *et al.*, 2015). Anjani *et al.* (2022), berhasil mengisolasi 7 bakteri simbiosis Gastropoda yang memiliki aktivitas antibakteri terhadap patogen uji *S. aureus*, *V. harveyi*, dan *V. alginolyticus*. Mikroorganisme juga digunakan sebagai sumber enzim (Raveendran *et al.*, 2018). Mikroorganisme laut juga menghasilkan enzim seperti protease, amilase, dan lipase untuk digunakan dalam industri seperti fermentasi makanan, obat, dan sebagainya (Remijawa *et al.*, 2020; Yao *et al.*, 2021; Al-Madbloy *et al.*, 2024). Enzim-enzim ekstraseluler, seperti amilase, lipase, dan protease, berfungsi memecah senyawa makromolekul karbohidrat, lemak, dan protein (Supriyatna *et al.*, 2015). Penelitian Setyati *et al.* (2023), menunjukkan bahwa bakteri asosiasi moluska mampu memproduksi lebih dari satu aktivitas enzimatis sekaligus, sehingga meningkatkan potensi mereka sebagai sumber enzim multifungsi untuk pemanfaatan industri dan penelitian lanjutan. Menurut Mutalipassi *et al.* (2021), aktivitas enzimatis yang tinggi menunjukkan bahwa bakteri laut, termasuk yang berasosiasi dengan bivalvia berperan penting dalam proses siklus biogeokimia laut dan adaptasi terhadap kondisi lingkungan ekstrem. Hal tersebut menjadikan bakteri asosiasi sebagai sumber potensial bagi penemuan enzim adaptif untuk aplikasi bioteknologi

Polymesoda erosa, bivalvia pesisir yang ditemukan di perairan dangkal dan mangrove, memiliki kapasitas sebagai inang bakteri asosiasi yang menghasilkan metabolit sekunder yang berguna untuk obat dan bioteknologi di bidang kesehatan dan industri. Siklus produksi yang singkat, mudah dibudidayakan, dan efisien, menjadikan penggunaan bakteri ini mengurangi eksploitasi secara langsung. Namun, penelitian tentang bakteri asosiasi yang terkait dengan spesies lokal seperti *P. erosa* masih sangat terbatas. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan bakteri asosiasi *P. erosa* untuk menghasilkan senyawa bioaktif, terutama metabolit sekunder yang memiliki sifat antibakteri dan enzimatis.

MATERI DAN METODE

Materi penelitian ini menggunakan bakteri asosiasi yang diisolasi dari *P. erosa* sebagai sampel uji untuk mengetahui aktivitas antibakteri dan enzimatis. Sampel *P. erosa* pada penelitian ini diperoleh dari perairan Mangkang Wetan, Kecamatan Tugu, Semarang, Jawa Tengah.

Isolasi bakteri simbiosis dilakukan dengan metode *pour plate* mengacu pada Stanley *et al.* (2017), dengan beberapa modifikasi dengan dilakukan pengenceran bertingkat. Sampel sebanyak 1 g dimasukkan ke dalam 9ml akuades steril lalu dihomogenkan. Kemudian sampel diambil 1 ml dan dimasukkan ke 9 ml akuades sebagai pengenceran 10^{-1} dan dilakukan pengenceran bertingkat hingga 10^{-6} . Media Nutrien Agar (NA) dituangkan pada cawan petri steril lalu hasil pengenceran dituang sebanyak 1 ml ke dalam cawan petri dengan bantuan mikropipet dan diputar seperti angka delapan agar sampel dan media tercampur. Kemudian dilakukan inkubasi selama 24-48 jam. Koloni bakteri dengan morfologi yang berbeda dilakukan purifikasi untuk memperoleh isolat murni dengan metode streak kuadran dengan memindahkan koloni bakteri ke media baru dan diinkubasi selama 3x24 jam (Kurniasari *et al.*, 2022).

Bakteri yang tumbuh diidentifikasi secara makroskopis berdasarkan warna, bentuk, elevasi, dan margin (Sousa *et al.*, 2015). Masing-masing isolat bakteri kemudian dikarakterisasi melalui pewarnaan gram dan diamati di bawah mikroskop. Identifikasi bakteri secara mikroskopis dilakukan melalui pewarnaan gram mengacu pada (Fitri *et al.*, 2022). Isolat murni digorekan secara bulat di atas kaca preparat dan dilakukan fiksasi dengan melewati di atas api Bunsen. Kemudian ditetaskan kristal violet selama 1 menit, lalu dibilas menggunakan akuades. Setelah dibilas, isolat kemudian ditetaskan dengan 1-2 tetes Lugol/iodin sebagai pengikat warna kristal violet selama 1

menit kemudian dibilas dengan akuades dan disiram dengan aseton alkohol selama 5-10 detik untuk melarutkan warna ungu, kemudian ditambahkan 1-2 tetes safranin ditambahkan dan dibiarkan selama 1 menit kemudian dibilas dengan akuades.

Uji antibakteri dilakukan dengan metode agar plug. Isolat bakteri dilakukan purifikasi pada media *Nutrien Agar* (NA) dan diinkubasi selama 3x24 jam. Media NA yang berisi isolat bakteri dicetak menggunakan bluetip dengan ukuran diameter ± 8 mm. Kemudian letakkan isolat bakteri yang sudah dicetak diatas permukaan media MHA yang sudah diswab bakteri uji yaitu *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. Selanjutnya lakukan pengamatan 3x24 jam untuk mengetahui kemampuan isolat bakteri melawan bakteri uji yang ditandai dengan terbentuknya zona bening. Zona hambat yang terbentuk kemudian diukur menggunakan jangka sorong (Naibaho *et al.*, 2023).

Uji aktivitas enzim protease dilakukan untuk mengetahui kemampuan isolat bakteri dalam menghasilkan enzim protease. Prosedur uji dilakukan dengan menginokulasikan kultur cair isolat bakteri menggunakan mikro pipet pada *paper disc* steril dan diletakkan pada permukaan media Zobell laut agar yang telah diperkaya *skim milk* 1% dan diinkubasi pada suhu 32°C selama 24 jam. Hasil positif aktivitas enzim protease ditunjukkan dengan terbentuknya zona bening di sekitar *paper disc* (Setyati *et al.*, 2016).

Uji aktivitas enzim amilase dilakukan dengan menginokulasikan kultur cair isolat bakteri menggunakan mikro pipet pada *paper disc* steril dan diletakkan pada permukaan media Zobell laut agar yang telah diperkaya amilum atau pati 1% dan diinkubasi pada suhu 32°C selama 24 jam serta dilakukan perhitungan zona bening. Larutan iodine dituangkan pada permukaan media uji ketika dilakukan pengamatan. Hasil positif aktivitas enzim protease ditunjukkan dengan terbentuknya zona bening di sekitar *paper disc* (Setyati *et al.*, 2016).

Uji aktivitas enzim lipase dilakukan dengan mengacu berdasarkan metode Oves *et al.* (2017). Kultur cair isolat bakteri diinokulasikan menggunakan mikro pipet pada *paper disc* steril dan diletakkan pada permukaan media Zobell laut agar yang telah diperkaya minyak zaitun. Cawan petri kemudian diseal dan diinkubasi pada suhu 32°C selama 24 jam serta dilakukan perhitungan zona bening. Hasil positif aktivitas enzim lipase ditunjukkan dengan terbentuknya zona bening di sekitar *paper disc*.

Identifikasi molekuler berbasis gen 16S rRNA dilakukan untuk mengetahui spesies dari isolat bakteri asosiasi. DNA total diekstraksi dari sel bakteri menggunakan kit ekstraksi komersial sesuai dengan petunjuk prosedur. Amplifikasi gen dilakukan melalui PCR dengan menggunakan primer universal 27F dan 1492R. Hasil amplifikasi dikonfirmasi melalui elektroforesis gel agarosa 1% dan visualisasi menggunakan sinar UV. Produk PCR yang valid kemudian dikirim ke PT Genetika Scinece dan data sekuen dibandingkan dengan database GenBank menggunakan BLAST untuk memperoleh identifikasi spesifik isolat. Fragmen gen 16S rRNA isolat bakteri digunakan untuk memeriksa kemiripan data dan memperoleh pohon filogenetik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengambilan sampel memperoleh sampel dengan spesies *P. erosa*. Berdasarkan hasil isolasi, isolat tersebut diperoleh dari hasil pengenceran 10^{-5} dan 10^{-6} . Hasil pengenceran tersebut merupakan hasil dengan kepadatan bakteri yang rendah. Hal ini diperkuat oleh Manalu dan Pardosi (2022), bahwa tujuan dilakukannya pengenceran untuk menurunkan kepadatan sel bakteri hingga mencapai tingkat yang memungkinkan terbentuknya koloni terpisah dengan jelas, yaitu pada kisaran pengenceran 10^{-5} hingga 10^{-6} . Semakin tinggi tingkat pengenceran maka semakin sedikit mikroba yang dihasilkan. Pada pengenceran 10^{-5} hingga 10^{-6} dalam penelitian ini diperoleh 4 koloni yang tumbuh terpisah dengan morfologi berbeda. Hasil isolasi tersebut kemudian dilakukan pemurnian dengan memindahkan koloni ke media baru menggunakan metode *streak plate*. Isolat yang telah dimurnikan dilakukan karakterisasi secara makroskopis dan mikroskopis melalui

pewarnaan gram. Hasil identifikasi disajikan pada (Tabel 1). Hasil purifikasi menunjukkan bahwa isolat bakteri memiliki karakteristik morfologi yang berbeda. Berdasarkan pengamatan margin, isolat bakteri didominasi oleh karakteristik entire. Sedangkan, karakteristik lainnya menunjukkan hasil yang bervariasi. Menurut Anjani *et al.* (2022), variasi morfologi dari setiap bakteri dapat dipengaruhi oleh penggunaan media. Ciri morfologi sel bakteri tersebut dipengaruhi oleh kandungan nutrisi dalam media. Berdasarkan pengamatan secara mikroskopis isolat bakteri didominasi oleh bakteri gram positif yang ditunjukkan dengan warna ungu. Sel isolat bakteri memiliki bentuk yang beragam seperti Coccus, Staphylococci, Diplobacilli, dan Bacillus. Hal ini diperkuat oleh Kosasi *et al.* (2019), yang menyatakan bahwa bakteri gram positif ditunjukkan dengan warna ungu atau biru. Hal ini dikarenakan bakteri gram positif mampu mempertahankan zat warna kristal violet setelah dilakukan dekolorisasi dengan alkohol.

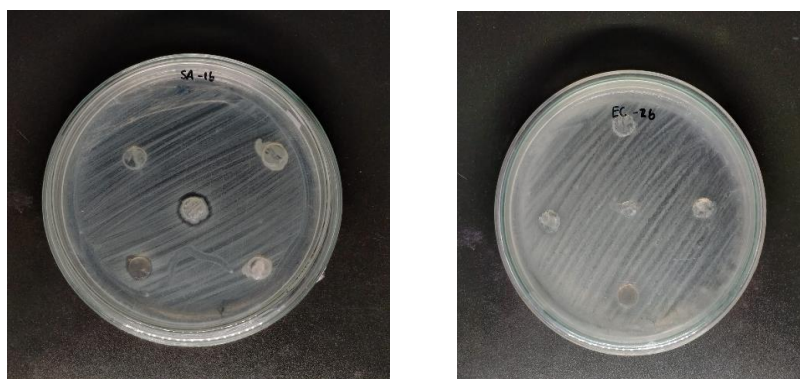
Hasil antibakteri diperoleh hanya 1 isolat yang dapat menghambat aktivitas bakteri uji. Kemampuan bakteri dalam menghambat bakteri uji karena adanya metabolit sekunder yang merupakan upaya adaptasi terhadap lingkungannya. Kondisi lingkungan pada lokasi pengambilan sampel tergolong cukup tercemar dengan kondisi ekologi yang dekat vegetasi mangrove.

Hasil uji antibakteri dengan metode *agar plug* menunjukkan bahwa terdapat 1 dari 5 isolat yang memiliki aktivitas antibakteri. Terdapat 1 isolat yang aktif terhadap *Staphylococcus aureus* yaitu isolat B1.5.1 (a2). Terbentuknya zona bening di sekitar isolat bakteri menunjukkan bahwa bakteri tersebut dapat melawan bakteri uji. Hal ini diperkuat oleh Pringgenies dan Renata (2014), bahwa pertumbuhan bakteri uji dapat terhambat oleh bakteri simbiosis yang mengeluarkan senyawa metabolit sekunder. Metabolit sekunder dihasilkan oleh bakteri simbiosis dari *P. erosa* merupakan suatu bentuk adaptasi terhadap lingkungannya. Metabolit sekunder tidak hanya berfungsi sebagai mekanisme pertahanan diri, tetapi juga berperan dalam interaksi dengan organisme lain, mencegah infeksi oleh mikroorganisme, serta membantu dalam proses reproduksi.

Zona bening pada *S. aureus* mengindikasikan adanya mekanisme penghambatan, baik melalui gangguan sintesis dinding sel, protein, maupun metabolisme sel. Perbedaan sensitivitas bakteri uji terhadap senyawa antibakteri erat kaitannya dengan struktur dinding sel. *S. aureus* sebagai

Tabel 1. Identifikasi Makroskopis dan Mikroskopis Bakteri Asosiasi *P.erosa*

Kode Isolat	Identifikasi Makroskopis					Identifikasi Mikroskopis	
	Ukuran	Warna	Elevasi	Form	Margin	Bentuk	Sifat
B1.5.1 (a2)	Small	Putih susu	Convex	Round	Entire	Bacil	Gram negatif
B1.5.1 (b2)	Moderate	Putih susu	Flat	Round	Entire	Coccus	Gram positif
B1.5.2 (a2)	Small	Putih susu	Flat	Punctiform	Entire	Diplobacilli	Gram positif
B1.6.2 (a2)	Small	Cream	Raised	Round	Entire	Coccus	Gram positif



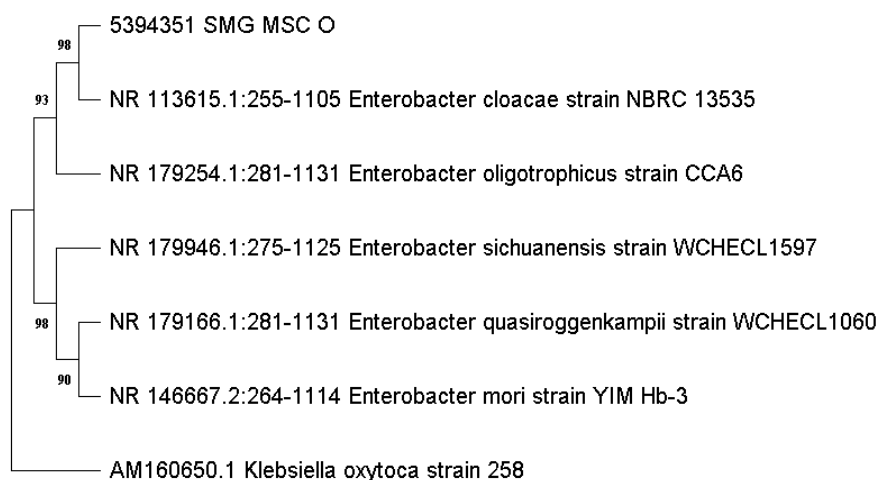
Gambar 1 Hasil Uji Antibakteri pada *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*

bakteri Gram positif memiliki lapisan peptidoglikan yang tebal namun relatif sederhana, sehingga mempermudah senyawa antibakteri untuk masuk dan menimbulkan efek penghambatan (Maryadi *et al.*, 2017; Paray *et al.*, 2023). Temuan ini serupa dengan laporan Judianti *et al.* (2015), bahwa bakteri simbiosis kerang pisau (*Solen* sp.) lebih efektif menghambat *S. aureus* dibandingkan *E. coli*. Variasi ketebalan dinding sel bakteri dan struktur komponennya mampu mempengaruhi resistensi dan kemampuan zat antibakteri untuk merusak lapisan dinding sel.

Hasil uji enzimatik terhadap isolat bakteri simbiosis dari bivalvia *P. erosa* menunjukkan adanya variasi kemampuan dalam menghasilkan enzim protease, amilase, dan lipase. Terdapat tiga dari lima isolat yang diuji, memperlihatkan aktivitas enzim dengan hasil positif pada ketiga jenis enzim, yaitu protease, amilase, dan lipase. Hasil pengukuran rata-rata zona bening dan standar deviasi pengujian aktivitas enzimatik isolat bakteri asosiasi *P. erosa* disajikan pada (Tabel 3). Terbentuknya zona jernih pada aktivitas proteolitik menandakan bahwa isolat bakteri mampu menghidrolisis protein dalam media *skim milk*. Menurut Pradana *et al.* (2023), terbentuknya zona jernih yang ini merupakan bukti pemecahan kasein (*skim milk*) yang berwarna putih menjadi senyawa turunan transparan yang lebih mudah larut. Temuan ini sejalan dengan penelitian Setyati *et al.* (2023), yang menunjukkan bahwa bakteri simbiosis bivalvia *Hiatula chinensis* mampu memproduksi enzim protease.

Aktivitas enzim amilase pada isolat bakteri asosiasi *P. erosa* diuji menggunakan metode pewarnaan iodine pada media yang diperkaya dengan amilum 1%. Prinsip pengujian ini adalah terbentuknya zona bening di sekitar koloni setelah penambahan iodine, yang menandakan terjadinya hidrolisis pati menjadi senyawa lebih sederhana. Wibowo *et al.* (2022), menyatakan bahwa zona bening yang terbentuk setelah penambahan iodine menunjukkan bahwa amilosa pada media telah dihidrolisis menjadi maltosa. Hasanah *et al.* (2024), menegaskan bahwa aktivitas bakteri amilolitik ditandai oleh kemampuan bakteri dalam menguraikan pati menjadi maltosa, glukosa, dan dekstrin. Selain itu, aktivitas ini juga berhubungan erat dengan potensi bakteri dalam menghasilkan berbagai karbohidrat sederhana yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi.

Zona bening di sekitar koloni pada aktivitas lipolitik menandakan kemampuan isolat dalam menghidrolisis minyak zaitun yang ditambahkan ke dalam media uji. Suciati *et al.* (2016), menjelaskan bahwa aktivitas lipolitik ditunjukkan dengan terbentuknya zona transparan sebagai hasil hidrolisis trigliserida minyak zaitun oleh enzim lipase. Proses ini melepaskan asam lemak bebas, termasuk asam palmitat, yang dapat terdeteksi melalui perubahan warna medium. Mekanisme kerja lipase melibatkan hidrolisis trigliserida menjadi gliserol dan asam lemak rantai panjang, di mana pada media selektif dengan emulsi minyak zaitun menghasilkan zona jernih di sekitar pertumbuhan koloni (Khairani dan Manalu, 2023).



Gambar 2. Pohon Filogenetik Bakteri Asosiasi Terpilih

Tabel 2. Hasil Perhitungan Uji Aktivitas Enzimatis

Kode Isolat	Diameter Aktivitas Enzimatis (mm)		
	Lipolitik	Amilolitik	Proteolitik
B1.5.1 (a2)	12.10 ± 0.424	9.50 ± 1.131	11.05 ± 0.777
B1.5.1 (b2)	10.45 ± 0.919	9.70 ± 0.707	10.00 ± 0.424
B1.5.2 (b2)	-	-	-
B1.6.2 (a2)	-	-	-



Gambar 3. Morfologi Bakteri Asosiasi Terpilih (*E. cloacae*)

Identifikasi molekuler dilakukan terhadap satu isolat bakteri asosiasi bivalvia *P. erosa* yang memiliki aktivitas antibakteri dan enzimatis. Analisis dilakukan berdasarkan sekuens gen 16S rRNA, yang merupakan gen konservatif pada bakteri dan banyak digunakan dalam identifikasi serta analisis filogenetik. Urutan nukleotida hasil sekuensing kemudian dibandingkan dengan database GenBank melalui program *Basic Local Alignment Search Tool* (BLAST) yang tersedia pada NCBI. Hasil analisis menunjukkan bahwa isolat B1.5.1 (a2) memiliki panjang sekuens 1465 bp dan teridentifikasi sebagai *Enterobacter cloacae* dengan tingkat kemiripan (*percent identity*) 100% dan *query cover* 100%. Tingkat kesamaan ini mengindikasikan bahwa kedua isolat tersebut dapat dikategorikan dalam spesies yang sama dengan referensi pembandingan. Hal ini diperkuat oleh Wulandari dan Purwaningsih (2019), yang menyatakan bahwa tingkat homologi di atas 97% menunjukkan bahwa isolat dapat dianggap sebagai spesies yang sama. Konstruksi pohon filogenetik menggunakan *Klebsiella oxytoca* sebagai *outgroup* (Gambar 2). Konstruksi filogenetik dibuat menggunakan metode *neighbor joining* dan analisis *bootstrap* 1000 kali untuk memastikan validitas cabang. Hal ini diperkuat oleh Larasati *et al.* (2021), bahwa metode *bootstrap* adalah metode penting untuk menilai kualitas cabang pohon filogenetik, karena berdasarkan pengulangan (*resampling*) data untuk mengukur kepercayaan cabang. Hasil analisis filogenetik menunjukkan bahwa isolat B1.5.1 (a2) berkelompok sangat dekat dengan *E. cloacae*

Isolat B1.5.1 (a2), yang teridentifikasi sebagai *E. cloacae* merupakan bakteri Gram-negatif berbentuk batang dari famili *Enterobacteriaceae*. Bakteri ini bersifat fakultatif anaerob, motil dengan flagela peritrik, serta tidak membentuk spora. Secara klinis, *E. cloacae* dikenal sebagai patogen oportunistik yang dapat menyebabkan infeksi saluran kemih, pernapasan, hingga septicemia, terutama pada pasien dengan imunitas rendah (Mezzatesta *et al.*, 2012). Namun, di luar sifat patogeniknyanya, *E. cloacae* juga memiliki prospek besar dalam bioteknologi industri. Sulasih dan Widawati (2019), melaporkan bahwa strain *E. cloacae* mampu menghasilkan enzim fitase yang menghidrolisis asam fitat menjadi fosfor anorganik yang dapat diserap tanaman dan mengurangi pencemaran fosfat di perairan (eutrofikasi). Hasil uji enzimatis pada isolat *E. cloacae* menunjukkan produksi enzim hidrolitik yang menyediakan prekursor metabolit untuk biosintesis EPS. Hal ini sejalan dengan Xie *et al.* (2023), yang menyatakan bahwa strain *E. Cloacae* yang diisolasi dari sedimen

laut mampu memproduksi EPS yang tersusun atas fukosa, galaktosa, dan glukosa. Keberadaan EPS yang diproduksi oleh bakteri laut seperti *E. cloacae* sangat penting, karena selain berfungsi sebagai pelindung sel terhadap kondisi lingkungan ekstrim senyawa ini juga berperan dalam membentuk biofilm

KESIMPULAN

Bakteri asosiasi *Polymesoda erosa* sangat beragam dan berpotensi menghasilkan senyawa antibakteri dan enzim ekstraseluler. Isolat *Enterobacter cloacae* menunjukkan aktivitas antibakteri dan enzimatik yang paling kuat. Hal tersebut menunjukkan bahwa bakteri asosiasi *P. erosa* dapat berfungsi sebagai sumber bioteknologi laut yang bermanfaat untuk pengembangan bioindustri ramah lingkungan. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat melakukan uji kestabilan enzim dan analisis metabolit sekunder secara kimiawi untuk mengetahui jenis senyawa yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anjani, D. O., Widayat, B. M., Sugiarto, O. K. H., Surya, S., Suryani, A. I., & Setyati, W. A. (2022). Antibacterial Activity Of Mollusc Symbiotic Bacteria From Mangrove Ecosystem In Jepara Against *S. aureus*, *V. harveyi* and *V. alginolyticus*. *Jurnal Moluska Indonesia*, 6(2), 79-86.
- Biswas, K., Paul, D., & Sinha, S. N. (2016). Marine bacteria: a potential tool for antibacterial activity. *J Appl Environ Microbiol*, 4(1), 25-29.
- De Guzman, M. F., & Argente, F. A. T. (2022). Antimicrobial Activities of the Soft-Tissue Ethanollic Crude Extracts of *Corbiculid clam*, *Corbicula fluminea* and *Cyrenid clam*, *Geloina Expansa*. *Matrix Science Pharma*, 6(3), 68-74.
- Fitri, D. A., Asih, E. N. N., Kartika, A. G. D., Agustina, N., Fadholi, B., Dewi, K., & Efendy, M. (2022). Morphological characteristics of halophilic bacteria in traditional salt production. *Journal Of Marine Resources And Coastal Management*, 3(1), 1-7.
- Judianti, O. W., Asri, M. T., & Trimulyono, G. (2015). Aktivitas Antibakteri Isolat Bakteri yang Berasosiasi dengan Kerang Pisau (*Solen* sp.). *Sains dan Matematika*, 4(1), 8-15.
- Kosasi, C., Lolo, W. A., & Sudewi, S. (2019). Isolasi dan uji aktivitas antibakteri dari bakteri yang berasosiasi dengan alga *Turbinaria ornata* (Turner) J. Agardh serta identifikasi secara biokimia. *Pharmakon*, 8(2), 351-359.
- Khairani, K., & Manalu, K. (2023). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Lipolitik dari Limbah Cair Kelapa Sawit (*Elaeis quineensis* Jacq.). *bioedusains Jurnal Pendidikan Biologi Dan Sains*, 6(1), 1-13.
- Kuo, J., Yang, Y. T., Lu, M. C., Wong, T. Y., Sung, P. J., & Huang, Y. S. (2019). Antimicrobial activity and diversity of bacteria associated with Taiwanese marine sponge *Theonella swinhoei*. *Annals of Microbiology*, 69(3), 253-265.
- Kurniasari, I., Sulistyningtyas, A. R., & Darmawati, S. (2022). Isolasi Bakteri Proteolitik Hasil Fermentasi Inasua Ikan Bawal (*Colossoma macropomum*). In *Prosiding Seminar Nasional Unimus* (Vol. 5).
- Larasati, S. J. H., Sabdono, A., & Sibero, M. T. (2021). Identifikasi molekuler kapang asosiasi spons menggunakan metode dna barcoding. *Journal of Marine Research*, 10(1), 48-54.
- Manalu, A. I., & Pardosi, L. (2022). Isolasi Dan Karakterisasi Bakteri Penghasil Antibiotik Dari Tanah Sawah Di Naen Kabupaten Timor Tengah Utara. *Jurnal Saintek Lahan Kering*, 5(1), 5-6.
- Maryadi, M., Yusuf, F., & Farida, S. (2017). Antibacterial assay of ethanolic extract Musi Tribe medicinal plant in Musi Banyuasin, South Sumatera. *Jurnal Kefarmasian Indonesia*, 7(2), 127-135.
- Mezzatesta, M. L., Gona, F., & Stefani, S. (2012). *Enterobacter cloacae* complex: clinical impact and emerging antibiotic resistance. *Future microbiology*, 7(7), 887-902.
- Naibaho, F., Putra, E. D., Neneng, L., & Panjaitan, D. (2023). Isolasi Bakteri Endofit Bawang Dayak (*Eleutherine bulbosa*) dan Uji Antagonisme Terhadap Bakteri *Escherichia Coli* Dan *Staphylococcus aureus*. *Bioma*, 19(1), 42-51.
- Oves, M., Qari, H. A., Felemban, N. M., Khan, M. Z., Rehan, Z. A., & Ismail, I. M. (2017). *Marinobacter lipolyticus* from Red Sea for lipase production and modulation of silver nanomaterials for anti-candidal activities. *IET nanobiotechnology*, 11(4), 403-410.
- Paray, A. A., Singh, M., Mir, M. A., & Kaur, A. (2023). Gram staining: a brief review. *International Journal*

- of Research and Review, 10(9), 336-341.
- Pradana, T. G., Putra, A., Siswoyo, P., Rusdhi, A., Negara, A. B. W., & Haz, I. N. (2023, April). Eksplorasi Bakteri Proteolitik Dari *Ileum Gallus Gallus* Sebagai Kandidat Agen Probiotik Pakan Ternak Unggas Lokal. *Scenario*, pp. 322-331.
- Pringgenies, D., & Renta, P. P. (2014) Bakteri Asosiasi *Gastropoda Pleuroploca trapesium* Dari Perairan Ternate, Sebagai Alternatif Antibakteri MDR. *Ilmu Kelautan*, 19(1), 55-62.
- Raveendran, S., Parameswaran, B., Ummalyma, S. B., Abraham, A., Mathew, A. K., Madhavan, A., Rebello, S. & Pandey, A. (2018). Applications of Microbial Enzymes in Food Industry. *Food Technology and Biotechnology*, 56(1), 16-30.
- Remijawa, E. S., Rupidara, A. D., Ngginak, J., & Radjasa, O. K. (2020). Isolasi dan seleksi bakteri penghasil enzim ekstraseluler pada tanah mangrove di pantai noelbaki. *Jurnal Enggano*, 5(2), 164-180.
- Setyati, W. A., Habibi, A. S., Subagiyo, S., Ridlo, A., Soenardjo, N., & Pramesti, R. (2016). Skringing dan seleksi bakteri simbiosis spons penghasil enzim ekstraseluler sebagai agen bioremediasi bahan organik dan biokontrol vibriosis pada budidaya udang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 19(1), 11-20.
- Setyati, W. A., Pringgenies, D., Soenardjo, N., & Pramesti, R. (2023). Enzyme-producing symbiotic bacteria in gastropods and bivalves molluscs: Candidates for bioindustry materials. *Biodiversitas: Journal of Biological Diversity*, 24(1), 20-25.
- Stincone, P., & Brandelli, A. (2020). Marine bacteria as source of antimicrobial compounds. *Critical reviews in biotechnology*, 40(3), 306-319.
- Suciati, P., Tjahjaningsih, W., Masithah, E. D., & Pramono, D. H. (2016). Aktivitas Enzimatis Isolat Bakteri Asam Laktat dari Saluran Pencernaan Kepiting Bakau (*Scylla* spp.) Sebagai Kandidat Probiotik. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 8(2), 94-108.
- Sulasih & Widawati, S. (2019). Phytase Production by *Enterobacter cloacae*. *Biotropia*, 27(3), 282-291.
- Supriyatna, A., Amalia, D., Jauhari, A. A., & Holydaziah, D. (2015). Aktivitas Enzim Amilase, Lipase, dan Protease dari Larva *Hermetia illucens* yang Diberi Pakan Jerami Padi. *Jurnal Istek*, 9(2), 18-32.
- Wibowo, R. H., Darwis, W., Sipriyadi, S., Adfa, M., Silvia, E., Wahyuni, R., Sari, D. A., & Masrukhin, M. (2022). Bakteri Penghasil Amilase Yang Diisolasi Dari Ekoenzim Limbah Buah-Buahan. *Jurnal Biosilampari: Jurnal Biologi*, 4(2), 107-117.
- Wignyanto & Hidayat, N. (2017). Bioindustri. Malang: UB Press
- Wulandari, D. & Purwaningsih, D. (2019). Jurnal Bioteknologi dan Biosains Indonesia Identifikasi dan Karakterisasi Bakteri Amilolitik Pada Umbi *Colocasia esculenta* L. Secara Morfologi, Biokimia, Dan Molekuler. *Bioteknologi dan Biosains Indonesia*, 6(2), 247-258.
- Xie, Y., Ye, Z., Wan, X., Deng, H., Sun, W., He, X. & Chen, K. (2023). Screening of Exopolysaccharide-Producing *Enterobacter aerogenes* NJ1023 and its Cadaverine Biosynthesis Promotion. *Frontiers in Microbiology*, 14(7), 1-9.