

## Identification of Rhizospheric Bacterial Diversity in Mangrove Ecosystems in Tanah Laut Regency

Nisrina Ramadhani<sup>1</sup>, Guruh Mayka Putra<sup>1</sup>, Akhmad Rizali<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru, Indonesia;

### Article History

Received :

Revised :

Accepted :

Published :

\*Corresponding Author:

**Akhmad Rizali**, Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru, Indonesia; Email: [arizali25@yahoo.com](mailto:arizali25@yahoo.com)

**Abstract:** Mangrove ecosystem is rich in rhizosphere bacteria that support the nutrient cycle and environmental balance. This study aims to identify the diversity of rhizosphere bacteria from mangrove soils in Tanah Laut Regency, South Kalimantan. Samples were taken from three types of mangrove density tight, medium, and rare, at depths of 0-30 cm and 30-60 cm. Tiered dilution to level  $10^{-8}$ , dilution level  $10^{-5}$  to  $10^{-8}$  are inoculated on NA media and purified. The purification results obtained a total of 29 isolats, in the dense mangrove type there were 14 isolats, medium mangroves 8 isolats, and rare mangroves 7 isolats. Morphological analysis showed macroscopic variation with round, entire, undulate, and irregular colony margins. There are white, yellow, beige, and orange colors. Elevation consists of flat, raised, to convex. The size of the colony is small to moderate. Microscopic analysis based on the results of gram staining there are groups with positive and negatif grams, in the form of coccus cells, bacillus, and coccobacillus. Growth assays on pH 3, 5, 7, and 9 indicated optimal growth at pH 7, with strong inhibition at pH 3. These results confirm that there is a high level of diversity of mangrove rhizosphere bacteria.

**Keywords:** Bacterial Rhizosphere; Bacterial Morphology; Mangrove; pH Influence.

### Pendahuluan

Ekosistem mangrove merupakan salah satu ekosistem paling beragam dan memiliki peranan penting dalam menjaga keseimbangan lingkungan. Mangrove tumbuh di sepanjang garis pantai tropis hingga subtropis pada lingkungan yang mengandung garam dan memiliki kondisi tanah anaerob (Maulani *et al.*, 2021). Kawasan pantai yang memiliki ekosistem mangrove salah satunya adalah kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan. Ekosistem mangrove di wilayah ini memiliki karakteristik khas, dimana di bawah pepohonannya terdapat banyak akar napas, sehingga dedaunan yang jatuh, terkumpul dan terjebak. Kondisi ini memungkinkan terdapat banyak mikroorganisme dekomposer seperti bakteri dan jamur mikroskopis (Zega *et al.*, 2024).

Ekosistem yang memiliki tingkat kesuburan yang lebih tinggi salah satunya

adalah ekosistem mangrove hal ini dipengaruhi oleh sedimen khususnya rizosfer karena memiliki kandungan unsur hara yang tinggi. Hubungan yang kompleks antara akar, mikroorganisme, air, dan tanah yang terbentuk di area dekat akar disebut dengan rizosfer. Rizosfer memiliki keanekaragaman mikroorganisme yang kaya, banyak di antaranya bermanfaat bagi tanaman untuk menekan invasi patogen dan membantu memperoleh nutrisi dari tanah (Chrisnawati *et al.*, 2023; Ling *et al.*, 2022). Mikroorganisme yang berada di dalam tanah mayoritas terdiri dari bakteri dan sebagian besar ditemukan pada rizosfer (Tkacz *et al.*, 2020).

Bakteri yang ditemukan disekitar perakaran tanaman dikenal sebagai bakteri rizosfer. Bakteri rizosfer merupakan bakteri yang berada di daerah sistem perakaran tanaman yang memanfaatkan eksudat akar sebagai sumber nutrisi, dan menghasilkan berbagai metabolit sekunder untuk

pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Febriyatiningrum *et al.*, 2023). Bakteri rizosfer memiliki peran signifikan dalam mendukung pertumbuhan tanaman melalui berbagai mekanisme, diantaranya produksi hormon pertumbuhan, pelarut fosfat, serta fungsi agen biokontrol terhadap patogen tanaman. Bakteri ini diklasifikasikan sebagai *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR), yaitu kelompok bakteri rizosfer yang berfungsi dalam memicu pertumbuhan tanaman (Chauhan *et al.*, 2023).

Berdasarkan penelitian Ganjanasiripong *et al.* (2022), pada hutan mangrove Klong Tub di Provinsi Chonburi, Thailand, yang diambil dari sedimen dua lokasi berbeda terdapat total 233 isolat bakteri. Lokasi pertama didekat lahan basah *T.angustifolia* terdapat 80 isolat bakteri sedangkan pada lokasi kedua di hutan mangrove terdapat 153 isolat. Berdasarkan penelitian Chrisnawati *et al.* (2023), pada ekosistem mangrove di Tapak Semarang ditemukan 19 isolat bakteri rizosfer, 9 isolat bakteri gram positif, 10 isolat bakteri gram negatif, memiliki bentuk sel yang sama tetapi karakteristik morfologi berbeda.

Penelitian Sahiba *et al.* (2024), pada tanah mangrove di Labu Sawo desa Penyaring kabupaten Sumbawa terdapat bakteri berbentuk *Cococbasil* gram negatif. Bakteri ini diduga termasuk dalam genus *Aeromonas* berdasarkan kemampuannya dalam memfermentasi karbohidrat, serta karakteristik negatif pada uji penggunaan sitrat sebagai sumber karbon dan produksi enzim urease. Penelitian Waskitho *et al.* (2023), pada ekosistem mangrove di Desa Tambakrejo Kecamatan Sumbermanjing Wetan Kabupaten Malang ditemukan 12 isolat bakteri dengan 3 warna berbeda, bentuk bulat (*round*), ukuran berkisar  $\pm 2$  mm-  $\pm 3$  mm, dengan elevasi *flat*.

Namun, studi mengenai keragaman bakteri rizosfer pada ekosistem mangrove di Kabupaten Tanah laut masih sangat terbatas. Sebagian besar penelitian sebelumnya lebih fokus pada aspek makroekosistem. Merujuk pada penjelasan sebelumnya tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui keragaman bakteri rizosfer kawasan tanah mangrove di Kabupaten Tanah Laut.

## Bahan dan Metode

### Lokasi dan waktu penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2025 sampai Maret 2026, lokasi pengambilan sampel di areal ekosistem mangrove, Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan selatan. Identifikasi bakteri dilakukan di Laboratorium Produksi Jurusan Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Lambung Mangkurat Banjarbaru.

### Alat dan bahan

Alat yang digunakan meliputi bor tanah, *coolerbox*, pH meter, timbangan analitik, *Laminar Air Flow* (LAF), *autoclave*, *hotplate magnetic stirrer*, mikro pipet, oven, mikroskop, pipet tetes, botol vial, cawan petri, tabung reaksi, rak tabung reaksi, erlenmeyer, bunsen, objek *glass*, *cover glass*, jarum ose.

Bahan yang digunakan meliputi sampel rizosfer, akuades, alkohol, spritus, media NA (*Nutrient Agar*), media NB (*Nutrient Broth*), NaCl, kristal *violet*, iodium, Safranin, NaOH, HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, BaCl<sub>2</sub>, *cling wrap*, *aluminium foil*, plastik tanah panas, dan plastik clip.

### Prosedur penelitian

#### *Pengambilan sampel*

Sampel tanah diambil di sekitar rizosfer kawasan ekosistem mangrove Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan. Sampel diambil dari 3 lokasi berbeda berdasarkan tipe kerapatan mangrove menggunakan teknik *purposive* sampling dengan tingkat kedalaman 0-30 dan 30-60 cm. Sampel tanah kemudian dimasukkan kedalam plastik klip berlabel, disimpan dalam *cooler box*. Sampel kemudian dibawa ke Laboratorium.

#### *Isolasi dan purifikasi*

Sebanyak 10 gram tanah rizosfer dicampur dengan 90 ml larutan fisiologis steril dan *dishaker* pada kecepatan 150 rpm selama 15 menit. Kemudian dilakukan pengenceran bertingkat dengan perbandingan 1:9, 1ml suspensi diencerkan dengan 9ml larutan fisiologis sebagai pengenceran 10<sup>-1</sup>. Hasil pengenceran 10<sup>-1</sup> diambil 1ml untuk diencerkan kembali dengan 9ml larutan fisiologis pengenceran 10<sup>-2</sup>, proses yang sama dilakukan hingga 10<sup>-8</sup>. Sebanyak 0,1 ml suspensi dari

pengenceran  $10^{-5}$  hingga  $10^{-8}$  diinokulasikan pada media NA menggunakan metode *spread plate*, kemudian diinkubasi selama 24 – 72 jam pada suhu ruang (Fallo *et al.*, 2023; Yusril *et al.*, 2024).

Proses purifikasi dilakukan menyeleksi koloni yang menunjukkan karakteristik morfologi berbeda pada setiap cawan petri menggunakan metode *streak plate* (metode gores). Koloni terpilih diambil menggunakan jarum ose, digoreskan pada media baru, lalu diinkubasi pada suhu ruang selama 24 – 48 jam (Fadhila *et al.*, 2023).

#### Karakterisasi isolat

Karakterisasi bakteri dilakukan melalui identifikasi karakter morfologis secara makroskopis pada media NA meliputi warna koloni, ukuran koloni, tepian, bentuk koloni, dan elevasi koloni. Identifikasi mikroskopis dilakukan dengan pewarnaan gram untuk mengidentifikasi bentuk sel dan warna sel, menggunakan mikroskop dengan perbesaran tertentu (Abna *et al.*, 2020).

#### Uji pengaruh pH

Inokulasi Bakteri uji dilakukan ke dalam tabung reaksi yang berisi 9 ml media NB (*nutrient broth*) pada pH 3, 5, 7, dan 9. Tingkat pH diatur menggunakan NaOH maupun HCl, berikutnya dilakukan inkubasi selama 24 jam pada suhu ruang (Sari *et al.*, 2024). Pasca inkubasi, pertumbuhan bakteri dianalisis berdasarkan kekeruhan atau densitas sel. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan instrumen spektrofotometer uv-vis yang diatur pada panjang gelombang 600nm (OD600). Kemudian dihubungkan dengan standar McFarland untuk menghitung jumlah sel bakteri (Mahesh *et al.*, 2025).

**Tabel 1.** McFarland standar (Mahesh *et al.*, 2025)

McFarland Standar	Corrected Blank 600	Approximate Bacterial Number/mL
0,5	0.118	$1.5 \times 10^8$
1	0.2615	$3.0 \times 10^8$
2	0.4745	$6.0 \times 10^8$
3	0.822	$9.0 \times 10^8$

#### Analisis data

Data hasil penelitian diolah menggunakan metode analisis secara deskriptif berdasarkan hasil observasi morfologi makroskopis (koloni), morfologi mikroskopis (sel). Jumlah sel pada pengaruh pH terhadap pertumbuhan bakteri berdasarkan hasil value ABS dengan OD 600 pada spektrofotometer uv-vis dan dihubungkan pada data standar McFarland

#### Hasil dan Pembahasan

##### Isolasi dan purifikasi

Sebanyak 9 sampel rizosfer diambil dari 3 lokasi dengan tipe mangrove berbeda dilakukan pengenceran bertingkat. Hasil pengenceran bertingkat pada konsentrasi  $10^{-5}$ , hingga  $10^{-8}$  kemudian dilakukan isolasi pada media NA, dan diamati pertumbuhan koloni secara visual.

Bakteri yang telah diisolasi pada media NA kemudian dipilih berdasarkan karakteristik yang berbeda untuk dilakukan purifikasi sehingga mendapat isolat murni. Berdasarkan hasil purifikasi didapatkan sebanyak 29 isolat murni. 14 isolat pada mangrove rapat, 8 isolat pada mangrove sedang, dan 7 isolat pada mangrove jarang. Berdasarkan tingkat kedalaman pengambilan sampel didapatkan sebanyak 15 isolat pada kedalaman 0-30 cm, dan 14 isolat pada kedalaman 30-60 cm.

##### Karakteristik morfologi bakteri

Berdasarkan hasil isolasi dan karakterisasi morfologi bakteri yang telah dilakukan pada sampel rizosfer mangrove, diperoleh karakter makroskopis dan mikroskopis dapat dilihat pada tabel 2. Secara makroskopis, sebanyak 25 isolat memiliki bentuk *round* (bulat) dengan tepian koloni *entire*, *undulate*, dan *irregular*. Sebanyak 23 isolat memiliki warna putih, ditemukan juga 4 isolat berwarna kuning, 1 isolat berwarna krem, dan 1 isolat berwarna oren. Ukuran koloni bervariasi dari small hingga moderate dengan elevasi yang beragam mulai dari *flat*, *raised*, hingga *convex*. Secara mikroskopis menunjukkan bahwa terdapat kelompok bakteri dengan gram negatif dan gram positif, memiliki morfologi sel yang beragam diantaranya Bacillus (batang), Coccus (bulat), Diplococci, Streptococci, hingga Coccobacillus.

Tabel 2. Karakteristik morfologi bakteri

Tipe Mangrove	Kedalaman	Kode Isolat	Mikroskopis			Makroskopis			
			Gram	Bentuk Sel	Warna Koloni	Bentuk Koloni	Ukuran Koloni	Elevasi	Tepian
Rapat	30 Cm	10 <sup>-5</sup> 1 <sup>2</sup> (5)	+	Coccus	Kuning	Round	Small	Convex	Entire
		10 <sup>-8</sup> 1 <sup>2</sup> (1)	+	Coccus	Putih	Round With Scalloped Margin	Moderate	Flat	Irregular
		10 <sup>-6</sup> 7 <sup>2</sup> (1)	-	Coccus	Putih	Round	Moderate	Convex	Entire
		10 <sup>-6</sup> 7 <sup>2</sup> (2)	-	Bacillus	Putih	Round	Small	Flat	Undulate
		10 <sup>-8</sup> 7 <sup>2</sup> (2)	+	Diplococci	Putih	Round	Small	Raised	Undulate
		10 <sup>-9</sup> 1 <sup>1</sup> (1)	+	Streptobacilli	Putih	Round	Small	Flat	Undulate
	60 Cm	10 <sup>-5</sup> 2 <sup>1</sup> (3)	+	Coccus	Oren	Round With Scalloped Margin	Moderate	Raised	Irregular
		10 <sup>-7</sup> 2 <sup>1</sup> (2)	-	Coccus	Putih	Round	Moderate	Raised	Undulate
		10 <sup>-8</sup> 2 <sup>1</sup> (2)	+	Coccus	Kuning	Round	Small	Raised	Entire
		10 <sup>-8</sup> 2 <sup>2</sup> (1)	-	Diplococci	Putih	Round With Rised Margin Irrigular	Small	Raised	Undulate
		10 <sup>-8</sup> 2 <sup>2</sup> (4)	-	Coccus	Putih	Round And Spreading	Small	Raised	Irregular
		10 <sup>-6</sup> 8 <sup>2</sup> (3)	+	Bacillus	Putih	Round	Moderate	Raised	Undulate
		10 <sup>-8</sup> 8 <sup>1</sup> (1)	-	Bacillus	Putih	Round	Small	Crateriform	Entire
		10 <sup>-8</sup> 8 <sup>3</sup> (2)	+	Bacillus	Putih	Round	Small	Flat	Undulate
		30 Cm	10 <sup>-5</sup> 3 <sup>3</sup> (1)	+	Diplococci	Krem	Round	Moderate	Raised
10 <sup>-6</sup> 3 <sup>2</sup> (2)	+		Sterptococci	Putih	Filiform	Small	Flat	Hair-Locklike	
10 <sup>-7</sup> 3 <sup>3</sup> (1)	-		Coccobacillus	Putih	Round	Small	Raised	Entire	
10 <sup>-7</sup> 3 <sup>3</sup> (2)	+		Streptococci	Putih	Round	Small	Raised	Irrigular	
10 <sup>-5</sup> 4 <sup>3</sup> (2)	+		Coccobacilli	Putih	Branching	Moderate	Raised	Filamentous	
60 Cm	10 <sup>-6</sup> 4 <sup>1</sup> (1)		-	Streptococci	Putih	Round	Small	Raised	Irregular
	10 <sup>-6</sup> 4 <sup>1</sup> (3)		-	Coccus	Putih	Round	Small	Flat	Entire
	10 <sup>-7</sup> 4 <sup>2</sup> (1)	+	Bacillus	Putih	L-Form	Moderate	Raised	Entire	
Jarang	30 Cm	10 <sup>-5</sup> 5 <sup>3</sup> (2)	+	Coccus	Kuning	Round	Small	Flat	Undulate
		10 <sup>-6</sup> 5 <sup>2</sup> (1)	-	Coccus	Putih	Round	Small	Raised	Entire
		10 <sup>-6</sup> 5 <sup>3</sup>	-	Bacillus	Putih	Round	Small	Flat	Irrigular
		10 <sup>-7</sup> 5 <sup>3</sup> (3)	+	Coccus	Putih	Round	Small	Raised	Irrigular
	60 Cm	10 <sup>-8</sup> 5 <sup>3</sup> (1)	+	Bacillus	Putih	Round	Small	Flat	Undulate
		10 <sup>-6</sup> 6 <sup>3</sup> (1)	-	Staphylococci	Kuning	Round	Small	Raised	Irrigular
		10 <sup>-8</sup> 6 <sup>2</sup> (4)	-	Coccus	Putih	Round	Moderate	Convex	Entire

Keterangan: kode isolate (A<sup>-b</sup>X<sup>y</sup>(Z), A<sup>-b</sup> = tingkat pengenceran, X = lokasi serta kedalaman, y = ulangan, (Z) = nomor isolate) + = gram positif. - = gram negative.

### Pengaruh pH terhadap pertumbuhan bakteri

Berdasarkan data tabel 3, bakteri menunjukkan pertumbuhan jumlah sel yang mencapai angka tertinggi lebih dari 1.5x10<sup>8</sup> pada pH 5 sebanyak 26 isolat, pH 7 sebanyak 25 isolat,

dan pH 9 sebanyak 24 isolat. Sedangkan pada pH 3 hampir seluruh isolat mengalami hambatan pertumbuhan, dapat dilihat dari nilai jumlah sel pada pH 3 rata-rata sangat rendah kurang dari 1.5x10<sup>8</sup>.

**Tabel 3.** Pengaruh pH terhadap pertumbuhan bakteri

Tipe Mangrove	pH Tanah aman	Kedalaman	Kode Isolat	Optical density 600nm				Jumlah Sel			
				pH 3	pH 5	pH7	pH9	pH 3	pH 5	pH 7	pH 9
			kontrol	0,021	0,006	0,016	0,006	0	0	0	0
Rapat	6,7	30 cm	10 <sup>-512</sup> (5)	0,084	0,136	0,122	0,220	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤3 x 10 <sup>8</sup>	≤3 x 10 <sup>8</sup>	≤3 x 10 <sup>8</sup>
			10 <sup>-812</sup> (1)	0,048	0,072	0,124	0,072	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤3 x 10 <sup>8</sup>	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>
			10 <sup>-672</sup> (1)	0,023	0,425	0,595	0,399	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤6 x 10 <sup>8</sup>	≤9 x 10 <sup>8</sup>	≤6 x 10 <sup>8</sup>
			10 <sup>-672</sup> (2)	0,040	0,569	0,624	0,393	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤9 x 10 <sup>8</sup>	≤9 x 10 <sup>8</sup>	≤6 x 10 <sup>8</sup>
			10 <sup>-872</sup> (2)	0,034	0,469	0,518	0,549	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤6 x 10 <sup>8</sup>	9 x 10 <sup>8</sup>	9 x 10 <sup>8</sup>
			10 <sup>-691</sup> (1)	0,053	0,353	0,762	0,620	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤6 x 10 <sup>8</sup>	9 x 10 <sup>8</sup>	9 x 10 <sup>8</sup>
	60 cm	10 <sup>-521</sup> (3)	0,028	0,222	0,315	0,230	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤3 x 10 <sup>8</sup>	6 x 10 <sup>8</sup>	3 x 10 <sup>8</sup>	
		10 <sup>-721</sup> (2)	0,012	0,125	0,250	0,093	0	≤3 x 10 <sup>8</sup>	≤3 x 10 <sup>8</sup>	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	
		10 <sup>-821</sup> (2)	0,031	0,517	0,312	0,370	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤9 x 10 <sup>8</sup>	≤6 x 10 <sup>8</sup>	≤6 x 10 <sup>8</sup>	
		10 <sup>-822</sup> (1)	0,089	0,066	0,019	0,057	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	
		10 <sup>-822</sup> (4)	0,092	0,202	0,380	0,226	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤3 x 10 <sup>8</sup>	≤6 x 10 <sup>8</sup>	≤3 x 10 <sup>8</sup>	
		10 <sup>-682</sup> (3)	0,023	0,282	0,473	0,510	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤6 x 10 <sup>8</sup>	≤6 x 10 <sup>8</sup>	≤9 x 10 <sup>8</sup>	
		10 <sup>-881</sup> (1)	0,022	0,511	0,563	0,426	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤9 x 10 <sup>8</sup>	≤9 x 10 <sup>8</sup>	≤6 x 10 <sup>8</sup>	
		10 <sup>-883</sup> (2)	0,030	0,173	0,591	0,466	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤3 x 10 <sup>8</sup>	≤9 x 10 <sup>8</sup>	≤6 x 10 <sup>8</sup>	
Sedang	6,3	30 cm	10 <sup>-533</sup> (1)	0,106	0,197	0,093	0,195	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤3 x 10 <sup>8</sup>	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤3 x 10 <sup>8</sup>
			10 <sup>-632</sup> (2)	0,080	0,254	0,412	0,337	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤3 x 10 <sup>8</sup>	≤6 x 10 <sup>8</sup>	≤6 x 10 <sup>8</sup>
			10 <sup>-733</sup> (1)	0,089	0,256	0,103	0,105	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤3 x 10 <sup>8</sup>	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>
			10 <sup>-733</sup> (2)	0,026	0,084	0,076	0,093	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>
	10 <sup>-543</sup> (2)	0,169	0,464	0,122	0,629	≤3 x 10 <sup>8</sup>	≤6 x 10 <sup>8</sup>	≤3 x 10 <sup>8</sup>	≤9 x 10 <sup>8</sup>		
	60 cm	10 <sup>-641</sup> (1)	0,043	0,154	0,383	0,185	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤3 x 10 <sup>8</sup>	≤6 x 10 <sup>8</sup>	≤3 x 10 <sup>8</sup>	
10 <sup>-641</sup> (3)		0,069	0,150	0,426	0,142	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤3 x 10 <sup>8</sup>	≤6 x 10 <sup>8</sup>	≤3 x 10 <sup>8</sup>		
10 <sup>-742</sup> (1)	0,016	0,302	0,393	0,170	0	≤6 x 10 <sup>8</sup>	≤6 x 10 <sup>8</sup>	≤3 x 10 <sup>8</sup>			
Jarang	4,5	30 cm	10 <sup>-553</sup> (2)	0,066	0,279	0,562	0,189	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤6 x 10 <sup>8</sup>	≤9 x 10 <sup>8</sup>	≤3 x 10 <sup>8</sup>
			10 <sup>-652</sup> (1)	0,107	0,148	0,421	0,149	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤3 x 10 <sup>8</sup>	≤6 x 10 <sup>8</sup>	≤3 x 10 <sup>8</sup>
			10 <sup>-653</sup>	0,073	0,328	0,376	0,217	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤6 x 10 <sup>8</sup>	≤6 x 10 <sup>8</sup>	≤3 x 10 <sup>8</sup>
			10 <sup>-753</sup> (3)	0,037	0,389	0,511	0,151	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤6 x 10 <sup>8</sup>	≤9 x 10 <sup>8</sup>	≤3 x 10 <sup>8</sup>

Tipe Mangrove	pH Tanah	Kedalaman	Kode Isolat	Optical density 600nm				Jumlah Sel			
				pH 3	pH 5	pH7	pH9	pH 3	pH 5	pH 7	pH 9
		aman	kontrol	0,021	0,006	0,016	0,006	0	0	0	0
			10 <sup>-8</sup> 5 <sup>3</sup> (1)	0,077	0,513	0,759	0,581	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤9 x 10 <sup>8</sup>	≤9 x 10 <sup>8</sup>	≤9 x 10 <sup>8</sup>
		60 cm	10 <sup>-6</sup> 6 <sup>3</sup> (1)	0,035	0,482	0,683	0,486	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤9 x 10 <sup>8</sup>	≤9 x 10 <sup>8</sup>	≤9 x 10 <sup>8</sup>
			10 <sup>-8</sup> 6 <sup>2</sup> (4)	0,065	0,755	0,817	0,756	≤1,5 x 10 <sup>8</sup>	≤9 x 10 <sup>8</sup>	≤9 x 10 <sup>8</sup>	≤9 x 10 <sup>8</sup>

Keterangan: kode isolate (A<sup>-b</sup>X<sup>y</sup>(Z), A<sup>-b</sup> = tingkat pengenceran, X = lokasi serta kedalaman,<sup>y</sup> = ulangan, (Z) = nomor isolate).

## Pembahasan

### Isolasi dan purifikasi

Isolasi bakteri diambil dari sampel tanah rizosfer mangrove karena pada bagian ini merupakan bagian yang paling aktif secara biologis serta banyak terdapat mikroorganisme terutama bakteri. Rizosfer tanaman umumnya memiliki kepadatan, keragaman, dan dominasi bakteri yang lebih tinggi dibandingkan *bulk soil*, dengan bakteri seperti *proteobacteria*, *actinobacteria*, dan *Bacteroidetes*. Dominasi mikroba pada rizosfer dipengaruhi oleh eksudat akar tanaman serta interaksi mikroba tanah ke permukaan akar (Liao *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2021; Alghamdi *et al.*, 2024). Eksudat akar merupakan kumpulan senyawa organik yang dikeluarkan akar tanaman ke lingkungan sekitarnya, berfungsi sebagai sumber energi dan nutrisi bagi komunitas mikroba rizosfer (Park *et al.*, 2023).

Berdasarkan hasil terdapat perbedaan jumlah isolat pada tipe mangrove yang berbeda dimana pada tipe mangrove rapat terdapat lebih banyak isolat dibandingkan pada tipe mangrove sedang dan jarang. Banyak sedikitnya jumlah isolat yang ditemukan disebabkan oleh perbedaan kondisi lingkungan baik secara fisik maupun kimia. Faktor yang mempengaruhinya antara lain yaitu kadar bahan organik tanah, serta sifat tanah (Alghamdi *et al.*, 2024). Kerapatan mangrove mempengaruhi cahaya yang masuk kedalam sedimen, hal ini juga mempengaruhi parameter lain seperti suhu, bahan organik, pH, serta selinitas. Kadar bahan organik tanah dipengaruhi oleh jumlah produksi serasah dimana pada mangrove rapat menghasilkan jumlah serasah yang lebih tinggi dibandingkan tipe mangrove sedang dan jarang. Produksi serasah selain mempengaruhi kandungan unsur

hara dalam sedimen juga menyebabkan tingginya bahan organik dalam sedimen yang mempengaruhi keberadaan detritus maupun organisme lain (Lailatussyifa *et al.*, 2020).

### Karakteristik morfologi bakteri

Berdasarkan hasil karakteristik morfologi seraca makroskopis terdapat keberagaman morfologi koloni di rizosfer mangrove seperti warna, bentuk, ukuran koloni, tepian, serta elevasi yang menunjukkan terdapat banyaknya variasi spesies dan kemampuan adaptasi bakteri terhadap tekanan lingkungan mangrove (Sohaib *et al.*, 2022; Ganjanasiripong *et al.*, 2022). Rizosfer mangrove berada pada wilayah interaksi antara akar mangrove, air laut, dan sedimen sehingga parameter lingkungan seperti salinitas, oksigen terlarut, kandungan organik, dan nutrisi sangat dinamis. Variasi tersebut memberi tekanan selektif yang mempengaruhi morfologi koloni (Zulkifli *et al.*, 2020; Nimnoi & Pongsilp, 2022).

Variasi morfologi ini juga mencerminkan adanya adaptasi fisiologis dan struktur dinding sel terhadap tekanan lingkungan yang fluktuatif, terutama salinitas dan pH (Sohaib *et al.*, 2022). Morfologi koloni tidak hanya mencerminkan keragaman, tetapi juga menunjukkan respon adaptif bakteri terhadap tekanan lingkungan (Aulia *et al.*, 2025).

Secara mikroskopis hasil menunjukkan terdapat perbedaan gram serta variasi bentuk sel. Klasifikasi bakteri ditentukan melalui metode pewarnaan gram, di mana perbedaan antara kelompok gram positif dan gram negatif terlihat dari warna selnya. Bakteri gram positif memberikan hasil berwarna ungu karena kemampuannya mempertahankan kompleks kristal violet-iodin, sedangkan bakteri gram negatif menunjukkan warna merah akibat

pelepasan zat warna utama selama proses dekolorisasi alkohol yang kemudian digantikan oleh penyerapan safranin (Hamidah *et al.*, 2019; Akhnah *et al.*, 2022; Oluoch *et al.*, 2025). Struktur dinding sel yang berbeda mempengaruhi bagaimana bakteri merespon proses pewarnaan, bakteri gram positif memiliki lapisan dinding sel tunggal yang tebal berkisar antara 15 – 80 nm, sementara bakteri gram negatif memiliki struktur dinding sel yang jauh lebih tipis sekitar 10 – 15 nm (Bahri *et al.*, 2022). Ketebalan peptidoglikan menjadi faktor utama pembeda antara kelompok gram bakteri, gram positif memiliki lapisan peptidoglikan yang lebih tebal berfungsi sebagai pengikat utama kristal violet, yang membedakannya secara signifikan dari bakteri gram negatif (Akhnah *et al.*, 2022).

Variasi morfologi sel ini berkaitan dengan keragaman genus, dimana bentuk coccus serta bacill merupakan salah satu bentuk umum pada bakteri gram negatif dan gram positif di rizosfer, bentuk ini dapat ditemukan secara konsisten pada rizosfer banyak tumbuhan salah satunya rizosfer mangrove (Zainab *et al.*, 2021). Bentuk sel coccus, diplococcus (coccus berpasangan), streptococcus (rantai coccus), dan staphylococci (coccus berklaster) dapat merepresentasikan bakteri yang berperan sebagai penghuni permukaan akar dengan kemampuan adaptif terhadap kondisi larutan nutrient rizosfer (Yanti *et al.*, 2021; Arifiani & Lisdiana, 2021).

Bentuk sel bacill dan coccobacill (transisi antara cocci dan bacilli) memiliki kemampuan untuk membentuk endospore sebagai respon terhadap stress lingkungan terutama pada rizosfer mangrove yang mengalami variasi air laut/air tawar serta periode pasang surut, berperan dalam dekomposisi organik serta pembentukan biofilm pada akar tanaman (Sulistiyani *et al.*, 2021; Miljaković *et al.*, 2020). Keberagaman bentuk sel memperkuat indikasi bahwa terdapat keragaman jenis yang sangat bervariasi di lingkungan mangrove. Lingkungan rizosfer mangrove secara umum mendukung komunitas mikroba yang berperan dalam siklus nutrisi (Euler *et al.*, 2023).

Identifikasi morfologi sel dan pewarnaan gram menjadi langkah awal untuk memahami potensi metabolic dan taksonomi isolat bakteri di lingkungan rizosfer mangrove. Identifikasi ini digunakan sebagai Langkah awal untuk memilih isolat yang dapat dimanfaatkan sebagai

*biofertilizer*, denitrofikasi/nitrogenisasi maupun agen bioremediasi, sebelum dilakukan identifikasi molekuler lanjut (Sohaib *et al.*, 2022).

### **Pengaruh pH terhadap pertumbuhan bakteri**

Hasil observasi terhadap isolat bakteri yang dikulturkan dalam media cair NB selama 24 jam menunjukkan bahwa variasi tingkat keasaman atau pH dengan rentang 3 – 9 memberikan dampak yang signifikan terhadap pertumbuhan bakteri. Pertumbuhan bakteri sangat ditentukan oleh karakteristik medium pertumbuhannya, dengan tingkat keasaman (pH) sebagai salah satu faktor penentu utama. Parameter pH memiliki dampak signifikan terhadap pertumbuhan bakteri karena berkaitan dengan struktur dan aktivitas enzim. Setiap enzim bakterial memiliki ambang pH optimal yang spesifik, fluktuasi nilai pH yang tidak sesuai dapat menyebabkan denaturasi protein penyusun enzim (Kartika & Ibrahim, 2021).

Optimalisasi kondisi lingkungan, khususnya pada parameter pH dan densitas inokulum, berperan krusial dalam memfasilitasi asimilasi substrat. Efisiensi penyerapan nutrisi tersebut akan mengakselerasi aktivitas metabolik seluler yang pada akhirnya menstimulasi laju pertumbuhan mikroba secara signifikan (Sayuti *et al.*, 2022). Laju pertumbuhan mayoritas bakteri sangat bergantung pada nilai pH optimal yang mendukung aktivitas fisiologisnya. Pada kondisi lingkungan dengan pH rendah, terjadi saturasi ion hidrogen pada membran sel mikroba, yang pada akhirnya menghambat efisiensi sistem transportasi trans-membran (Guan & Liu, 2020; Cypionka & Reese, 2021).

Berdasarkan hasil pengaruh pH terhadap pertumbuhan bakteri, secara keseluruhan isolat bakteri tumbuh optimal pada pH 7 yang menunjukkan bahwa kelompok isolat bakteri rizosfer mangrove bersifat neutrofilik. Berdasarkan kemampuan adaptasinya terhadap pH lingkungan, pertumbuhan mikroba dikelompokkan ke dalam tiga golongan besar, yakni asidofilik yang mampu hidup pada kondisi asam (pH 2,0–5,0), neutrofilik pada kondisi netral (pH 5,5–8,0), serta alkalifilik yang tumbuh pada kondisi basa (pH 8,4–9,5) (Fujikawa *et al.*, 2023; Candrawati *et al.*, 2025).

### **Kesimpulan**

Keragaman bakteri rizosfer di ekosistem mangrove kabupaten tanah laut berhasil mengisolasi 29 isolat dari tiga tipe kerapatan mangrove (rapat, sedang, dan jarang) pada kedalaman 0 – 30 cm sebanyak 15 isolat dan 30 – 60 cm sebanyak 14 isolat. Karakteristik morfologi menunjukkan variasi makroskopis 25 isolat berbentuk *round* (bulat) dengan tepian koloni entire, undulate, dan irregular. Warna putih, kuning, dan oren. Ukuran koloni *small* hingga *moderate*. Elevasi *flat*, *raised*, hingga *convex*. Secara mikroskopis terdapat dua kelompok gram bakteri, dengan morfologi sel antara lain Coccus (bulat), Bacillus (batang), Diplococci, Streptococci, hingga Coccobacillus. Pertumbuhan bakteri menunjukkan hasil paling baik pada pH 7, namun mengalami hambatan pertumbuhan pada pH 3.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan apresiasi dan terimakasih yang mendalam kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam memberikan dukungan, arahan, serta bantuan selama proses pengambilan sampel, penelitian, serta penyusunan artikel ini.

#### Referensi

- Abna, I. M., Gita, P., Mahayasih, M. W., & Amir, M. (2020). Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Tanah Di Kelurahan Kampung Melayu Jakarta Timur. *Archives Pharmacia*, 2(2), 102–111. <https://doi.org/https://doi.org/10.47007/ap.v2i2.3393>
- Akhmah, A. M., Widyastuti, D. A., & Rachmawati, R. C. (2022). Identifikasi Genera Bakteri Coliform Pada Air Sungai Desa Datar Kabupaten Jepara. *Quagga: Jurnal Pendidikan Dan Biologi*, 14(2), 124–131. <https://doi.org/10.25134/quagga.v14i2.5061>
- Alghamdi, A. K., Parween, S., Hirt, H., & Saad, M. M. (2024). Unveiling the bacterial diversity and potential of the Avicennia marina ecosystem for enhancing plant resilience to saline conditions. *Environmental Microbiome*, 19(1), 1–23.

<https://doi.org/10.1186/s40793-024-00642-w>

- Arifiani, R. N., & Lisdiana, L. (2021). Potensi Isolat Bakteri Endofit pada Akar Tanaman Jagung (*Zea mays*) Sebagai Penghasil Hormon *Indole Acetic Acid*. *LenteraBio*, 10(3), 285–291. <https://doi.org/https://doi.org/10.26740/lenterabio.v10n3.p285-291>
- Aulia, F., Idrus, A. Al, & Rasmi, A. C. (2025). Isolation and Characterization of Cellulolytic Bacteria from Mangrove Leaf Litter in Bale Mangrove Ecosystem. *Jurnal Biologi Tropis*, 25(3), 4578–4588. <https://doi.org/10.29303/jbt.v25i3.9940>
- Bahri, S., Ratnasari, R., Nurkhaeroni, U., & Mujitahid, M. (2022). Identification of Bacteria in Fresh Vegetables from The Traditional Market of Mataram City. *Jurnal Biologi Tropis*, 22(4), 1406–1413. <https://doi.org/10.29303/jbt.v22i4.4445>
- Candrawati, T. H., Hasbi, N., & Rosyunita, R. (2025). Profile of Staphylococcus aureus Originating from Nasal Cavity Swabs of Food Handlers at the University of Mataram Canteen. *Jurnal Biologi Tropis*, 25(2), 1611–1622. <https://doi.org/10.29303/jbt.v25i2.8742>
- Chauhan, P., Sharma, N., Tapwal, A., Kumar, A., Verma, G. S., Meena, M., Seth, C. S., & Swapnil, P. (2023). Soil Microbiome: Diversity, Benefits and Interactions with Plants. *Sustainability (Switzerland)*, 15(14643), 1–43. <https://doi.org/10.3390/su151914643>
- Chrisnawati, S. D., Sabdaningsih, A., Jati, O. E., & Ayuningrum, D. (2023). Isolasi dan Identifikasi Molekuler Bakteri Rhizosfer dari Sedimen Mangrove Jenis Rhizopora sp. di Ekosistem Mangrove Tapak, Semarang. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 16(2), 117–124. <https://doi.org/10.21107/jk.v16i2.15952>
- Cypionka, H., & Reese, J. O. (2021). Recording and Simulating Proton-Related Metabolism in Bacterial Cell Suspensions.

- Frontiers in Microbiology*, 12, 1–10.  
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.654065>
- Euler, S., Jeffrey, L. C., Maher, D. T., Johnston, S. G., Sugimoto, R., & Tait, D. R. (2023). Methanogens limited to lower rhizosphere and to an atypical salt marsh niche along a pristine intertidal mangrove continuum. *Limnology and Oceanography*, 68(9), 2167–2182.  
<https://doi.org/10.1002/lno.12414>
- Fadhila, Z. L., Sabdaningsih, A., Ayuningrum, D., & Jati, O. E. (2023). Isolation and Abundance of Mangrove Sediment Bacteria at Tirang Beach, Semarang. *Jurnal Pasir Laut*, 7(2), 60–67.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jpl.2023.58842>
- Fallo, G., Banusu, M. S., Pardosi, L., & Tefa, A. (2023). Isolasi Dan Identifikasi Bakteri Rhizosfer Dari Tanaman Kacang Gude (*Cajanus cajan* L) Sebagai Penghasil Hormon IAA (*Indole Acetic Acid*) dan Aplikasinya pada Benih Padi (*Oryza sativa* L). *BERITA BIOLOGI*, 22(1), 129–138.  
<https://doi.org/10.14203/beritabiologi.v20i1.3991>
- Febriyantiningrum, K., Sriwulan, S., & Nurfitriana, N. (2023). Karakterisasi Bakteri Rhizosfer Putri Malu (*Mimosa pudica*) yang Berpotensi sebagai Dekomposer dalam Pembuatan Biourin. *Bioscientist : Jurnal Ilmiah Biologi*, 11(2), 1239–1245.  
<https://doi.org/10.33394/bioscientist.v11i2.8986>
- Fujikawa, T., Sasamoto, T., Zhao, F., Yamagishi, A., & Akanuma, S. (2023). Comparative analysis of reconstructed ancestral proteins with their extant counterparts suggests primitive life had an alkaline habitat. *Research Square*, 1–21.  
<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2964139/v1>
- Ganjanasiripong, P., Neesanant, P., Taechowisan, T., Kitkumthorn, N., & Chuenim, T. (2022). Bacterial Community of Klong Tub Mangrove Forest in Chonburi Province, Thailand. *Environment and Natural Resources Journal*, 20(6), 575–584.  
<https://doi.org/10.32526/ennrj/20/202200058>
- Guan, N., & Liu, L. (2020). Microbial response to acid stress: mechanisms and applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104, 51–65.  
<https://doi.org/10.1007/s00253-019-10226-1>
- Hamidah, M. N., Rianingsih, L., & Romadhon. (2019). Aktivitas Antibakteri Isolat Bakteri Asam Laktat Dari Peda Dengan Jenis Ikan Berbeda Terhadap *E. coli* dan *S. aureus*. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Perikanan*, 1(2), 11–21.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jitpi.2019.6742>
- Kartika, I. N., & Ibrahim, M. (2021). Efek Manipulasi pH pada Aktivitas Enzim Selulase Bakteri *Bacillus subtilis* Strain FNCC 0059 dalam Mendegradasi Selulosa. *LenteraBio*, 10(1), 51–57.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.26740/lenterabio.v10n1.p51-57>
- Lailatussyifa, A., Widyoroni, N., & Jati, O. E. (2020). Analisis Total Bakteri *Vibrio* sp. Di Sedimen Pada Kerapatan Mangrove Yang Berbeda Di Pantai Ujung Piring, Jepara. *Pasir Laut*, 4(1), 1–8.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jpl.2020.30518>
- Liao, S., Wang, Y., Liu, H., Fan, G., Sahu, S. K., Jin, T., Chen, J., Zhang, P., Gram, L., Strube, M. L., Shi, Q., Lee, S. M. Y., & Liu, X. (2020). Deciphering the Microbial Taxonomy and Functionality of Two Diverse Mangrove Ecosystems and Their Potential Abilities to Produce Bioactive Compounds. *MSystems*, 5(5), 1–19.  
<https://doi.org/10.1128/msystems.00851-19>
- Ling, N., Wang, T., & Kuzyakov, Y. (2022). Rhizosphere bacteriome structure and functions. *Nature Communications*, 13(1).  
<https://doi.org/10.1038/s41467-022-28448-9>
- Mahesh, P. P., Kolape, J., Sultana, H., & Neelakanta, G. (2025). McFarland Standards-Based Spectrophotometry Method for Calculating Approximate Multiplicity of Infection for an Obligate Intracellular Bacterium *Anaplasma*

- phagocytophilum. *Microorganisms*, 13(662), 1–13.  
<https://doi.org/10.3390/microorganisms13030662>
- Maulani, A., Taufiq-SPJ, N., & Pratikto, I. (2021). Perubahan Lahan Mangrove di Pesisir Muara Gembong, Bekasi, Jawa Barat. *Journal of Marine Research*, 10(1), 55–63.  
<https://doi.org/10.14710/jmr.v10i1.2839>
- Miljković, D., Marinković, J., & Balešević-Tubić, S. (2020). The significance of bacillus spp. In disease suppression and growth promotion of field and vegetable crops. *Microorganisms*, 8(1037), 1–19.  
<https://doi.org/10.3390/microorganisms8071037>
- Nimnoi, P., & Pongsilp, N. (2022). Insights into Bacterial Communities and Diversity of Mangrove Forest Soils along the Upper Gulf of Thailand in Response to Environmental Factors. *Biology*, 11(12).  
<https://doi.org/10.3390/biology11121787>
- Oluoch, K. R., Muge, E. K., Onyango, M. O., & Mulaa, F. J. (2025). Phenotypic Characterization of Pectinase-Producing Alkaliphilic Microbial Isolats From Lake Bogoria, Baringo County, Kenya. *MicrobiologyOpen*, 14(5), 1–12.  
<https://doi.org/10.1002/mbo3.70058>
- Park, I., Seo, Y. S., & Mannaa, M. (2023). Recruitment of the rhizo-microbiome army: assembly determinants and engineering of the rhizosphere microbiome as a key to unlocking plant potential. *Frontiers in Microbiology*, 14(1163832), 1–21.  
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1163832>
- Sahiba, M., Suharli, L., & Mahdi, N. (2024). Isolasi dan Karakterisasi Bakteri pada Tanah Mangrove *Rhizophora* sp. di Labu Sawo Desa Penyaring Kabupaten Sumbawa. *Journal of Life Science and Technology*, 2(1), 7–13.  
<https://jurnal.uts.ac.id/biomaras/article/view/3089/1770>
- Sari, I. N., Rahmatullah, R., Estiningtyas, R., & Mudrikah, S. (2024). Karakterisasi Bakteri Perakaran Vegetasi Kedelai, Singkong dan Rumput. *Agriculture and Biological Technology (AGIOTECH)*, 2(1), 6–14.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.61761/agiotech.2.1.6-14>
- Sayuti, I., Zulfarina, Z., & Widodo, T. J. (2022). Influence of Potential Hydrogen (pH) on the Growth of *Bacillus cereus* IMB-11 during Hydrocarbon Degradation in vitro. *JURNAL PEMBELAJARAN DAN BIOLOGI NUKLEUS*, 8(3), 686–693.  
<https://doi.org/10.36987/jpbn.v8i3.3230>
- Sohaib, M., Al-Barakah, F. N. I., M. Migdadi, H., & Alyousif, M. (2022). Isolation and Abundance of Different Culturable Microbes from Mangrove Environments in Coastal Areas of Saudi Arabia. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 11(4), 215–238.  
<https://doi.org/10.20546/ijemas.2022.1104.030>
- Sulistiyani, T. R., Kusmiati, M., & Putri, G. A. (2021). The 16S rRNA Analysis and Enzyme Screening of *Bacillus* from Rhizosphere Soil of Lombok Island. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 26(4), 582–590.  
<https://doi.org/10.18343/jipi.26.4.582>
- Tkacz, A., Bestion, E., Bo, Z., Hortala, M., & Poole, P. S. (2020). Influence of plant fraction, soil, and plant species on microbiota: A multikingdom comparison. *MBio*, 11(1), 1–17.  
<https://doi.org/10.1128/mBio.02785-19>
- Wang, J., Wu, H., Wu, L., Liu, Y., Letuma, P., Qin, X., Chen, T., Rensing, C., Lin, S., & Lin, W. (2021). Revealing Microbiome Structure and Assembly Process in Three Rhizocompartments of *Achyranthes bidentata* Under Continuous Monoculture Regimes. *Frontiers in Microbiology*, 12(677654), 1–14.  
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.677654>
- Waskitho, N. T., Nugrahini, A. F. H., Wahidiah, T., & Wibowo, F. A. C. (2023). Identifikasi Bakteri Metanotrof pada Hutan Mangrove dan Hutan Produksi di

- Desa Tambakrejo Kecamatan Sumbermanjing Wetan Kabupaten Malang. *Journal of Forest Science Avicennia*, 6(1), 85–97. <https://doi.org/Doi:10.22219/avicennia.v6i1.25685>
- Yanti, D., Rahmawati, & Kurniatuhadi, R. (2021). Karakteristik Morfologis Dan Fisiologis Bakteri Endofit Dari Akar Napas Tumbuhan *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh Di Mempawah Mangrove Park (Mmp). *Biologica Samudra*, 3(2), 166–183. <https://doi.org/10.33059/jbs.v2i1.4220>
- Yusril, Muis, N., Wahid, M., & Sari, A. P. (2024). Keanekaragaman dan Potensi Bakteri Rhizosfer Penambat Nitrogen pada Tanaman Jewawut (*Setaria italica* L.) sebagai Kandidat Biofertilizer dalam Pertanian Berkelanjutan. *IJEC Indonesian Journal of Ecology & Conservation*, 1(2), 19-29. <https://doi.org/10.31605/ijec.v1i2.6327>
- Zainab, R., Mujtaba Shah, G., Khan, W., Mehmood, A., Azad, R., Shahzad, K., Hussain Shah, Z., Alghabari, F., Sultan, T., & Chung, G. (2021). Efficiency of plant growth promoting bacteria for growth and yield enhancement of maize (*Zea mays*) isolatd from rock phosphate reserve area Hazara Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(4), 2316–2322. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.01.02>
- Zega, A., Susanti, N. M., Tillah, R., Laoli, D., Telaumbanua, B. V., Zebua, R. D., Dawolo, J., Zebua, O., & Gea, A. S. A. (2024). Strategi Inovatif Dalam Menghadapi Degradasi Ekosistem: Kajian Terbaru Tentang Peran Vital Hutan Mangrove Dalam Konservasi Lingkungan. *Zoologi: Jurnal Ilmu Peternakan, Ilmu Perikanan, Ilmu Kedokteran Hewan*, 2(2), 71–83. <https://doi.org/10.62951/zoologi.v2i2.65>
- Zulkifli, L., Sedijani, P., Citra Rasmi, D. A., & Amrullah, L. W. Z. (2020). Screening and Molecular Identification of Phosphate-Solubilizing Rhizobacteria from Mangrove Ecosystem of the Lombok Island. *Jurnal Biologi Tropis*, 20(3), 475–484. <https://doi.org/10.29303/jbt.v20i3.1730>