



Biogenerasi Vol 10 No 4, 2025  
**Biogenerasi: Jurnal Pendidikan Biologi**  
Universitas Cokroaminoto Palopo  
<https://e-journal.my.id/biogenerasi>  
e-ISSN 2579-7085

---

**Keanekaragaman Isolat Bakteri Rizosfer Tanaman Jagung (*Zea mays* L.) pada Tanah Masam di Kabupaten Maros**

Akhmad Syakur\*

Jurusan Pendidikan IPA, FMIPA, Universitas Negeri Makassar, Indonesia

\*Corresponding author E-mail: [akhmad.syakur@unm.ac.id](mailto:akhmad.syakur@unm.ac.id)

---

DOI : <https://doi.org/10.30605/w0nnv838>

Accepted :1 Desember 2025    Approved : 20 Desember 2025    Published : 25 Desember 2025

**Abstract**

This study aimed to the diversity of rhizosphere bacterial isolates associated with maize (*Zea mays* L.) cultivated in acidic soils of Maros Regency, South Sulawesi Province. Acidic soils characterized by low pH and limited nutrients, but the ability of microorganisms can adapt according to their habitat. However, microorganisms, particularly rhizosphere bacteria, exhibit remarkable adaptability to such conditions. The research employed serial dilution and culture on Nutrient Agar (NA) media to isolate bacteria from rhizosphere soil samples. A total of 14 bacterial isolates were toward will different morphological characteristics. All bacterial isolates found are Gram-positive bacteria. The findings reveal a high diversity of rhizosphere bacterial isolates, suggesting their potential role in enhancing plant growth as biofertilizers. Further research is necessary to evaluate the physiological and molecular potential of these bacterial isolates in nitrogen fixation, phosphate solubilization, and the production of plant growth hormones. Additionally, exploring the potential application of these bacteria as biocontrol agents or biofertilizers could contribute to improving maize productivity in acidic soils

**Keywords** : Bacteria, Rhizosphere, Maize, Acidic

## PENDAHULUAN

Lahan masam di Indonesia merupakan salah satu agroekosistem yang mempunyai potensi besar untuk usaha pertanian, baik tanaman pangan, hortikultura (sayuran dan buah buahan) maupun tanaman tahunan dan peternakan. Luas lahan masam di Indonesia mencapai 144,47 juta ha, dengan potensi untuk pertanian sekitar 99,65 juta ha. Dari luas potensi pertanian tersebut, 9,12 ha terdapat di Sulawesi (Yurindra, 2015). Pengembangan lahan masam sebagai lahan pertanian dapat dilakukan dengan memperbaiki kondisi biofisik tanah yang meliputi sifat kimia, fisika dan biologi tanah. Lahan masam umumnya dicirikan dengan pH rendah (Neina, 2019; Shao et al., 2019) kepadatan mikroba yang rendah dan kandungan aluminium yang tinggi (Wan et al., 2020) yang menyebabkan tingkat kesuburan dan kadar bahan organik yang rendah sehingga menghambat pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Zhao et al., 2020). Umumnya jenis tanah yang dominan pada lahan masam adalah Ultisols dan Oxisols. Tanah Ultisols dan Oxisols merupakan jenis tanah tua yang telah mengalami pelapukan lanjut dan tercuci sehingga didominasi oleh Al, Fe, dan Mn yang bersifat toksik (Qi et al., 2022). Tanah jenis ini memiliki pH rendah atau bersifat masam dapat merugikan bagi pertumbuhan tanaman, seperti keterbatasan ketersediaan unsur hara makro, khususnya fosfor, serta peningkatan toksisitas aluminium dan besi (Chen et al., 2019; Jing et al., 2024)). Tanah yang masam dapat memengaruhi aktivitas komunitas bakteri rizosfer dan ketersediaan nutrisi lainnya (Wan et al., 2020). Kondisi ini seringkali menyebabkan gangguan pada pertumbuhan akar, penyerapan nutrisi, dan secara keseluruhan berdampak negatif pada produktivitas tanaman, termasuk pada tanaman jagung (*Zea mays*).

Jagung merupakan tanaman pangan yang sangat penting bagi ketahanan pangan di Indonesia dan dunia. Sebagai penghasil karbohidrat, jagung dimanfaatkan bagi sebagian besar penduduk di dunia sebagai bahan bakar industri, sumber bahan pangan, pakan, produksi bioetanol dan bahan nano plastik. Jumlah penduduk yang terus bertambah dan sektor industri yang mengalami perkembangan akan berdampak langsung pada

peningkatan permintaan jagung (Badr et al., 2020; Sah et al., 2020). Tingginya permintaan jagung menjadikannya sebagai salah satu makanan pokok yang paling diminati selain gandum dan beras (Khubna et al., 2021; Valin et al., 2014). Pemenuhan kebutuhan pangan tersebut agar tercukupi, sektor pertanian dituntut untuk meningkatkan produksi pertanian. Peningkatan produksi pertanian dapat ditempuh melalui perluasan areal tanam maupun peningkatan produktivitas tanaman. Pemanfaatan lahan masam merupakan salah satu alternatif yang dapat dilakukan untuk dapat meningkatkan produksi pertanian nasional. Produktivitas lahan masam rata-rata saat ini mempunyai tingkat produktivitas masih lebih rendah dari agroekosistem lainnya (Aviles et al., 2020), namun potensi luasannya sangat tinggi (Mulyani & Sarwani, 2013). Selain produktivitas yang rendah indeks pertanamannya juga belum maksimal karena ketersediaan air merupakan faktor pembatas dalam usaha tani, sehingga tidak dapat dilakukan sepanjang tahun (Mulyani & Sarwani, 2013).

Jagung memiliki kemampuan yang cukup toleran untuk tumbuh di lahan asam jika didukung dengan pengelolaan lahan yang tepat. Penambahan kapur untuk meningkatkan pH tanah dan penggunaan pupuk organik dapat membantu menetralkan efek buruk tanah asam dengan memperbaiki ketersediaan nutrisi (Tandzi et al., 2018). Namun, metode-metode ini sering kali tidak cukup untuk mengatasi tantangan yang ditimbulkan oleh tanah masam. Salah satu solusi alami yang semakin mendapat perhatian dalam penelitian pertanian berkelanjutan adalah pemanfaatan mikroorganisme tanah, khususnya bakteri rizosfer. Rizosfer, yaitu zona tanah yang berada di sekitar akar tanaman, merupakan lingkungan yang kaya akan mikroba yang dapat berinteraksi langsung dengan akar tanaman (Hu et al., 2021; Liu et al., 2020). Bakteri rizosfer diketahui mampu mendukung pertumbuhan tanaman melalui berbagai mekanisme, seperti pelarutan fosfat yang mengikat, fiksasi nitrogen, produksi hormon tumbuh seperti auksin, dan aktivitas biokontrol terhadap patogen tanaman. Di tanah masam, bakteri rizosfer memiliki peran penting dalam mengurangi dampak negatif dari kondisi

lingkungan yang kurang optimal, membantu tanaman jagung untuk tetap tumbuh dengan baik meskipun dalam kondisi yang kurang menguntungkan. Bakteri rhizosfer dapat membantu tanaman jagung dengan meningkatkan penyerapan fosfor melalui pelarutan fosfat yang tidak tersedia dalam tanah masam, memfiksasi nitrogen, dan memproduksi hormon tumbuh yang merangsang pengembangan akar (Jacoby et al., 2017; Timofeeva et al., 2023).

Penelitian mengenai keragaman isolat bakteri rhizosfer pada tanaman jagung di tanah masam penting untuk dilakukan karena setiap jenis bakteri memiliki kemampuan dan mekanisme yang berbeda dalam membantu adaptasi tanaman terhadap kondisi lingkungan ekstrim. Penemuan dan karakterisasi isolat-isolat baru dari bakteri rhizosfer yang potensial dapat memberikan solusi ramah lingkungan bagi peningkatan produktivitas tanaman jagung di tanah masam tanpa ketergantungan besar pada input kimia seperti pupuk dan pestisida. Selain itu, pengetahuan mengenai keragaman bakteri ini dapat berkontribusi pada pengembangan biofertilizer yang lebih efektif untuk digunakan di lahan pertanian yang suboptimal. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi keragaman isolat bakteri rhizosfer jagung di tanah masam. Harapannya, isolat bakteri yang ditemukan dapat diaplikasikan dalam pertanian untuk meningkatkan produktivitas jagung di lahan marginal, sehingga dapat mendukung ketahanan pangan yang lebih baik dan pengelolaan lahan yang lebih berkelanjutan.

## METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 25 Mei sampai 20 Agustus 2025. Pengambilan sampel dilakukan pada lokasi dengan kondisi lahan yang masam yaitu di Lahan Pertanian Unhas, Desa Moncongloe, Kabupaten Maros berada pada koordinat -5.157862<sup>o</sup>119.542193<sup>o</sup>. Isolasi dan karakterisasi secara morfologi dilaksanakan di Laboratorium Bioteknologi Pertanian, Departemen Hama dan Penyakit, Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin.

Pengambilan sampel untuk isolasi rhizobakter yaitu pada tanaman jagung yang telah berumur 30 hari setelah tanam dan dilakukan dengan cara mengambil tanah sekitar perakaran (rhizosfer) 4 titik pada tanaman jagung lalu di kompositkan menjadi

satu. Tanah yang diambil adalah tanah yang melekat pada perakaran tanaman, selanjutnya dipisahkan dengan menggunakan spatula steril kemudian dimasukkan dalam amplop cokelat yang telah diberi label yang sesuai dengan titik lokasi pengambilan sampel. Lalu dimasukkan ke dalam *cooler box* dengan harapan populasi mikroorganisme pada sampel tidak berubah hingga pengerjaan sampel dilaksanakan laboratorium.

Isolasi bakteri yang berasal dari sampel tanah disekitar perakaran dilakukan dengan cara menimbang terlebih dahulu 1 gram sampel tanah dari masing-masing tanah rhizosfer tanaman jagung. Selanjutnya sampel tanah digerus hingga halus menggunakan mortar kemudian menambahkan aquadest sebanyak 10 mL. Melakukan pengenceran bertingkat dari 10<sup>-1</sup> hingga 10<sup>-7</sup> untuk keperluan isolasi. Pengenceran dilakukan dengan cara mengambil 1 mL suspensi sampel tanah rhizosfer dengan pipet kemudian di masukkan kedalam tabung reaksi pertama yang telah berisi air steril sebanyak 9 ml, mengocok sampai homogen menggunakan vorteks selanjutnya disebut dengan pengenceran pertama atau 10<sup>-1</sup>. Kemudian mengambil 1 mL dari 10<sup>-1</sup> menggunakan pipet lalu memasukkan ke tabung reaksi yang kedua, mengocok hingga homogen selanjutnya disebut sebagai pengenceran kedua 10<sup>-2</sup>. Melakukan hal yang sama sampai pengenceran terakhir yaitu 10<sup>-7</sup>. Selanjutnya dilakukan penanaman yang diambil dari tiga pengenceran terpilih yaitu 10<sup>-5</sup>, 10<sup>-6</sup>, dan 10<sup>-7</sup> lalu diinkubasi selama 24 jam pada suhu ruang. Koloni tunggal yang telah tumbuh pada media NA tersebut selanjutnya dimurnikan.

Isolat murni dikarakterisasi secara morfologi dengan pengamatan makroskopis pada medium NA dalam cawan petri yang meliputi bentuk koloni, ukuran, elevasi, tepian, dan warna koloni. Koloni yang tumbuh dari hasil pengenceran di hitung menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC) berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$\frac{CFU}{mL} = \frac{\text{Number of colonies}}{\text{Inoculum Volume} \times \text{Dilution Factor}}$$

Karakterisasi fisiologi dengan pengujian reaksi gram menggunakan metoda Osborne, (2008). Larutan KOH 3% diteteskan pada

gelas objek, kemudian diambil satu koloni tunggal bakteri yang telah dikultivasi pada media NA diambil sebanyak 1 loop dengan jarum ose dan diaduk secara merata. Apabila suspensi berlendir, lengket dan terangkat bersama jarum ose mengindikasikan bakteri bersifat gram negatif dan apabila suspensi tidak berlendir dan tidak melengket pada jarum ose mengindikasikan bahwa bakteri tersebut bersifat gram positif. Pengujian katalase dilakukan dengan meneteskan hidrogen peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 3 % sebanyak 2-3 tetes pada kaca preparat yang bersih kemudian dicampurkan dengan satu ose isolat bakteri. Hasil positif ditandai dengan adanya gelembung udara di sekitar biakan koloni, sedangkan hasil negatif tidak ada gelembung udara (Varghese & Joy, 2014).

## HASIL PENELITIAN

### Isolasi sampel rhizosfer tanaman jagung

Hasil isolasi bakteri rhizosfer diperoleh dari lahan perkebunan jagung dengan data awal ditemukan sebanyak 48 isolat bakteri rhizosfer. Setelah dilakukan seleksi dari semua isolat bakteri ternyata hanya diperoleh sebanyak 14 isolat. Hal ini dikarenakan, adanya koloni bakteri yang memiliki kesamaan serta pertumbuhan koloni bakteri sebesar 50%.

Berdasarkan hasil pengamatan pada Tabel 1, jumlah koloni bakteri pada tingkat pengenceran 10<sup>-6</sup> merupakan jumlah koloni terbanyak yaitu 89,3 x 10<sup>4</sup>. Koloni bakteri ini diperoleh dari sampel titik Tengah (STE). Hal ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah kondisi tanaman jagung yang lebih sehat sehingga menghasilkan nutrisi yang lebih banyak bagi mikroba. Akar jagung mengeluarkan eksudat yang berbeda di setiap titik yang memengaruhi mikroba tanah. Akar tanaman melepaskan berbagai jenis

enzim/senyawa di dalam tanah yang memediasi interaksi antara mikroorganisme dan tanaman (Ankati dan Podile, 2019 ). Eksudat akar seperti asam amino, gula, dan senyawa organik lainnya dapat merangsang pertumbuhan mikroba tertentu sementara menghambat yang lain. Perbedaan jumlah dan sifat eksudat akar menentukan mobilitas nutrisi, populasi mikroba, dan keanekaragaman mikroba (Chamam et al., 2013 ; Bowya dan Balachandar, 2020 ; Korenblum et al., 2020 ; Singh et al., 2022 ). Oleh karena itu jumlah koloni bakteri lebih tinggi pada tanaman jagung yang sehat dibandingkan tanaman jagung yang kurang sehat. Jumlah koloni bakteri bervariasi di setiap titik pengambilan sampel. Ada yang jumlahnya banyak dan adapula yang sedikit. Namun secara keseluruhan jumlah koloni bakteri yang ditemukan pada lahan masam masih lebih rendah dibandingkan jumlah koloni pada lahan subur. Faktor abiotik, seperti pH (Rath et al., 2019; Shen et al., 2019), potensi oksidasi-reduksi (DeAngelis et al., 2010), bahan organik (Li et al., 2019), dan ion logam (Schneider et al., 2017) mempengaruhi komposisi dan aktivitas komunitas mikroba. pH tanah merupakan prediktor terkuat yang diketahui dari komposisi dan kelimpahan komunitas mikroba pada rhizosfer tanaman (Bengtson et al., 2012; Zeng et al., 2019). Koloni bakteri yang ditemukan pada daerah rhizosfer jagung di lahan masam memiliki potensi sebagai rhizobakter yaitu bakteri yang memberikan manfaat bagi tanaman, seperti meningkatkan pertumbuhan, membantu penyerapan nutrisi, dan meningkatkan ketahanan terhadap patogen. Rhizobakter mendorong pertumbuhan tanaman dan meningkatkan efisiensi penggunaan nutrisi (Vocciante et al., 2022 ). Perhitungan jumlah koloni dan populasi bakteri asal rhizosfer jagung dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

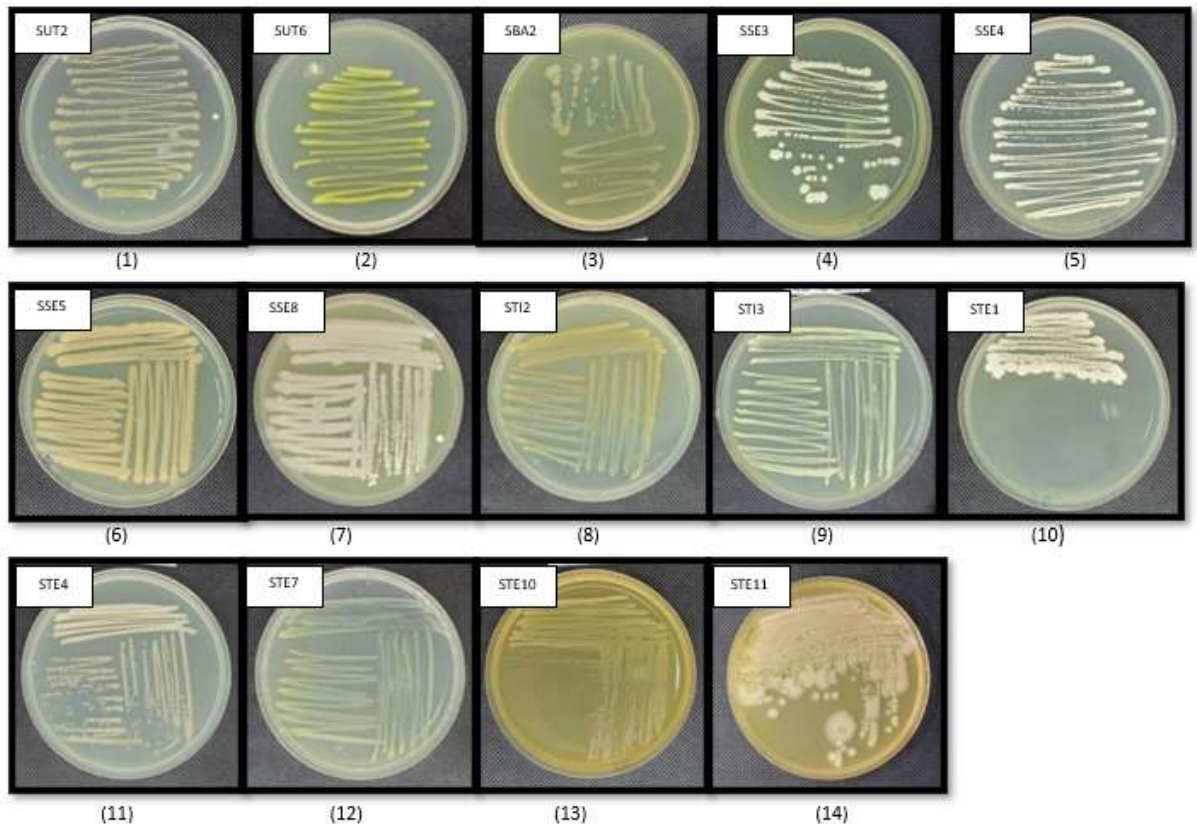
Tabel 1. Data hasil perhitungan koloni bakteri di lima titik pengambilan sampel

Kode Bakteri	Sampel	Jumlah koloni CFU/ml (Tingkat Pengenceran)		
		10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>
SUT		3,06 x 10 <sup>4</sup>	27,8 x 10 <sup>4</sup>	3,47 x 10 <sup>4</sup>
SBA		87,6 x 10 <sup>4</sup>	58,7 x 10 <sup>4</sup>	34,4 x 10 <sup>4</sup>
SSE		31,8 x 10 <sup>4</sup>	32,5 x 10 <sup>4</sup>	23,5 x 10 <sup>4</sup>

STI	1,26 x 10 <sup>4</sup>	5,13 x 10 <sup>4</sup>	1,06 x 10 <sup>4</sup>
STE	36,6 x 10 <sup>4</sup>	89,3 x 10 <sup>4</sup>	63,2 x 10 <sup>4</sup>

### Karakterisasi isolat bakteri rhizosfer tanaman jagung

Berdasarkan hasil pengamatan secara makrokopis koloni bakteri sebagian besar mempunyai bentuk koloni circular, warna koloni cream, tepi koloni entire, ukuran koloni punctiform dan small, elevasi flat, serta tekstur smooth (Tabel, 2). Perbedaan fenotip dari koloni bakteri yang dipilih diharapkan dapat mewakili spesies bakteri yang berbeda, karena tiap-tiap spesies bakteri memiliki ciri morfologi yang berbeda yang meliputi parameter warna, permukaan, tepian, bentuk, tekstur, dan elevasi koloni. Bentuk koloni dapat berbeda beda tiap spesies dan merupakan karakteristik bagi suatu spesies tertentu (Salminen et al., 2004). Warna koloni sebagian besar adalah cream namun ada beberapa yang berbeda yaitu warna yellow dan white (Gambar, 1). Adanya pigmen yang dibuat oleh bakteri di dalam sel menyebabkan koloni berbeda dalam warnanya (Ramesh, 2019; Sudewi et al., 2020). Untuk mengetahui pigmen yang terkandung dapat melakukan uji lanjut berupa kromatografi atau spektrofotometer untuk mengetahui komponen pigmen yang terkandung. Pengamatan tentang karakteristik morfologi koloni bakteri perlu dilakukan, agar mempermudah dalam proses identifikasi jenis bakteri.



Gambar 1. Isolat bakteri yang ditemukan pada rhizosfer jagung dan telah dimurnikan

Uji fisiologi yang dilakukan berupa uji gram dan uji katalase. Seluruh isolat yang diperoleh merupakan bakteri gram positif berdasarkan pengujian menggunakan KOH 3% menunjukkan tidak adanya lendir yang terbentuk dan tidak lengket. Hal ini dikarenakan bakteri gram positif memiliki dinding sel dengan lapisan peptidoglikan yang tebal serta lapisan lemak yang tipis. Hasil pengujian KOH 3% akan

mengidentifikasi gram (+) memiliki dinding sel yang tebal dan lapisan lemak yang tipis, sedangkan untuk gram (-) memiliki dinding sel yang tipis dengan lapisan lemak yang tebal. Prinsip kerja KOH dengan menghancurkan lapisan lemak sehingga menyebabkan pecahnya dinding sel akibat larutan alkali yang tinggi, sel yang pecah akan mengeluarkan materi genetik berupa molekul DNA yang bersifat *sticky strings*

menyerupai lendir sehingga memberikan hasil yang lengket dan berlendir (Hardiansyah et al., 2020). Metode pengujian gram dengan menggunakan KOH 3% lebih efektif jika dibandingkan dengan pengecatan gram karena waktu pengerjaannya relatif cepat dengan hanya menggunakan 1 reagen saja jika dibandingkan pewarnaan gram yang memiliki beberapa tahapan (Permata et al., 2024).

Hasil pengujian katalase terdapat 3 isolat yaitu SSE3, STI3, STE4 (Tabel. 2) yang menunjukkan isolat bakteri yang diisolasi tidak memiliki enzim katalase. Enzim katalase berfungsi untuk mengurai hidrogen peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) menjadi air dan oksigen, sehingga pada pengamatan uji katalase terdapat gelembung gelembung yang menunjukkan hasil positif. Selama metabolisme aerobik, bakteri menghasilkan hidrogen peroksida sebagai produk

akhir. Jika hidrogen peroksida dibiarkan terakumulasi dalam sel bakteri, itu dapat merusak sistem metabolisme bakteri dan bahkan menyebabkan kematian. Bakteri yang mampu menghasilkan enzim katalase memiliki kemampuan untuk memecahkan hidrogen peroksida. Sehingga hidrogen peroksida tidak berbahaya bagi bakteri, enzim katalase akan mengubahnya menjadi air dan oksigen (sahu, 2019). Pada uji katalase menunjukkan 11 sampel dengan hasil positif yang menunjukkan isolat tersebut merupakan bakteri aerob hal ini dikarenakan hidrogen peroksida dipecah ketika proses metabolisme aerob terjadi (Murali & Patel, 2017). Sama halnya pada penelitian yang lain ditemukan beberapa bakteri gram positif pada daerah Rhizosfer jagung (Abedinzadeh et al., 2019; Nuraini et al., 2020)

Tabel 2. Karakteristik morfologi dan fisiologi isolat bakteri rhizosfer tanaman jagung

Isolate	Color	Shape	Texture	Elevation	Size	Margin	Gram (+/-)	Katalase (+/-)
SUT2	Yellow	Circular	Mucoid	Flat	Punctiform	Entire	(+)	(+)
SUT6	Cream	Irregular	Rough	Flat	Moderate	Curled	(+)	(+)
SBA2	Cream	Circular	Mucoid	Flat	Small	Entire	(+)	(+)
SSE3	White	Circular	Rough	Flat	Small	Entire	(+)	(-)
SSE4	White	Circular	Rough	Flat	Punctiform	Entire	(+)	(+)
SSE5	Cream	Circular	Rough	Convex	Large	Entire	(+)	(+)
SSE8	Cream	Circular	Rough	Convex	Small	Entire	(+)	(+)
STI2	Cream	Circular	Smooth	Flat	Punctiform	Entire	(+)	(+)
STI3	Cream	Circular	Smooth	Flat	Punctiform	Entire	(+)	(-)
STE1	White	Irregular	Smooth	Flat	Moderate	Entire	(+)	(+)
STE4	Cream	Circular	Smooth	Flat	Small	Entire	(+)	(-)
STE7	Cream	Circular	Smooth	Flat	Punctiform	Entire	(+)	(+)
STE10	Cream	Circular	Smooth	Flat	Small	Entire	(+)	(+)
STE11	White	Circular	Smooth	Undulate	Small	Entire	(+)	(+)

## SIMPULAN DAN SARAN

Sebanyak 14 isolat bakteri telah diisolasi dari rizosfer jagung pada tanah masam yang diyakini mempunyai kemampuan beradaptasi terhadap lingkungan kurang baik dan mempunyai sedikit unsur hara. Hasil uji makroskopis menunjukkan isolat mempunyai bentuk koloni melingkar, warna koloni krem, tepi koloni utuh, ukuran koloni punctiform dan kecil, elevasi datar, dan tekstur halus. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengevaluasi potensi fisiologis dan molekuler isolat bakteri ini dalam fiksasi

nitrogen, pelarutan fosfat, dan produksi hormon pertumbuhan tanaman.

## DAFTAR RUJUKAN

Aviles, D., Berglund, K., Wesström, I., & Joel, A. (2020). Effect of liming products on soil detachment resistance, measured with a cohesive strength meter. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*, 70(1), 48–55.

- <https://doi.org/10.1080/09064710.2019.1668475>
- Badr, A., El-shazly, H. H., Tarawneh, R. A., & Börner, A. (2020). Screening for Drought Tolerance in Maize ( *Zea mays* L.) Germplasm Using Germination and. *Plants*, 9, 1–23. [https://www.researchgate.net/publication/n/341035013\\_Screening\\_for\\_Drought\\_Tolerance\\_in\\_Maize\\_Zea\\_mays\\_L\\_Germplasm\\_Using\\_Germination\\_and\\_Seedling\\_Traits\\_under\\_Simulated\\_Drought\\_Conditions/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/n/341035013_Screening_for_Drought_Tolerance_in_Maize_Zea_mays_L_Germplasm_Using_Germination_and_Seedling_Traits_under_Simulated_Drought_Conditions/figures?lo=1)
- Chen, X., Zhao, Y., Zeng, C., Li, Y., Zhu, L., Wu, J., Chen, J., & Wei, Z. (2019). Assessment contributions of physicochemical properties and bacterial community to mitigate the bioavailability of heavy metals during composting based on structural equation models. *Bioresource Technology*, 289(June). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121657>
- Hu, W., Ran, J., Dong, L., Du, Q., Ji, M., Yao, S., Sun, Y., Gong, C., Hou, Q., Gong, H., Chen, R., Lu, J., Xie, S., Wang, Z., Huang, H., Li, X., Xiong, J., Xia, R., Wei, M., ... Deng, J. (2021). Aridity-driven shift in biodiversity–soil multifunctionality relationships. *Nature Communications*, 12(1), 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25641-0>
- Jacoby, R., Peukert, M., Succurro, A., Koprivova, A., & Kopriva, S. (2017). The role of soil microorganisms in plant mineral nutrition—current knowledge and future directions. *Frontiers in Plant Science*, 8(September), 1–19. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01617>
- Jing, T., Li, J., He, Y., Shankar, A., Saxena, A., Tiwari, A., Maturi, K. C., Solanki, M. K., Singh, V., Eissa, M. A., Ding, Z., Xie, J., & Awasthi, M. K. (2024). Role of calcium nutrition in plant Physiology: Advances in research and insights into acidic soil conditions - A comprehensive review. *Plant Physiology and Biochemistry*, 210(November 2023), 108602. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108602>
- Khubna, M., Supriyono, Nyoto, S., & Budiastuti, M. T. S. (2021). The growth and yield of hybrid corn on different plant spacing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 637(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/637/1/012064>
- Liu, C., Gong, X., Dang, K., Li, J., Yang, P., Gao, X., Deng, X., & Feng, B. (2020). Linkages between nutrient ratio and the microbial community in rhizosphere soil following fertilizer management. *Environmental Research*, 184(November 2019), 109261. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109261>
- Mulyani, A., & Sarwani, M. (2013). Karakteristik dan Potensi Lahan Sub Optimal untuk Pengembangan Pertanian di Indonesia. *Jurnal Sumber Daya Lahan*, 7(1), 47–55.
- Neina, D. (2019). The Role of Soil pH in Plant Nutrition and Soil Remediation. *Applied and Environmental Soil Science*, 2019(3). <https://doi.org/10.1155/2019/5794869>
- Osborne, N. G. (2008). Mycoplasma. In *Infectious Diseases in Obstetrics and Gynecology, Sixth Edition*. [https://doi.org/10.5005/jp/books/12721\\_22](https://doi.org/10.5005/jp/books/12721_22)
- Qi, Q., Hu, C., Lin, J., Wang, X., Tang, C., Dai, Z., & Xu, J. (2022). Contamination with multiple heavy metals decreases microbial diversity and favors generalists as the keystones in microbial occurrence networks. *Environmental Pollution*, 306(May), 119406. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119406>
- Sah, R. P., Chakraborty, M., Prasad, K., Pandit, M., Tudu, V. K., Chakravarty, M. K., Narayan, S. C., Rana, M., & Moharana, D. (2020). Impact of water deficit stress in maize: Phenology and yield components. *Scientific Reports*, 10(1), 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59689-7>
- Salminen, S., Wright, von A., & Ouwehand, A. (2011). Lactic Acid Bacteria. *Lactic Acid Bacteria*. <https://doi.org/10.1201/b11503>

- Shao, J. L., Lai, B., Jiang, W., Wang, J. T., Hong, Y. H., Chen, F. Bin, Tan, S. Q., & Guo, L. X. (2019). Diversity and co-occurrence patterns of soil bacterial and fungal communities of chinese cordyceps habitats at shergyla mountain, tibet: Implications for the occurrence. *Microorganisms*, 7(9). <https://doi.org/10.3390/microorganisms7090284>
- Tandzi, L. N., Mutengwa, C. S., Ngonkeu, E. L. M., & Gracen, V. (2018). Breeding maize for tolerance to acidic soils: A review. *Agronomy*, 8(6), 1–21. <https://doi.org/10.3390/agronomy8060084>
- Timofeeva, A. M., Galyamova, M. R., & Sedykh, S. E. (2023). Plant Growth-Promoting Soil Bacteria: Nitrogen Fixation, Phosphate Solubilization, Siderophore Production, and Other Biological Activities. *Plants*, 12(24). <https://doi.org/10.3390/plants12244074>
- Valin, H., Sands, R. D., van der Mensbrugge, D., Nelson, G. C., Ahammad, H., Blanc, E., Bodirsky, B., Fujimori, S., Hasegawa, T., Havlik, P., Heyhoe, E., Kyle, P., Mason-D’Croz, D., Paltsev, S., Rolinski, S., Tabeau, A., van Meijl, H., von Lampe, M., & Willenbockel, D. (2014). The future of food demand: Understanding differences in global economic models. *Agricultural Economics (United Kingdom)*, 45(1), 51–67. <https://doi.org/10.1111/agec.12089>
- Varghese, N., & Joy, &. (2014). *Microbiology Laboratory*.
- Wan, W., Tan, J., Wang, Y., Qin, Y., He, H., Wu, H., Zuo, W., & He, D. (2020). Responses of the rhizosphere bacterial community in acidic crop soil to pH: Changes in diversity, composition, interaction, and function. *Science of the Total Environment*, 700, 134418. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134418>
- Yurindra, R. (2015). *Sumberdaya lahan pertanian indonesia: luas penyebaran dan potensi ketersediaan* (Issue October).
- Zhao, W. rui, Li, J. yu, Jiang, J., Lu, H. long, Hong, Z. neng, Qian, W., Xu, R. kou, Deng, K. Y., & Guan, P. (2020). The mechanisms underlying the reduction in aluminum toxicity and improvements in the yield of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) After organic and inorganic amendment of an acidic ultisol. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 288(October 2019), 106716. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106716>