

Turmeric-Associated Endophytic Bacteria with IAA-Producing and Phosphate-Solubilizing Activities as Growth-Promoting Agents

Siti Sholekha¹, Ahmad Ikhsanudin¹, Indriyani¹, Kusuma Handayani¹, Nida Lidya Susanti¹, Ahmad Bintang Pamela¹

¹Jurusan Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Lampung

Email: (*) siti.sholekha@fmipa.unila.ac.id

ABSTRACT

White turmeric (*Curcuma zedoaria*) is one of the strategic bio-pharmaceutical plants commonly used as a cooking ingredient and as a family medicinal plant. In the Lampung region, turmeric ranks among the top five highest-yielding bio-pharmaceutical crops, making it an abundantly available commodity. This research aims to explore the endophytic bacteria present in turmeric and to investigate the functional abilities of the isolated strains. Endophytic bacteria are microorganisms that inhabit plant tissues and can act as plant growth promoters. In addition, these bacteria can solubilize phosphate, thereby supporting plant growth. Endophytic bacteria also produce the phytohormone IAA, which plays an important role in plant development. This study obtained three endophytic bacterial isolates from the leaves of white turmeric plants, namely KPD1, KPD2, and KPD3. Isolates KPD2 and KPD3 exhibited phosphate-solubilizing activity, as indicated by the formation of clear zones measuring 2.5 ± 0.58 mm and 4.0 ± 0.82 mm, respectively. In addition, all isolates were able to produce indole-3-acetic acid (IAA), with concentrations of 54.98 µg/mL (KPD2), 54.14 µg/mL (KPD3), and 25.05 µg/mL (KPD1). The abilities demonstrated by these endophytic bacterial isolates indicate their potential as plant growth-promoting bacteria (PGPB).

Keywords: Endophyte, Growth, Phosphate, Turmeric

PENDAHULUAN

Kunyit (*Curcuma*) merupakan salah satu komoditas biofarmaka penting di Indonesia karena mengandung kurkumin dan minyak atsiri yang berperan sebagai antiinflamasi, antioksidan, serta antimikroba (Hewlings dan Kalman., 2017). Provinsi Lampung termasuk daerah penghasil kunyit terbesar dengan potensi besar mendukung industri biofarmaka, meskipun produktivitasnya kerap menurun akibat serangan patogen dan berbagai kendala agronomis. Eksplorasi dari tanaman kunyit dapat dilakukan dengan menggali potensi isolat bakteri yang ada pada kunyit.

Bakteri endofit adalah mikroba intra-seluler yang hidup di jaringan tanaman tanpa menyebabkan gejala patogenik. Mereka memiliki potensi ganda sebagai agen *plant growth-promoting* (PGP), melalui kemampuan melarutkan fosfat, menghasilkan hormon tanaman seperti IAA, serta memproduksi metabolit bioaktif (Hardoim *et al.*, 2015). Dari tanaman obat, bakteri endofit yang diisolasi dapat memproduksi zat-zat bioaktif dan bahkan memicu tanaman inang untuk meningkatkan produksi

metabolit sekunder. Hubungan inang dan endofit bersifat adaptif, endofit mengubah pola ekspresi gen atau komposisi metabolitnya bila tanaman mengalami perubahan kecil, dan tanaman juga dapat memengaruhi aktivitas bakteri (EkRamos *et al.*, 2019).

Beberapa penelitian awal pada tanaman lain mengindikasikan potensi bakteri endofit. contohnya, bakteri endofit yang diisolasi dari cabai (*Capsicum*) menunjukkan kemampuan melarutkan fosfat dan produksi hormon IAA (Asam Indole-3-Asetat); yang merupakan hormon penting bagi tanaman. Pada kunyit, isolat bakteri endofit yang diisolasi dari rimpang menunjukkan aktivitas antimikroba terhadap *S. aureus* dan *C. albicans*, serta memiliki aktivitas antioksidan (Sulistiyani *et al.*, 2016).

Isolasi dan karakterisasi bakteri endofit kunyit juga telah dilakukan: misalnya, penelitian Jadhav *et al.*, (2024) melaporkan isolat bakteri endofit yang mampu menghasilkan IAA ($5\text{--}45$ µg/mL) dan asam giberelat ($0.5\text{--}7$ µg/mL) dari *Curcuma longa*, hal ini menunjukkan potensi PGP awal yang menjanjikan.

Eksplorasi terkait isolat bakteri endofit dari kunyit putih belum banyak dilaporkan, khususnya di daerah Lampung sendiri. Isolasi bakteri endofit yang memiliki potensi sebagai pelarut fosfat dan produksi hormon IAA dapat dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengisi isolasi dan karakterisasi bakteri endofit dari kunyit putih Lampung, menilai potensi PGP (melalui uji pelarut fosfat dan IAA).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Lab Mikrobiologi FMIPA Univesitas Lampung dan sampel di peroleh dari Bandar Lampung. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah cawan Petri, elenmeyer, tabung reaksi, autoklaf, inkubator, oven, gelas beker, gelas ukur, timbangan analitik, spektrofotometer, sentrifus, dan peralatan lab lainnya. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah batang, daun, dan rimpang kunyit, *Nutrient Agar* (NA), *Nurient Broth* (NB), reagen salkowski, media pikovskaya, alkohol, akuades, etanol absolut, dan hormon IAA (*L-tryptophan*).

Isolasi Bakteri Endofit

Isolasi bakteri dilakukan dengan memotong daun menjadi ukuran 1x1 cm. Selanjutnya masing-masing potongan direndam dengan alkohol 75% selama 1 menit, direndam dalam sodium hipoklorit selama 5 menit, direndam dengan alkohol kembali selama 1 menit, dibilas dengan akuades steril, dan masing-masing potongan dikeringkan dengan tisu sebelum diletakkan ke dalam cawan petri yang berisi media NA. Cawan yang berisi potongan bagian kunyit diinkubasi selama 48 jam pada suhu 37°C. Semua perlakuan diulang sebanyak 3 kali. Sebagai kontrol, air bilasan terakhir juga diambil dan diinokulasikan ke dalam cawan (Jadhav *et al.*, 2024).

Karakterisasi Isolat Bakteri Endofit

Isolat yang tumbuh disekitar bagian dari potongan kunyit diambil dan digores ke media NA untuk memperoleh isolat murni. Isolat murni yang sudah ditumbuh dilakukan peremajaan dan karakterisasi morfologi dengan melakukan pengamatan koloni sel dan pewarnaan gram (Jadhav *et al.*, 2024).

Uji Pelarut Fosfat

Uji pelarut fosfat dilakukan dengan menggunakan media pikovskaya. Ke dalam cawan petri dituang sebanyak 20 ml media Pikovskaya, setelah media memadat diatasnya ditotol isolat bakteri endofit. Cawan diinkubasi pada suhu 37°C selama 24-48 jam. Terbentuknya zona bening disekitar isolat bakteri menunjukkan kemampuannya dalam melarutkan fosfat (Widowati *et al.*, 20204).

Uji Produksi Hormon IAA

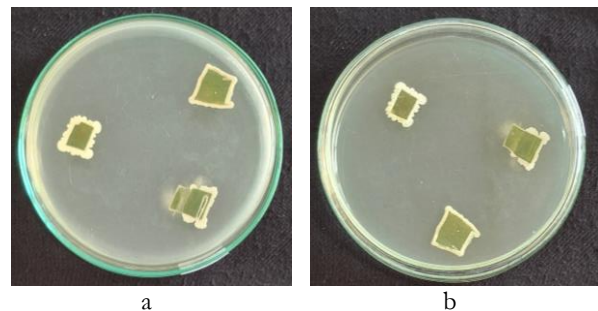
Isolat bakteri ditumbuhkan ke dalam media NB yang telah ditambahkan *L-tryptophan* pada tabung reaksi dan diinkubasi pada *shaker incubator* selama 48 jam.

Supernatan dari bakteri endofit diperoleh dengan melakukan sentrifugasi selama 20 menit pada kecepatan 3000 rpm. Supernatan diambil sebanyak 1 ml dan ditambahkan reagen salkowski sebanyak 2 ml dan didiamkan selama 30 menit pada ruang gelap. Selanjutnya diamati absorbansinya pada panjang gelombang 530 nm. Terbentuknya warna merah muda atau merah keunguan menunjukkan kemampuan isolat bakteri endofit dalam menghasilkan hormon IAA (Kumar *et al.*, 2020). Konsentrasi IAA isolat dihitung melalui perbandingan nilai pengukuran dengan kurva standar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Isolasi Bakteri Endofit

Isolasi bakteri endofit pada kunyit putih yang dilakukan pada daun berhasil diperoleh beberapa isolat (Gambar 1). Setelah melakukan pengecekan dari morfologi warna dan bentuk koloninya, diperoleh 3 isolat yang memiliki morfologi berbeda. Ketiga isolat tersebut adalah KPD1, KPD2, dan KPD3.



Gambar 1. Hasil isolasi bakteri endofit

Hasil isolasi bakteri endofit dari jaringan tanaman kunyit putih menunjukkan bahwa tanaman ini menjadi habitat yang sesuai bagi berbagai bakteri endofit. Isolat bakteri berhasil diperoleh setelah proses sterilisasi permukaan, yang mengindikasikan bahwa bakteri yang tumbuh berasal dari jaringan internal tanaman, bukan kontaminan permukaan. Keberhasilan isolasi ini sejalan dengan laporan sebelumnya yang menyatakan bahwa rimpang kunyit kaya akan komunitas bakteri endofit karena kandungan metabolit sekunder dan nutrisi yang mendukung kolonisasi mikroba.

Beberapa penelitian melaporkan bahwa bakteri endofit yang sering diisolasi dari kunyit berasal dari kelompok bakteri Gram positif dan Gram negatif, terutama dari genus *Bacillus*, *Paenibacillus*, dan *Pseudomonas*. Dominasi kelompok tersebut diduga berkaitan dengan kemampuan bakteri tersebut untuk beradaptasi terhadap lingkungan internal tanaman dan bertahan terhadap senyawa antimikroba alami yang terkandung dalam rimpang kunyit (Kumar *et al.*, 2016).

Tanaman dapat membentuk hubungan dengan berbagai makhluk hidup di ekosistemnya agar bisa tumbuh dengan baik di lingkungannya. Mikroorganisme adalah salah satu makhluk hidup paling penting yang dapat membentuk hubungan yang menguntungkan dengan tanaman (Santoyo *et al.*, 2016). Bakteri yang bermanfaat bagi tanaman adalah kelompok bakteri yang

memberi banyak keuntungan bagi tanaman inangnya, salah satunya yaitu bakteri endofit. Bakteri endofit membantu tanaman untuk bertahan terhadap berbagai stres biotik dan abiotik yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman (Miliute *et al.*, 2015).

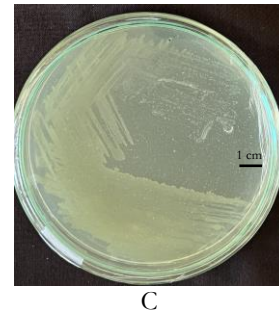
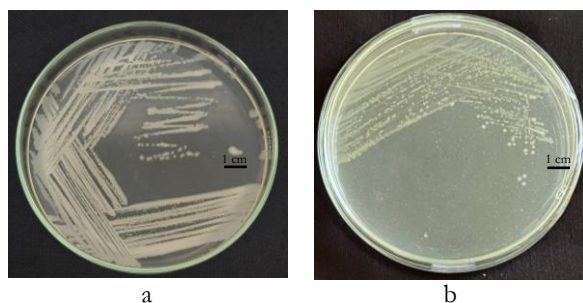
Keberadaan bakteri endofit dalam jaringan kunyit juga dipengaruhi oleh kondisi fisik lingkungan tempat tanaman tumbuh. Faktor seperti pH tanah, kelembaban, dan kandungan bahan organik dapat memengaruhi keberagaman dan jumlah bakteri yang mampu berkolonisasi secara endofitik (Xiong *et al.*, 2024; Hamdene *et al.*, 2025). Lingkungan dengan kondisi tanah yang subur dan kelembaban yang cukup dilaporkan mendukung tingginya populasi bakteri endofit pada tanaman obat, termasuk kunyit.

Karakterisasi Isolat Bakteri Endofit

Morfologi dari bakteri endofit KPD1, KPD2, dan KPD3 dapat dilihat pada gambar 2. Pada gambar tersebut terlihat bahwa isolat KPD1 memiliki koloni berwarna putih, sedangkan KPD2 dan KPD3 berwarna kuning.

Karakter lain yang diamati adalah bentuk sel dan kelompok bakteri (Gram). Berdasarkan pengamatan menggunakan mikroskop diketahui bahwa isolat bakteri KPD1 dan KPD2 adalah kelompok bakteri Gram negatif, sedangkan isolat bakteri KPD 3 adalah bakteri Gram positif. Bentuk sel isolat KPD1 dan KPD3 adalah bulat, sedangkan KPD2 adalah batang setelah dilakukan pengamatan di bawah mikroskop.

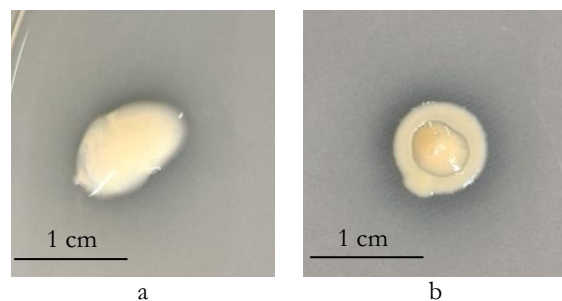
Perbedaan morfologi yang diamati terutama berkaitan dengan sifat pewarnaan Gram. Sebagian besar isolat yang diperoleh merupakan bakteri Gram-negatif, sedangkan sisanya tergolong Gram-positif. Meskipun bakteri endofit umumnya didominasi oleh kelompok Gram-positif, keberadaan bakteri endofit Gram-negatif juga sering ditemukan. Pada tanaman *Ficus minbassae*, jumlah bakteri endofit Gram-negatif dan Gram-positif yang berhasil diisolasi relatif seimbang, dengan bakteri Gram-negatif diklasifikasikan sebagai Proteobacteria dan bakteri Gram-positif sebagai Actinobacteria. Namun, penelitian lain melaporkan bahwa bakteri endofit Gram-negatif ditemukan dalam jumlah yang lebih dominan (Tallei *et al.*, 2020; Murtado *et al.*, 2020)



Gambar 2. Morfologi bakteri endofit dari kunyit putih, (a) KPD1; (b) KPD2; dan (c) KPD3.

Uji Pelarut Fosfat

Aktivitas isolat bakteri endofit dalam melarutkan fosfat dapat dilihat pada gambar 3. Isolat yang memiliki aktivitas melarutkan fosfat adalah KPD2 dan KPD3, sedangkan KPD1 tidak. Isolat KPD2 dan KPD3 masing-masing menghasilkan zona bening dengan diameter rata-rata sebesar $2,5 \pm 0,58$ mm dan $4,0 \pm 0,82$ mm. Zona bening yang dihasilkan oleh bakteri endofit menunjukkan kemampuannya dalam melarutkan fosfat.



Gambar 3. Uji pelarut fosfat pada isolat bakteri endofit dari kunyit putih, (a) KPD2 dan (b) KPD3.

Terbentuknya zona bening di sekitar koloni bakteri menunjukkan bahwa isolat bakteri tersebut memiliki kemampuan melarutkan fosfat (Zuluaga *et al.*, 2020). Zona bening terbentuk karena bakteri mampu menghasilkan senyawa tertentu seperti asam organik ataupun enzim. Senyawa tersebut mampu melarutkan senyawa fosfat tidak larut menjadi bentuk yang lebih sederhana sehingga tersedia bagi tanaman. Mekanisme ini menyebabkan fosfat yang ada di sekitar koloni larut sehingga terbentuk zona bening disekitar koloni.

Fosfor (P) merupakan unsur hara makro esensial yang berperan penting dalam berbagai proses fisiologis tanaman, termasuk pembentukan energi (ATP), sintesis asam nukleat, serta pertumbuhan dan perkembangan akar. Di dalam tanah, fosfor terdapat dalam bentuk organik dan anorganik. Fosfor anorganik umumnya berikatan dengan ion kalsium, besi, atau aluminium, membentuk senyawa mineral yang sukar larut dan sulit tersedia bagi tanaman. Kondisi ini sering diperparah oleh penggunaan pupuk kimia secara terus-menerus, yang dapat meningkatkan fiksasi fosfat di dalam tanah.

Meskipun kandungan total fosfor di dalam tanah relatif tinggi, sebagian besar fosfor tersebut berada

dalam bentuk yang tidak dapat langsung diserap oleh tanaman. Akibatnya, ketersediaan fosfor menjadi faktor pembatas bagi pertumbuhan tanaman (Hegyi *et al.*, 2021; Madrid-Delgado *et al.*, 2021). Oleh karena itu, keberadaan bakteri pelarut fosfat menjadi penting karena mampu meningkatkan ketersediaan fosfor di dalam tanah melalui proses pelarutan fosfat tidak larut, sehingga berpotensi mendukung pertumbuhan tanaman secara berkelanjutan.

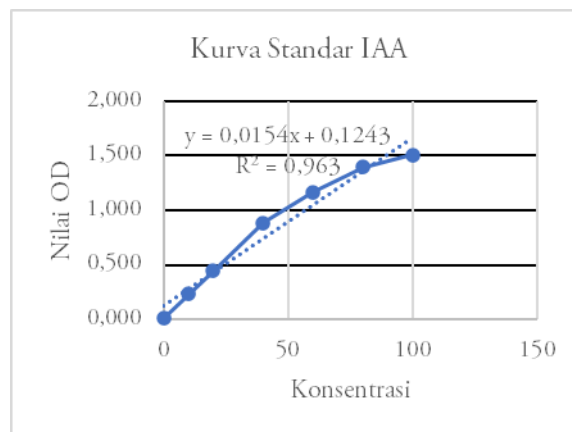
Uji Produksi Hormon IAA

Kemampuan bakteri dalam memproduksi hormon IAA ditunjukkan pada Tabel 1. Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan metode Salkowski dan perhitungan melalui kurva standar IAA, ketiga isolat terbukti mampu menghasilkan hormon IAA masing-masing sebesar 54,98 µg/mL, 54,14 µg/mL, dan 25,05 µg/mL untuk isolat KPD2, KPD3, dan KPD1. Secara kualitatif, hasil uji IAA menunjukkan perubahan warna larutan menjadi merah muda hingga merah setelah penambahan reagen Salkowski, yang mengindikasikan adanya produksi IAA oleh isolat bakteri. Intensitas warna yang lebih kuat diamati pada isolat dengan nilai absorbansi yang lebih tinggi, menunjukkan hubungan yang sejalan antara hasil kualitatif dan kuantitatif uji IAA.

Tabel 1. Hasil pengukuran produksi hormon IAA

No	Nama isolat	Nilai IAA
1.	KPD1	25,05
2.	KPD2	54,98
3.	KPD3	54,14

Nilai konsentrasi hormon IAA dari ketiga isolat bakteri diperoleh berdasarkan kurva standar IAA yang dihasilkan dari pengukuran larutan standar IAA pada beberapa konsentrasi (Gambar 4). Tingginya nilai produksi hormon *indole acetic acid* (IAA) yang dihasilkan oleh isolat bakteri menunjukkan potensi besar isolat tersebut sebagai agen pemacu pertumbuhan tanaman. IAA merupakan salah satu auksin utama yang berperan penting dalam mengatur berbagai proses fisiologis tanaman, seperti pemanjangan sel, pembentukan dan perkembangan akar, serta diferensiasi jaringan. Oleh karena itu, bakteri dengan kemampuan menghasilkan IAA dalam jumlah tinggi berpotensi meningkatkan pertumbuhan tanaman secara signifikan.



Gambar 4. Kurva standar IAA

Bakteri endofit memiliki potensi besar sebagai agen pemacu pertumbuhan tanaman obat, antara lain dengan meningkatkan biomassa akar dan batang serta merangsang perkecambahan biji. Peran ini terutama berkaitan dengan kemampuannya dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui sintesis *indole acetic acid* (IAA). Secara khusus, produksi IAA oleh mikroorganisme melalui jalur biosintesis yang bergantung pada triptofan yang diketahui berpengaruh signifikan terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Fouda *et al.*, 2021).

Isolat KPD2 dan KPD3 menunjukkan nilai produksi IAA yang lebih tinggi dibandingkan dengan isolat KPD1. Hal ini mengindikasikan bahwa KPD2 dan KPD3 memiliki jalur biosintesis IAA yang lebih aktif atau efisien, kemungkinan melalui jalur biosintesis yang bergantung pada triptofan. Produksi IAA oleh bakteri endofit dapat memengaruhi keseimbangan hormon tanaman, khususnya dengan merangsang pembentukan akar lateral dan rambut akar, sehingga meningkatkan kemampuan tanaman dalam menyerap air dan unsur hara.

Sebaliknya, nilai produksi IAA yang lebih rendah pada isolat KPD1 menunjukkan bahwa meskipun isolat bakteri endofit ini mampu menghasilkan IAA, kontribusinya terhadap stimulasi pertumbuhan tanaman kemungkinan lebih terbatas dibandingkan isolat dengan produksi IAA yang lebih tinggi. Namun demikian, produksi IAA dalam jumlah tertentu tetap berperan penting karena konsentrasi IAA yang terlalu tinggi berpotensi memberikan efek negatif, seperti penghambatan pertumbuhan akar atau ketidakseimbangan hormon pada tanaman.

Bakteri endofit membantu meningkatkan kesehatan, ketahanan, dan pertahanan tanaman dengan menghasilkan senyawa metabolit sekunder yang bersifat bioaktif. Senyawa-senyawa ini juga berpotensi dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi industri (Sharma *et al.*, 2024).

KESIMPULAN

Isolat bakteri endofit kunyit putih yang berhasil diperoleh sebanyak 3 isolat, KPD1, KPD2, dan KPD3. Isolat bakteri tersebut memiliki potensi untuk digunakan sebagai bakteri pemicu pertumbuhan tanaman. Isolat bakteri endofit KPD2 dan KPD3 memiliki kemampuan melarutkan fosfat yang merupakan sumber penting bagi pertumbuhan tanaman. Selain itu, ketiga isolat memiliki kemampuan dalam sintesis hormon IAA. Kemampuan bakteri endofit dalam sintesis hormon IAA menandakan kemampuan bakteri sebagai agen pemacu pertumbuhan. Penelitian selanjutnya terkait optimasi media pertumbuhan untuk produksi IAA dan pelarut fosfat perlu dilakukan, dan identifikasi molekuler (gen 16S rRNA) untuk mengetahui spesies bakteri endofit yang memiliki kemampuan melarutkan fosfat dan memproduksi IAA.

DAFTAR PUSTAKA

- Ek-Ramos, M. J., Gomez-Flores, R., Orozco-Flores, A. A., Rodríguez-Padilla, C., González-Ochoa, G., & Tamez-Guerra, P. (2019). Bioactive Products from Plant-Endophytic Gram-Positive Bacteria. *Front. Microbiol*, 10, 463.
- Fouda, A., Ahmed, E., Albaraa, E., Ehab, E. B., Mohammed, G. B., Ehab, A., Adil G., & Saad. H. (2021). Plant Growth-Promoting Endophytic Bacterial Community Inhabiting the Leaves of *Pulicaria incisa* (Lam.) DC Inherent to Arid Regions. *Plants*, 10(1), 76.
- Hamdene, I., Bez, C., Bertani, I., López-Mencherio, J.R., Yahyaoui, A., Venturi, V., Sadfi-Zouaoui, N. (2025). Endophytic bacterial communities associated with halophytic plants in kebili and Gabes regions of Southern Tunisia. *BMC Microbiol* 25, 683.
- Hardoim, P. R., van Overbeek, L. S., & van Elsas, J. D. (2008). Properties of bacterial endophytes and their proposed role in plant growth. *Trends Microbiol*, 16(10), 463–471.
- Hegyi, A., Nguyen, T. B. K., & Posta, K. (2021). Metagenomic Analysis of Bacterial Communities in Agricultural Soils from Vietnam with Special Attention to Phosphate Solubilizing Bacteria. *Microorganisms*, 9(9), 1796.
- Hewlings, S. J., & Kalman, D. S. (2017). Curcumin: A Review of Its Effects on Human Health. *Foods*, 6(10), 92.
- Jadhav, A., Jadhav, M. D., & Ghatage, A. (2024). Isolation, Characterization, and Identification of Endophytic Bacteria from *Curcuma longa* and Detection of Indole Acetic Acid and Gibberellic Acid Production. *Bulletin of Pure and Applied Sciences Zoology (Animal Science)*, 43B(1), 394-406.
- Kumar, A., Singh, R., Yadav, A., Giri, D. D., Singh, P. K., Pandey, K. D. (2016). Isolation and characterization of bacterial endophytes of *Curcuma longa* L. *3 Biotech*, 6(1), 60.
- Madrid-Delgado, G., Orozco-Miranda, M., Cruz-Osorio, M., Hernández-Rodríguez, O. A., Rodríguez-Heredia, R., Roa-Huerta, M., & Avila-Quezada, G. D. (2021). Pathways of Phosphorus Absorption and Early Signaling between the Mycorrhizal Fungi and Plants. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, 90(5), 1321-1338.
- Miliute, I., Buzaitė, O., Baniulis, D., & Stanys, V. (2015). Bacterial endophytes in agricultural crops and their role in stress tolerance: a review. *Zemdirbyste-Agriculture*, 102(4), 465-478.
- Murtado, A., Mubarik, N. R., & Tjahjoleksono, A. (2020). Isolation and characterization endophytic bacteria as biological control of fungus *Colletotrichum* sp. on onion plants (*Allium cepa* L.). *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 457, 012043.
- Santoyo, G., Moreno-Hagelsieb, G., Orozco-Mosqueda, Mdel, C., Glick, B. R. (2006). Plant growth-promoting bacterial endophytes. *Microbiol Res*, 183, 92-99.
- Sharma, M., Sood, G., & Chauhan, A. (2024). Assessment of plant growth promotion potential of endophytic Bacterium *B. subtilis* KU21 isolated from *Rosmarinus ocinalis*. *Curr Microbiol*, 81(7), 207.
- Sulistiyan, Ardyati, T., & Winarsih, S. (2016). Antimicrobial and Antioxidant Activity of Endophyte Bacteria Associated with *Curcuma longa* Rhizome. *The Journal of Experimental Life Sciences*, 6(1), 45-51.
- Tallei, T., Linelejan, Y., Adam, A., Muslem, M., & Idroes, R. (2020). Endophytic Bacteria isolated from the leaf of Langusei (*Ficus minabassae* Tesym. & De Vr.) and their antibacterial activities. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 796, 012047.
- Widowati, T., Simarmata, R., Nurjanah, L., Nuriyanah, N., & Lekatompessy, S. J. (2024). Aktivitas Pemacu Pertumbuhan Tanaman dari Bakteri Endofit Bawang Merah (*Allium cepa* L.)," *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22 (4), 887-893.
- Xiong, R., He, X., Gao, N., Li, Q., Qiu, Z., Hou, Y., Shen, W. (2024). Soil pH amendment alters the abundance, diversity, and composition of microbial communities in two contrasting agricultural soils. *Microbiol Spectr*, 12(8): e04165-23..
- Zuluaga, M. Y. A., Lima Milani, K. M., Azeredo Gonçalves, L. S., & Martinez de Oliveira, A. L. (2020). Diversity and Plant Growth-Promoting Functions of Diazotrophic/N-Scavenging Bacteria Isolated from the Soils and Rhizospheres of Two Species of *Solanum*. *PLoS ONE*, 15, e0227422.