

The Role of Phosphate Solubilizing Bacteria in Sustainable Agriculture

Peran Bakteri Pelarut Fosfat dalam Pertanian Berkelanjutan

Sistika Arlina¹, Linda Advinda^{1*}, Moralita Chatri¹, Dwi Hilda Putri¹

¹Department of Biology, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Negeri Padang, West Sumatera, Indonesia

*Correspondence author: linda_advinda@fmipa.unp.ac.id

Abstract

Repeated and unwise use of chemical fertilizers on agricultural land can cause various negative impacts such as disrupting natural microbes and losing soil fertility. Phosphate solubilizing bacteria are soil bacteria that can convert phosphate from insoluble to soluble so that it can be absorbed by plants. Phosphate solubilizing bacteria play an important role in increasing plant productivity. Although the availability of phosphorus (P) in soil is in high concentrations, only 0.1% of the total phosphorus is available to plants and represents a small portion of the total in the soil. This occurs because of the low level of solubility of phosphorus and its fixation ability in the soil with several other metal elements in the soil such as Al, Ca, Fe to form aluminum phosphate, calcium phosphate and iron phosphate. This research aims to provide information on the role of phosphate solubilizing bacteria in sustainable agriculture. The method used in writing this article is a literature review by collecting international and national sources using Google Scholar, ScienceDirect, and other internet databases. The results obtained are based on articles that have been collected. Phosphate solubilizing bacteria have a role in sustainable agriculture.

Key words: *phosphate solubilizing bacteria, phosphate, plant productivity, sustainable agriculture*

Abstrak

Penggunaan pupuk kimia pada lahan pertanian secara berulang dan tidak bijaksana dapat menyebabkan berbagai dampak negatif seperti mikroba alami terganggu dan hilangnya kesuburan tanah. Bakteri pelarut fosfat merupakan bakteri tanah yang dapat mengubah fosfat dari tidak larut menjadi larut sehingga dapat diserap oleh tanaman. Bakteri pelarut fosfat memainkan peran penting dalam meningkatkan produktivitas tanaman. Meskipun ketersediaan fosfor (P) di tanah dalam konsentrasi tinggi, namun hanya 0,1 % dari total fosfor yang tersedia bagi tanaman dan mewakili sebagian kecil dari total dalam tanah. Hal ini terjadi karena rendahnya tingkat kelarutan fosfor dan kemampuan fiksasinya di tanah dengan beberapa unsur logam lain di dalam tanah seperti Al, Ca, Fe untuk membentuk aluminium fosfat, kalsium fosfat, dan besi fosfat. Penelitian ini bertujuan memberikan informasi peran bakteri pelarut fosfat dalam pertanian berkelanjutan. Metode yang digunakan dalam penulisan ini adalah *literature review* dengan mengumpulkan sumber internasional maupun nasional dengan menggunakan Google Scholar, ScienceDirect, dan database internet lainnya. Hasil yang didapatkan berdasarkan artikel yang telah dikumpulkan Bakteri pelarut fosfat memiliki peran dalam pertanian berkelanjutan.

Kata kunci: *bakteri pelarut fosfat, fosfat, produktivitas tanaman, pertanian berkelanjutan*

Pendahuluan

Salah satu masalah yang dihadapi oleh petani adalah kekurangan fosfor dalam tanah. Secara konvensional, masalah ini diselesaikan dengan menggunakan pupuk fosfat kimia. Penggunaan pupuk kimia pada lahan pertanian secara berulang dan tidak bijaksana dapat menyebabkan berbagai dampak negatif seperti mikroba alami terganggu dan hilangnya kesuburan tanah (Schnug dan Haneklaus, 2016). Pemberian fosfor dapat terakumulasi pada lapisan bawah tanah sehingga tidak dapat dimanfaatkan oleh tanaman (Anhar dkk., 2016). Oleh karena itu, sangat menarik untuk menyelidiki strategi yang mampu meningkatkan efisiensi

ketersediaan fosfat dalam pertanian berkelanjutan untuk meningkatkan hasil panen dan mengurangi pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh hilangnya fosfor dari tanah.

Bakteri pelarut fosfat merupakan bakteri yang dapat mengubah fosfat dari tidak larut menjadi larut sehingga dapat diserap oleh tanaman (Irawan dan Zulaika, 2016). Ketersediaan fosfat sangat menentukan pertumbuhan dan kesuburan tanaman sehingga kualitas dan hasil panen tinggi (Asril dkk., 2023). Penggunaan bakteri pelarut fosfat untuk meningkatkan hasil tanaman merupakan mekanisme yang sangat maju dan tersedia secara alami. Mayoritas tanaman pangan diketahui terkena dampak positif oleh hubungan dengan bakteri rizosfer dalam kondisi kekurangan fosfor (Alori dkk., 2017).

Bakteri pelarut fosfat yang diinokulasikan pada tanah akan meningkatkan hasil pertanian baik kualitas maupun bobot kering dari tanaman tersebut (Yulmira dkk., 2009). Pada tanah bakteri pelarut fosfat berperan dalam penyuburan karena bakteri tipe ini mampu melakukan mekanisme pelarutan fosfat dengan mengekskresikan sejumlah asam organik berbobot molekul rendah seperti oksalat, suksinat, fumarat, malat. (Simanungkalit dan Suriadikarta, 2006).

Fosfor (P) merupakan unsur hara yang sangat penting bagi pertumbuhan tanaman dan hasil panen (Murdiono, 2018). Meskipun melimpah di tanah, baik dalam bentuk organik maupun anorganik, ketersediaannya terbatas karena sebagian besar terdapat dalam bentuk tidak larut (Alam dkk., 2002). Selain itu fosfor berkemampuan buruk dalam fiksasi di tanah dengan unsur beberapa logam lain di dalam tanah seperti Ca, Al, Fe untuk membentuk kalsium fosfat, aluminium fosfat dan besi fosfat. Hal ini menyebabkan tidak tersedianya fosfat bagi tanaman (Ingle dan Padole, 2017). Handayani, dkk., (2018), menyatakan bahwa asam organik dan enzim fosfatase dapat memutus ikatan fosfat yang terikat menjadi fosfat tersedia bagi tanaman.

Bahan dan Metode

Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian menggunakan metode literatur review. Literatur review merupakan salah satu metode dalam penelitian yang bertujuan mengidentifikasi, mengevaluasi serta menginterpretasikan hasil-hasil penelitian yang relevan dengan suatu topik penelitian tertentu, dan dilakukan dengan cara menelaah artikel ilmiah secara terstruktur (Kitchenham, 2004).

Prosedur Penelitian

Tahapan ini terdiri dari identifikasi, skrining, kelayakan dan penerimaan. Pada tahapan identifikasi, dilakukan penelusuran sumber-sumber artikel dari internet atau sumber dari literatur lain. Pada tahapan skrining, dilakukan penyaringan artikel seperti yang terduplikasi, kemudian dilakukan proses penilaian kelayakannya dengan mengambil informasi dari judul dan abstrak pada setiap artikel. Artikel yang diambil adalah artikel yang relevan dengan judul pada penelitian literatur review ini. Tahapan terakhir yaitu tahap penerimaan, dilakukan penentuan artikel yang memenuhi kriteria yang sudah ditetapkan, dan layak digunakan dengan cara membaca keseluruhan isi pada artikel tersebut. (Liberati dkk., 2009).

Hasil dan Pembahasan

BAKTERI PELARUT FOSFAT

Bakteri pelarut fosfat di dalam tanah dapat mengubah bentuk fosfor yang tidak larut menjadi fosfor yang tersedia bagi tanaman. Bakteri ini sebagian besar adalah Gram-negatif (Liu dkk., 2020). Ada banyak jenis bakteri pelarut fosfat, yang dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama sesuai dengan substrat berbeda yang digunakannya yaitu bakteri pelarut fosfat organik, yang dapat memineralisasi fosfor organik dan bakteri pelarut fosfat anorganik, yang dapat mengubah fosfor anorganik yang tidak larut menjadi fosfor organik yang larut (Zhu dkk., 2011). Bakteri yang berperan sebagai pelarut fosfat pada tanah telah banyak ditemukan, beberapa dari contoh paling umum adalah kelompok *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Burkholderia*, *Achromobacter*, *Agrobacterium*, *Micrococcus*, *Aerobacter*, *Flavobacterium*, *Mesorhizobium*, *Azotobacter* and *Azospirillum* (Shindu dkk., 2014).

Tanah merupakan habitat alami untuk pertumbuhan mikroba. Rata-rata jumlah bakteri dalam 1 gram tanah subur mengandung 101 hingga 1010 bakteri. Di antara seluruh populasi mikroba dalam tanah, bakteri pelarut terdiri dari 1–50% dari total populasi (Kalayu, 2019). Bakteri pelarut fosfat ada di mana-mana, dan bentuknya berbeda dari setiap jenis tanah. Sebagian besar bakteri pelarut fosfat diisolasi dari rizosfer berbagai tanaman, di mana mereka diketahui lebih aktif secara metabolik. Bakteri pelarut fosfat dapat bertindak sebagai pupuk hayati dengan membuat P yang tidak tersedia menjadi tersedia bagi tanaman yang sedang tumbuh (Wani dkk., 2007). Hasil penelitian Advinda dkk., (2022) menyatakan pseudomonad fluoresen isolat PIPj1 mempunyai kemampuan paling tinggi dalam melarutkan fosfat, ditunjukkan dengan diameter zona bening yang terbentuk mencapai 1,38 cm.

PENTINGNYA FOSFAT DALAM PERTUMBUHAN TANAMAN

Fosfor (P) merupakan salah satu unsur hara penting yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman. Ketersediaan fosfor di dalam tanaman lebih rendah dari unsur makro lainnya yaitu nitrogen dan kalium (Hidayat, 2008). Fosfor sangat penting dalam pembentukan bunga, buah dan biji, perkembangan akar, memperkuat batang sehingga tanaman tidak mudah rebah, meningkatkan kualitas tanaman serta meningkatkan ketahanan terhadap serangan hama dan penyakit (Agustina, 2009).

Fosfor membantu dalam proses fotosintesis, respirasi, transfer dan penyimpanan energi, pembentukan bunga dan buah, pembelahan dan pembesaran sel serta proses-proses lain di dalam tanaman. Secara umum fosfor dalam tanah dapat dikelompokkan menjadi fosfor-organik dan fosfor-anorganik. ketersediaan fosfor-organik relatif tinggi dibandingkan fosfor-anorganik (Winarso, 2005). ketersediaan fosfor bagi tanaman juga dapat meningkatkan kesehatan tanaman & tahan terhadap penyakit, Pada lingkungan yang kekurangan fosfor, tanaman menunjukkan pertumbuhan dan metabolisme yang berubah, dan penurunan hasil panen dari 5 hingga 15% (Shenoy dan Kalagudi, 2005).

Kekurangan fosfor pada tanaman secara visual ditunjukkan dengan warna daun ungu dibagian tepi daun. fosfor bersifat mobile, sehingga bila kekurangan unsur hara fosfor pada tanaman akan ditunjukkan pada jaringan daun tua dan selanjutnya bila berlanjut ke defisiensi baru ditunjukkan pada daun muda. Ada beberapa gejala yang ditunjukkan oleh tanaman selain warna daun ungu di antaranya pertumbuhan tanaman terlambat dari normal sehingga tanaman kerdil, akar tanaman tidak berkembang baik sehingga berpengaruh pada serapan nutrisi lain, masa generatif lebih lama dan berakibat produksi yang tidak tercapai (Basuki dkk., 2023).

SUMBER BAKTERI PELARUT FOSFAT

Konsentrasi fosfor terlarut dalam larutan tanah biasanya sangat rendah. Struktur dan aktivitas bakteri di tanah sangat bergantung pada status habitat tanahnya. Di dalam habitatnya, bakteri tanah melakukan segala aktivitasnya seperti makan, bernafas, berkompetisi dengan mikroorganisme lainnya, bersinergi, dan merespon perubahan yang terjadi pada lingkungannya (Yang dkk., 2018). Populasi bakteri pelarut fosfat lebih banyak ditemukan pada daerah perakaran atau rizosfir. Keadaan tanah yang kering menyebabkan musnahnya mikroorganisme pelarut fosfat yang bersifat anaerob, seperti *Pseudomonas* sp. dan *Bacillus subtilis* (Supriyadi dan Sudadi, 2001) yang aktif pada saat tanah sawah tergenang air.

INOKULASI BAKTERI PELARUT FOSFAT KE BENIH

Pemanfaatan mikroorganisme pelarut fosfat sebagai pupuk hayati dilakukan dengan cara menginokulasi tanah secara langsung pada perakaran tanaman, benih atau diberikan ke biji. Inokulasi biasanya dilakukan pada saat tanam yang bersamaan dengan pemupukan fosfat (Cheng dkk., 2023). Pada tanah-tanah yang kandungan fosfor tinggi akibat akumulasi atau residu pemberian pupuk fosfat yang menumpuk, maka bakteri pelarut fosfat digunakan sebagai penambang fosfat dari tanah-tanah tersebut, sehingga dapat meningkatkan kelarutan fosfor dari pupuk yang diberikan maupun senyawa fosfor yang berasal dari residu pemupukan sebelumnya di dalam tanah (Simanungkalit dkk., 2006).

MEKANISME PELARUTAN FOSFAT OLEH BAKTERI

Mekanisme utama dalam tanah untuk melarutkan fosfor adalah penurunan pH tanah melalui produksi asam organik oleh mikroba atau pelepasan proton dan mineralisasi dengan memproduksi asam fosfatase

membentuk kompleks larut dengan ion logam yang berasosiasi dengan fosfor yang tidak larut (Ca, Al, Fe) (Rahsid dkk., 2004) yang pada akhirnya menghasilkan ketersediaan fosfor dalam tanah (Mohammadi dan Sohrabi, 2012). Asam-asam organik dapat dihasilkan oleh bakteri melalui dua jalur, yaitu respirasi oksidatif atau fermentasi sumber karbon organik. Jalur ini terjadi pada permukaan luar membran sitoplasma melalui oksidasi langsung (Zaidi dkk., 2009). Asam-asam organik ini dapat mempengaruhi ketersediaan fosfor dalam tanah dengan dua cara. Pertama, asam-asam organik dapat melarutkan mineral fosfor yang terikat dengan ion Fe, Al, dan Ca. Kedua, asam-asam organik dapat bertukar dengan anion fosfat, sehingga melepaskan fosfor ke dalam tanah (Sánchez dan Cisneros, 2017).

KONTRIBUSI BAKTERI PELARUT FOSFAT DALAM PERTANIAN

Beberapa laporan menyebutkan bakteri yang mampu melarutkan fosfor anorganik dan/atau organik dari tanah telah mempercepat pertumbuhan tanaman setelah diinokulasikan ke dalam tanah atau benih tanaman. Bakteri pelarut fosfat mendorong morfogenesis akar dan secara bertahap meningkatkan tinggi tanaman, diameter batang, jumlah daun per tanaman, luas daun, dan hasil serta melindungi tanaman dari serangan fitopatogen (Pandey dan Gupta, 2020).

Berdasarkan hasil penelitian Elfiati (2005) menunjukkan bahwa penggunaan bakteri pelarut fosfat (*Pseudomonas putida* dan *P. fluorescens*) dapat meningkatkan bobot kering tanaman sampai 40% pada tanaman tebu. Try dkk., (2014) menyatakan pemberian bakteri *P. aeruginosa* dengan berbagai konsentrasi dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman yang meliputi tinggi, berat basah, serta kadar fosfor pada media tanam. Penggunaan bakteri pelarut fosfat pada pertanian dianggap sebagai pilihan mikrobiologis yang menjanjikan dan murah, belum lagi yang paling berkelanjutan, dalam sistem produksi pangan karena meningkatkan bioavailabilitas fosfor tanpa merusak sistem tanah-tanaman (Mattos dkk., 2020).

Kesimpulan

Penggunaan bakteri pelarut fosfat ke dalam tanah dapat mengubah fosfat yang tidak larut menjadi larut sehingga dapat diserap oleh tanaman. Berdasarkan dampak yang menjanjikan terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman, bakteri pelarut fosfat merupakan pengganti yang potensial untuk pupuk fosfat kimia sebagai metode untuk meningkatkan bioavailabilitas fosfor untuk tanaman, mempromosikan pertanian berkelanjutan, dan meningkatkan kesuburan tanah, dan meningkatkan hasil panen.

Daftar Pustaka

- Advinda, L., Putri, D. H., Anhar, A., & Irdawati, I. 2022. Identification and Characterization of Fluorescent *Pseudomonas* Producing Active Compounds Controlling Plant Pathogens. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 32(4): 795-804
- Advinda, L., Chatri, M., Efendi, J., & Des, M. 2007. Formulasi Agens Kayati *Pseudomonas* Berfluoresensi Sebagai Pengendali Penyakit Layu Bakteri *Ralstonia Solanacearum* Tanaman Pisang.
- Aguslina, L. 2009. *Dasar Nutrisi Tanaman*. PT. Rineka Cipta. Jakarta.
- Alam, S., Khalil, S., Ayub, N., & Rashid, M. 2002. In vitro solubilization of inorganic phosphate by phosphate solubilizing microorganisms (PSM) from maize rhizosphere. *International Journal Agriculture Biol*, 4(4): 454-458.
- Alori, E. T., Glick, B. R., & Babalola, O. O. 2017. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. *Frontiers in microbiology*, 8: 971.
- Anhar, A., Advinda, L., & Handayani, L. 2016. Pengaruh Frekuensi Pemberian Biofertilizer *Pseudomonas* fluoresen terhadap Pertumbuhan Tanaman Padi Gogo. *Sainstek: Jurnal Sains dan Teknologi*, 4(1): 6-15.
- Asril, M., Lestari, W., Basuki, B., Sanjaya, M. F., Firgiyanto, R., Manguntungi, B., Sudewi, S., Paulina, M. K., & Kunusa, W. R. 2023. *Mikroorganisme Pelarut Fosfat pada Pertanian Berkelanjutan*. Medan. Yayasan Kita Menulis.

- Basuki, B., Sari, V. K., Farisi, O. A., & Mandala, M. 2023. Teknologi Penataan Pola Tanam Padi Sawah Berdasarkan Karakteristik Iklim Di Lahan Sub Optimal Das Sampian Lereng Gunung Ijen. *Jurnal Agrotek Tropika*, 11(1): 159-168.
- Cheng, Y., Narayanan, M., Shi, X., Chen, X., Li, Z., & Ma, Y. 2023. Phosphate-solubilizing bacteria: Their agroecological function and optimistic application for enhancing agro-productivity. *Science of The Total Environment*, 166468.
- Elfiati, D. 2005. Peranan Mikroba Pelarut P terhadap Pertumbuhan Tanaman. *Fakultas Pertanian USU. Medan*.
- Handayani, D., Fifendy, M., & Yesni, V. 2018. Isolation of Phosphate Solubilizing Endophytic Fungi From Rice Plant Root. *Biopecies: Jurnal Ilmiah Biologi*, 2(1): 93-102.
- Hidayat, N. 2008. Pertumbuhan dan produksi kacang tanah (*Arachis hypogea* L.) varietas lokal Madura pada berbagai jarak tanam dan dosis pupuk fosfor. *Agrovigor: Jurnal Agroekoteknologi*, 1(1): 55-64.
- Ingle, K. P., & Padole, D. A. 2017. Phosphate solubilizing microbes: An overview. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(1): 844-852.
- Irawan, R., & Zulaika, E. 2016. Pelarutan Fosfat oleh Konsorsium Azotobacter. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 5(2).
- Kalayu, G. 2019. Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizers. *International Journal of Agronomy*, 1-7.
- Khan, A. A., Jilani, G., Akhtar, M. S., Naqvi, S. S., & Rasheed, M. 2009. Phosphorus solubilizing bacteria: occurrence, mechanisms and their role in crop production. *J. agric. biol. sci*, 1(1): 48-58.
- Kitchenham, B. 2004. Procedures for performing systematic reviews. Keele, UK, Keele University, 33: 1-26.
- Krishnaraj, P. U., & Dahale, S. 2014. Mineral phosphate solubilization: Concepts and prospects in sustainable agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 80(2): 389-405.
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., Clarke, M., Devereaux, P. J., Kleijnen, J., & Moher, D. 2009. The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions: Explanation and Elaboration. *PLoS Medicine*, 6(7).
- Liu, J., Liu, X., Zhang, Q., Li, S., Sun, Y., Lu, W., & Ma, C. 2020. Response of alfalfa growth to arbuscular mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing bacteria under different phosphorus application levels. *AMB Express*, 10: 1-13.
- Mattos B. B., Marriel I. E., De Sousa S. M., Lana U. G. D. E. P., Schaffert R. E., Gomes E. A. 2020. Sorghum genotypes response to inoculation with phosphate solubilizing bacteria. *Brazilian J. Maize Sorghum* 19:14
- Pande A., Kaushik S., Pandey P., Negi A. 2020. Isolation, characterization, and identification of phosphate-solubilizing *Burkholderia cepacia* from the sweet corn cv. Golden bantam rhizosphere soil and effect on growth-promoting activities. *Int. J. Veg. Sci.* 26: 591-607.
- Rashid, M., Khalil, S., Ayub, N., Alam, S., & Latif, F. 2004. Organic acids production and phosphate solubilization by phosphate solubilizing microorganisms (PSM) under in vitro conditions. *Pak J Biol Sci*, 7(2): 187-196.
- Roy P. R. S., Khandaker Z. H. 2010. Effects of phosphorus fertilizer on yield and nutritional value of sorghum (*Sorghum bicolor*) fodder at three cuttings. *Bangladesh J. Anim. Sci.* 39: 106-115.
- Sánchez-de Prager, M., & Cisneros-Rojas, C. A. 2017. Organic acids production by rhizosphere microorganisms isolated from a Typic Melanudands and its effects on the inorganic phosphates solubilization. *Acta Agronómica*, 66(2): 241-247.
- Schnug, E., & Haneklaus, S. H. 2016. The enigma of fertilizer phosphorus utilization. *Phosphorus in agriculture: 100% zero*, 7-26.
- Secco, D., Bouain, N., Rouached, A., Prom-u-thai, C., Hanin, M., Pandey, A.K., Rouached, H. 2017. Phosphate, phytate and phytases in plants: From fundamental knowledge gained in *Arabidopsis* to potential biotechnological applications in wheat. *Crit. Rev. Biotechnol.* 1-13.
- Shenoy, V. V., & Kalagudi, G. M. 2005. Enhancing plant phosphorus use efficiency for sustainable cropping. *Biotechnology advances*, 23(7-8): 501-513.
- Simanungkalit, R. D. M., Suriadikarta, D. A., Saraswati, R., Setyorini, D., & Hartatik, W. 2006. Pupuk organik dan pupuk hayati.

- Sindhu, S. S., Phour, M., Choudhary, S. R., & Chaudhary, D. 2014. Phosphorus cycling: prospects of using rhizosphere microorganisms for improving phosphorus nutrition of plants. *Geomicrobiology and biogeochemistry*, 199-237.
- Supriyadi, S., & Sudadi, S. 2001. *Efektivitas Bakteri Pelarut Fosfat Pada Beberapa Macam Bahan Pembawa Inokulum* (Doctoral dissertation, Sebelas Maret University).
- Thomas Sims, J., & Pierzynski, G. M. 2005. Chemistry of phosphorus in soils. *Chemical processes in soils*, 8: 151-192.
- Try, M.A., Rahayu, Y. S., & Yuliani. 2014. Penambahan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* pada media tanam untuk pertumbuhan tanaman aglaonema. *LanterBio*, 3(1): 39-43
- Walpola, B. C., & Yoon, M. H. 2012. Prospectus of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus availability in agricultural soils: A review. *African Journal of Microbiology Research*, 6(37): 6600-6605.
- Wani, P., Khan, M., & Zaidi, A. 2007. Co-inoculation of nitrogen-fixing and phosphate-solubilizing bacteria to promote growth, yield and nutrient uptake in chickpea. *Acta Agronomica Hungarica*, 55(3): 315-323.
- Whitelaw, M.A. 2000. Growth promotion of plants inoculated with phosphate-solubilizing fungi. *Adv Agron*, 69:100-51.
- Yang, G., Wagg, C., Veresoglou, S. D., Hempel, S., & Rillig, M. C. 2018. How soil biota drive ecosystem stability. *Trends in plant science*, 23(12): 1057-1067.
- Yulmira, Y., Gustian., H. Rahma. 2009. Aplikasi agens hayati *Pseudomonas fluorescens* sebagai penginduksi ketahanan untuk meningkatkan produksi tanaman cabai terhadap penyakit virus kuning di Kecamatan Kuraji Kotamadya penyakit virus kuning di Kecamatan Kuraji Kotamadya Padang. *Warna Pengabdian Andalas*, 22: 6-13.
- Zaidi, A., Khan, M. S., Ahemad, M., Oves, M., & Wani, P. A. 2009. Recent advances in plant growth promotion by phosphate-solubilizing microbes. *Microbial strategies for crop improvement*, 23-50.
- Zhu, F., Qu, L., Hong, X., & Sun, X. 2011. Isolation and characterization of a phosphate-solubilizing halophilic bacterium *Kushneria* sp. YCWA18 from Daqiao Saltern on the coast of Yellow Sea of China. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2011: 1-6