

Efek Iradiasi Gamma Co-60 dan Ultraviolet terhadap Karakteristik dan Kemampuan Pelarutan Fosfat dan Kalium *Aspergillus costaricaensis* dan *Staphylococcus pasteurii*

The Effect of Co-60 Gamma and Ultraviolet Irradiation on the Characteristics and Phosphate and Potassium Solubilizing Abilities of *Aspergillus costaricaensis* and *Staphylococcus pasteurii*

*Restiana Maulinda¹, Iswandi Anas², Rahayu Widyastuti², Ania Citraresmini³

¹Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Udayana

²Departemen Ilmu Tanah dan Sumber Daya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB University

³Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran

KATA KUNCI

Gamma Co-60,
Phosphate solubilizing
microbes,
Potassium solubilizing
microbes,
Radiation,
Ultraviolet

ABSTRAK

Radiasi gamma Co-60 dan ultraviolet berpotensi untuk meningkatkan kemampuan mikroba dalam melarutkan fosfat dan kalium. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh radiasi gamma Co-60 dan ultraviolet terhadap karakteristik serta indeks kelarutan fosfat dan kalium *Aspergillus costaricaensis* dan *Staphylococcus pasteurii*. Tahap penelitian terdiri dari iradiasi gamma Co-60 (dosis 0; 5; dan 10 kGy) dan ultraviolet (lama penyinaran 0; 1; dan 5 jam). Hasil menunjukkan bahwa iradiasi gamma Co-60 dan ultraviolet menyebabkan perubahan karakteristik pada mutan *A. costaricaensis* dan mutan *S. pasteurii*, meliputi kecepatan pertumbuhan, jumlah koloni, ukuran, warna, dan bentuk koloni. Menariknya, perlakuan ultraviolet tidak mengakibatkan perubahan karakteristik koloni bila dibandingkan dengan induknya. Indeks pelarutan fosfat dan kalium mutan *A. costaricaensis* masing-masing berkisar 2,06–2,12 dan 2,15–2,23. Sementara itu, mutan *S. pasteurii* menunjukkan indeks pelarutan fosfat 2,22–2,50 dan kalium 2,06–2,33.

ABSTRACT

Microbes' ability to solubilize phosphate and potassium can be effectively enhanced by inducing Co-60 gamma and ultraviolet radiation. The purpose of this research is to examine the effect of Co-60 and ultraviolet irradiation on the characteristics and solubility index of phosphate and potassium of *Aspergillus costaricaensis* dan *Staphylococcus pasteurii*. The study involved irradiating the microbes using Co-60 gamma rays (at dosage of 0; 5; and 10 kGy) and ultraviolet (exposure durations of 0; 1; and 5 hours). Findings of the study shows that the radiation of gamma and ultraviolet caused changes in *A. costaricaensis* dan *S. pasteurii* mutant characteristics, specifically regarding growth acceleration, colony count, size, color, and shape of the colony. Interestingly, this change of colony characteristics does not occur under the treatment with ultraviolet as compared to its parents. The mutans *A. costaricaensis* has a phosphate and potassium solubilizing index, ranges from 2,06–2,12 and 2,15–2,23. Meanwhile, the mutant *S. pasteurii* showed a phosphate and potassium solubilizing index of 2,22–2,50 and 2,06–2,33.

HISTORI ARTIKEL

Diterima : 15-06-2025

Direvisi : 28-12-2025

Diterbitkan: 1-1-2026



This work is licensed under a
Creative Commons Attribution
4.0 International
License.

How to Cite:

Maulinda, R., Anas, I., Widyastuti, R., & Citraresmini, A.. (2026). Efek Iradiasi Gamma Co-60 dan Ultraviolet terhadap Karakteristik dan Kemampuan Pelarutan Fosfat dan Kalium *Aspergillus costaricaensis* dan *Staphylococcus pasteurii*. *Plumula : Berkala Ilmiah Agroteknologi*, 14(1), 1-7. <https://doi.org/10.33005/plumula.v14i1.248>

***Author Correspondent:**

Email: restianamaulinda@unud.ac.id

PENDAHULUAN

Fosfat dan kalium merupakan unsur hara esensial yang dibutuhkan dalam pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Tanaman menyerap P dalam bentuk ion fosfat (H_2PO_4^- dan HPO_4^{2-}) yang ditemukan dalam larutan tanah. Namun, fosfat dalam tanah terikat ke dalam bentuk Al-P, Fe-P, atau Ca-P. Pengikatan P ini menyebabkan pupuk P anorganik yang diberikan menjadi tidak efisien dalam menyediakan unsur hara fosfat bagi tanaman. Selain fosfat, kalium juga banyak ditemukan di dalam tanah. Feldspar (KAlSi_3O_8) merupakan sumber kalium terbesar di dalam tanah, mengandung kalium total mencapai 14% (Tisdale dkk., 1985). Akan tetapi, sebagian besar K tidak tersedia di dalam tanah untuk diserap tanaman.

Melihat tantangan terkait ketersediaan fosfat dan kalium bagi tanaman, potensi besar mikroba pelarut P dan K untuk melarutkan fosfat dan kalium dalam mengatasi ketersediaan hara sudah mendapatkan perhatian. Hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa mikroba pelarut fosfat dan kalium mampu meningkatkan ketersediaan hara di rhizosfer serta berkontribusi terhadap peningkatan pertumbuhan dan hasil tanaman. Aplikasi bakteri pelarut fosfat pada tanaman anggur mampu meningkatkan pertumbuhan, hasil, kualitas buah, serta serapan hara tanaman dibandingkan tanpa aplikasi bakteri pelarut fosfat (Swaminathan dkk., 2020). Selain itu, aplikasi pupuk hayati yang mengandung bakteri pelarut kalium juga dilaporkan mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman tebu dalam meningkatkan tinggi tanaman, diameter batang, serta bobot segar tanaman dan akar, disertai dengan peningkatan populasi bakteri pelarut kalium di tanah dibandingkan perlakuan tanpa pupuk hayati (Syavitri dkk., 2019).

Di sisi lain, penelitian mengenai mikroba yang mampu melarutkan fosfat dan kalium sekaligus masih relatif terbatas. Beberapa studi melaporkan isolasi bakteri endofit dari tanaman jagung, seperti isolat AP1.3 memiliki aktivitas pelarutan fosfat dan kalium yang tinggi serta berpotensi dikembangkan sebagai *biofertilizer* (Azizah dkk., 2020). Temuan ini mengindikasikan bahwa mikroba pelarut fosfat dan kalium memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut.

Salah satu upaya untuk meningkatkan kemampuan mikroba adalah dengan menginduksi kemampuan mikroba melalui teknik mutasi. Induksi mutasi adalah perubahan genetik yang disebabkan adanya usaha manusia dengan menggunakan bahan radioaktif (Sutapa & Kasmawan, 2016). Teknik mutasi sering dilakukan menggunakan radiasi sinar gamma Co-60 dalam bidang pemuliaan tanaman dan sinar ultraviolet sering digunakan untuk mensterilkan mikroba patogen. Mutasi pada mikroba menghasilkan sifat dan karakteristik sesuai yang diinginkan, namun juga yang tidak diinginkan (Najafi & Pezeshki, 2013).

Penelitian terdahulu oleh Sukmadewi (2020), menunjukkan bahwa iradiasi gamma terhadap mikroba *Aspergillus costaricensis* dan *Staphylococcus pasteurii* menghasilkan mutan *A. costaricensis* yang mengalami perbaikan kemampuan dalam melarutkan P sekaligus melarutkan K pada dosis 2,5 kGy. Hasil penelitian (Retno dkk., 2016), fungi *Phaenerochaete chrysosporium* yang dipapari sinar gamma dengan dosis 600 Gy memiliki aktivitas enzim LiP (30 U/ml) sebesar 2,5 kali lebih tinggi bila dibandingkan dengan kontrol (12 U/ml). Penelitian terdahulu oleh Sulatri dkk. (2017), radiasi sinar ultraviolet terhadap cemaran makanan cair (sonde) tidak efektif menghambat atau membunuh bakteri patogen selama waktu jeda 60 dan 120 menit.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh iradiasi gamma Co-60 dan ultraviolet terhadap karakteristik serta indeks kelarutan fosfat dan kalium pada mutan *Aspergillus costaricensis* dan *Staphylococcus pasteurii*.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan di Laboratorium Bioteknologi Tanah, Fakultas Pertanian, IPB University; proses radiasi menggunakan sinar gamma Co-60 dilakukan di Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional (PAIR -BATAN), Pasar Jumat, Jakarta Selatan; dan proses *freeze drying* untuk mikroba dilakukan di IPB Culture Collection, FMIPA. Penelitian ini dilakukan dari bulan Oktober 2019 sampai dengan Desember 2020.

Mikroba yang digunakan, yakni *Aspergillus costaricensis* (*A. costaricensis*) dan *Staphylococcus pasteurii* (*S. pasteurii*), koleksi dari Laboratorium Bioteknologi Tanah, IPB. Kedua mikroba tersebut memiliki kemampuan dalam melarutkan fosfat dan kalium. Media selektif yang digunakan, yakni media *Pikovskaya* dengan sumber fosfat $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ dan media *Alexandrov* dengan sumber kalium berupa *feldspar* dari Malang, Jawa Timur.

Mikroba diradiasi sinar gamma Co-60 dalam *Gamma Cell 220 AECL Upgraded*. Dosis yang digunakan, yakni 0; 5; dan 10 kGy dan dilakukan uji viabilitas. Sedangkan radiasi ultraviolet diawali dengan isolat disuspensikan dengan larutan fisiologis dan disebar ke dalam cawan petri dengan media *Pikovskaya Agar* dan media *Alexandrov Agar*. Kemudian cawan petri disinari ultraviolet dengan jarak penyinaran 20 cm dan waktu penyinaran 0; 1; dan 5 jam yang dilakukan di *Laminar Air Flow Cabinet* tipe H.S 079S. Setiap perlakuan pada penelitian ini diulang 5 kali. Kontrol pada penelitian ini berupa isolat mikroba tanpa perlakuan radiasi, yaitu dosis 0 kGy untuk radiasi gamma dan waktu penyinaran 0 jam untuk radiasi ultraviolet, yang digunakan sebagai pembandingan. Seleksi isolat mutan yang diamati, yaitu (1) kecepatan tumbuh koloni; (2) jumlah koloni; (3) ukuran; (4) warna; dan (5) bentuk koloni.

Pengujian indeks pelarutan kalium dan fosfat dilakukan secara kualitatif pada mutan *A. costaricaensis* dan mutan *S. pasteurii* yang telah terseleksi. Pengujian indeks pelarutan fosfat dilakukan dengan menumbuhkan isolat mutan ke media *Pikovskaya Agar* (sumber fosfat: $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$). Sedangkan pengujian indeks pelarutan kalium, isolat mutan ditumbuhkan pada media *Alexandrov Agar* (sumber kalium: *feldspar* dari Malang). Selanjutnya, isolat mutan yang membentuk zona bening dihitung indeks pelarutan fosfat dan kalium dengan persamaan (Sharon dkk., 2016):

$$\text{Indeks Kelarutan (IK)} = (\text{diameter koloni} + \text{diameter zona bening}) / \text{diameter koloni}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Mutan *A. costaricaensis* dan Mutan *S. pasteurii*

Iradiasi gamma Co-60 menghasilkan keragaman karakteristik koloni pada mutan *A. costaricaensis* dan mutan *S. pasteurii* yang disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Sebaliknya, karakteristik koloni mutan *A. costaricaensis* dan mutan *S. pasteurii* yang dihasilkan dari iradiasi ultraviolet tidak berbeda bila dibandingkan dengan isolat induk. Hasil pengamatan koloni mutan *A. costaricaensis* hasil iradiasi ultraviolet tetap menunjukkan warna hitam pada permukaan atas dan putih di bagian bawah, berbentuk bulat tidak beraturan, pertumbuhan menyebar ke segala arah, serta memiliki permukaan tipis dan halus.

Sementara itu, mutan *S. pasteurii* menunjukkan koloni berwarna putih dengan elevansi datar dan tepi koloni yang rata, serupa dengan induknya. Hal ini menunjukkan bahwa iradiasi ultraviolet pada kondisi penelitian belum mampu memicu perubahan morfologi koloni secara nyata, kemungkinan karena daya penetrasi sinar ultraviolet yang relatif rendah, sehingga efeknya hanya mengenai mikroba yang terpapar langsung di permukaan atau yang berada dekat dengan permukaan medium yang transparan. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian (Rinihapsari dkk., 2021), yang melaporkan bahwa efektivitas sinar ultraviolet dalam menurunkan jumlah mikroba sangat dipengaruhi oleh jarak dan lama penyinaran.

Selain itu, paparan ultraviolet dapat menyebabkan kerusakan DNA berupa dimer pirimidin dan 6-4 photoproducts, yang berpotensi menimbulkan mutasi. Namun, mikroba memiliki berbagai mekanisme perbaikan DNA, seperti photolyase (*photoreactivation*), UVDE endonuclease, dan nucleotide excision repair (NER), sehingga lesi dapat diperbaiki sebelum mutasi menetap. Oleh karena itu, fenotip koloni tidak selalu berubah secara stabil setelah paparan ultraviolet (Kciuk dkk., 2020).

Tabel 1. Karakteristik mutan *A. costaricaensis* hasil iradiasi sinar gamma Co-60

Mutan	Kecepatan pertumbuhan (hari)	Ukuran	Warna permukaan atas	Warna permukaan bawah	Bentuk permukaan	Tekstur permukaan
Induk <i>A. costaricaensis</i>	1	besar	hitam	putih	bulat tidak teratur	tipis dan halus
Mutan <i>A. costaricaensis</i> 1	3	sedang	putih gading	putih	bulat	tipis dan halus
Mutan <i>A. costaricaensis</i> 2	2	besar	hitam	putih	bulat tidak teratur	tipis dan halus
Mutan <i>A. costaricaensis</i> 3	4	besar	coklat-hitam	putih	bulat tidak teratur	tipis dan halus
Mutan <i>A. costaricaensis</i> 4	4	besar	putih	putih	menyebar	tipis dan halus

Keterangan: - Perlakuan 0 kGy = Induk *A. costaricaensis*

- Perlakuan Iradiasi Gamma Co-60 5 kGy = Mutan *A. costaricaensis* 1; 2; 3; 4

Sumber: Data Diolah (2025)

Tabel 2. Karakteristik Mutan *S. pasteurii* Hasil Iradiasi Sinar Gamma Co-60

Mutan	Kecepatan pertumbuhan (hari)	Ukuran	Warna	Form	Elevansi	Margin
Induk <i>S. pasteurii</i>	2	kecil	putih	<i>irregular</i>	<i>flat</i>	<i>undulate</i>
Mutan <i>S. pasteurii</i> 1	2	kecil	putih kekuningan	<i>circular</i>	<i>flat</i>	<i>entire</i>
Mutan <i>S. pasteurii</i> 2	5	kecil	putih	<i>irregular</i>	<i>raised</i>	<i>undulate</i>
Mutan <i>S. pasteurii</i> 3	4	sedang	putih	<i>circular</i>	<i>flat</i>	<i>undulate</i>
Mutan <i>S. pasteurii</i> 4	3	sedang	putih	<i>irregular</i>	<i>flat</i>	<i>undulate</i>

Keterangan: - Perlakuan 0 kGy = Induk *S. pasteurii*
 - Perlakuan Iradiasi Gamma Co-60 5 kGy= Mutan *S. pasteurii* 1; 2; 3
 - Perlakuan Iradiasi Gamma 10 kGy = Mutan *S. pasteurii* 4

Sumber: Data Diolah (2025)

Pengamatan kecepatan pertumbuhan menunjukkan bahwa mutan hasil iradiasi ultraviolet memiliki waktu muncul koloni yang serupa dengan induknya, yaitu pada hari pertama, sehingga perlakuan iradiasi ultraviolet pada dosis dan kondisi penelitian tidak memengaruhi kecepatan pertumbuhan mikroba. Sebaliknya, beberapa mutan hasil iradiasi gamma Co-60 membutuhkan waktu lebih lama, yaitu hari kedua hingga kelima, untuk muncul sebagai koloni yang terlihat. Hal ini menunjukkan bahwa dosis radiasi gamma memengaruhi viabilitas sel dan kecepatan pertumbuhan mikroba.

Berbeda dengan iradiasi ultraviolet, iradiasi gamma Co-60 menghasilkan perubahan karakteristik yang bervariasi. Perubahan terlihat dari variasi karakteristik morfologi koloni, yang meliputi warna koloni, bentuk, ukuran, serta kecepatan pertumbuhan pada mutan *A. costaricensis* dan *S. pasteurii* dibandingkan isolat induknya. Penurunan kecepatan pertumbuhan pada mutan diduga berkaitan dengan efek dosis radiasi gamma yang diberikan.

Radiasi gamma merupakan radiasi ionisasi dengan penetrasi tinggi. Radiasi ini dapat merusak DNA secara langsung maupun tidak langsung melalui pembentukan radikal bebas, sehingga berpotensi menimbulkan perubahan genetik lebih luas dan stabil pada mikroorganisme. Hal ini sejalan dengan temuan Rostami dkk. (2024), yang menunjukkan bahwa radiasi sinar gamma dapat merusak DNA untai ganda maupun untai tunggal, sehingga mengakibatkan perubahan pada genom dan sifat antagonis mikroorganisme. Perbedaan respon pertumbuhan antara mutan dan induk kemungkinan dipengaruhi dosis radiasi yang diberikan. Dosis tinggi radiasi gamma Co-60 berpotensi menghasilkan mutan dengan karakteristik morfologi dan pertumbuhan yang berbeda dengan induknya.

Indeks Kelarutan P dan K terhadap Mutan *A. costaricensis* dan Mutan *S. pasteurii*

Pengukuran indeks pelarutan fosfat dan kalium dilakukan pada mutan *A. costaricensis* dan mutan *S. pasteurii* yang telah terseleksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setiap isolat mutan memiliki kemampuan yang bervariasi, yang ditandai dengan adanya pembentukan zona bening (*halozone*) atau tidak terbentuk zona bening dalam melarutkan sumber fosfat dan kalium. Zona bening terbentuk di sekeliling mikroba, mengindikasikan kemampuan mikroba untuk melarutkan fosfat dan kalium (Hii dkk., 2020; Verma dkk., 2016).

Zona bening mengindikasikan kemampuan mikroba untuk menghasilkan asam organik ekstraseluler. Asam organik ini mampu berikatan dengan ion Ca^{2+} yang terikat dalam bentuk $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ pada media *Pikovskaya Agar*, membebaskan ion H_2PO_4^- , dan membentuk area yang lebih jernih dibandingkan area yang masih mengandung fosfor terikat (Oksana dkk., 2020). Seperti pelarut fosfat, mekanisme mikroba pelarut kalium adalah memproduksi asam organik yang mampu mengubah K tidak terlarut dari *feldspar* menjadi bentuk K terlarut mudah diserap tanaman (Etesami dkk., 2017).

Berdasarkan Tabel 3. mutan *A. costaricensis* menunjukkan indeks pelarutan fosfat berkisar antara 2,06–2,12, sedangkan indeks pelarutan kalium berkisar antara 2,15–2,23 setelah tujuh hari inkubasi. Sementara itu, mutan *S. pasteurii* menunjukkan indeks pelarutan fosfat berkisar antara 2,22–2,50 dan indeks pelarutan kalium berkisar 2,06–2,33. Mutan yang tidak terbentuk zona bening, diduga terjadi karena adanya efek mutasi yang mengakibatkan adanya perubahan gen. Meskipun efek mutasi berpotensi menghasilkan mikroba dengan sifat dan karakteristik yang diinginkan, seperti mikroba mampu meningkatkan kemampuan dalam melarutkan fosfat (Najafi & Pezeshki, 2013), efek radiasi tidak selalu dapat diprediksi dan sangat tergantung pada dosis, jenis spesies, dan kondisi lingkungan (Rostami dkk., 2024). Oleh karena itu, perubahan

Tabel 3. Indeks Kelarutan Fosfat dan Kalium pada Mutan

Mutan	Indeks Pelarutan P	Indeks Pelarutan K
<u><i>A. costaricaensis</i></u>		
Induk <i>A. costaricaensis</i>	2,08	2,21
Mutan <i>A. costaricaensis</i> 1	2,06	2,22
Mutan <i>A. costaricaensis</i> 2	-	-
Mutan <i>A. costaricaensis</i> 3	2,11	2,15
Mutan <i>A. costaricaensis</i> 4	2,09	2,23
Mutan <i>A. costaricaensis</i> 5	2,12	2,18
Mutan <i>A. costaricaensis</i> 6	2,07	2,17
<u><i>S. pasteurii</i></u>		
Induk <i>S. pasteurii</i>	2,28	2,51
Mutan <i>S. pasteurii</i> 1	2,22	2,06
Mutan <i>S. pasteurii</i> 2	2,50	2,28
Mutan <i>S. pasteurii</i> 3	-	2,33
Mutan <i>S. pasteurii</i> 4	2,25	-
Mutan <i>S. pasteurii</i> 5	2,44	-
Mutan <i>S. pasteurii</i> 6	2,40	-

Keterangan: - Perlakuan 0 kGy = Induk *A. costaricaensis*; Induk *S. pasteurii*
 - Perlakuan Iradiasi Gamma Co-60 5 kGy = Mutan *A. costaricaensis* 1; 2; 3; 4; Mutan *S. pasteurii* 1; 2
 - Perlakuan Iradiasi Gamma 10 kGy = Mutan *S. pasteurii* 3; 4
 - Perlakuan Iradiasi Ultraviolet 1 jam = Mutan *A. costaricaensis* 5; Mutan *S. pasteurii* 5
 - Perlakuan Iradiasi Ultraviolet 5 jam = Mutan *A. costaricaensis* 6; Mutan *S. pasteurii* 6

Sumber: Data Diolah (2025)

gen yang terjadi bisa juga menghilangkan atau menurunkan kemampuan mikroba dalam melarutkan fosfat dan kalium pada isolat mutan. Menurut Hoe dkk. (2016), pengaruh iradiasi sinar gamma terhadap mikroba adalah bersifat acak.

Indeks pelarutan sering dihubungkan dengan kemampuan mikroba dalam melarutkan fosfat dan kalium. Mikroba yang menghasilkan zona bening yang jelas diasumsikan memiliki aktivitas pelarut P dan K yang tinggi. Semakin tinggi indeks pelarutan, semakin tinggi pula dugaan kemampuan melarutkan P dan K. Oleh karena itu, indeks pelarutan dapat dijadikan acuan awal untuk mengukur kemampuan dalam melarutkan fosfat dan kalium. Akan tetapi, perlu dicatat bahwa indeks pelarutan tidak tepat jika digunakan untuk menentukan kemampuan terbaik.

Menurut Baig dkk. (2010) dan Lynn dkk. (2013), pembentukan zona bening berbanding terbalik dengan konsentrasi fosfat terlarut, sehingga diperlukan uji kualitatif lebih lanjut untuk mendapatkan hasil yang valid. Selain itu, kemampuan bakteri dalam melarutkan fosfat pada media padat *Pikovskaya* dapat berbeda dengan media *Pikovskaya* cair (Selvi dkk., 2017). Hal ini sejalan dengan temuan Larasati dkk. (2018), yang menyatakan bahwa tidak semua isolat yang menunjukkan zona bening pada uji kualitatif mampu melarutkan fosfat setelah dilakukan uji kuantitatif.

SIMPULAN

Iradiasi gamma Co-60 memengaruhi karakteristik dari mutan *Aspergillus costaricaensis* dan mutan *Staphylococcus pasteurii*, meliputi kecepatan tumbuh, jumlah koloni yang tumbuh, ukuran, warna, dan bentuk koloni. Sebaliknya, radiasi ultraviolet tidak berpengaruh pada perubahan katakteristik koloni bila dibandingkan induknya. Iradiasi gamma Co-60 dan ultraviolet memengaruhi pembentukan zona bening mutan *A. costaricaensis* dan *S. pasteurii* di media *Alexandrov Agar* dan *Pikovskaya Agar*. Indeks pelarutan fosfat dan kalium mutan *A. costaricaensis* masing-masing berkisar 2,06–2,12 dan 2,15–2,23. Sementara itu, mutan *S. pasteurii* menunjukkan indeks pelarutan fosfat 2,22–2,50 dan kalium 2,06–2,33.

DAFTAR PUSTAKA

- Azizah, H., Rahajeng, S. M., & Jatmiko, Y. D. (2020). Isolation and Screening of Phosphate and Potassium Solubilizing Endophytic Bacteria in Maize (*Zea mays* L.). *The Journal of Experimental Life Sciences*, 10(3), 165–170. <https://doi.org/10.21776/ub.jels.2020.010.03.04>
- Baig, K. S., Arshad, M., Zahir, Z. A., & Cheema, M. A. (2010). Comparative efficacy of qualitative and quantitative methods for rock phosphate solubilization with phosphate solubilizing rhizobacteria. *Soil and Environment*, 29(1), 82–86.
- Etesami, H., Emami, S., & Alikhani, H. A. (2017). Potassium solubilizing bacteria (KSB):: Mechanisms, promotion of plant growth, and future prospects - A review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17(4), 897–911. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162017000400005>
- Hii, Y. S., Yen San, C., Lau, S. W., & Danquah, M. K. (2020). Isolation and characterisation of phosphate solubilizing microorganisms from peat. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 26, 101643. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101643>
- Hoe, P. C. K., Rahim, K. A., & Saud, H. M. (2016). A Review on Microbial Mutagenesis Through Gamma Irradiation for Agricultural Application. *Jurnal Sains Nuklear Malaysia*, 28(2), 20–29.
- Kciuk, M., Marciniak, B., Mojzych, M., & Kontek, R. (2020). Focus on UV-Induced DNA Damage and Repair—Disease Relevance and Protective Strategies. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(19), 7264. <https://doi.org/10.3390/ijms21197264>
- Larasati, E. D., Rukmi, M. I., Kusdiyantini, E., & Ginting, R. C. B. (2018). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pelarut Fosfat dari Tanah Gambut. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*, 20(1), 1. <https://doi.org/10.14710/bioma.20.1.1-8>
- Lynn, T. M., Win, H. S., Kyaw, E. P., Latt, Z. K., & Yu, S. S. (2013). Characterization of Phosphate Solubilizing and Potassium Decomposing Strains and Study on their Effects on Tomato Cultivation. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 3(4), 959–966. <http://www.ijias.issr-journals.org/abstract.php?article=IJIAS-13-147-12>
- Najafi, M. B. H., & Pezeshki, P. (2013). Bacterial Mutation; Types, Mechanisms and Mutant Detection Methods: A Review. *European Scientific Journal*, 4(December), 2. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=aeebbd43a3ca75e5b2de1aec6b98ecd9068baefc#page=640>
- Oksana, O., Irfan, M., Fianiray, A. R., & Zam, S. I. (2020). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pelarut Fosfat pada Tanah Ultisol di Kecamatan Rumbai, Pekanbaru. *Agrotechnology Research Journal*, 4(1), 22–25. <https://doi.org/10.20961/agrotechresj.v4i1.36063>
- Retno, T. D. L., Mulyana, N., Nurhasni, N., & Hasanah, U. (2016). Pengaruh Radiasi Sinar Gamma terhadap Kemampuan Degradasi Lignin Phanerochaete chrysosporium dan Ganoderma lucidium. *Jurnal Sains Dan Teknologi Nuklir Indonesia*, 17(1), 21. <https://doi.org/10.17146/jstni.2016.17.1.2400>
- Rinihapsari, E., Putri, A. S. F., & Widyaningrati, B. H. (2021). Waktu Dan Jarak Efektif Penyinaran Sinar Ultraviolet Pada Mikroba Udara Laboratorium. *Jurnal Sains Dan Kesehatan*, 5(1), 66–77. <https://doi.org/10.57214/jusika.v5i1.470>
- Rostami, M., Ghorbani, A., & Shahbazi, S. (2024). Gamma radiation-induced enhancement of biocontrol agents for plant disease management. *Current Research in Microbial Sciences*, 7, 100308. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2024.100308>
- Selvi, K. B., Paul, J. J. A., Vijaya, V., & Saraswathi, K. (2017). Analyzing the Efficacy of Phosphate Solubilizing Microorganisms by Enrichment Culture Techniques. *Biochemistry & Molecular Biology Journal*, 3(1), 1–7. <https://doi.org/10.21767/2471-8084.100029>
- Sharon, J. A., Hathwaik, L. ., Glenn, G. ., Imam, S. H., & Lee, C. . (2016). Isolation of Efficient Phosphate Solubilizing Bacteria Capable of Enhancing Tomato Plant Growth. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 16(2), 525–536. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162016005000043>

- Sukmadewi, D. K. T. (2020). *Perbaikan Kemampuan Mikrob Multifungsi Pelarut Fosfor dan Kalium (Aspergillus costaricensis dan Staphylococcus pasteurii) Menggunakan Radiasi Gamma*. IPB University.
- Sulatri, N. L., Yogeswara, I. B. A., & Nursini, N. W. (2017). Efektifitas sinar ultraviolet terhadap cemaran bakteri patogen pada makanan cair sonde untuk pasien immune-compromised. *Jurnal Gizi Indonesia (The Indonesian Journal of Nutrition)*, 5(2), 112–118. <https://doi.org/10.14710/jgi.5.2.112-118>
- Sutapa, G. N., & Kasmawan, I. G. A. (2016). Efek Induksi Mutasi Radiasi Gamma 60Co pada Pertumbuhan Fisiologis Tanaman Tomat. *Jurnal Keselamatan Radiasi Dan Lingkungan*, 1(2), 5–11.
- Swaminathan, A. G., Hariprasad, K. P., Suryawanshi, A. V., Kadam, G. B., & Ghule, V. S. (2020). Effect of Phosphorus Solubilizing Bacteria on Growth, Yield, Quality and Nutrient Uptake in Nanasaheb Purple Grapes Grown under Semi-Arid Condition. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(7), 1274–1283. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.907.146>
- Syavitri, D. A., Prayogo, C., & Gunawan, S. (2019). Pengaruh Pupuk Hayati Terhadap Pertumbuhan Tanaman, Dan Populasi Bakteri Pelarut Kalium Pada Tanaman Tebu (*Saccharum officinarum* L.). *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 6(2), 1341–1352. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2019.006.2.15>
- Tisdale, S. L., Nelson, W. L., & Beaton, J. D. (1985). *Soil fertility and fertilizers*. Collier Macmillan Publishers.
- Verma, A., Patidar, Y., & Vaishampayan, A. (2016). Isolation and purification of potassium solubilizing bacteria from different regions of India and its effect on crop's yield. *Indian Journal of Microbiology Research*, 3(4), 483–488. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:197340347>