

**PELARUTAN SILIKA PADA FRAKSI KUARSA KAOLIN DAN PASIR SILIKA
MENGUNAKAN *Burkholderia cenocepacia*
(SILICA DISSOLUTION IN QUARTZ KAOLIN AND SILICA SAND FRACTION
USING *Burkholderia cenocepacia*)**

Annisa Sylvania Azhar, Nelly Wahyuni*, Endah Sayekti

Jurusan Kimia, Universitas Tanjungpura, Pontianak PO BOX 78124, Indonesia

*Corresponding author: nellywahyuni@chemistry.untan.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.26418/indonesian.v7i3.91962>

ARTICLE INFO

Article history:

Received 19 March
2025

Accepted 04 August
2025

Available online
21 August 2025

Keywords:

Silica, *Burkholderia
cenocepacia*, KOH,
ICP-OES

ABSTRACT

Dissolution of silica (SiO_2) from its insoluble form to a soluble form is crucial for enhancing its availability as precursor material. This study aimed to compare the effectiveness of silica dissolution by the bacterium *Burkholderia cenocepacia* producing organic acids (citrate, oxalate, acetate) and potassium hydroxide (KOH). Variations in incubation times using *Burkholderia cenocepacia* at 24, 96, and 192 hours were applied to samples of quartz-kaolin fractions and silica sand. The concentration of dissolved silica was measured using ICP-OES. The results showed maximum dissolution by *B. cenocepacia* in quartz-kaolin at 0.8493 mg/L (96 hours) and silica sand at 0.8638 mg/L (24 h). The dissolved silica from this procedure can be further processed for applications in agriculture as a nutrient for plants to overcome biotic and abiotic stress.

© 2025 IJoPAC. All rights reserved

1. Pendahuluan

Silika dalam bidang pertanian dapat meningkatkan toleransi terhadap stress biotik maupun abiotik yang dialami oleh tanaman^[1]. Namun, sebagian besar silika yang tersedia di tanah tidak ditemukan dalam bentuk yang bisa diserap oleh tanaman, biasanya berikatan dengan unsur lain membentuk kristal aluminosilikat dan kuarsa^{[2][3]}. Salah satu sumber silika terdapat dalam fraksi kuarsa kaolin, dimana jumlah fraksi kuarsa di dalam kaolin sebesar 66,62% dan kaolin mengandung silika sebesar 44,4%^[4]. Ekstraksi silika yang banyak digunakan metode difusi alkali. Metode tersebut menggunakan larutan alkali kuat seperti natrium hidroksida (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH) untuk melarutkan silika menjadi larutan silikat^[5]. Namun, penggunaan metode difusi alkali memiliki resiko korosif yang berdampak negatif terhadap lingkungan dan makhluk hidup disekitarnya.

Pada penelitian ini dilakukan pendekatan bioteknologi untuk melarutkan silika dengan melibatkan peran bakteri pelarut silika (BPS). Salah satu bakteri yang memiliki potensi dalam melarutkan silika adalah *Burkholderia cenocepacia*. Menurut Vasanthi *et al*^[6], bakteri ini diketahui memiliki kemampuan untuk melarutkan silika melalui produksi asam organik seperti asam sitrat, asam oksalat, dan asam asetat. yang dapat digunakan untuk melarutkan silika dari mineral kuarsa. Silika dari bentuk tidak larut diubah menjadi bentuk yang larut dan dapat diserap oleh tanaman. *Burkholderia cenocepacia* dapat melarutkan silika sebanyak 19,8 ppm dengan 0,25% magnesium trisilikat selama 96 jam dan 0,84 ppm dengan 0,25 gram

mineral kuarsa sebagai substrat selama 192 jam. *B. Cenocepacia* tergolong kedalam bakteri gram negatif dengan bentuk koloni tidak beraturan, sedikit meninggi, dan memiliki tepi bergelombang saat tumbuh di media Bunt & Rovira^[7].

Berdasarkan potensi pendekatan bioteknologi dalam meningkatkan ketersediaan silika, artikel ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas pelarutan silika dari fraksi kuarsa kaolin menggunakan bakteri *Burkholderia cenocepacia*. Pendekatan bioteknologi dapat menjadi solusi untuk meningkatkan ketersediaan silika yang dapat digunakan sebagai bahan baku material dan aplikasi terhadap tanaman.

2. Metode

2.1. Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan produksi *Merck* dan dapat langsung digunakan tanpa melalui pemurnian lebih lanjut yang meliputi amonium sulfat ((NH₄)₂SO₄), besi (III) klorida (FeCl₃), dikalium fosfat (K₂HPO₄), glukosa (C₆H₁₂O₆), magnesium klorida (MgCl₂) dan pepton. Selain itu digunakan juga kalium hidroksida (KOH) *Smart Lab*, ekstrak ragi dan ekstrak tanah, Bakteri yang digunakan yakni *Burkholderia cenocepacia* dari Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), serta sampel berupa fraksi kuarsa dari kaolin (Al₂Si₂O₅(OH)₄) Desa Capkala, Kabupaten Bengkayang, Kalimantan Barat 0°38'10"N 108°58'52"E dan pasir silika 99,2%.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat gelas laboratorium dan instrumen karakterisasi Alat gelas laboratorium yang digunakan meliputi *autoclave*, *hotplate*, ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*) *Perkin Elmer Avio 500*, *laminar airflow*, *magnetic stirrer*, mikro pipet, *incubator-shaker*, neraca analitik, oven, dan *sentrifuge*.

2.2. Prosedur Kerja

Prepasasi sampel

Sampel yang digunakan merupakan fraksi kuarsa dari kaolin yang berasal dari Desa Capkala, Kabupaten Bengkayang, Kalimantan Barat dan pasir silika 99%. Fraksi kuarsa kaolin dan pasir silika dicuci dengan akuades, kemudian diendapkan untuk memisahkan fraksi bawah (kuarsa) dan fraksi atas (kaolin)^[9]. Lalu, sampel di keringkan menggunakan oven pada temperatur 105°C. Fraksi kuarsa kaolin dan pasir silika yang telah kering kemudian digerus dan diayak menggunakan ayakan 100 *mesh*.

Pelarutan silika menggunakan kalium hidroksida

Pelarutan silika diawali dengan pembuatan larutan KOH dengan konsentrasi 10 M, dengan melarutkan 56,11 gram KOH di dalam 100 mL akuades. Sebanyak 60 mL larutan KOH 10 M ditambahkan ke 10 gram fraksi kuarsa kaolin atau pasir silika, kemudian dipanaskan pada 80°C sambil diaduk selama 30, 60, dan 90 menit, masing-masing dengan tiga kali pengulangan. Selanjutnya, larutan didinginkan pada suhu ruang dan dilakukan sentrifugasi dengan kecepatan 2000 *rpm* selama 10 menit^[8]. Filtrat silika terlarut diambil untuk dianalisis jumlah silika terlarut menggunakan ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*).

Pelarutan silika dari fraksi kuarsa kaolin menggunakan bakteri pelarut silika

Medium cair Bunt dan Rovira berdasarkan penelitian Vasanthi *et al*^[6], dibuat dengan mencampurkan 20 g/L glukosa; 1,0 g/L pepton; 1,0 g/L ekstrak ragi; 0,5 g/L (NH₄)₂SO₄; 0,4 g/L K₂HPO₄; 0,1 g/L MgCl₂; 0,01 g/L FeCl₃; 250 mL ekstrak tanah; 750 mL akuades. Ekstrak tanah dibuat dengan merendam tanah kebun sebanyak 250 gram di dalam 1 L akuades, kemudian dilakukan penyaringan hingga diperoleh ekstrak tanah. Ekstrak tanah disterilisasi menggunakan *autoclave* pada suhu 121°C selama 20 menit. pH media diatur pada 6,6-7,0 menggunakan *pH meter*.

Ekstraksi silika dari fraksi kuarsa kaolin dilakukan dengan menambahkan 0,25 gram fraksi kuarsa kaolin ke dalam 100 mL media cair Bunt dan Rovira. Labu disterilkan menggunakan *autoclave* pada suhu 121°C selama 20 menit kemudian didinginkan. Campuran kuarsa dan media kemudian diinokulasi dengan 0,1 mL bakteri pelarut silika yakni *Burkholderia cenocepacia* yang berumur 24 jam. Labu diinkubasi dalam *inkubator-shaker* dengan kecepatan 100 rpm dan temperatur 28°C selama masa inkubasi yakni 24, 96 dan

192 jam^[7]. Setelah periode inkubasi, labu diambil dan dilakukan pemisahan antara sel kultur dengan silika terlarut menggunakan *sentrifuge* berkecepatan 6000 *rpm* selama 20 menit. Supernatan diambil untuk dianalisis jumlah silika terlarut menggunakan ICP-OES.

Kontrol bakteri

Kontrol bakteri dilakukan dengan menambahkan masing-masing 0,25 gram sampel fraksi kuarsa kaolin dan pasir silika ke dalam 100 mL media cair Bunt dan Rovira. Campuran media cair dengan sampel kemudian disterilisasi pada suhu 121°C selama 20 menit. Setelah sterilisasi, media dan sampel diinkubasi pada waktu inkubasi 24, 96 dan 192 jam. Setelah periode inkubasi, dilakukan pemisahan antara padatan dan media cair menggunakan *sentrifuge* berkecepatan 6000 *rpm* selama 20 menit. Media cair diambil untuk dilakukan pengukuran menggunakan ICP-OES.

Pengukuran silika terlarut menggunakan ICP-OES

Pengukuran kandungan unsur Si, Al, Ca, Cu, K dan Fe dilakukan pada filtrat fraksi kuarsa kaolin dan pasir silika yang dilarutkan dengan KOH pada variasi waktu 30, 60, 90 menit, filtrat silikat dengan pelarut BPS pada waktu inkubasi 24, 96 dan 192 jam, serta filtrat media cair tanpa inokulan bakteri pada waktu inkubasi 24, 96 dan 192 jam. Sampel berupa padatan yakni fraksi kuarsa kaolin dan pasir silika didestruksi terlebih dahulu menggunakan campuran asam nitrat (HNO₃) dan asam perklorat (HClO₄) sebelum pengukuran menggunakan ICP-OES.

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Preparasi Sampel

Pasir silika dan fraksi kuarsa kaolin memerlukan tahap destruksi terlebih dahulu sebelum dapat dianalisis menggunakan ICP-OES. Destruksi mengubah sampel padatan menjadi bentuk larutan homogen, Destruksi dilakukan dengan campuran asam nitrat (HNO₃) dan asam perklorat (HClO₄). Asam nitrat bertindak sebagai oksidator kuat yang membantu memecah ikatan dalam struktur silika dan mineral lainnya, sementara asam perklorat berfungsi mempercepat proses oksidasi dengan sifatnya yang sangat reaktif^[10]

Tabel 1. Konsentrasi unsur pada fraksi kuarsa kaolin dan pasir silika

Unsur	Konsentrasi (mg/Kg)	
	Fraksi Kuarsa Kaolin	Pasir Silika
Al	4559,3474	649,6279
Ca	43,2275	20,8825
Cu	2,8358	0,1761
Fe	104,3071	294,6820
K	1470,3673	2394,3273
Si	38,4183	13,0990

Tabel 1 menunjukkan bahwa konsentrasi Al yang diukur menggunakan ICP-OES pada fraksi kuarsa kaolin lebih besar jika dibandingkan dengan pasir silika. Sementara itu, konsentrasi Si lebih tinggi pada fraksi kuarsa-kaolin dengan dibandingkan pasir silika.

3.2. Pelarutan silika menggunakan Kalium Hidroksida

Pelarutan silika menggunakan KOH berlangsung dalam kondisi alkali yang berarti pH lingkungan berada pada kondisi basa (pH > 7). Kalium hidroksida yang digunakan dalam proses ini cenderung lebih efektif dibandingkan dengan basa lainnya seperti NaOH, karena membentuk kalium silikat yang lebih larut dan stabil ^[11].



(a)



(b)

Gambar 1. (a) Filtrat pelarutan fraksi kuarsa kaolin; (b) Filtrat pelarutan pasir silika

Tabel 2. Konsentrasi unsur pada filtrat hasil pelarutan sampel fraksi kuarsa kaolin dan pasir silika dengan pelarut kalium hidroksida (KOH)

Waktu (menit)	Filtrat (mg/L)									
	Al		Ca		Fe		K		Si	
	Fraksi kuarsa kaolin	Pasir silika	Fraksi kuarsa kaolin	Pasir silika	Fraksi kuarsa kaolin	Pasir silika	Fraksi kuarsa kaolin	Pasir silika	Fraksi kuarsa kaolin	Pasir silika
30	499,37	103,78	1,08	0,74	8,78	6,62	15458,33	15406,37	254,01	180,25
60	767,97	114,45	0,92	0,57	17,60	8,24	15384,57	11411,89	430,10	173,19
90	480,07	131,26	1,02	0,66	16,75	10,70	15428,27	15409,73	280,63	196,86

Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa konsentrasi pelarutan silika pada sampel fraksi kuarsa kaolin maksimum pada menit ke-60 yakni sebesar 430,10 mg/L dan pada sampel pasir silika pada menit ke-90 yakni sebesar 196,86 mg/L.

3.3. Pelarutan silika menggunakan bakteri pelarut silika (*Burkholderia cenocepacia*)

Bakteri dapat mempercepat pelarutan silikat melalui produksi H^+ berlebih dan keberadaan ligan organik^[12]. Asam organik yang dihasilkan bakteri seperti asam sitrat, asam asetat, dan asam oksalat dihasilkan dari beberapa metabolisme bakteri. Bakteri *Burkholderia cenocepacia* memproduksi asam-asam ini sebagai produk samping metabolisme seperti asidolisis, hidrolisis alkali, degradasi ligan, enzimolisis, polisakarida ekstraseluler dan redoks^[13]. Konsentrasi ion hidroksil dan H^+ di media cair sangat berpengaruh dalam proses pelepasan Si.



(a)



(b)

Gambar 2. (a) Filtrat media cair media cair pelarutan fraksi kuarsa kaolin; (b) Filtrat media cair pelarutan pasir silika

Tabel 3. Perubahan pH media cair sebelum dan setelah periode inkubasi pada sampel fraksi kuarsa kaolin dan pasir silika

Waktu (jam)	pH media (awal)		pH media (akhir)	
	Fraksi kuarsa kaolin	Pasir silika	Fraksi kuarsa kaolin	Pasir silika
24	6,61	6,55	3,37	2,50
96	6,45	6,61	2,76	3,01
192	6,55	6,64	3,18	3,05

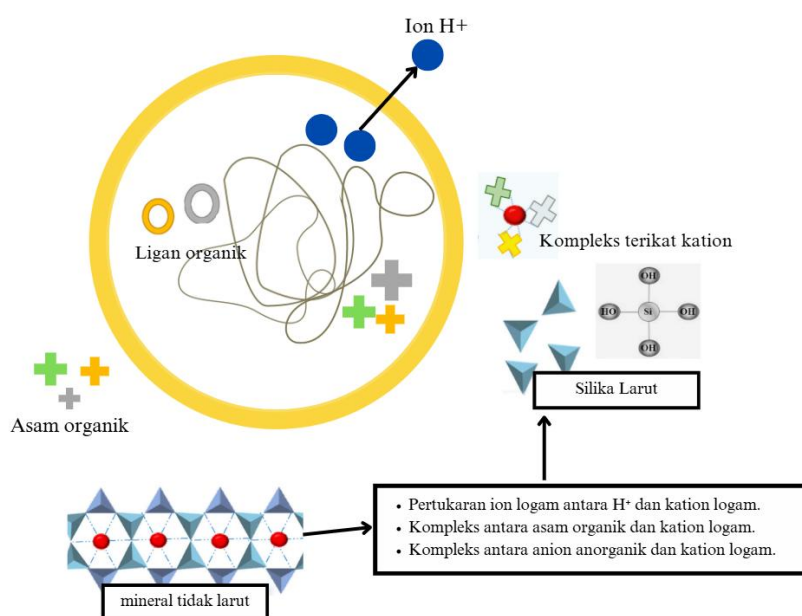
Tabel 3 menunjukkan bahwa pH awal media relatif netral atau sedikit asam, dengan nilai di sekitar 6,5-6,6. Setelah waktu pelarutan, pH media mengalami penurunan hingga rentang 2,5-3,3 dan tidak memberikan

penurunan drastis hingga waktu 192 jam. Ini menunjukkan bahwa aktivitas bakteri *Burkholderia cenocepacia* tidak menghasilkan perubahan pH yang drastis dalam waktu 192 jam (8 hari). Penurunan pH yang signifikan pada kedua sampel baik fraksi kuarsa-kaolin maupun pasir silika menunjukkan bahwa tahap awal pelarutan berlangsung cepat karena asam organik yang dihasilkan oleh bakteri bereaksi dengan permukaan mineral yang masih mudah dijangkau ^[14].

Tabel 4. Konsentrasi unsur hasil pelarutan menggunakan bakteri pelarut silika (*Burkholderia cenocepacia*) sampel fraksi kuarsa kaolin dan pasir silika

Waktu (menit)	Filtrat (mg/L)									
	Al		Ca		Fe		K		Si	
	Fraksi kuarsa kaolin	Pasir silika	Fraksi kuarsa kaolin	Pasir silika	Fraksi kuarsa kaolin	Pasir silika	Fraksi kuarsa kaolin	Pasir silika	Fraksi kuarsa kaolin	Pasir silika
24	0,72	0,40	3,70	17,16	0,65	1,09	79,52	81,52	0,68	0,86
96	1,76	0,87	3,13	18,37	3,63	1,47	77,357	95,17	0,85	0,73
192	2,82	1,09	17,81	11,79	1,41	1,38	83,58	92,01	0,79	0,83

Tabel 4 menunjukkan pada sampel fraksi kuarsa kaolin pelarutan maksimum terjadi pada waktu inkubasi 96 jam dengan konsentrasi silika sebesar 0,85 mg/L dan pada sampel pasir silika pada waktu 24 jam dengan konsentrasi silika 0,86 mg/L. *Burkholderia cenocepacia* diinokulasi ke dalam media cair, bakteri mulai memproduksi asam-asam organik seperti asam sitrat, asam asetat, dan asam oksalat^[7]. Pelarutan menggunakan asam yang dihasilkan oleh *Burkholderia cenocepacia* ditandai dengan adanya penurunan pH pada media (Tabel 3) dan hasil kontrol bakteri (Tabel 6) yang menunjukkan bahwa pelarutan silika menggunakan *Burkholderia cenocepacia* memberikan hasil silika terlarut yang lebih besar dibandingkan dengan pelarutan tanpa penambahan *Burkholderia cenocepacia*.



Gambar 3. Mekanisme molekuler yang terlibat dalam aktivitas pelarutan silikat pada bakteri ^[18] ^[21]

Mekanisme pelarutan silika (Gambar 3) dapat bervariasi tergantung pada sumber mineral. Beberapa silika yang terikat pada logam memerlukan kombinasi perubahan pH dan serangan ligan untuk dapat terlarut, sementara mineral seperti kuarsa dapat lebih mudah dilarutkan hanya melalui pergerakan H^+ dan pertukaran kation terikat mineral. Potensi pelarutan oleh spesies bakteri tertentu dapat berbeda tergantung pada sumber

mineral yang akan dilarutkan. Pada penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa spesies *Bacillus* dan *Pseudomonas* memiliki tingkat solubilitas yang lebih tinggi untuk magnesium trisilikat dibandingkan dengan mineral lain seperti illite, kuarsa, dan muskovit^[14]. Proses pelarutan silika sangat bergantung pada proses pertukaran ion logam antara H⁺ dan kation logam, pembentukan kompleks asam organik dengan kation logam dan kompleks antara anion anorganik dan kation logam.

Konsentrasi ion hidroksil dan H⁺ di media cair sangat berpengaruh dalam proses pelepasan Si. *Burkholderia cenocepacia* menciptakan mikro lingkungan di sekitar permukaan mineral tempat proton terakumulasi bersama dengan metabolit organik dan anorganik yang dikeluarkan. H⁺ yang dilepaskan dapat melakukan pertukaran kation di struktur silikat, kemudian membentuk kompleks pertukaran kation di permukaan mineral. Proses ini didorong oleh asam organik dan anorganik yang dilepaskan oleh mikroba. Lingkungan asam dan konsentrasi proton yang tinggi meningkatkan proses penggantian kation^[13].

3.4. Kontrol bakteri

Kontrol bakteri digunakan untuk memastikan bahwa bakteri pelarut silika benar melakukan pelarutan terhadap sampel, kontrol bakteri dilakukan dengan cara hanya menambahkan media cair dengan sampel. Kontrol bakteri dalam percobaan pelarutan silika menggunakan bakteri pelarut silika berfungsi sebagai pembandingan untuk mengevaluasi aktivitas bakteri berkontribusi terhadap proses pelarutan silika^[15].

Tabel 5. Perubahan pH media kontrol bakteri sampel fraksi kuarsa kaolin dan pasir silika

Waktu (jam)	pH media (awal)		pH media (akhir)	
	Fraksi kuarsa kaolin	Pasir silika	Fraksi kuarsa kaolin	Pasir silika
24	6,64	6,67	6,11	6,12
96	6,67	6,64	5,82	5,68
192	6,70	6,70	5,54	5,85

Penurunan pH pada media cair mengakibatkan adanya sedikit pelarutan silika secara kimiawi karena interaksi dengan media cair, tetapi laju pelarutan ini relatif lambat dibandingkan dengan pelarutan yang dibantu bakteri. Tanpa kehadiran bakteri yang menghasilkan asam organik, pelarutan silika dari kuarsa hanya terjadi melalui interaksi sampel dengan media cair.

Tabel 6. Konsentrasi unsur pada media cair Bunt dan Rovira hasil kontrol bakteri sampel fraksi kuarsa kaolin

Waktu (menit)	Filtrat (mg/L)									
	Al		Ca		Fe		K		Si	
	Fraksi kuarsa kaolin	Pasir silika	Fraksi kuarsa kaolin	Pasir silika	Fraksi kuarsa kaolin	Pasir silika	Fraksi kuarsa kaolin	Pasir silika	Fraksi kuarsa kaolin	Pasir silika
24	0,32	0,18	12,70	9,23	0,25	0,49	142,76	120,30	0,77	0,73
96	0,28	0,20	2,58	9,60	0,39	0,60	125,42	110,88	0,58	0,60
192	0,43	0,16	7,09	7,92	0,38	0,72	127,35	128,58	0,56	0,59

Data pada Tabel 6, fraksi kuarsa kaolin dan pasir silika menunjukkan adanya penurunan konsentrasi unsur Si seiring dengan bertambahnya waktu. Hal ini menunjukkan bahwa proses pelarutan unsur-unsur tersebut dari padatan ke dalam media cair terjadi pada awal percobaan, namun tidak berlanjut seiring waktu, disimpulkan bahwa pelarutan sampel tanpa adanya bakteri menghasilkan konsentrasi silika yang lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan bakteri.

4. Kesimpulan

Hasil dari prosedur penelitian yang telah dilakukan dan pengukuran konsentrasi sampel terlarut menggunakan ICP-OES menunjukkan bahwa bakteri *Burkholderia cenocepacia* dapat melarutkan silika pada fraksi kuarsa kaolin dan pasir silika. Konsentrasi maksimum silika pada fraksi kuarsa kaolin mencapai 0,85 mg/L setelah 96 jam sedangkan pada waktu 96 jam hasil kontrol bakteri menunjukkan konsentrasi 0,58 mg/L. Pada sampel pasir silika, konsentrasi maksimum silika tercatat sebesar 0,86 mg/L setelah 24 jam dan pada waktu 24 jam kontrol bakteri menunjukkan hasil sebesar 0,73 mg/L. Pelarutan silika menggunakan KOH menunjukkan konsentrasi silika terekstrak yang lebih besar yakni pada fraksi kuarsa kaolin sebesar 430,10 mg/L pada menit ke-60. Untuk sampel pasir silika, konsentrasi maksimum silika mencapai 196,86 mg/L pada menit ke-90.

Daftar Pustaka

- [1] Zargar, S. M., Mahajan, R., Bhat, J. A., Nazir, M., & Deshmukh, R. (2019). Role of silicon in plant stress tolerance: Opportunities to achieve a sustainable cropping system. *3 Biotech*, 9(73), 1-16.
- [2] Richmond, K. E., & Sussman, M. (2003). Got silicon? The non-essential beneficial plant nutrient. *Current Opinion in Plant Biology*, 6(3), 268-272.
- [3] Savant, N. K., Korndorfer, G. H., Datnoff, L. E., & Snyder, G. H. (1999). Silicon nutrition and sugarcane production: A review. *Journal of Plant Nutrition*, 22(12), 1853-1903.
- [4] Wahyuni, N., Cita, & Zahara, T. A. (2012). Analisis whiteness kaolin asal Mandor pada variasi temperatur pemanasan. *POSITRON*, 2(2), 15-20.
- [5] Kiprop, S., Onchiri, R. O., & Gathimba, N. (2024). Mechano-physical properties and microstructure of colloidal nanosilica-incorporated volcanic ash-based geopolymer mortar after exposure to elevated temperatures. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 72(5), 66-85.
- [6] Vasanthi, N., Saleena, L. M., & Raj, S. A. (2018). Silica solubilization potential of certain bacterial species in the presence of different silicate minerals. *Silicon*, 10(2), 267-275.
- [7] Santi, L. P., & Goenadi, D. H. (2017). Solubilization of silicate from quartz mineral by potential silicate solubilizing bacteria. *Menara Perkebunan*, 85(2), 96-104.
- [8] Agung, G. F., Hanafi, R. M., & Mardina, P. (2013). Ekstraksi silika dari abu sekam padi dengan pelarut KOH. *Konversi*, 2(1), 28-31.
- [9] Maulini, Wahyuni, N., Destiarti, L., & Rahmalia, W. (2018). Pemanfaatan pasir dari kaolin Capkala terlapis mangan dioksida untuk menurunkan kadar ion fosfat dalam larutan. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 7(4), 51-59.
- [10] Hathaway, B. J., & Underhill, A. E. (1960). Some reactions of anhydrous perchloric acid and anhydrous nitric acid. *Journal of the Chemical Society (Resumed)*, 133, 648-654.
- [11] Naat, J. N., Neolaka, Y. A., Lawa, Y., Lestarani, D., Parera, L. A., Adu, D., & Paloga, L. (2020). Studi pH dan waktu kontak optimum adsorpsi ion Mn (II) menggunakan adsorben silika kitosan dengan pemanfaatan silika yang bersumber dari pasir alam. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan dan Sains Kimia (SNP-SK) FKIP-Undana*, 3(1), 121-128.
- [12] Raturi, G., Sharma, Y., Rana, V., Thakral, V., Myaka, B., Salvi, P., & Deshmukh, R. (2021). Exploration of silicate solubilizing bacteria for sustainable agriculture and silicon biogeochemical cycle. *Plant Physiology and Biochemistry*, 166, 827-838.
- [13] Sheng, X. F., Zhao, F., He, L. Y., Qiu, G., & Chen, L. (2008). Isolation and characterization of silicate mineral-solubilizing *Bacillus globisporus* Q12 from the surfaces of weathered feldspar. *Canadian Journal of Microbiology*, 54, 1064-1068.
- [14] Walter, L. M., & Morse, J. W. (1984). Reactive surface area of skeletal carbonates during dissolution: Effect of grain size. *Journal of Sedimentary Research*, 54(4), 1081-1090.

- [15] Ayini, U., & Dewi, T. C. (2014). Efek antibakteri ekstrak daun mimba (*Azadirachta indica* A. Juss) terhadap bakteri *Vibrio alginolyticus* secara in vitro. *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*, 6(1), 67-75.