

POTENSI BAKTERI INDIGENOUS RHIZOSFER TANAMAN BAWANG MERAH DALAM MENGHASILKAN SULFAT PADA TANAH VERTISOL DI BREBES, INDONESIA

Potential Of Indigenous Rhizosphere Bacteria In Shallot Producing Sulphate In Vertisol Soil In Brebes, Indonesia

Muhammad Juwanda^{1*}, Sakhidin², Saparso² dan Kharisun²

¹ Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhadi Setiabudi, Brebes.
Jl. P. Diponegoro Km 2 Pesantunan, Kec. Wanasari, Kab. Brebes, Jawa Tengah. Telp.
(0283)6199000 / Fax. (0283)6199001

² Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman
Jl. Dr. Soeparno No : 61, Purwokerto Utara, Banyumas 53122, Jawa tengah

Alamat korespondensi: muhammad.juwanda@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh bakteri indigenous terbaik dalam meningkatkan kadar sulfat di tanah vertisol melalui proses oksidasi sulfur menjadi sulfat. Penelitian dilakukan di polibag dengan media tanah vertisol di *screen house*, Desa Bulakelor, Kecamatan Ketanggungan, Kabupaten Brebes. Percobaan disusun dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan dua faktor. Faktor yang pertama yaitu jenis bakteri : Kontrol (B₀); *Bacillus* sp (B₁); *Burkholderia cepacia* (B₂); *Klebsiella aerogenes* (B₃) dan *Klebsiella variicola* (B₄) dan faktor yang kedua adalah lama inkubasi : 3 (H₃); 6 (H₆); 9 (H₉); dan 12 (H₁₂) hari. Setiap perlakuan diulang sebanyak empat kali. Variabel pengamatan yaitu kadar sulfat tanah (metode kolorimetri) dan peningkatan kadar sulfat (metode kalkulasi). Data hasil pengamatan dianalisis dengan uji F dan apabila ada perbedaan nyata dilanjutkan dengan uji Duncan taraf kepercayaan 95 % ($\alpha = 5\%$). Hasil analisis menunjukkan bahwa jenis bakteri dan lama inkubasi setelah inokulasi meningkatkan kadar sulfat tanah. Pengaruh pemberian bakteri ke dalam tanah terhadap peningkatan kadar sulfat tanah bergantung pada lama inkubasi. Pengaruh pemberian jenis bakteri terhadap peningkatan kadar sulfat tanah tergantung pada lama inkubasi. Pemberian bakteri pengoksidasi sulfur pada tanah vertisol mampu meningkatkan ketersediaan sulfat pada tanah. Pemberian bakteri jenis *Klebsiella variicola* dengan lama inkubasi selama 3 hari meningkatkan kadar sulfat 69,11 % lebih baik dibandingkan dengan perlakuan yang lain. Peningkatan terendah sebesar 6,49 % diperoleh pada pemberian *Bacillus* sp dengan lama inkubasi selama 9 hari. Peningkatan kadar sulfat tanah optimal sebesar 66,85 % pada pemberian bakteri *Klebsiella variicola* terjadi pada lama inkubasi optimum selama 6,5 hari.

Kata Kunci : bakteri, indigenous, oksidasi, sulfur, tanah

ABSTRACT

This study aims to obtain the best indigenous bacteria in increasing sulfate levels in vertisol soil through the oxidation process of sulfur to sulfate. The research was conducted in polybags with vertisol soil media in a screen house, Bulakelor Village, Keanggungan District, Brebes Regency. The experiment was arranged using a completely randomized design (CRD) with two factors. The first factor is the type of bacteria: Control (B₀); *Bacillus* sp (B₁); *Burkholderia cepacia* (B₂); *Klebsiella aerogenes* (B₃) and *Klebsiella variicola* (B₄) and the second factor was incubation time: 3 (H₃); 6 (H₆); 9 (H₉); and 12 (H₁₂) days. Each treatment was repeated four times. Observation variables were soil sulfate levels (colorimetric method) and increased sulfate levels (calculation method). Observational data were analyzed using the F test and if there was a significant difference, it was continued with Duncan's test with 95% confidence level ($\alpha = 5\%$). The results of the analysis showed that the type of bacteria and incubation time after inoculation increased the sulfate content of the soil. The effect of giving bacteria into the soil on increasing soil sulfate levels depends on the incubation time. The effect of giving the type of bacteria to the increase in soil sulfate levels depends on the incubation time. The application of sulfur-oxidizing bacteria to vertisol soil can increase the availability of sulfate in the soil. The administration of *Klebsiella variicola* bacteria with an incubation period of 3 days increased sulfate levels by 69.11% better than the other treatments. The lowest increase of 6.49% was obtained by giving *Bacillus* sp with an incubation period

of 9 days. The increase in optimal soil sulfate levels of 66.85% with *Klebsiella variicola* bacteria administration occurred at the optimum incubation time of 6.5 days.

Keywords: bacteria, indigenous, oxidation, sulfur, soil

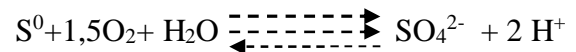
PENDAHULUAN

Bawang merah merupakan jenis komoditas sayuran penting untuk memenuhi kebutuhan masyarakat sebagai bumbu masakan. Kabupaten Brebes dikenal sebagai sentra produksi bawang merah di Jawa Tengah, Indonesia. Tanah yang biasa digunakan oleh petani Brebes untuk menanam bawang merah adalah vertisol (Juwanda et al., 2020).

Sulfur merupakan unsur esensial yang sangat dibutuhkan oleh tanaman yang mempengaruhi pertumbuhan dan kualitas hasil (Rajagopal et al., 2009). Sulfur merupakan unsur pembentuk senyawa alliin yang menyebabkan aroma khas pada umbi bawang merah (Yenni, 2012). Petani dalam kegiatan budidaya bawang merah selalu menggunakan pupuk yang mengandung sulfur di dalamnya. Pemberian sulfur berupa pupuk ZA pada bawang merah mampu meningkatkan pertumbuhan dan hasil umbi tanaman (Santosa et al., 2015). Ketersediaan sulfur yang rendah namun jumlah S total yang tinggi merupakan salah satu kendala dalam budidaya bawang merah di tanah vertisol (Juwanda et al., 2020). Tanaman mengambil sulfur dari tanah dalam bentuk sulfat (SO_4)⁻². Sulfur harus dirubah melalui

proses oksidasi menjadi sulfat untuk dapat diserap oleh akar tanaman.

Menurut (Silverstein, 2011), oksidasi adalah suatu proses reaksi kimia suatu zat dimana akan terjadi kehilangan elektron, peningkatan bilangan oksidasi, kehilangan hidrogen atau perolehan oksigen. Penambahan sulfur di dalam tanah dapat berupa pupuk K_2SO_4 , MgSO_4 , dan $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (Sager, 2012). Proses oksidasi sulfur menjadi sulfat dapat terjadi karena peran mikroba bakteri pengoksidasi sulfur. Reaksi oksidasi sulfur sebagai berikut (Suzuki, 1999):



Pemanfaatan bakteri indigenous pengoksidasi sulfur sebagai agensia hayati membantu meningkatkan ketersediaan sulfur di dalam tanah. Hasil isolasi bakteri indigenous pengoksidasi sulfur rhizosfer tanaman bawang merah di Brebes diperoleh 3 jenis bakteri pengoksidasi sulfur antara lain *Burkholderia cepacia*, *Klebsiella variicola* dan *Klebsiella aerogenes* (Juwanda et al., 2020). Usaha peningkatan ketersediaan sulfur yang rendah (sulfat) pada tanah vertisol dengan memanfaatkan bakteri pengoksidasi sulfur tersebut sebagai agensia hayati merupakan cara yang sangat tepat.

Bacillus sp merupakan bakteri yang mempunyai kemampuan mengoksidasi sulfur menjadi sulfat (Puspitasari et al., 2014). *Bacillus* sp dapat tumbuh dengan baik dilahan vertisol pertanaman bawang merah di Brebes (Indratin et al., 2019). Penggunaan *Bacillus* sp sebagai bakteri pembanding untuk menguji kemampuan tiga isolat bakteri pengoksidasi sulfur hasil isolasi dilahan pertanaman bawang merah merupakan hal yang tepat. Ketersediaan sulfur di dalam tanah sangat dibutuhkan untuk membantu meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman bawang merah. Karakterisasi kemampuan bakteri pengoksidasi sulfur rhizosfer pertanaman bawang merah perlu dilakukan untuk mengetahui jenis bakteri yang terbaik kemampuannya dalam mengoksidasi sulfur menjadi sulfat. Hasil tersebut dapat dijadikan sebagai dasar pembuatan pupuk hayati pengoksidasi sulfur yang dapat dimanfaatkan oleh petani bawang merah. Penelitian bertujuan untuk memperoleh bakteri indigenous terbaik dalam meningkatkan kadar sulfat di tanah vertisol melalui proses oksidasi sulfur menjadi sulfat.

METODE PENELITIAN

Bahan dan alat yang digunakan bubuk sulfur, air, aquades, gelas plastik steril, gelas ukur (50 mL dan 250 mL), gelas

beker (1000 mL), erlenmeyer (250 mL dan 500 mL), spektrofotometri, sampel tanah vertisol dengan jenis pola tanam 3 (Bawang merah – Palawija - Bawang merah - Padi). Bakteri yang digunakan adalah jenis bakteri hasil isolasi dari rhizosfer pertanaman bawang merah di Brebes. Isolat bakteri tersebut memiliki hubungan kekerabatan yang dekat dengan jenis; *Burkholderia cepacia*; *Klebsiella aerogenes*; *Klebsiella variicola*. (Juwanda et al., 2020) dan *Bacillus* sp sebagai bakteri pembanding.

Penelitian dilakukan di polibag dengan media tanah vertisol di *screen house*, Desa Bulakelor, Kecamatan Ketanggungan, Kabupaten Brebes; Laboratorium Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian; Laboratorium Biokimia, Fakultas MIPA Universitas Jenderal Soedirman. Percobaan disusun dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan dua faktor. Faktor yang pertama yaitu jenis bakteri: Kontrol (B₀); *Bacillus* sp (B₁); *Burkholderia cepacia* (B₂); *Klebsiella aerogenes* (B₃) dan *Klebsiella variicola* (B₄) dan faktor yang kedua adalah lama inkubasi : 3 (H₃); 6 (H₆); 9 (H₉); dan 12 (H₁₂) hari. Setiap perlakuan diulang sebanyak empat kali. Variabel pengamatan yaitu kadar sulfat tanah (metode kolorimetri) dan peningkatan kadar sulfat (metode kalkulasi). Data hasil pengamatan dianalisis dengan uji F dan

apabila ada perbedaan nyata dilanjutkan dengan uji Duncan taraf kepercayaan 95 %.

Media tanah kering udara 80 sampel disterilkan menggunakan autoclave dengan suhu 121⁰C (Hidayat et al., 2017) pada tekanan 1 atm selama 30 menit, masing-masing sebanyak 271 g (berat kering oven). Media tanah steril kemudian dipisahkan kedalam gelas plastik dan dicampur secara merata dengan 0,04 g S serbuk belerang. Masing-masing sampel tanah (80 sampel) kemudian disiram air sampai keadaan tanah menjadi kapasitas lapangan / (berat tanah kapasitas lapang = 416 g/polibag tanah). Empat jenis bakteri diinokulasikan ke dalam sampel tanah sebagai perlakuan sejumlah 10⁵ cfu/mL. Kondisi air pada tanah digelas plastik dijaga supaya tetap berada pada kapasitas lapangan setiap harinya dengan cara ditimbang dengan menggunakan timbangan digital setiap hari. Sampel tanah diambil sesuai dengan perlakuan lama inkubasi dan diukur kadar sulfatnya dengan pengestrak berupa aquades. Kadar sulfat diukur dengan metode kolorimetri dengan bantuan alat spektrofotometri (Eviati, 2009).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis menunjukkan bahwa jenis bakteri dan lama inkubasi setelah inokulasi meningkatkan kadar sulfat tanah. Pengaruh pemberian bakteri ke dalam

tanah terhadap peningkatan kadar sulfat tanah bergantung pada lama inkubasi (Tabel 1).

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa lama waktu dan pemberian bakteri pengoksidasi sulfur meningkatkan jumlah kadar sulfat pada tanah. Masing-masing bakteri menunjukkan kemampuan mengoksidasi sulfur yang tidak berbeda nyata terhadap jumlah kadar sulfat pada tiap waktunya. Walaupun demikian jumlah kadar sulfat yang dihasilkan pada proses reaksi oksidasi masing-masing bakteri tidak sama (Tabel 2).

Peningkatan jumlah kadar sulfat tanah (%) masing-masing bakteri dibandingkan dengan kontrol semakin lama waktu inkubasi yang terjadi menunjukkan hasil penurunan (Tabel 3). Hal ini berarti semakin lama waktu inkubasi, jumlah kadar sulfat pada tanah perlakuan pemberian bakteri dibandingkan dengan kontrol selisihnya semakin sedikit. Jumlah selisih kadar sulfat yang semakin sedikit disebabkan karena semakin lama waktu, reaksi oksidasi di tanah vertisol tanpa pemberian bakteri akan menghasilkan jumlah sulfat yang semakin tinggi pula. Keberadaan sulfur dapat menyebabkan adanya reaksi oksidasi di dalam tanah dengan bantuan oksigen dan air sehingga akan meningkatkan kadar sulfat tanah (Zhou et al., 2002).

Tabel 1. Matrik uji F data pengamatan hasil karakterisasi bakteri di tanah

No	Varabel Pengamatan	Jenis bakteri (B)	Lama inkubasi (H)	B x H
1.	Kadar Sulfat Tanah (ppm)	n	n	tn
2.	Peningkatan kadar Sulfat (%)	n	n	n

Keterangan : n : berbeda nyata dan tn : tidak berbeda nyata.

Tabel 2. Kadar sulfat tanah (ppm) pada beberapa lama inkubasi

Jenis Bakteri	Lama Inkubasi (hari)				Rata-rata	
	3	6	9	12		
<i>Bacillus, sp</i>	34,75	36,51	55,57	63,40	47,56	AB
<i>Burkholderia cepacia</i>	28,44	33,27	59,34	68,31	47,34	AB
<i>Klebsiella aerogenes</i>	29,84	39,92	62,89	70,26	50,72	AB
<i>Klebsiella variicola</i>	39,92	38,67	73,58	75,43	56,90	A
Kontrol	23,60	29,71	52,18	58,37	40,97	B
Rata-rata	31,31 b	35,61 b	60,72 a	67,15 a	(O)	

Keterangan : Angka yang diikuti huruf kecil yang sama dalam satu baris dan angka yang diikuti huruf kapital yang sama dalam satu kolom tidak berbeda nyata pada uji Duncan 5 %. (+) : interaksi positif, (-): interkasi negatif, (O): tidak interaksi

Tabel 3. Peningkatan kadar sulfat tanah (%) pada beberapa lama inkubasi

Jenis Bakteri	Lama Inkubasi (hari)				Rata-rata
	3	6	9	12	
Kontrol	0,00 a D	0,00 a C	0,00 a C	0,00 a B	0,00
<i>Bacillus sp.</i>	47,23 a B	29,90 b BC	6,49 b BC	8,61 b AB	21,31
<i>Burkholderia cepacia</i>	20,48 a C	11,97 a BC	13,71 a BC	17,01 a AB	15,79
<i>Klebsiella aerogenes</i>	25,51 ab C	32,11 a C	23,08 ab B	10,73 b AB	22,86
<i>Klebsiella variicola</i>	69,11 a A	30,15 a A	40,99 b A	29,23 b A	42,37
Rata-rata	32,47	19,43	16,86	13,11	(+)

Keterangan : Angka yang diikuti huruf kecil yang sama dalam satu baris dan angka yang diikuti huruf kapital yang sama dalam satu kolom tidak berbeda nyata pada uji Jarak Ganda Duncan 5 %. (+) : interaksi positif, (-): interkasi negatif, (O): tidak interaksi

Pengaruh Jenis Bakteri Pengoksidasi Sulfur terhadap Kadar Sulfat pada Tanah Vertisol

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian bakteri pengoksidasi sulfur meningkatkan jumlah kadar sulfat di tanah vertisol (Tabel 1 dan 3). Hal ini berarti pemberian bakteri pengoksidasi sulfur

dapat membantu meningkatkan kadar sulfat di dalam tanah. Bakteri pengoksidasi sulfur mempunyai fungsi membantu meningkatkan kadar sulfat di dalam tanah karena mempunyai kemampuan mengoksidasi sulfur menjadi sulfat. Ketiga bakteri indigenous walaupun mempunyai

kemampuan yang sama namun hasil kadar sulfat tanah yang dihasilkan berbeda (Tabel 2).

Hasil analisis menunjukkan bahwa perlakuan pemberian bakteri *Klebsiella variicola* di dalam tanah vertisol adalah yang terbaik dalam meningkatkan kadar sulfat dibandingkan dengan perlakuan yang lain. *Klebsiella variicola* mampu meningkatkan kadar sulfat tanah sebesar 69,11 % dibandingkan kontrol (Tabel 3). Keberadaan bakteri pengoksidasi sulfur di dalam tanah mampu membantu meningkatkan kadar sulfat. (Behera et al., 2016). Perlakuan pemberian *Klebsiella variicola* ke dalam tanah vertisol mampu menghasilkan kadar sulfat yang lebih baik dibandingkan dengan perlakuan pemberian *Bacillus* sp (sebagai pembanding bakteri indigenous) (Tabel 2). *Klebsiella* sp, mempunyai kemampuan mengoksidasi sulfur menjadi sulfat lebih baik dibandingkan dengan jenis bakteri *Bacillus* sp (Behera et al., 2014).

Keberadaan bakteri pengoksidasi sulfur sangat bermanfaat bagi peningkatan kadar sulfat di dalam tanah. *Klebsiella variicola* merupakan bakteri yang mempunyai peranan membantu ketersediaan unsur hara sehingga keberadaannya di dalam tanah sangat bermanfaat bagi tanaman (Martínez-Romero et al., 2018). *Klebsiella variicola*

merupakan bakteri pengoksidasi sulfur indigenous rhizosfer tanaman bawang merah (Juwanda et al., 2020), sehingga keberadaan bakteri ini di dalam tanah akan membantu ketersediaan sulfat yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman bawang merah.

Pengaruh Lama Inkubasi terhadap Kadar Sulfat pada Tanah Vertisol

Hasil penelitian menunjukkan bahwa lama inkubasi berpengaruh terhadap jumlah dan peningkatan kadar sulfat pada tanah. Hal ini berarti semakin lama waktu inkubasi bakteri pada tanah vertisol maka akan semakin meningkat jumlah sulfat di dalam tanah. Jumlah sulfat yang semakin meningkat dikarenakan lama waktu inkubasi bakteri di dalam tanah akan berbanding lurus dengan lama berlangsungnya proses reaksi oksidasi sulfur yang dibantu oleh bakteri sehingga jumlah sulfat tanah akan terus bertambah sampai dengan waktu inkubasi berakhir (Pivovarova et al., 2012). Jumlah kadar sulfat tanah terbaik untuk perlakuan lama inkubasi terjadi pada hari ke 9 yaitu sebesar 60,72 ppm penambahan masa inkubasi menjadi 12 hari sudah tidak lagi bertambah jumlah kadar sulfat tanah (Tabel 2). Lama inkubasi pada media pertumbuhan bakteri pengoksidasi sulfur akan meningkatkan kadar sulfat pada media tersebut (Bilen & Dick, 2011).

Bakteri pengoksidasi sulfur akan mengubah sulfur menjadi sulfat yang

berada di media tanah vertisol melalui reaksi oksidasi. Bertambahnya jumlah sulfat dipengaruhi oleh lama waktu inkubasi. Menurut hasil penelitian (Ullah et al., 2014), jumlah sulfat yang dihasilkan melalui reaksi oksidasi sulfur oleh *Thiobacillus* sp dipengaruhi lama waktu inkubasi yang terjadi di media pertumbuhan bakteri. Jumlah sulfat yang dihasilkan akan semakin bertambah dari mulai lama inkubasi hari ke 16 sebesar 0 ppm; hari ke 24 sebesar 13,4 ppm dan hari ke 32 menjadi 29,3 ppm. Oleh karena itu semakin lama waktu inkubasi yang terjadi di tanah vertisol maka akan meningkatkan jumlah sulfat yang dihasilkan.

Peningkatan Kadar Sulfat pada Interaksi Jenis Bakteri dan Lama Waktu Inkubasi

Hasil analisis menunjukkan bahwa pemberian *Klebsiella variicola* dengan lama inkubasi selama 3 hari memperoleh peningkatan jumlah sulfat sebesar 69,11 % lebih baik dibandingkan dengan perlakuan yang lain. Peningkatan terendah sebesar 6,49 % diperoleh pada pemberian *Bacillus* sp dengan lama inkubasi selama 9 hari. Hal ini dikarenakan pada sampel tanah kontrol (tanpa pemberian bakteri) ketersediaan sulfat yang dihasilkan masih rendah 31,31 ppm pada lama inkubasi hari ke 3. Jumlah selisih kadar sulfat sampel tanah perlakuan pemberian *Klebsiella variicola* pada lama inkubasi hari ke 3 dengan sampel tanah

kontrol lebih tinggi dibandingkan perlakuan pemberian bakteri pada lama inkubasi di hari ke 6 – 12. Jumlah kadar sulfat yang rendah pada sampel tanah kontrol dikarenakan reaksi oksidasi yang berlangsung tanpa dibantu adanya bakteri pengoksidasi sulfur seperti sampel tanah yang lain. Proses oksidasi sulfur dipengaruhi oleh lama inkubasi sulfur di dalam tanah, semakin lama waktu inkubasi berlangsung maka kadar sulfat yang dihasilkan akan semakin tinggi (Bilen & Dick, 2011). Keberadaan bakteri pengoksidasi sulfur akan membantu proses oksidasi sulfur menjadi sulfat di dalam tanah (Ullah et al., 2014). Kemampuan *Klebsiella variicola* dalam membantu meningkatkan kadar sulfat yang lebih tinggi di tanah vertisol dibandingkan dengan perlakuan pemberian bakteri yang lain dapat dijadikan dasar pemilihan *Klebsiella variicola* menjadi bakteri yang terpilih untuk diujicoba dalam penelitian di lahan yaitu dalam membantu meningkatkan kadar sulfat tanah vertisol pada pertanaman bawang merah untuk menunjang pertumbuhan dan hasil tanaman bawang merah.

Selulosa adalah komponen utama struktur tubuh tumbuhan. *Klebsiella variicola* merupakan bakteri yang dapat menghasilkan enzim selulase. Enzim selulase adalah enzim yang mampu

merombak bahan organik selulosa menjadi glukosa, sehingga bakteri penghasil enzim selulosa mempunyai potensi kemampuan merombak selulosa yang terdapat pada tumbuhan / tanaman menjadi glukosa (Gopinath et al., 2014). *Klebsiella variicola* yang mempunyai kemampuan menghasilkan enzim selulase menyebabkan bakteri tersebut mempunyai potensi sebagai agen hayati untuk bioaktivator proses pengomposan karena dapat mempercepat proses dekomposisi bahan organik tumbuhan/tanaman untuk lebih cepat terurai.

Peningkatan kadar sulfat tanah optimal sebesar 66,85 % pada pemberian bakteri *Klebsiella variicola* terjadi pada lama inkubasi optimum selama 6,5 hari. Pemberian bakteri *Klebsiella aerogenes* pada tanah vertisol diperoleh peningkatan kadar sulfat optimal sebesar 30,28 % terjadi pada lama inkubasi optimum selama 5,8 hari. Pemberian bakteri *Burkholderia cepacia* pada tanah vertisol diperoleh peningkatan kadar sulfat optimal sebesar 12,03 % terjadi pada lama inkubasi optimum selama 7,9 hari. Pemberian bakteri *Bacillus* sp pada tanah vertisol diperoleh peningkatan kadar sulfat optimal sebesar 6,42 % terjadi pada lama inkubasi selama 10,5 hari. Kemampuan *Klebsiella variicola* dalam membantu meningkatkan kadar sulfat yang lebih tinggi ditanah

vertisol dibandingkan dengan perlakuan pemberian bakteri yang lain dapat dijadikan dasar pemilihan *Klebsiella variicola* menjadi bakteri yang terpilih untuk diuji coba dalam penelitian di lahan yaitu dalam membantu meningkatkan kadar sulfat tanah vertisol pada pertanaman bawang merah untuk menunjang pertumbuhan dan hasil tanaman bawang merah.

KESIMPULAN

Klebsiella variicola merupakan bakteri yang mempunyai kemampuan meningkatkan jumlah sulfat yang terbaik di tanah vertisol melalui reaksi oksidasi sulfur menjadi sulfat. Pemberian bakteri jenis *Klebsiella variicola* dengan lama inkubasi selama 3 hari meningkatkan kadar sulfat 69,11 % lebih baik dibandingkan dengan perlakuan yang lain. Peningkatan kadar sulfat tanah optimal sebesar 66,85 % pada pemberian bakteri *Klebsiella variicola* terjadi pada lama inkubasi optimum selama 6,5 hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Behera, B. C., Patra, M., Dutta, S. K., & Thatoi, H. N. (2014). Isolation and characterisation of sulphur oxidising bacteria from mangrove soil of Mahanadi River Delta and their sulphur oxidising ability. *Journal of Applied & Environmental Microbiology*, 2 (1), 1–5. <https://doi.org/10.12691/ajmr-2-1-6>
- Behera, B. C., Singh, S. K., Patra, M.,

- Mishra, R. R., K.Sethi, B., Dutta, S. K., & Thatoi, H. N. (2016). Partial purification and characterisation of sulphur oxidase from *Micrococcus* sp. and *Klebsiella* sp. isolated from mangrove soils of Mahanadi River Delta, Odisha, India. *Universal Journal of Microbiology Research*, 4 (3), 66 – 78. <https://doi.org/10.13189/ujmr.2016.040302>
- Bilen, S., & Dick, W. A. (2011). Sulfite oxidase enzyme activity in soil. *Biology and Fertility of Soils*, 47(6), 647–654. <https://doi.org/10.1007/s00374-011-0564-2>
- Eviati, S. (2009). *Analisis Kimia Tanah, Tanaman Air dan Pupuk*. Balai Penelitian Tanah, Balai Besar Litbang Sumber Daya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian.
- Gopinath.S.M, Shareef, I., Ashalatha, & Ranji, S. (2014). Isolation, screening and purification of cellulase from cellulase producing *Klebsiella variicola* RBEB3 (KF036184.1). *International Journal of Science and Research (IJSR) ISSN (Online Impact Factor*, 3(6), 1398–1403.
- Hidayat, M. Y., Saud, H. M., & Samsudin, A. A. (2017). Isolation and characterisation of sulphur oxidizing bacteria isolated from hot spring in Malaysia for biological deodorisation of hydrogen sulphide in chicken manure. *Media Peternakan*, 40(3), 178–187. <https://doi.org/10.5398/medpet.2017.40.3.178>
- Indratin, I., Poniman, P., & Riyanto, S. (2019). Teknologi remediasi residu endosulfan di lahan bawang merah. *Prosiding seminar nasional kesiapan sumber daya pertanian dan inovasi spesifik lokasi memasuki era industri 4.0*, 53–59.
- Juwanda, M., Sakhidin, Sapparso, & Kharisun. (2020). Soil properties and sulfur-oxidizing bacterial diversity in response to different planting patterns of shallot (*Allium ascalonicum*). *Biodiversitas*, 21(6), 2832–2839. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210661>
- Martínez-Romero, E., Rodríguez-Medina, N., Beltrán-Rojel, M., Toribio-Jiménez, J., & Garza-Ramos, U. (2018). *Klebsiella variicola* and *Klebsiella quasipneumoniae* with capacity to adapt to clinical and plant settings. *Salud Publica de Mexico*, 60 (1), 29 – 40. <https://doi.org/10.21149/8156>
- Pivovarov, T. A., Bulaev, A. G., Roshchupko, P. V., Belyi, A. V., & Kondrat'eva, T. F. (2012). Oxidation of sulfur-containing substrates by aboriginal and experimentally designed microbial communities. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 48 (6), 577 –582. <https://doi.org/10.1134/S0003683812060099>
- Puspitasari, D., Pramono, H., & Oedjijono, O. (2014). Identifikasi bakteri pengoksidasi besi dan sulfur berdasarkan gen 16S rRNA dari lahan tambang timah di Belitung. *Scripta Biologica*, 1(1), 8–14. <https://doi.org/10.20884/1.sb.2014.1.1.12>
- Rajagopal, V., Ramakrishnan, P., & Ramaiyan, B. (2009). Sulphur oxidizing bacteria and pulse nutrition - A Review. *World Journal of Agricultural Sciences*, 5(June 2016), 270–278.
- Sager, M. (2012). Levels of sulfur as an essential nutrient element in the soil-crop-food system in austria. *Agriculture (Switzerland)*, 2 (1), 1 – 11. <https://doi.org/10.3390/agriculture2010001>
- Santosa, M., Suryanto, A., & Maghfoer, M. D. (2015). Application of biourine on

- growth and yield of shallot fertilized with inorganic and organic fertilizer in Batu, East Java. *Agrivita*, 37(3), 290–295. <https://doi.org/10.17503/Agrivita-2015-37-3-p290-295>
- Silverstein, T. P. (2011). Oxidation and reduction: too many definitions? *Journal of Chemical Education*, 88(3), 279–281. <https://doi.org/10.1021/ed100777q>
- Suzuki, I. (1999). Oxidation of inorganic sulfur compounds: Chemical and enzymatic reactions. *Canadian Journal of Microbiology*, 45(2), 97–105. <https://doi.org/10.1139/w98-223>
- Ullah, I., Jilani, G., Khan, K. S., Akhtar, M. S., & Rasheed, M. (2014). Sulfur oxidizing bacteria from sulfur rich ecologies exhibit high capability of phosphorous solubilization. *International Journal of Agriculture and Biology*, 16(3), 550–556.
- Yenni. (2012). Ameliorasi tanah sulfat masam potensial untuk budidaya tanaman bawang merah (*Allium ascalonicum* L .) Amelioration of potential sulphidic soil for onion cultivation (*Allium ascalonicum* L .). *Jurnal Lahan Suboptimal*, 1 (1), 40 – 49.
- Zhou, W., Wan, M., He, P., Li, S., & Lin, B. (2002). Oxidation of elemental sulfur in paddy soils as influenced by flooded condition and plant growth in pot experiment. *Biology and Fertility of Soils*, 36(5), 384–389. <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0547-4>