

KARAKTERISASI BAKTERI SELULOLITIK DARI RHIZOSFER TANAMAN JATI DI LAHAN BEKAS TAMBANG BATU GAMPING TEKNIK *GROOVE* *PLANTING SYSTEM* PASCA APLIKASI *VERMICOMPOSTING*

Hana Dwi Andayani¹, Sriwulan^{1*}, Dwi Oktafitria¹, Agrifa Tarigan²

¹ Program Studi Biologi, Universitas PGRI Ronggolawe

² PT Semen Indonesia (Persero) Tbk. Pabrik Tuban

* Email: biowulan08@gmail.com

ABSTRAK

Adanya bakteri selulolitik di lahan reklamasi dapat menjadi indikator tingkat kesuburan tanah sekaligus keberhasilan reklamasi secara biologis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik bakteri selulolitik pada rhizosfer tanaman jati di lahan bekas tambang batu gamping teknik GPS (*Groove Planting System*) pasca aplikasi *vermicomposting* di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Pabrik Tuban. Jenis penelitian yang dilakukan adalah observasi. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu pengambilan sampel tanah, pembuatan media CMC, isolasi bakteri selulolitik, purifikasi isolat, karakterisasi bakteri selulolitik dengan pengamatan makroskopis berupa warna, bentuk, elevasi, dan tepian koloni, pengamatan mikroskopis berdasarkan hasil pewarnaan gram, serta uji biokimia berupa uji katalase dan uji respirasi. Berdasarkan penelitian, didapatkan tujuh isolat bakteri selulolitik yaitu SL1, SL2, SL3, SL4, SL5, SL6, dan SL7 pada rhizosfer tanaman jati. Isolat SL1, SL2, SL3, dan SL5 dengan karakteristik bentuk sel *bacil*, gram positif, katalase positif, dan respirasi aerob memiliki kemiripan karakteristik dengan genus *Bacillus*, isolat SL4 dengan karakteristik gram negatif, bentuk sel *coccobacil*, katalase positif, dan respirasi aerob memiliki kemiripan karakteristik dengan genus *Alteromonas*, isolat SL6 dengan karakteristik gram negatif, bentuk sel *bacil*, katalase positif, dan respirasi aerob memiliki kemiripan karakteristik dengan genus *Azotobacter*, dan isolat SL7 dengan karakteristik gram positif, bentuk sel *coccobacil*, katalase positif, dan respirasi aerob memiliki kemiripan karakteristik dengan genus *Cellulomonas*.

Kata Kunci: bakteri selulolitik; lahan bekas tambang batu gamping; rhizosfer tanaman jati

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki kekayaan sumber daya alam yang besar seperti lahan pertambangan yang tersebar di berbagai wilayah Indonesia. Adanya kekayaan alam seperti lahan pertambangan terus dieksplorasi untuk memenuhi kebutuhan manusia hingga saat ini (Munir & Setyowati, 2017). Hal tersebut menjadi peluang dalam peningkatan sektor industri di Indonesia dalam pembangunan nasional.

Kabupaten Tuban merupakan kota industri di Jawa Timur dengan salah satu industri terbesarnya yaitu industri semen. Pemenuhan bahan baku industri semen ini didukung dengan adanya pegunungan kapur di Kabupaten Tuban. Oleh karena itu, pendirian pabrik di Kabupaten Tuban banyak dilakukan sebagai pusat produksi. Industri semen nasional pertama yang mendirikan pabrik di Kabupaten Tuban adalah PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.

PT. Semen Indonesia adalah perusahaan BUMN yang melakukan penambangan batu gamping (CaCO_3). Kegiatan penambangan merupakan usaha dalam menggali sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui (Nursanto dkk., 2019). Aktivitas pertambangan untuk pemenuhan bahan baku tentu menyebabkan dampak negatif terhadap lingkungan, seperti terjadinya pencemaran yang menurunkan status biodiversitas flora dan fauna, menurunnya kualitas lingkungan, serta meningkatnya laju erosi. Untuk itu, perlu adanya reklamasi untuk menangani dampak pertambangan.

Reklamasi sangat erat kaitannya dengan aktivitas pertambangan dan juga memiliki peran penting dalam kelestarian lahan bekas tambang (Nurtjahyani dkk., 2018). Menurut Peraturan Menteri ESDM, adanya reklamasi bertujuan untuk memulihkan, menata, sekaligus meningkatkan kualitas lingkungan maupun ekosistem agar berfungsi seperti semula. Keberhasilan reklamasi salah satunya dapat ditentukan berdasarkan parameter kualitas tanah, dimana kualitas tanah dapat diukur

dari parameter fisika, kimia, maupun biologi. Berdasarkan parameter biologi, keberadaan mikroorganisme tanah dapat menjadi penentu keberhasilan reklamasi. Pertumbuhan tanaman di lahan reklamasi dapat didukung oleh meningkatnya pertumbuhan dan jenis mikroorganisme tanah. Salah satu mikroorganisme tanah yang aktivitasnya mendukung pertumbuhan tanaman dan berperan dalam penyediaan unsur hara adalah bakteri selulolitik.

Interaksi bakteri selulolitik dapat terjadi di sekitar rhizosfer. Pemanfaatan bakteri selulolitik untuk mempercepat dekomposisi limbah organik merupakan pendekatan yang ramah lingkungan, hemat biaya, dan dapat meningkatkan kesuburan tanah (Shamshitov dkk., 2022). Rhizosfer menjadi tempat yang baik untuk bakteri selulolitik karena bahan organik banyak disediakan oleh akar tanaman, hal ini tentu memberi stimulasi terhadap pertumbuhan bakteri selulolitik (Nwachukwu dkk., 2021). Begitupun dengan rhizosfer tanaman-tanaman yang digunakan dalam reklamasi lahan bekas tambang, seperti contohnya tanaman jati. Selain nilai ekonominya yang tinggi, tanaman jati juga dapat tumbuh dengan baik di tanah berkapur sehingga banyak digunakan dalam proses reklamasi lahan bekas tambang.

Penelitian terdahulu mengenai skrining bakteri selulolitik yang berasal dari *vermicomposting* tandan kosong kelapa sawit (Azizah dkk., 2014), tanah kebun pisang (*Musa paradisiaca*) (Astriani, 2017), lumpur mangrove pantai Pandaratan (Ananda dkk., 2023). Penelitian terkait eksplorasi bakteri selulolitik dari lahan bekas tambang batu kapur telah dilakukan oleh Khasanah dkk. (2023). Namun, eksplorasi tersebut dilakukan pada rhizosfer tanaman nyamplung dengan sistem reklamasi GPS (*Groove Planting System*). Sementara, penelitian terkait karakterisasi bakteri selulolitik dari rhizosfer tanaman jati pada lahan bekas tambang batu gamping teknik GPS (*Groove Planting System*) pasca aplikasi *vermicomposting* di PT. Semen Indonesia Pabrik Tuban belum pernah dilakukan. Maka dari itu, penelitian tersebut perlu dilakukan, sehingga dapat memberikan informasi terkait bakteri selulolitik dari rhizosfer tanaman jati yang memiliki potensi sebagai faktor keberhasilan reklamasi. Selain itu isolat bakteri selulolitik yang diperoleh dapat dikembangkan sebagai agen dekomposer untuk pengolahan serasah tanaman menjadi kompos, terutama tanaman jati yang pada musim kemarau selalu menggugurkan daunnya.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Juni-Juli 2024 di Laboratorium Biologi Universitas PGRI Ronggolawe.

Alat dan Bahan

Alat yang dibutuhkan saat sampling tanah yaitu sekop, sarung tangan, plastik klip, dan kertas label. Alat yang diperlukan untuk karakterisasi bakteri selulolitik adalah tabung reaksi, labu erlenmeyer, pipet tetes, rak tabung reaksi, gelas beaker, pengaduk, jarum ose, plastik *wrap*, cawan petri, aluminium foil, tisu, bunsen, korek api, kapas, *cover glass*, *object glass*, jangka sorong, termometer, *soil tester*, sarung tangan lateks, timbangan analitik, autoklaf, mikroskop, inkubator, *hot plate*, *Laminar Air Flow* (LAF), *vortex*, dan buku *Bergey's Manual of Systemic Bacteriology, Seventh Edition*. Sementara bahan dalam penelitian ini antara lain akuades, NaCl 1M, spiritus, H₂O₂, Alkohol 70%, NaCl 0,9% steril, KH₂PO₄, (NH₄)SO₄, MgSO₄.7H₂O, yeast extract, CaCl₂2H₂O, agar, CMC (*Carboxymethyl Cellulose*), *Nutrient Broth* (NB), safranin, iodine, *crystal violet*, lugol, dan sampel tanah dari rhizosfer tanaman jati pada lahan bekas tambang batu gamping teknik GPS pasca aplikasi *vermicomposting* di PT. Semen Indonesia Pabrik Tuban.

Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan pada rhizosfer tanaman jati di lahan bekas tambang batu gamping teknik GPS pasca aplikasi *vermicomposting* di PT. Semen Indonesia Pabrik Tuban. Sampel tanah diambil pada tiga titik dalam setiap alur, yaitu pada 12 alur tanaman jati yang kemudian dikompositkan. Tanah diambil di kedalaman sekitar 0-30 cm menggunakan sekop, kemudian dimasukkan ke dalam *ziplock* yang telah diberi label, selanjutnya dimasukkan dalam *cooler box* untuk dibawa ke laboratorium biologi Universitas PGRI Ronggolawe.

Pembuatan media CMC

Pembuatan media CMC membutuhkan 15 gr agar, 1 gr $(\text{NH}_4)\text{SO}_4$, 0,2 gr $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 5 gr CMC, 1,36 gr KH_2PO_4 , 0,01 gr $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 2 gr NaCl, 1 gr *yeast* ekstrak yang dimasukkan ke 1 liter akuades. Media dipanaskan di atas *hotplate* dan dihomogenkan. Pada proses sterilisasi, media dimasukkan ke dalam *autoclave* dengan suhu 121°C selama ± 15 menit (Gupta dkk., 2012).

Isolasi Bakteri Selulolitik

Sebanyak 25 gr sampel tanah dimasukkan ke 225 ml larutan 0,9% NaCl steril lalu dihomogenkan, larutan ini adalah pengenceran 10^{-1} . Dilanjutkan pengambilan 1ml suspensi dari pengenceran 10^{-1} lalu dimasukkan ke 0,9% NaCl steril 9 ml. Tahap ini dilakukan berulang hingga mendapat pengenceran 10^{-5} . Tujuan dilakukan pengenceran adalah untuk mengurangi jumlah mikroorganisme dalam sampel yang terlalu padat. Dalam penelitian ini, bakteri selulolitik diisolasi menggunakan metode *pour plate* pada pengenceran 10^{-3} hingga 10^{-5} (Ananda dkk., 2023). Sebanyak 1ml suspensi diambil dari tiga tingkat pengenceran tersebut, lalu ditetaskan dalam cawan petri kemudian dituangkan media CMC secara aseptis dan dilakukan sebanyak dua kali pengulangan (*duplo*). Selanjutnya cawan petri diputar searah angka delapan untuk menghomogenkan. Kemudian media diinkubasi terbalik selama ± 48 jam dengan suhu 30°C (Fauziah & Ibrahim, 2020).

Purifikasi Isolat

Pada tahap purifikasi, koloni bakteri yang tumbuh berbeda fisik dipisahkan menggunakan metode *streak plate* dengan jarum ose ke media CMC padat. Kemudian diinkubasi dengan suhu 30°C selama ± 24 jam. Purifikasi dilakukan untuk memperoleh *single colony* sebagai bahan karakterisasi bakteri selulolitik.

Karakterisasi Bakteri Selulolitik

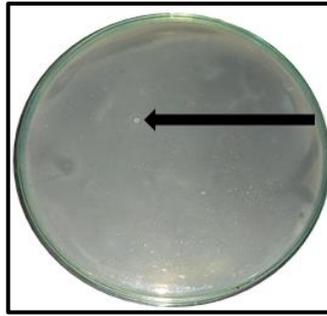
Karakterisasi bakteri dilakukan berdasarkan pengamatan makroskopis (bentuk, warna, tepi, dan elevasi koloni), pengamatan mikroskopis (pewarnaan gram), dan uji biokimia (uji respirasi dan uji katalase). Uji katalase pada bakteri dilakukan dengan meneteskan H_2O_2 3% di *object glass* steril. Kemudian biakan bakteri dioleskan pada *object glass* yang telah ditetesi H_2O_2 menggunakan jarum ose. Terbentuknya gelembung gas menunjukkan reaksi positif pada uji katalase. Uji respirasi dapat diamati menggunakan media cair *Nutrient Broth* (NB). Isolat bakteri diambil dengan ose secara aseptis lalu diinokulasikan ke media *Nutrient Broth* kemudian diinkubasi dengan suhu 30°C selama 24 jam. Kemudian diamati akumulasi pertumbuhan bakteri (Sriwulan, 2014). Selanjutnya, data yang ada dikumpulkan sebagai bahan identifikasi bakteri tingkat genus dengan cara mencocokkan hasil karakterisasi dengan buku *Bergey's Manual of Systemic Bacteriology, Seventh Edition*.

Analisis Data

Analisis data penelitian ini menggunakan teknik analisis deskriptif, dengan menganalisa dan mendeskripsikan data yang telah terkumpul dari hasil karakterisasi bakteri selulolitik dengan isolat dari rhizosfer tanaman jati di lahan bekas tambang batu gamping di lahan bekas tambang batu gamping teknik GPS pasca aplikasi *vermicomposting* di PT. Semen Indonesia Pabrik Tuban. Data disajikan dalam bentuk tabel maupun gambar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Menurut hasil penelitian ini, sebanyak tujuh isolat bakteri selulolitik telah berhasil diisolasi. Tujuh isolat ini merupakan bakteri selulolitik yang tumbuh selama masa inkubasi 48 jam pada media CMC (Gambar 1). Selama proses pengamatan, isolat menunjukkan pertumbuhan yang relatif cepat, hal ini sejalan dengan pernyataan Rudiansyah dkk., (2017) yaitu bakteri selulolitik memiliki waktu pertumbuhan yang singkat daripada bakteri lainnya.



Gambar 1. Hasil Isolasi Bakteri Selulolitik pada media CMC (Anak panah menunjukkan salah satu koloni bakteri selulolitik)

Bakteri yang tumbuh pada media CMC menunjukkan bahwa bakteri tersebut memanfaatkan selulosa dalam media CMC sebagai sumber karbon. Beberapa faktor lingkungan yang mempengaruhi keberadaan bakteri selulolitik yaitu pH, suhu, dan kelembaban tanah (Wahyuni dkk., 2015).

Rata-rata suhu tanah pada rhizosfer tanaman jati pada lahan bekas tambang batu gamping teknik GPS pasca aplikasi *vermicomposting* di PT. Semen Indonesia Pabrik Tuban adalah 35°C. Pengukuran suhu tanah ini dilakukan di siang hari pada musim kemarau sehingga suhu cenderung lebih tinggi. Umumnya, bakteri selulolitik dapat mendegradasi dengan hasil yang tinggi pada suhu 27-36°C (Rudiansyah, 2017). Berdasarkan penelitian Kurniawati dkk. (2019), batas optimum suhu dalam menghasilkan selulase adalah 40°C. Nilai pH pada lokasi pengambilan sampel tergolong netral, yaitu 7. Menurut (Khairiah dkk., 2013), keasaman pH dalam tanah mampu menghambat aktivitas enzim pada bakteri. pH optimum pertumbuhan bakteri selulolitik sebesar 5-7 (Wahyuni dkk., 2015). Sementara itu, kelembaban tanah pada lokasi pengambilan sampel tergolong kering. Isolat bakteri yang ditemukan dalam penelitian ini tentu dipengaruhi oleh lapisan tanah yang diambil, yaitu pada kedalaman 0-30 cm yang merupakan lapisan tanah *top soil*. Jumlah bakteri akan semakin berkurang seiring bertambahnya kedalaman tanah (Irfan, 2014). Hasil pengamatan bakteri selulolitik dari rhizosfer tanaman jati kemudian diberi kode SL (Selulolitik).

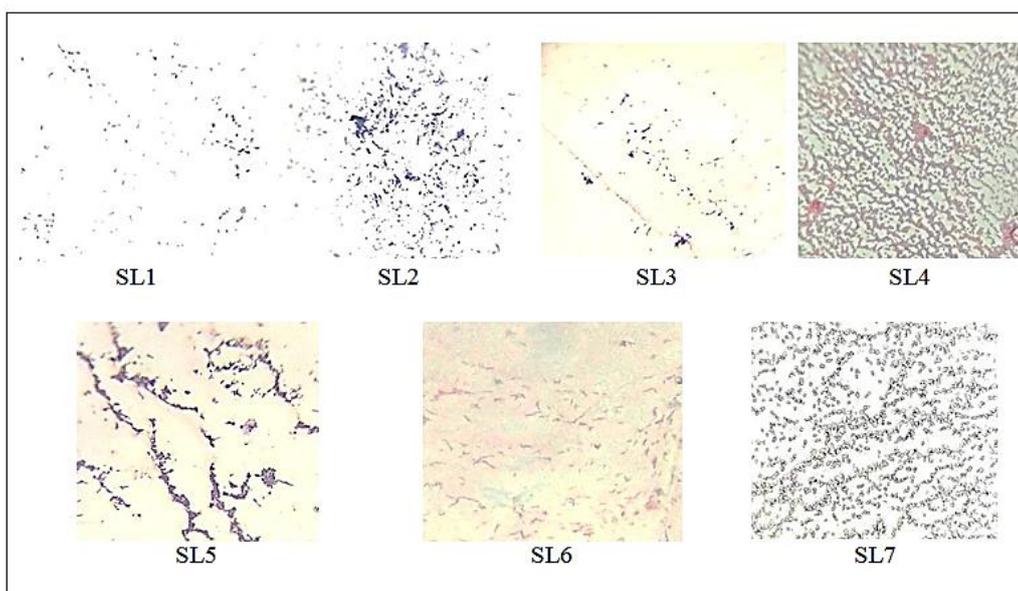
Tabel 1. Hasil Pengamatan Bakteri Selulolitik yang Didapatkan dari Rhizosfer Tanaman Jati

	Karakteristik	Kode Isolat						
		SL1	SL2	SL3	SL4	SL5	SL6	SL7
a k r o s k o p i s	Bentuk	Bulat	Lonjong	Tidak beraturan	Tidak beraturan	Tidak beraturan	Tidak beraturan	Bulat
	Warna	Putih susu	Putih bening	Putih	Putih	Putih	Putih bening	Kuning
	Tepi	Bertitik	Halus	Halus	Bergerigi	Berlekuk	Berkarang	Halus
	Elevasi	Datar	Datar	Datar	Datar	Datar	Datar	Datar

i k r o s k o p i s	Sifat Gram	+	+	+	-	+	-	+
	Bentuk Sel	<i>Bacil</i>	<i>Bacil</i>	<i>Bacil</i>	<i>Coccobacil</i>	<i>Bacil</i>	<i>Bacil</i>	<i>Coccobacil</i>
i o k i m i a	Katalase	+	+	+	+	+	+	+
	Respirasi	Aerob	Aerob	Aerob	Aerob	Aerob	Aerob	Aerob

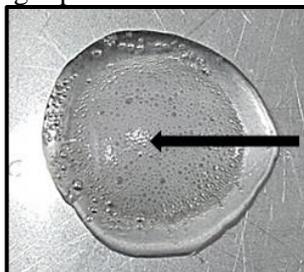
Karakteristik tujuh isolat bakteri yang telah diamati ditunjukkan oleh Tabel 1. Berdasarkan hasil pengamatan makroskopis, tujuh isolat bakteri selulolitik memiliki bentuk bulat, lonjong, dan tidak beraturan. Warna koloni bakteri terdiri dari putih, putih bening, putih susu, dan kuning. Sedangkan tepi koloni bakteri terdiri dari halus, bergerigi, berlekuk, berkarang, dan bertitik. Selain itu, seluruh isolat memiliki elevasi yang sama yaitu datar.

Karakterisasi mikroskopis menunjukkan bahwa isolat SL1, SL2, SL3, SL5, dan SL7 merupakan gram positif, sedangkan SL4 dan SL6 merupakan gram negatif. Bentuk sel dari isolat SL1, SL2, SL3, SL5, dan SL6 adalah *bacil*. Sedangkan SL4 dan SL7 memiliki bentuk sel *coccobacil*. Setelah pengamatan mikroskopis, warna ungu yang muncul menunjukkan bahwa bakteri tersebut merupakan bakteri gram positif. Sedangkan bakteri gram negatif ditandai dengan warna merah. Hal ini dikarenakan bakteri gram positif dapat mempertahankan warna kristal violet setelah dibilas dengan alkohol pada saat tahap pewarnaan gram (Nurhidayati dkk., 2015). Bakteri gram positif memiliki 50% dinding sel terdiri atas lapisan peptidoglikan (Putri, 2021). Sedangkan bakteri gram negatif memiliki lapisan peptidoglikan yang cenderung tipis dimana akan kehilangan kompleks kristal violet. Hasil pewarnaan gram ditunjukkan pada Gambar 2.



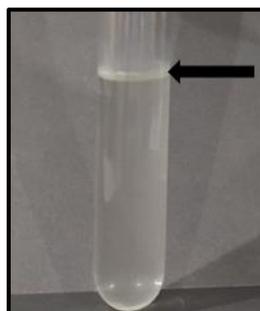
Gambar 2. Hasil Pengamatan Mikroskopis (Sifat Gram dan Bentuk Sel) dengan Perbesaran Mikroskop 10x40.

Tabel 1. menunjukkan bahwa semua isolat memiliki reaksi positif katalase. Gelembung gas muncul setelah penambahan H_2O_2 3% (Antriana, 2014)(Gambar 3). Hal ini menandakan seluruh isolat bakteri mampu memproduksi enzim katalase. Enzim ini mampu memecah hidrogen peroksida menjadi oksigen dan air. Hal ini sesuai dengan pernyataan Arifin dkk. (2019) bahwa gelembung gas terbentuk karena hidrogen peroksida yang dipecah oleh enzim katalase.



Gambar 3. Hasil Uji Katalase Bakteri Selulolitik (Anak panah menunjukkan gelembung gas yang menandakan reaksi positif dari uji katalase)

Selanjutnya adalah uji respirasi. Tujuan dari uji respirasi bakteri adalah untuk mengetahui seberapa baik bakteri dalam memanfaatkan oksigen di lingkungannya. Bakteri digolongkan menjadi bakteri aerob, aerob obligat, anaerob obligat, anaerob fakultatif, aerotoleran anaerob, capnophiles, dan mikroaerofilik berdasarkan kebutuhan oksigennya (Tjampakasari & Hanifah, 2023). Tabel 1. Menunjukkan seluruh isolat memiliki respirasi aerob, hal ini ditandai dengan adanya warna keruh pada permukaan media cair NB (*Nutrient Broth*) setelah diinkubasi selama 24 jam (Gambar 4).



Gambar 4. Hasil Uji Respirasi Bakteri Selulolitik (Anak panah menunjukkan warna keruh pada permukaan media cair NB yang menandakan respirasi bakteri secara aerob)

Hasil uji respirasi aerob pada bakteri selulolitik berkaitan dengan reaksi positif dari uji katalase. Bakteri yang hidup di lingkungan aerob dapat membentuk senyawa hidrogen peroksida, sehingga bakteri tersebut dapat menguraikan senyawa hidrogen peroksida dengan enzim katalase (Dewi, 2013).

Bakteri yang telah diamati kemudian diidentifikasi menggunakan buku identifikasi *Bergeys* untuk mengetahui genus bakteri selulolitik yang telah diisolasi. Berdasarkan hasil identifikasi *Bergeys*, didapatkan empat genus bakteri yaitu *Bacillus*, *Alteromonas*, *Azotobacter*, dan *Cellulomonas*.

Isolat SL1, SL2, SL3, dan SL5 mempunyai kesamaan karakteristik dengan genus *Bacillus*. Keempat isolat tersebut termasuk bakteri aerob, bentuk sel *bacil*, gram positif, katalase positif. Genus ini memiliki respirasi aerob ataupun anaerob fakultatif (Breed dkk., 1957). *Bacillus* banyak ditemukan di tanah dengan habitat yang bermacam-macam. Beberapa spesies bakteri tersebut patogen terhadap hewan (Holt dkk., 1994). Biswas dkk., (2020) menambahkan bahwa *Bacillus* memiliki aktivitas degradasi selulosa yang tinggi. Genus ini mendominasi 45% rhizosfer (Khairani

dkk., 2019). Suhu optimal pertumbuhan *Bacillus* yaitu 28-35°C (Puspita dkk., 2017). *Bacillus* dapat tumbuh pada kisaran pH 7-11 (Zahidah & Shovitri, 2013). Hal ini sesuai dengan pengukuran tanah di rhizosfer tanaman jati pada lokasi pengambilan sampel, yaitu rata-rata suhu sebesar 35°C dan pH sebesar 7.

Isolat SL4 memiliki karakteristik yang mengarah pada genus *Alteromonas*. Isolat SL4 memiliki karakteristik gram negatif, bentuk sel *coccobacil*, katalase positif, dan termasuk bakteri aerob. Genus *Alteromonas* memiliki sel *coccobacil*, gram negatif, aerob, dan motil. Selain itu, bakteri ini positif terhadap uji katalase (Holt dkk., 1994).

Isolat SL6 memiliki kemiripan karakteristik dengan genus *Azotobacter*. Isolat SL6 memiliki karakteristik bentuk sel *bacil*, gram negatif, katalase positif, dan termasuk bakteri aerob. Menurut Kaburuan dkk. (2014), karakteristik bakteri genus *Azotobacter* yaitu berbentuk *bacil*, termasuk gram negatif, bersifat motil maupun non motil, koloni berwarna putih, respirasi aerob maupun anaerob fakultatif. *Azotobacter* mampu menghasilkan ZPT (Zat Pengatur Tumbuh) berupa gliberelin untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman (Marista dkk., 2013).

Isolat SL7 memiliki karakteristik bentuk sel *coccobacil*, gram positif, katalase positif, dan termasuk bakteri aerob. Karakteristik isolat SL7 memiliki kemiripan dengan Genus *Cellulomonas*. Genus ini bersifat gram positif, memiliki koloni yang berbentuk batang pendek hingga bulat, dan menunjukkan reaksi positif pada uji katalase. Genus *Cellulomonas* terdistribusi di dalam tanah yang berfungsi untuk mensekresikan enzim selulase (Karina, 2016). Bakteri genus *Cellulomonas* sebagian motil dan non motil, tergolong aerob dan anaerob, dan memiliki koloni berwarna kuning (Pramono dkk., 2021).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan tujuh isolat bakteri selulolitik yaitu SL1, SL2, SL3, SL4, SL5, SL6, dan SL7 pada rhizosfer tanaman jati dari lahan bekas tambang batu gamping teknik GPS pasca aplikasi *vermicomposting* di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Pabrik Tuban. Setelah karakterisasi makroskopis, mikroskopis, dan biokimia, empat genus bakteri selulolitik ditemukan. Berdasarkan hasil karakterisasi secara makroskopis, mikroskopis dan biokimia, didapatkan empat genus bakteri. Isolat SL1, SL2, SL3, dan SL5 dengan karakteristik gram positif, bentuk sel *bacil*, katalase positif, respirasi aerob memiliki kemiripan karakteristik dengan genus *Bacillus*; isolat SL4 dengan karakteristik gram negatif, bentuk sel *coccobacil*, katalase positif, dan respirasi aerob memiliki kemiripan karakteristik dengan genus *Alteromonas*; isolat SL6 dengan karakteristik gram negatif, bentuk sel *bacil*, katalase positif, dan respirasi aerob memiliki kemiripan karakteristik dengan genus *Azotobacter*; dan isolat SL7 dengan karakteristik gram positif, bentuk sel *coccobacil*, katalase positif, dan respirasi aerob memiliki kemiripan karakteristik dengan genus *Cellulomonas*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ananda, D., Rasyidah, R., & Mayasari, U. (2023). Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Selulolitik Dari Lumpur Mangrove Pantai Pandaratan Kecamatan Sarudik Kabupaten Tapanuli Tengah Provinsi Sumatera Utara. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*, 25(1), 20–27.
- Antriana, N. (2014). Isolasi bakteri asal saluran pencernaan rayap pekerja (*Macrotermes* spp.). *Saintifika*, 16(1).
- Arifin, Z., Gunam, I. B. W., Antara, N. S., & Setiyo, Y. (2019). Isolasi Bakteri Selulolitik Pendegradasi Selulosa dari Kompos. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri ISSN*, 2503, 488X.
- Astriani, M. (2017). Skrining Bakteri Selulolitik Asal Tanah Kebun Pisang (*Musa paradisiaca*). *Jurnal Biota*, 3(1), 6–10.
- Azizah, S. N., Muzakhar, K., & Arimurti, S. (2014). Skrining Bakteri Selulolitik Asal Vermicomposting Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Berkala Sainstek*, 2(1), 26–30.
- Biswas, S., Saber, M. Al, Tripty, I. A., Karim, M. A., Islam, M. A., Hasan, M. S., Alam, A. S. M. R. U., Jahid, M. I. K., & Hasan, M. N. (2020). Molecular Characterization of Cellulolytic (Endo-And Exoglucanase) Bacteria from The Largest Mangrove Forest (Sundarbans), Bangladesh. *Annals of Microbiology*, 70, 1–11.
- Breed, E. S., Murray, E. G. D., & Smith, N. R. (1957). *Bergey's Manual Of Determinative Bacteriology*.

- Dewi, A. K. (2013). Isolasi, Identifikasi dan Uji Sensitivitas *Staphylococcus aureus* terhadap Amoxicillin dari Sampel Susu Kambing Peranakan Ettawa (PE) Penderita Mastitis di Wilayah Girimulyo, Kulonprogo, Yogyakarta. *Jurnal Sain Veteriner*, 31(2), 138–150.
- Fauziah, S. I., & Ibrahim, M. (2020). Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Selulolitik pada Tanah Gambut di Desa Tagagiri Tama Jaya, Kecamatan Pelangiran, Kabupaten Inhil, Riau. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 9(3), 194–203.
- Gupta, P., Samant, K., & Sahu, A. (2012). Isolation of Cellulose-Degrading Bacteria and Determination of Their Cellulolytic Potential. *International Journal of Microbiology*, 2012(1), 578925.
- Holt, J. G., Krieg, N. R., Sneath, P. H. A., Staley, J. T., & Williams, S. T. (1994). *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. 9th. Baltimore: William & Wilkins, 786–788.
- Irfan, M. (2014). Isolasi dan Enumerasi Bakteri Tanah Gambut di Perkebunan Kelapa Sawit PT. Tambang Hijau Kecamatan Tambang Kabupaten Kampar. *Jurnal Agroteknologi*, 5(1), 1–8.
- Kaburuan, R., Hapsoh, H., & Gusmawartati, G. (2014). Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Penambat Nitrogen Non-Simbiotik Tanah Gambut Cagar Biosfer Giam Siak Kecil-Bukit Batu. *Jurnal Agroteknologi*, 5(1), 35–39.
- Karina, A. I. (2016). *Isolasi dan Identifikasi Bakteri Penambat Nitrogen, Pelarut Fosfat, dan Bakteri Pendegradasi Selulosa pada Tanah Bekas Tanaman Bawang Merah (Allium cepa L.) yang Diberi Biofertilizer*. Universitas Airlangga.
- Khairani, K., Aini, F., & Riany, H. (2019). Karakterisasi Dan Identifikasi Bakteri Rizosfer Tanaman Sawit Jambi. *Al-Kaunyah: Jurnal Biologi*, 12(2), 198–206.
- Khairiah, E., Khotimah, S., & Mulyadi, A. (2013). Karakterisasi dan Kepadatan Bakteri Pendegradasi Selulosa pada Tanah Gambut di Desa Parit Banjar Kabupaten Pontianak. *Protobiont*, 2(2).
- Khasanah, N. U., Ardianita, N., Azizah, A. I. N., Sriwulan. (2023). Eksplorasi dan Analisis Potensi Bakteri Selulolitik Rizosfer Tanaman Nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) Lahan Pasca Tambang Batu Gamping dalam Mendegradasi Selulosa.
- Kurniawati, L., Kusdiyantini, E., & Wijanarka, W. (2019). Pengaruh Variasi Suhu dan Waktu Inkubasi Terhadap Aktivitas Enzim Selulase dari Bakteri *Serratia marcescens*. *Jurnal Akademika Biologi*, 8(1), 1-9.
- Marista, E., Khotimah, S., & Linda, R. (2013). Bakteri Pelarut Fosfat Hasil Isolasi dari Tiga Jenis Tanah Rizosfer Tanaman Pisang Nipah (*Musa paradisiaca var. nipah*) di Kota Singkawang. *Protobiont*, 2(2).
- Munir, M., & Setyowati, R. D. N. (2017). Kajian Reklamasi Lahan Pasca Tambang di Jambi, Bangka, dan Kalimantan Selatan. *Klorofil*, 1(1).
- Nurhidayati, S., Faturrahman, F., & Ghazali, M. (2015). Deteksi Bakteri Patogen yang Berasosiasi dengan *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Bergejala Penyakit Ice-Ice. *Jurnal Sains Teknologi & Lingkungan*, 1(2).
- Nursanto, E., Jamal, F. I., & Amri, N. A. (2019). Analisis Produksi pada Kemajuan Tambang Menggunakan Metode Fotogrametri UAV (Unmanned Aerial Vehicle) di Kuari Batu Gamping PT Semen Indonesia (Persero) Pabrik Tuban Jawa Timur. *Jurnal Teknologi Pertambangan*, 4(2), 187–195.
- Nurtjahyani, S. D., Oktafitria, D., Sriwulan, S., Ashuri, N. M., Cintamulya, I., & Purnomo, E. (2018). Identifikasi dan Karakterisasi Keanekaragaman Mikoriza pada Lahan Reklamasi Bekas Penambangan Batu Kapur di Kabupaten Tuban. *Prosiding Seminar Nasional Hayati*, 6, 293–299.
- Nwachukwu, B. C., Ayangbenro, A. S., & Babalola, O. O. (2021). Elucidating The Rhizosphere Associated Bacteria for Environmental Sustainability. *Agriculture*, 11(1), 75.
- Pramono, H., Mariana, A., Ryandini, D., & Sudiana, E. (2021). Diversity of Cellulolytic Bacteria Isolated from Coastal Mangrove Sediment in Logending Beach, Kebumen, Indonesia. *Biodiversitas: Journal of Biological Diversity*, 22(4).
- Puspita, F., Ali, M., & Pratama, R. (2017). Isolasi Dan Karakterisasi Morfologi dan Fisiologi Bakteri *Bacillus Sp.* Endofitik Dari Tanaman Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis Jacq.*). *Jurnal Agroteknologi Tropika*, 6(2), 44–49.
- Putri, M. H. (2021). *Mikrobiologi Keperawatan Gigi*. Penerbit NEM.

- Rudiansyah, D. Rahmawati, R. (2017). Eksplorasi Bakteri Selulolitik dari Tanah Hutan Mangrove Peniti, Kecamatan Segedong, Kabupaten Mempawah. *Protobiont*, 6(3).
- Shamshitov, A., Decorosi, F., Viti, C., Fornasier, F., Kadžienė, G., & Supronienė, S. (2022). Characterisation of Cellulolytic Bacteria Isolated from Agricultural Soil in Central Lithuania. *Sustainability*, 15(1), 598.
- Sriwulan, S., Oktafitria, D., Nurtjahyani, S. D., Arifin, A. Z., Purnomo, E., & Tarigan, A. (2022). Rekayasa Vermikomposting pada Lahan Reklamasi Tambang Batu Gamping dengan Teknik Tanam Groove Planting System (GPS) Untuk Pengayaan Organisme Tanah.
- Tjampakasari, C. R., & Hanifah, N. (2023). Kultivasi dan Identifikasi Bakteri Anaerob *Bacteroides fragilis*. *MAHESA: Malahayati Health Student Journal*, 3(11), 3717–3729.
- Wahyuni, D., Khotimah, S., & Linda, R. (2015). Eksplorasi Bakteri Selulolitik pada Tingkat Kematangan Gambut yang Berbeda di Kawasan Hutan Lindung Gunung Ambawang Kabupaten Kubu Raya. *Jurnal Protobiont*, 4(1), 69–76.
- Zahidah, D., & Shovitri, M. (2013). Isolasi, Karakterisasi dan Potensi Bakteri Aerob sebagai Pendegradasi Limbah Organik. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 2(1), E12–E15.