

**Isolasi dan Identifikasi Bakteri Halotoleran pada Tanah Salinitas di Pesisir
Pantai Sulamu**

Rida Susila Waruwu¹, Yosep Lawa², Yantus A.B Neolaka³, Heru Christianto⁴

¹⁻⁴Pendidikan Kimia, FKIP-Universitas Nusa

Cendana e-mail korespondensi:

ridasusilawaruwu@gmail.com

ABSTRAK

Bakteri halotoleran merupakan bakteri yang mampu hidup dilingkungan salinitas maupun tanpa garam. Tanah salinitas pesisir pantai Sulamu menjadi salah satu habitat dari bakteri halotoleran, keberadaan bakteri ini dalam tanah mampu mengatasi masalah pertanian dilahan salinitas. Tujuan penelitian ini mengisolasi dan mengidentifikasi bakteri untuk mengetahui jenis bakteri halotoran yang sudah diisolasi dari tanah serta mengetahui potensi bakteri untuk mengembangkan pertanian. Isolasi bakteri yang dilakukan menggunakan metode pengenceran bertingkat pada media NA dan uji halotoleran pada media TSA. Identifikasi yang dilakukan meliputi pengamatan makroskopis, mikroskopis dan uji biokimia (uji MIO, uji urease, uji sitrat, dan uji hidrolisis gula) diperoleh tiga isolat bakteri halotoleran dari lokasi 1 sampai 3 yang secara morfologi dan biokimia dikelompokkan kedalam genus *Bacillus* dengan spesies yang berbeda. Bakteri *Bacillus* memiliki banyak potensi dalam mengembangkan pertanian di lahan salin yaitu: meningkatkan unsur hara dalam tanah, menurunkan pH tanah, memproduksi hormon IAA, antibiotik tanaman, dan penghasil enzim ekstraseluler untuk memacu pertumbuhan tanaman

Kata kunci : *Bacillus*, Bakteri halotolerant, salinitas.

ABSTRACT

*Halotolerant bacteria are bacteria that are able to live in a salinity environment or without salt. Sulamu coastal salinity soil is one of the habitats of halotolerant bacteria, the presence of this bacteria in the soil is able to overcome agricultural problems in salinity land. The purpose of this study is to isolate and identify bacteria to find out the type of halotoran bacteria that have been isolated from the soil and to determine the potential of bacteria to develop agriculture. Bacterial isolation was carried out using the cascade dilution method on NA media and halotolerance test on TSA media. The identification carried out included macroscopic observations, microspices and biochemical tests (MIO test, urease test, citrate test, and sugar hydrolysis test) obtained three isolates of halotolerant bacteria from locations 1 to 3 which were morphologically and biochemically grouped into the genus *Bacillus* with different species. *Bacillus* bacteria have a lot of potential in developing agriculture in saline land, namely: increasing nutrients in the soil, lowering soil pH, producing IAA hormones, plant antibiotics, and producing extracellular enzymes to spur plant growth.*

Keywords: *Bacillus*, halotolerant bacteria, salinity soil.learn

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan wilayah kepulauan yang memiliki 106.000 KM garis pantai dengan lebih dari 1.000.000 hektar lahan yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai lahan pertanian [1]. Jika tanah memiliki unsur hara yang cukup dan tidak berlebihan, populasi hama dan penyakit tanaman kecil, dan juga drainase sangat baik maka akan menentukan berhasilnya suatu pertanian. Jika tidak maka sebaliknya akan menyebabkan kegagalan panen dan berpengaruh besar pada kesejahteraan petani serta terbatasnya ketersediaan bahan pangan.

Salinitas menjadi salah satu faktor penyebab terbatasnya pertumbuhan dan produktifitas tanaman yang di akibatkan oleh kadar garam yang tinggi dalam tanah. Sebagian tanaman budidaya sensitif. Salinitas mempengaruhi semua tahap pertumbuhan tanaman, mulai dari perkecambahan, pertumbuhan benih, dan sampai pada hasil produksi tanaman [2]). Lahan salin adalah tanah yang memiliki kandungan natrium berlebihan atau berada di ambang batas toleransi tanaman. Kandungan kadar garam mudah larut dalam lahan salin seperti (NaCl , Na_2CO_3 , Na_2SO_4) yang tinggi didalam tanah akhirnya menyebabkan menurunnya ketersediaan unsur Ca, Mg, dan K untuk tanaman. Berdasar pada penelitian sebelumnya berbagai permasalahan apabila tanah salin digunakan untuk menanam tanaman diantaranya: menurunkan kemampuan tumbuhan untuk menyerap air sehingga menyebabkan penurunan percepatan pertumbuhan, pertumbuhan akar, batang, serta luas daun yang kecil yang disebabkan oleh ketidak seimbangan metabolik akibat dari keracunan ion NaCl , cekaman osmotik, serta kurangnya unsur hara dalam tanah. Dampak dari lahan salin ini yakni (1) mengurangi kemampuan tanaman untuk menyerap air sehingga menyebabkan penurunan percepatan pertumbuhan dan (2) penyerapan garam yang berlebih sehingga terjadi keracunan pada daun tua. Selain itu, kandungan garam berlebihan di dalam tanah juga menjadi faktor terbatasnya produktifitas tanaman, terganggunya pertumbuhan dan fungsi- fungsi fisiologis tanaman secara normal umumnya pada jenis-jenis tanaman pertanian (Amirjani et al., 2015).

Untuk mengatasi cekaman salinitas pada tanaman ada beberapa upaya yang dilakukan yaitu pemanfaatan teknologi mikroba. Penggunaan teknologi mikroba yang dimaksud dalam hal ini merupakan pemanfaatan mikroba, khususnya bakteri penghuni tanah yang toleran tumbuh pada tanah dengan tingkat salinitas tinggi dan dapat dimanfaatkan untuk memperbaiki kualitas tanah dan memainkan peran penting dalam rantai makanan (Widawati et al., 2015). Satu diantaranya bakteri yang dimanfaatkan dalam hal ini adalah bakteri halotoleran yang mampu hidup pada tanah salin, dimana bakteri ini bisa didapatkan di tanah. Pada dasarnya pemanfaatan mikroorganisme dalam tanah banyak dilakukan karena perannya yang dapat memecahkan masalah di lingkungan hidup. Perannya yang besar menjadi alasan untuk dilakukan isolasi dan identifikasi bakteri yang keberadaannya melimpah dalam tanah [5].

Pesisir pantai sulamu yang sudah menjadi lahan salinitas akibat dari intrusi air laut menjadi salah satu habitat dari bakteri halotoleran, selain itu juga disekitar pesisir pantai ditemukan adanya pertumbuhan tanaman atau rumput walaupun dalam jumlah yang sedikit sehingga diduga adanya bakteri halotoleran yang mendukung pertumbuhan tanaman atau rumput tersebut sehingga tetap bertahan untuk tumbuh walaupun diatas tanah salinitas. Beberapa hasil penelitian pemanfaatan bakteri halotoleran telah banyak dilaporkan seperti pengawet makanan, penghasil enzim hidrolase, lipase, protease, amilase, sesulase, biopolimer, dan juga agen biomremidasi (Salsabil et al., 2023). Bakteri

halotoleran memiliki potensi menghasilkan berbagai metabolit yang dapat di manfaatkan dalam bidang bioteknologi, sebagai pigmen *bacterioruberin*, *kartotenoid* sebagai agen protektif guna mencegah kerusakan oksidatif, [7]. Maka dari itu peneliti tertarik melakukan penelitian **“Isolasi dan Identifikasi Bakteri Halotoleran pada Tanah Salinitas Pesisir Pantai Sulamu”** sehingga dapat diketahui jenis bakterinya dan dikembangkan potensi dari baktri halotoleran.

METODE

Penelitian dilakukan laboratorium pendidikan biologi, Univeritas Nusa Cendana pada bulan Mei-Juni 2024. Bahan yang perlukan dalam penelitian ini ialah tanah dari pesisir pantai Sulamu, media NA (*Nutrient Agar*), media TSA (*Triple Sugar Agar*), Bahan yang digunakan untuk uji biokimia adalah, Media MIO (*Motility Indol, Ornithine*), media TSIA (*Triple Sugar Iron Agar*), media Urease, dan media *simmons citrate agar*, *reagen covah*, idikator *phenol red*, alkohol 70%, kristal violet, lugol, aseton, *safranin*, dan auades. Alat yang digunaan daam peneitian ini adalah sekop, pH meter, autoklaf, inkubator, laminar flow, mikropipet, jarum ose, cawan petri, bunsen, erlenmeyer, tabung reaksi, rak tabung reaksi, gelas ukur, pipert ukur, gelas beaker, pengaduk magnet, *hot plate*, plastik wrap, neraca analitik, dan mikroskop (Salsabil et al., 2023).

Prosedur kerja yang dilakukan dalam penelitian ini ialah:

- 1) Pengambilan sampel, sampel diambil dari tanah sekitar pesisir pantai Sulamu, Kelurahan Sulamu, Kecamatan Sulamu, Kabupaten Kupang-NTT. Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan metode *purposive sampling* atau sampel diambil pada titik tertentu [8]. Sampel diambil pada jarak 200 meter dari bibir pantai dengan titik koordinat (10°02'26.9"S 123°36'32.8"8 U). Sampel diambil di kedalaman 10 cm, di ambil sebanyak 100 gram kemudian di masukkan kedalam plastik steril, kemudian sampel tanah di bawa ke laboratorium untuk diteliti lebih lanjut.
- 2) Pembuatan media, Media tanam bakteri dibuat menggunakan media *Nutrient Agar* (NA). Media NA sebanyak 2,8 gram dan di masukkan didalam erlemeyer lalu ditambahkan aquades sebanyak 100 ml (Handayani et al., 2018) . Media kemudian dihomogenkan menggunakan pengaduk dengan suhu 100-150°C menggunakan hotplate dan di sterilisasi dengan suhu 121°C selama 20 menit didalam autoklaf (Salsabil et al., 2023).
- 3) Isolasi bakteri, dilakukan menggunakan metode *plating method*. Diambil sampel tanah sebanyak 10 gram dan dimasukkan kedalam erlenmeyer 250 ml yang sudah diisi dengan 90 ml larutan NaCl 0,9 %, setelah itu dihomogenkan, hingga sampai pada pengenceran tingkat pengenceran 10^{-1} sampai 10^{-5} . Isolasi bakteri menggunakan pengenceran ke 10^{-3} sampai 10^{-5} yang bertujuan guna meminimalisir kepadatan koloni bakteri serta mewakili semua jenis bakteri yang terdapat pada sampel (sari et al., 2020).
- 4) Pemurnian bakteri, purifikasi menggunakan metode *streak plate* (goresan) kemudian dilapisi menggunakan plastik wrap, lalu diinkubasi pada suhu 26°C sampai bakteri tumbuh sampai menjadi kultur murni [11].
- 5) Uji halotoleran, dilakukan dengan menggunakan media *Tryptic Soy Agar* (TSA) tanpa garam. Isolat murni diinokulasi pada media dan di inkubasi pada suhu 32°C selama 48 jam. Apabila ditemukan pertumbuhan koloni dalam media maka bisa dipastikan bahwa isolat tersebut tergolong bakteri halotoleran. Jika koloni tumbuh

dalam media maka dipastikan isolat tersebut merupakan bakteri halotoleran (Salsabil et al., 2023).

- 6) Pengamatan makroskopik dan mikroskopik, pengamatan makroskopis dilakukan dengan mengobservasi secara langsung ciri morfologi koloni isolat bakteri yang tumbuh dalam media agar diantaranya: margin, warna, elevasi, tekstur, dan bentuk guna mendapatkan karakteristik khusus yang diinginkan [12]. Pengamatan mikroskopis dilakukan menggunakan pewarnaan gram untuk mengobservasi karakteristik morfologi sel bakteri.

- 7) Uji biokimia

Uji motilitas dilakukan dengan mengambil isolat bakteri menggunakan jarum ose lalu menusukkannya kedalam tabung yang berisi media MIO, kemudian di inkubasikan pada suhu 37°C selang 24 jam [13], lihat dan amati pertumbuhan bakteri dalam media. Jika isolat dalam media tumbuh dan menyebar serta tidak terlihat garis tusukan (keruh) maka bakteri bersifat motil, akan tetapi jika isolat tumbuh dalam media dan tidak menyebar serta terlihat garis tusukan (tidak keruh) maka bakteri bersifat nonmotil [14].

Uji urease dilakukan dengan mengambil satu ose isolat bakteri menggunakan jarum ose lalu di inokulasi secara zig-zag dipermukaan media urease miring dan diinkubasi selang 24 jam pada suhu 35°C. Uji positif apabila terjadi perubahan warna media menjadi merah muda, dan uji negatif apabila tidak ada perubahan warna pada media [15].

Uji sitrat dilakukan dengan mengambil 1 ose kultur bakteri di inokulasikan dalam medium *simmon's citrate* secara miring, dan diinkubasi pada suhu 37°C selang 24 jam. Uji sitrat diobservasi dengan membandingkan medium *simmon's citrate* yang diinokulasikan isolat bakteri terhadap kontrol (tanpa inokulasi bakteri). Apabila terjadi perubahan warna media yang semula hijau menjadi warna biru maka hal ini menunjukkan bahwa bakteri mampu menggunakan sitrat sebagai satu satunya sumber karbon (Handayani et al., 2018).

Uji hidrolisis gula (TSIA), dilakukan dengan mengambil 1 ose isolat bakteri menggunakan jarum ose lalu diinokulasikan dengan cara ditusukkan dalam media TSIA. Setelah itu ambil lagi 1 ose isolat bakteri lalu digoreskan pada permukaan media. Kemudian diinkubasi selang 48 jam pada suhu 37°C . Hal yang diamati setelah diinkubasi yaitu perubahan warna media, apabila media berwarna kuning menandakan asam, media berwarna merah menandakan basa, adanya endapan hitam dalam media menandakan terbentuknya H₂S, dan jika media terangkat dalam tabung reaksi menandakan bahwa bakteri tersebut bisa untuk memproduksi gas.

Uji hipotesis dalam penelitian ini menggunakan program SPSS 25.

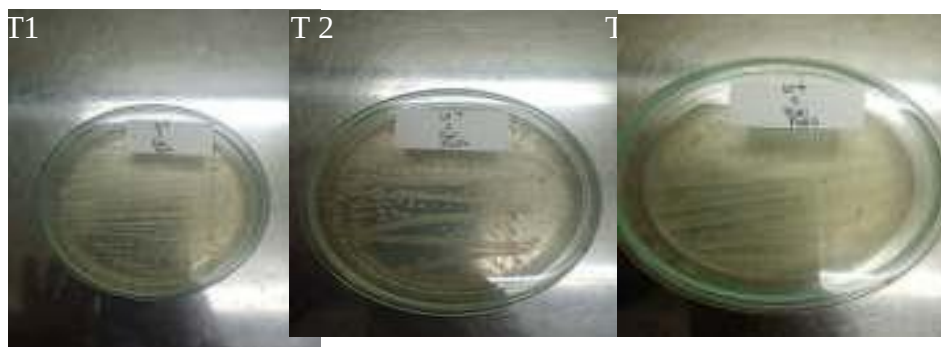
HASIL

Dalam penelitian ini sampel diambil dari tiga titik lokasi yang berbeda dengan jarak 50 meter dari bibir pantai dengan titik koordinat (10°02'26.9"S 123°36'32.8"U). Kemudian sampel dibawa ke laboratorium untuk dilakukan analisis pH dan daya hantar listrik. Adapun nilai pH dan EC (*Electrical Conductivity*) sampel yang telah diambil adalah: sampel 1 pH 9,1 dan EC 8,5 ms/cm, sampel ke 2 pH 8,8 dan EC 4,9 ms/cm, dan sampel 3 pH 9,1 dan EC 8,3 ms/cm. Hasil isolasi bakteri menggunakan media NA dilihat adanya pertumbuhan mikroorganisme yang memiliki ciri makroskopis berbentuk bulat (*oval*) berwarna putih, krem, dan putih susu, ada yang melebar dan menyebar disekeliling medium. Isolat yang tumbuh pada media NA menandakan bahwa bakteri mampu memanfaatkan NA sebagai sumber nutrisi. Hal ini sesuai dengan penelitian [7] yang mengatakan bahwa bakteri halotoleran mampu hidup di media NA karena media ini mengandung protein dan karbohidrat yang berasal dari ekstrak daging dan pepton sehingga mampu memenuhi nutrisi yang dibutuhkan sebagian besar bakteri. Walaupun isolat bakteri telah tumbuh dalam media NA namun masih belum bisa diidentifikasi karena pertumbuhan koloni dalam setiap cawan berbeda-beda, untuk itu perlu dilakukan pemurnian (purifikasi) bakteri agar lebih mudah untuk diidentifikasi.



Gambar 1 Hasil Isolasi Bakteri

Hasil pemurnian bakteri yang sudah dipurifikasi dan ditumbuhkan kembali dalam media NA, isolat bakteri tumbuh pada media NA baru mengikuti garis inokulasi dan juga ada yang menyebar di seluruh media. Isolat bakteri berwarna putih, berbentuk bulat, timbul diatas media dan ada juga yang datar.



Gambar 2 Isolat Pemurnian Bakteri

Hasil uji halotoleran menggunakan media TSA menunjukkan bahwa bakteri mampu hidup di media TSA dibuktikan dengan pertumbuhan bakteri yang mengikuti garis goresan, artinya bahwa ketiga isolat bakteri yang ditumbuhkan pada media merupakan bakteri halotoleran karena bakteri mampu hidup di tanah salinitas dan juga tumbuh di

media tanpa garam. Temuan yang diperoleh mendukung penelitian sebelumnya membuktikan bahwa bakteri halotoleran mampu hidup dilingkungan yang memiliki kadar garam hingga 25% dan juga bisa hidup di lingkungan tanpa garam (Salsabil et al., 2023).



Gambar 3 Hasil Uji Bakteri Halotoleran



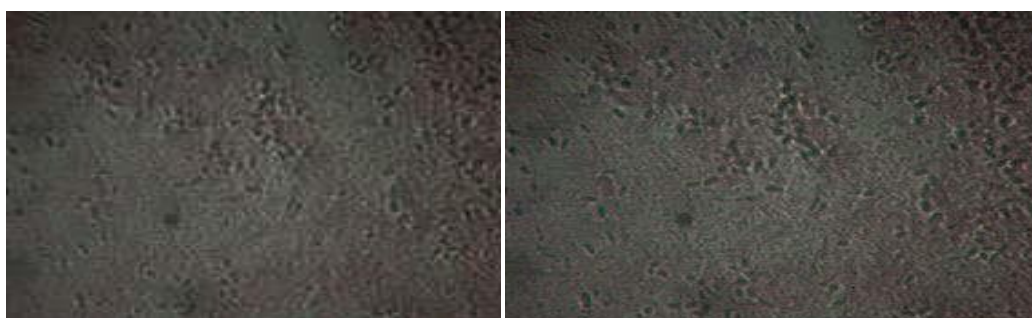
Gambar 4 Pengamatan Makroskopis Bakteri

Hasil pengamatan makroskopis bisa diamati pada **Gambar 4**. Berdasarkan pengamatan makroskopis yang dilakukan morfoloi koloni bakteri memiliki ciri-ciri sebagai berikut.

Tabel 1 Pengamatan Makroskopis Bakteri

Karakteristik Morfologi	Isolat		
	T1	T2	T3
Bentuk	Bulat	Bulat	Bulat
Tepi	Rata	Rata	Rata
Warna	Putih	Putih	Putih
Elevasi	Cembung	Datar	Cembung
Tekstur	Berlendir	Berlendir	Berlendir

Hasil pengamatan mikroskopis yang dilakukan menggunakan teknik pewarnaan gram untuk membedakan bakteri gram positif dan gram negatif serta mengetahui bentuk morfologi dari sel bakteri yang diamati. Berdasarkan hasil pengamatan pewarnaan gram bakteri yang telah dilakukan, T1-T3 merupakan bakteri gram positif berbentuk batang (*basil*) hal ini dibuktikan dengan warna bakteri yang dilihat menggunakan mikroskop berwarna ungu dimana isolat ini memiliki dinding sel yang



tebal sehingga mampu mempertahankan warna ungu dari *kristal violet* walaupun sudah ditambahkan alkohol.



Gambar 5 Hasil Pewarnaan Gram Bakteri

Hasil uji biokimia yang dilakukan menggunakan 3 tempat uji dapat dilihat pada gambar dibawah ini



(a) Hasil Uji MIO



(b) Hasil Uji Urease



(c) Hasil Uji Sitrat



(d) Hasil Uji Hidolisis Gula

Gambar 6. Hasil Uji Biokimia (a) Hasil Uji MIO, (b) Hasil Uji Urease, (c) Hasil Uji Sitrat, (d) Hasil Uji Hidolisis Gula

Hasil uji motilitas dalam penelitian pada T1-T3 di bekas tusukan isolat bakteri terdapat warna putih dan menyebar diseluruh permukaan media seperti akar, serta terjadinya kekeruhan pada media menjadi sedikit lebih bening dari warna media sebelumnya. Berdasarkan hasil pengamatan yang sudah dilakukan maka isolat bakteri dalam media MIO bersifat motil. Jika bakteri tumbuh menyebar dalam media serta media menjadi keruh seperti kabut setelah ditanamkan isolat bakteri secara tegak lurus pada media MIO menandakan bakteri bersifat motil [16].

Berdasarkan hasil pengamatan isolat bakteri pada media MIO, isolat bakteri pada T1-T3 menghasilkan uji *indol* negatif dibuktikan dengan tidak terbentuknya cincin merah pada bagian atas media karena isolat bakteri tidak mengandung enzim *tryptophanase* sehingga tidak mampu menghidrolisis *tryptofan* untuk diubah menjadi *indol*, sehingga tidak memproduksi warna merah pada media MIO [17]. Berdasarkan hasil pengamatan isolat bakteri pada media MIO, isolat pada lokasi T1-T3 pada media MIO berubah warna

menjadi kuning, perubahan warna ini membuktikan bahwa uji *ornithin* negatif (-) hal ini disebabkan karena bakteri tidak mampu mengubah *ornitin* menjadi asam amino dan terjadinya perubahan pH dalam media akibat produk metabolisme bakteri.

Hasil uji urease pada Isolat bakteri di lokasi T1-T3 menunjukkan hasil positif (+) dibuktikan oleh perubahan warna media menjadi merah muda pada ketiga media. Warna merah muda pada media muncul karena adanya amonia hasil dari pemecahan ikatan karbon dan nitrogen yang menyebabkan kondisi media menjadi alkali atau basa, sehingga indikator phenol merah dapat mengubah warna media menjadi merah muda.

Hasil uji sitrat isolat bakteri isolat bakteri pada media *simmon's citrate*. Isolat bakteri pada T1 dan 3 hasilnya positif, hal ini dibuktikan dengan warna media yang awalnya hijau dalam suasana asam terjadi perubahan menjadi berwarna biru dalam suasana basa. Perubahan warna ini disebabkan karena bakteri menggunakan natrium sitrat sebagai sumber karbon dalam pertumbuhannya (Laila et al., 2021). Sedangkan isolat bakteri pada T2 hasilnya negatif hal ini dibuktikan dengan tidak berubahnya warna pada media. Hasil uji negatif menunjukkan kalau bakteri tidak mempunyai enzim *sitrat permease*

Hasil uji hidrolisis gula pada media TSIA Berdasarkan hasil uji hidrolisis gula pada media TSIA yang di dapatkan, isolat bakteri pada T1-T3 terbentuk endapan hitam dan tidak adanya rongga pada media atau media tidak terangkat. Temuan ini menunjukkan kalau bakteri di lokasi ini menghasilkan H₂S tetapi tidak menghasilkan gas, bakteri pada lokasi ini juga tidak dapat memfermentasi karbohidrat dibuktikan dengan warna media yang tidak berubah menjadi kuning atau merah. Artinya isolat bakteri di T1-T3 tidak memfermentasi karbohidrat sebagai sumber energinya namun dapat memanfaatkan H₂S sebagai sumber energinya, dibuktikan dengan warna media di lokasi ini berubah menjadi warna hitam yang menandakan bakteri menghasilkan H₂S yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energinya (Apriani et al., 2020).

PEMBAHASAN

Hasil Berdasarkan data hasil uji makrokopis, mikrokopis, dan uji biokimia yang telah didapatkan, dan juga dengan didasari paduan identifikasi bakteri dalam buku *Manual Of Determinatev Bacteriology* serta penelitian-penelitian sebelumnya, maka identifikasi isolat bakteri pada T1-T3 merupakan genus *Bacillus*. Isolat bakteri T1 dan T3 memiliki karakteristik yang sama juga dengan penelitian [20] yang menemukan bakteri *Bacillus*. Namun dalam penelitian ini tidak bisa dipastikan secara spesifik spesies dari setiap isolat karena keterbatasan uji yang dilakukan, masih banyak lagi uji biokimia yang seharusnya diamati untuk menentukan secara spesifik jenis bakteri yang ditemukan. Walaupun dengan keterbatasan uji yang dilakukan tapi dengan karakteristik yang sudah ditemukan maka bisa dipastikan bakteri T1-T3 merupakan bakteri genus bakteri *Bacillus* dengan spesies yang berbeda. Menurut buku *Bergey's Manual Of Determinatev Bacteriology Ninth Edition*, bakteri *Bacillus* merupakan bakteri berbentuk batang, gram positif, motil ada pula yang nonmotil, hal ini selaras dengan penelitian [20] yang mengidentifikasi bakteri *Bacillus* dengan karakteristik nonmotil. Hal ini juga didukung oleh penelitian [21] yang mengidentifkasi bakteri *Bacillus* dengan karakteristik yang sama nonmotil. Ciri umum morfologi koloni dari bakteri ini warna putih atau krem, bentuk bulat dan ada juga yang tidak beraturan, tepian rata atau tidak beraturan elevasi datar atau cembung, ukuran sedang atau kecil. Adapun klasifikasi bakteri *Bacillus* seperti dibawah ini:

Kingdom	: Bacteria
Filum	: Firmicutes
Kelas	: Bacili
Ordo	: Bacillales
Famili	: Bacillaceae
Genus	: <i>Bacillus</i>

Bacillus menghasilkan struktur khusus endospora sebagai pertahanan pada kondisi suhu yang ekstrim, kekeringan, salinitas, dan nutrisi yang kurang. Umumnya bersumber dari tanah, air tawar, air laut, akar tanaman, dan udara. Bakteri ini salah satu bakteri halotoleran karena bisa hidup di lingkungan yang salinitas dan juga tanpa garam [22]. Hal ini juga sudah diteliti dalam (Sari et al., 2010) menunjukkan bahwa bakteri *Bacillus* diberikan perlakuan dengan mengamati salinitas 0%- 3% bakteri ini mengalami pertumbuhan yang sangat baik. Kelimpahan bakteri *Bacillus* dalam memberikan manfaat yang besar khususnya dibidang pertanian. Bakteri ini berperan sebagai agen pengendali hayati dan juga memacu pertumbuhan pada tanaman. seperti meningkatkan unsur hara dalam tanah dengan dengan mengikat N₂ diatmosfer dan melarutkan fosfat. Bakteri melarutkan dengan cara menurunkan pH tanah, khelasi, dan mineralisasi. Umumnya bakteri memproduksi asam organik yang menurunkan pH tanah. Asam organik yang dihasilkan bakteri *Bacillus* sp adalah: 2-ketogluconic, citrit acid, acid malic, fumaric acid, tartaric acid, dan glukonic acid [24]. Selain itu bakteri ini juga mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan memproduksi fitohormon auksin berupa *Idole 3-Acetic Acid (IAA)*, *GA3*, dan *sitokinin*. yang dapat berfungsi untuk pertumbuhan akar dan tunas tanaman, endogen pada tanaman dapat diubah oleh fitohormon *IAA* yang sudah disekresikan oleh mikroba tanah sehingga produksi hormon *IAA* pada tanaman menjadi lebih banyak (Subakti et al., 2021).

Dalam penelitian Florianus (2020), bakteri *Bacillus* sp memiliki kemampuan sebagai antibiotik untuk menghambat pertumbuhan jamur patogen dengan menghasilkan senyawa metabolit, adapun senyawa metabolit yang dihasilkan oleh bakteri ini antara lain: *basilin*, *basitrasin*, *basilomisin*, *difficidin*, *oksidifisidin*, *lecithinase*, *subtilisin*, dan *fengycin*, hal ini biasanya dimanfaatkan para petani sebagai biopestisida [26] untuk tanaman selain itu bakteri ini juga menghasilkan senyawa anti fungi seperti *surfactin* dan *iturin* [27], bakteri ini juga menghasilkan enzim seperti enzim kinitase, protease, dan selulase untuk menghambat pertumbuhan fungi dan memacu pertumbuhan tanaman, dan enzim *siderofor* untuk meningkatkan kandungan klorofil pada daun [28]. dan memiliki kemampuan memacu pertumbuhan tanaman. Berdasarkan potensi yang dimiliki oleh bakteri *Bacillus* maka dapat disimpulkan bahwa bakteri ini berperan penting dalam meningkatkan produktivitas dan hasil pertanian mulai dari tanahnya, perkecambahan biji, tinggi tanaman, jumlah daun, dan hasil buah dari pertanian. Hal ini sejalan dengan pernyataan [29] yang mengatakan bahwa tanah yang mengandung bakteri genus *Bacillus* berdasarkan hasil uji fisik dan kimia tanah memiliki nilai kandungan hara yang lebih baik dibandingkan tanpa ada mikroorganisme tersebut. Senyawa fitohormon mampu memacu pertumbuhan tanaman, kemampuan bakteri sebagai PGCR meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit, dan akhirnya mampu meningkatkan hasil tanaman.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh penerapan media permainan ular tangga menggunakan *Quizwhizzer* terhadap hasil belajar siswa pada materi struktur atom di SMA Negeri 2 Kupang, dan terdapat pengaruh penerapan media permainan ular tangga menggunakan *Quizwhizzer* terhadap motivasi belajar siswa pada materi struktur atom di SMA Negeri 2 Kupang. Serta terdapat hubungan antara motivasi belajar dengan hasil belajar siswa setelah menggunakan media permainan ular tangga menggunakan *Quizwhizzer* pada materi struktur atom di SMA Negeri 2 Kupang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Q. Aini, N. Aini, W. S. Yamika, and A. Setiawan, "Skrining Bakteri Halotoleran Pemacu Pertumbuhan Tanaman yang Diisolasi dari Rimpang," vol. 44, no. 2, pp. 322–331, 2022.
- [2] J. Hendri and B. B. Saidi, "Pengaruh Ameliorasi Lahan yang Terkena Intrusi Air Laut terhadap Pertumbuhan dan Produksi Padi," *Pros. Semin. Nas. Lahan Suboptimal ke-8 Tahun 2020*, no. Komoditas Sumber Pangan untuk Meningkatkan Kualitas Kesehatan di Era Pandemi Covid-19", pp. 605–615, 2020.
- [3] M. Amirjani, "Effect of NaCl on Some Physiological Parameters of Rice Effect of NaCl on Some Physiological Parameters of Rice," no. October, 2015.
- [4] S. R. I. Widawati, "Peran bakteri fungsional tahan salin (PGPR) pada pertumbuhan padi di tanah berpasir salin," vol. 1, pp. 1856–1860, 2015, doi: 10.13057/psnmbi/m010818.
- [5] U. M. Batubara, I. O. Susilawati, and H. Riany, "Isolasi Dan Karakterisasi Bakteri Indigenous Tanah Di Kawasan Kampus Universitas Jambi Isolation And Characterization Of Indigenous Soil Bacteria In," pp. 243–250, 2015.
- [6] N. Salsabil Firda, K. Dewi, and E. N. N. Asih, "Bakteri Halofilik Dan Halotoleran Dari Air Baku Tambak Garam Universitas Trunojoyo Madura Salsabil Firda Nazhifan , Kartika Dewi *, Eka Nurrahema Ning Asih Halophilic and Halotolerant Bacteria from Raw Water of Salt Ponds of Trunojoyo University Madura," vol. 26, 2023, doi: <http://dx.doi.org/10.17844/jphpi.v26i1.44536>.
- [7] K. Eku, D. Gunawan, J. A. Priyanto, and N. Rachmania, "Seleksi dan Karakterisasi Bakteri Halotoleran Penghasil Enzim Amilase Dari Produk Fermentasi Ikan-Inasua Selection and Characterization of Halotolerant Bacteria that produce Amylase Enzyme from Fish-Inasua Fermented Food," vol. 9, no. 3, pp. 96–103, 2023.
- [8] I. Anbari, R. Fitriadi, M. Nurhafid, M. Palupi, and Rivani, "Isolasi Dan Karakterisasi Bakteri Proteolitik Dari Perairan Sistem Budidaya Mina Padi," Vol. 4, No. 2, Pp. 46–56, 2022.
- [9] S. Handayani, "Pada Lahan Praktek Mahasiswa Fakultas Biologi Universitas Medan Area Skripsi Oleh Program Studi Biologi Fakultas Biologi Universitas Medan Area Skripsi Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Di Fakultas Biologi Universitas Meda," 2018.
- [10] D. Purnama sari *et al.*, "3 * 1,2,3," vol. 4, no. 2, pp. 98–106, 2020.
- [11] E. S. Remijawa, A. D. N. Rupidara, J. Ngginak, and O. K. Radjasa, "Isolasi Dan Seleksi Bakteri Penghasil Enzim Ekstraseluler Pada Tanah Mangrove Di Pantai Noelbaki," vol. 5, no. 2, pp. 164–180, 2020, doi: <https://doi.org/10.31186/jenggano.5.2.164-180>.
- [12] D. A. Fitri *et al.*, "Journal Of Marine Resources And Coastal

- Management Morphological characteristics of halophilic bacteria in traditional salt production,” vol. 3, no. 1, pp. 1–7, 2022.
- [13] D. Yanti, Rahmawati, and R. Kurniatuhadi, “Karakteristik Morfologis Dan Fisiologis Bakteri Endofit Dari Akar Napas Tumbuhan *Avicennia marina*,” vol. 3, no. 2, pp. 166–183, 2021, doi: <https://doi.org/10.33059/jbs.v2i1.4220>.
- [14] J. F. Panjaitan, T. Bachtiar, I. Arsyad, and O. K. Lele, “Karakterisasi mikroskopis dan uji biokimia bakteri pelarut fosfat (bpf) dari rhizosfer tanaman jagung fase vegetatif,” vol. 1, no. 10, pp. 9–17, 2020.
- [15] Ayu, R. Muhammad, and A. La Ode Baytul, “Karakterisasi Biokimia Dan Identifikasi Isolat Bakteri Pada Makroalga *Padina Australis* Dari Perairan Pantai Tanjung Tiram,” *J. ILMU Kelaut.*, vol. 6, pp. 11–19, 2021, [Online]. Available: <http://ojs.uho.ac.id/index.php/js>
- [16] F. Wanda, Rasyidah, and M. Ulfayani, “Journal of Biological Sciences,” vol. 9, no. September, pp. 306–317, 2022, doi: 10.24843/metamorfosa.2022.v09.i02.p10.
- [17] A. M. Akhnah, D. A. Widyastuti, and R. C. Rachmawati, “Identifikasi Genera Bakteri Coliform Pada Air Sungai Desa Datar Kabupaten Jepara,” vol. 14, pp. 124–131, 2022, doi: 10.25134/quagga.v14i2.5061.Received.
- [18] N. roKHMATUL Laila, “Isolasi dan identifikasi bakteri toleran terhadap logam berat pb pada air dan sedimen di sungai porong sidoarjo jawa timur,” UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA, 2021.
- [19] I. Apriani, “Isolasi , Seleksi dan Karakterisasi Bakteri Mannolitik yang berasal dari Serasah Tanaman Sawit,” vol. 1, no. 1, pp. 42–46, 2020.
- [20] K. Cicilia, W. A. Lolo, and S. Sedewi, “Berasosiasi Dengan Alga *Turbinaria ornata* (Turner) J . Agardh SERTA,” vol. 8, pp. 351–359, 2019.
- [21] N. Wulandari, M. Irfan, and R. Saragih, “Isolasi Dan Karakterisasi Plant Growth Promoting Rhizobacteria Dari Rizosfer Kebun Karet Rakyat Isolation and Characterization of Plant Growth Promoting Rhizobacteria from the Rizosphere of Folk Rubber Plantations,” vol. 2019, pp. 57–64, 2019.
- [22] E. Karamoy, Fatmawati, and B. J. Kepel, “Isolasi dan Identifikasi Bakteri Resisten Merkuri melalui Analisis Gen 16S rRNA pada Urin Pasien dengan Tumpatan Amalgam,” vol. 5, 2020.
- [23] N. Sari, “Pengaruh Suhu dan Salinitas Terhadap Viabilitas Bakteri *Aeromonas hydrophila* DAN *Bacillus* sp.,” pp. 1–8, 2010.
- [24] A. A. P. Sidhiawan, Sukiaman, and Sarkono, “Pertumbuhan Tanaman Di Hutan Primer Resort Kembang Kuning Pendahuluan Resort Kembang Kuning merupakan salah satu Resort Taman Nasional Gunung Rinjani (TNGR) di bawah Seksi Pengelolaan Wilayah (SPW) II Lombok Timur , yang memiliki keanekaragaman hayati t,” vol. 11, no. 2, pp. 1017–1029, 2023.
- [25] B. Subakti and M. Ghufro, ““ Membangun Sinergi antar Perguruan Tinggi dan Industri Pertanian dalam Rangka Implementasi Merdeka Belajar Kampus Merdeka ’ Pengaruh Aplikasi *Bacillus* sp . terhadap Pertumbuhan TBM 1 beberapa Klon Kopi Robusta (*Coffea canephora* Pierre),” vol. 5, no. 1, pp. 58–64, 2021.
- [26] A. Setiaji, R. R. R. Annisa, and D. T. Rahmandhias, “Bakteri *Bacillus* Sebagai Agen Kontrol Hayati dan Biostimulan Tanaman,” *Rekayasa*, vol. 16, no. 1, pp. 96–106, 2023, doi: 10.21107/rekayasa.v16i1.17207.
- [27] Indriani, C. N. Ekowati, K. Handayani, and B. Irawan, “Potensi Antagonis *Bacillus* Sp Asal Kebun Raya Liwa (Krl) Sebagai Agen Pengendali Jamur *Fusarium* sp,” vol. 18, pp. 201–207, 2023.

- [28] R. Butarbutar, H. Marwan, and S. Mulyati, “(*Hevea brasiliensis*) Dan Potensinya Sebagai Agens Hayati,” vol. 1, no. 2, pp. 31–41, 2018.
- [29] A. Rahman, R. Rusmini, and D. Daryono, “Isolasi Dan Karakterisasi Morfologi Bakteri Dekomposer Limbah Kulit Udang Dan Limbah Kelapa,” *Median J. Ilmu Ilmu Eksakta*, vol. 14, no. 3, pp. 120–129, 2022, doi: 10.33506/md.v14i3.1996.