

No. Registrasi : 221190000052534

**LAPORAN AKHIR
PENELITIAN TERAPAN PENGEMBANGAN NASIONAL**

**ISOLASI, SELEKSI DAN KARAKTERISASI BAKTERI TOLERAN
KEKERINGAN DARI TUMBUHAN MANGROVE SEBAGAI PEMACU
PERTUMBUHAN TANAMAN DI LAHAN KERING**



OLEH

JUMARDDIN LA FUA (IAIN Kendari)

**DIAJUKAN KEPADA
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT
INSTITUT AGAMA ISLAM NEGERI KENDARI
TAHUN 2022**

DAFTAR ISI

	Hal
A. LATAR BELAKANG	1
B. RUMUSAN MASALAH	2
C. TUJUAN PENELITIAN	2
D. MANFAAT PENELITIAN	3
E. KAJIAN PENELITIAN TERDAHULU YANG RELEVAN	3
F. KAJIAN TEORI	5
1. Bakteri Pemacu Pertumbuhan	5
2. Peran Bakteri Pemacu Pertumbuhan	6
3. Peran Bakteri dalam Menghasilkan Hormon Tumbuh	6
4. Peran Bakteri sebagai Pelarut Fosfat	6
5. Peran Bakteri dalam Ketahanan Tanaman Terhadap Penyakit .	7
6. Peran Bakteri dalam Meningkatkan Ketahanan Tanaman Terhadap Cekaman	7
7. Peran Bakteri dalam Meningkatkan Pertahanan Tanaman	8
G. METODE PENELITIAN	8
1. Lokasi dan Waktu Penelitian	8
2. Prosedur Penelitian	9
3. Analisis Data	10
H. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	10
1. Kataristik Bakteri Asal Tumbuhan Mangrove yang Memiliki Potensi Sebagai Penginduksi Toleran Kekeringan	10
2. Kataristik Mikroba Asal Tumbuhan Mangrove Memiliki Potensi Sebagai Pemacu Pertumbuhan	20
3. Daya Hambat Bakteri Asal Tumbuhan Mangrove Dalam Menginduksi Ketahanan Tanaman Terhadap Fusarium	36
4. Kataristik Bakteri Asal Tumbuhan Mangrove Memiliki Potensi Terhadap Mutu Fisiologis Benih	49

I. PENUTUP	65
1. Kesimpulan	65
2. Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	73

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi bakteri yang terdapat pada tumbuhan mangrove yang memiliki potensi sebagai penginduksi ketahanan tanaman terhadap cekaman kekeringan, pemacu pertumbuhan, penginduksi ketahanan tanaman terhadap penyakit layu fusarium dan meningkatkan mutu fisiologi benih tanaman. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Terpadu FTIK IAIN Kendari dan Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Mandala Waluya Kendari. Penelitian berlangsung dari bulan Mei 2022 sampai dengan November 2022. Data hasil pengamatan dianalisis menggunakan analisis ragam dan data yang menunjukkan pengaruh nyata dilanjutkan dengan uji DMRT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa isolat bakteri yang dieksplorasi dari tanaman mangrove diperoleh sebanyak 72 Isolat bakteri yang terdiri dari 43 isolat bakteri endofit dan 29 isolat bakteri rhizosfer. Kemudian hasil seleksi diperoleh 18 bakteri endofit dan 13 bakteri rhizosfer memiliki ketahanan terhadap kekeringan pada tekanan osmotik -2,00 Mpa. Isolat bakteri rhizosfer dan bakteri endofit yang diisolasi dari tanaman mangrove memiliki kemampuan sebagai pemacu pertumbuhan yang ditandai dengan kemampuan menghasilkan IAA, fiksasi nitrogen dan melarutkan fosfat. Isolat bakteri rhizosfer dan bakteri endofit yang diisolasi dari tanaman mangrove memiliki kemampuan dalam menginduksi ketahanan tanaman terhadap fusarium yang ditandai dengan kemampuan daya hambat terhadap pathogen fusarium dan kemampuan menghasilkan HCN. Isolat bakteri rhizosfer dan bakteri endofit yang diisolasi dari tanaman mangrove memiliki kemampuan dalam meningkatkan mutu fisiologis tanaman yang ditandai dengan kemampuannya dalam meningkatkan daya berkecambah, potensi tumbuh maksimum, indeks vigor, laju perkecambahan, keserampakan tumbuh, kecepatan tumbuh relatif, pemunculan kecambah, dan berat kering kecambah normal.

Kata kunci: Bakteri rhizosfer, bakteri endofit, toleran kekeringan, pemacu pertumbuhan, fusarium, mutu fisiologis benih, tanaman mangrove.

A. LATAR BELAKANG

Isolasi senyawa bioaktif baru dari ekosistem laut yang beragam telah menjadikan mikrobiologi laut sebagai kajian yang sangat menarik. Meskipun terdapat keanekaragaman hayati yang luar biasa di lingkungan terestrial, keanekaragaman hayati terbesar terjadi di ekosistem laut (Zhang et al, 2005). Laut menempati lebih dari 70% dari total permukaan bumi dan merupakan habitat berbagai mikroorganisme. Ekosistem tersebut berkembang dalam kondisi khusus, seperti suhu rendah, salinitas tinggi, tekanan tinggi, dan cahaya rendah, dan merupakan bidang penelitian yang menarik bagi ahli mikrobiologi kelautan (Dhaka et al., 2017).

Ekosistem mangrove kaya akan bahan organik; Namun, secara umum, mereka adalah ekosistem yang kekurangan nutrisi, terutama nitrogen dan fosfor (Gonneea dkk., 2004), yang sangat diperlukan untuk pertumbuhan tanaman. Meskipun demikian, dalam skala global, mangrove adalah ekosistem produktif. Ini paradoks dapat dijelaskan dengan daur ulang yang sangat efisien yang membuat nutrisi langka dalam sistem. Aktivitas mikroba (bakteri dan jamur) bertanggung jawab atas transformasi nutrisi dalam ekosistem mangrove (Bashan & Holguin, 2002)). Baik bakteri rhizo dan endofit memainkan peran penting dalam kelangsungan hidup tanaman inang (Bibi et al., 2017).

Mikroorganisme menguntungkan yang dikenal sebagai plant growth-promoting (PGP) dapat memainkan peran penting. Kelompok bakteri ini dapat secara efektif menjajah akar tanaman dan menjaga kesuburan tanah dengan menawarkan alternatif yang menguntungkan untuk pupuk (Compant et al., 2017). Efektivitas PGP untuk meningkatkan pertumbuhan berbagai tanaman di bawah kondisi cekaman garam telah dilaporkan sebelumnya (Szymańska et al., 2018). Pemilihan awal PGP toleran garam yang diisolasi secara lokal untuk mitigasi salinitas sangat penting untuk memastikan keefektifannya, dan telah dilaporkan bahwa galur asli lebih efisien dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman lingkungan dibandingkan dengan PGP yang berasal dari non-ekosistem salin (Vaishnav et al., 2019). Mikroba menguntungkan ini

memiliki beberapa mekanisme untuk mitigasi cekaman garam seperti dengan mempertahankan rasio Na^+/K^+ yang sesuai melalui sekresi zat polimer ekstraseluler yang disebut ekso polisakarida (EPS) yang memastikan kelangsungan hidup mereka di bawah kondisi tanah yang tidak menguntungkan (Egamberdieva et al., 2017). Kajian bakteri yang diisolasi dari tumbuhan mangrove dalam menunjang pertumbuhan tanaman masih belum banyak dilakukan. Sehingga, riset ini mencoba untuk mengisolasi dan melakukan karakterisasi bakteri dari tumbuhan mangrove untuk menunjang pertumbuhan tanaman di lahan kering.

B. RUMUSAN MASALAH

Rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Apakah bakteri yang diisolasi dari tanaman mangrove memiliki potensi sebagai penginduksi toleran kekeringan?
2. Apakah bakteri yang diisolasi dari tanaman mangrove memiliki potensi sebagai pemacu pertumbuhan pada benih tanaman ?
3. Apakah bakteri yang diisolasi dari tanaman mangrove memiliki potensi sebagai untuk meninduksi ketahanan tanaman terhadap penyakit fusarium ?
4. Apakah bakteri yang diisolasi dari tanaman mangrove memiliki potensi dalam meningkatkan mutu fisiologi benih tanaman ?

C. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui potensi bakteri yang diisolasi dari tanaman mangrove sebagai penginduksi toleran kekeringan.
2. Untuk mengetahui potensi bakteri yang diisolasi dari tanaman mangrove sebagai pemacu pertumbuhan pada benih tanaman.
3. Untuk mengetahui potensi bakteri yang diisolasi dari tanaman mangrove dalam meninduksi ketahanan tanaman terhadap penyakit fusarium
4. Untuk mengetahui potensi bakteri yang diisolasi dari tanaman mangrove dalam meningkatkan mutu fisiologi benih tanaman.

5. MANFAAT PENELITIAN

Studi ini meletakkan dasar untuk mengevaluasi potensi bakteri di mangrove. Banyak mikroorganisme yang hidup berasosiasi dengan tumbuhan belum ditemukan. Ini menunjukkan betapa banyak keanekaragaman hayati alam Indonesia yang masih tersembunyi. Penelitian ini merupakan yang pertama dari rangkaian penelitian untuk menemukan bakteri yang dapat meningkatkan hasil tanaman, meningkatkan pendapatan petani, dan memenuhi kebutuhan pangan masyarakat.

E. KAJIAN PENELITIAN TERDAHULU YANG RELEVAN

Mangrove adalah ekosistem antar pasang surut yang unik dari daerah tropis dan sub-tropis di dunia yang mendukung kelompok organisme air dan darat yang beragam secara genetik. Hampir 60–70% dari garis pantai tropis dan subtropis dunia ditutupi dengan bakau, yang dikenal sebagai ekosistem yang sangat produktif dengan nilai ekologis yang sangat besar (Sahoo and Dhal, 2009). Mangrove berperan melindungi dan menstabilkan zona pesisir, memelihara dan memelihara air pantai dengan nutrisi. Ekosistem ini dicirikan oleh banjir pasang berkala, yang membuat faktor lingkungan seperti salinitas dan ketersediaan nutrisi sangat bervariasi sehingga menghasilkan karakteristik yang unik dan spesifik. Selain flora dan fauna, keanekaragaman mikroba menjadi ciri salah satu komunitas penting ekosistem ini. Karena kelimpahan karbon dan kandungan nutrisi lainnya, ekosistem mangrove menampung sejumlah besar komunitas mikroba, yang dapat beradaptasi dengan salinitas sedang dan kondisi lingkungan yang berfluktuasi. Komunitas mikroba ini memainkan peran penting dalam siklus nutrisi seperti karbon, nitrogen, belerang dan fosfor, dan dengan demikian mengontrol lingkungan kimiawi ekosistem mangrove. Aktivitas mikroba juga bertanggung jawab atas transformasi nutrisi utama dalam ekosistem mangrove (Law et al., 2019).

Di hutan bakau tropis, bakteri dan jamur merupakan 91% dari total biomassa mikroba, sedangkan alga dan protozoa masing-masing hanya 7% dan 2%. Interaksi kompleks mikroba ini menjaga keselarasan proses biogeokimia

yang berbeda dan mempertahankan status gizi dan keseimbangan ekologi. Bakteri, jamur, dan khamir yang hidup bebas dilaporkan berperan penting dalam pembentukan detritus di ekosistem mangrove (Thato et al., 2013). Berbagai kelompok bakteri biasanya terdapat dalam ekosistem melakukan berbagai aktivitas seperti fotosintesis, fiksasi nitrogen, metanogenesis. Beberapa penelitian telah menunjukkan keunikan sedimen mangrove sehubungan dengan komposisi mikrobanya (Alongi, 1994). Studi tentang keanekaragaman mikroba di sedimen mangrove penting untuk memahami proses siklus biogeokimia dan penghilangan polutan. Keanekaragaman mikroba ekosistem mangrove juga dapat memberikan informasi tentang peran ekologis dan potensi bioteknologi yang unik di bidang pertanian, industri, obat-obatan dan farmasi (Ghizelini et al. 2012).

Selama dekade terakhir temuan baru dalam studi ekologi mikroba telah dilakukan (Patra dan Thatoi, 2011). Terlepas dari pengetahuan yang ada tentang mikroba dan proses mikroba, kita masih hanya menggores permukaan keanekaragaman mikroba, yang perlu dieksplorasi. Kondisi khusus mangrove, dan adaptasi spesies bakteri terhadap kondisi tersebut, merupakan sumber penting dari sumber daya bioteknologi yang potensial untuk dieksploitasi. Mikroorganisme dari ekosistem mangrove mengandung enzim, protein, antibiotik, dan gen yang toleran terhadap garam dan cekaman abiotik yang berguna secara bioteknologi.

Tanah rizosfer tanaman bakau menyimpan sejumlah besar bakteri menguntungkan dengan sejumlah besar aplikasi pertanian (Sahoo and Dhal, 2009). Strain ini memiliki kemampuan untuk (1) memfiksasi nitrogen, (2) melarutkan fosfat, (3) menghasilkan amonia, dan (4) menghasilkan hormon pertumbuhan tanaman indole acetic acid (IAA). Bakteri tanah yang ada di daerah akar diketahui dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman. Efek menguntungkan ini dimediasi melalui mekanisme langsung atau tidak langsung. Efek langsung umumnya dikaitkan dengan pasokan nitrogen biologis tetap dan produksi hormon tanaman seperti auksin. Efek tidak langsungnya adalah penekanan bakteri, jamur dan patogen nematoda, dan produksi siderophores,

amonia, antibiotik dan metabolit volatil (Glick 1995). Salah satu masalah dengan tanah salin dan hipersalin seperti tanah yang terkena garam adalah aktivitas mikroba yang relatif rendah di tanah ini, yang mempengaruhi produktivitas tanaman dan tanaman di tanah itu. Oleh karena itu, isolasi bakteri aktif dari tanah salin akan memungkinkan penggunaan bakteri ini dalam reklamasi tanah salin. Bakteri pengikat N₂ yang diisolasi dari tanah salin dapat menjadi kandidat yang baik untuk digunakan untuk meningkatkan kesuburan tanah kering dan salin yang direklamasi (Thato et al., 2013). Inokulasi tanaman dengan bakteri pemacu pertumbuhan tanaman adalah alat yang umum dalam pertanian untuk meningkatkan hasil panen. Riset ini merupakan upaya untuk mengkonsolidasikan kajian keanekaragaman hayati mikroba mangrove dan potensi dalam pengembangan pertanian di lahan kering.

F. KAJIAN TEORI

1. Bakteri Pemacu Pertumbuhan

Pengenalan bakteri pemacu pertumbuhan tanaman (PGP), sekelompok bakteri tanaman yang menguntungkan, berpotensi untuk merangsang pertumbuhan tanaman dan meningkatkan hasil panen yang telah berkembang selama beberapa tahun terakhir ini. Aplikasi komersial PGP menghasilkan peningkatan pertumbuhan tanaman. PGP yang mengkolonisasi akar diketahui mempengaruhi pertumbuhan tanaman dengan berbagai mekanisme yaitu cara langsung atau tidak langsung. Bakteri pemacu pertumbuhan tanaman (PGP) dilaporkan untuk mempengaruhi pertumbuhan, hasil, dan serapan hara melalui berbagai mekanisme. Beberapa strain bakteri secara langsung mengatur fisiologi tanaman dengan meningkatkan ketersediaan mineral dan nitrogen dalam tanah sebagai cara untuk meningkatkan pertumbuhan. Efisiensi stimulasi pertumbuhan tanaman dari inokulan bakteri dipengaruhi oleh tanah kondisi nutrisi. Inokulasi bakteri memiliki efek stimulasi yang jauh lebih baik pada pertumbuhan tanaman di tanah yang kekurangan nutrisi daripada di tanah yang kaya nutrisi [Moustaine, et al., 2017].

2. Peran Bakteri Pemacu Pertumbuhan

Sejumlah spesies bakteri berasosiasi dengan rizosfer tanaman dan mampu memberikan efek menguntungkan pada pertumbuhan tanaman. Peran penting dimainkan oleh tanaman dalam memilih dan memperkaya jenis bakteri berdasarkan konstituen eksudat akarnya. Dengan demikian, komunitas bakteri di rizosfer berkembang tergantung pada sifat dan konsentrasi konstituen organik eksudat, dan kemampuan bakteri yang sesuai untuk memanfaatkan ini sebagai sumber energi (Tsegaye et al., 2019). Komunitas bakteri memiliki sistem yang efisien untuk penyerapan dan katabolisme senyawa organik hadir dalam eksudat akar. Beberapa bakteri membantu memperoleh manfaat maksimal dari eksudat akar dengan kemampuan untuk menempel pada permukaan akar (rhizoplane). Sebagai inokulan, PGP cukup populer untuk pertanian yang digunakan sebagai pupuk, pertisida dan suplemen yang juga membantu mengurangi polusi dan melestarikan lingkungan dengan semangat ekologis pertanian.

3. Peran Bakteri dalam Menghasilkan Hormon Tumbuh

Hormon mengubah kemampuan tanaman untuk merespon lingkungannya. Hormon adalah bahan kimia organik yang diproduksi di satu wilayah tanaman dan ditransfer ke yang lain. Mereka berinteraksi dengan jaringan target untuk memicu respons fisiologis termasuk pertumbuhan dan pematangan. Seringkali, dua atau lebih hormon bekerja sama untuk menghasilkan respons. Auksin, giberelin, etilen, sitokinin, dan asam absisat semuanya diproduksi oleh bakteri (Saharan & Nehra, 2011)

4. Peran Bakteri sebagai Pelarut Fosfat

Fosfor (P) adalah makronutrien esensial utama untuk pertumbuhan dan perkembangan biologis. Mikroorganisme menawarkan sistem penyelamatan biologis yang mampu melarutkan P anorganik tanah yang tidak larut dan membuatnya tersedia untuk tanaman. Kemampuan beberapa mikroorganisme untuk mengubah fosfor (P) yang tidak larut menjadi bentuk yang dapat diakses, seperti ortofosfat, merupakan sifat penting dalam PGP untuk meningkatkan hasil tanaman (Schippers et al., 1987). Rhizospheric phosphate yang memanfaatkan bakteri dapat sumber yang menjanjikan untuk agen pemacu pertumbuhan

tanaman di bidang pertanian. Penggunaan bakteri pelarut fosfat sebagai inokulan meningkatkan serapan P oleh tanaman. Di antara mikroba yang heterogen dan melimpah secara alami yang menghuni rizosfer, Mikroorganisme Pelarut Fosfat (PSM) termasuk bakteri telah memberikan alternatif bioteknologi solusi pertanian berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan P tanaman (Rodriguez & Fraga, 1999).

5. Peran Bakteri dalam Ketahanan Tanaman Terhadap Penyakit.

PGP yang berasal dari tanah dan rizosfer tanaman dan memainkan peran utama dalam biokontrol patogen tanaman. Mereka bisa menekan spektrum luas penyakit bakteri, jamur, nematoda dan penyakit virus. Terkini kemajuan PGP tentang keragaman mereka, kemampuan menjajah, dan mekanisme aksi, formulasi dan aplikasi memfasilitasi pengembangannya sebagai agen biokontrol yang andal terhadap patogen tanaman. Beberapa rhizobakteri ini juga dapat digunakan dalam program pengendalian hama terpadu. Aplikasi PGPR yang lebih besar dimungkinkan di bidang pertanian untuk biokontrol tanaman patogen dan biofertilisasi. Strain bakteri yang diisolasi dari *Lolium perenne* rhizosphere mampu bertindak sebagai bakteri pemacu pertumbuhan tanaman dan sebagai agen biokontrol karena menunjukkan berbagai aktivitas pemacu pertumbuhan tanaman (Podolich et al., 2015).

6. Peran Bakteri dalam Meningkatkan Ketahanan Tanaman Terhadap Cekaman

Tanaman pertanian banyak terkena tekanan yang disebabkan oleh faktor biotik dan abiotik, tekanan ini merupakan hambatan untuk budidaya tanaman tanaman. Faktor stres abiotik meliputi suhu tinggi dan rendah, salinitas, kekeringan, banjir, sinar ultraviolet, polusi udara (ozon) dan logam berat. Kehilangan hasil tanama yang terkait dengan cekaman abiotik dapat mencapai 50% hingga 82%, tergantung pada kondisi tanamannya. Di dalam banyak daerah semi-kering dan gersang di dunia, hasil panen terbatas karena meningkatnya salinitas air irigasi serta salinitas tanah. Di bawah salinitas tinggi, tanaman menunjukkan tingkat pertumbuhan daun yang berkurang karena penurunan penyerapan air, yang membatasi kapasitas fotosintesis. Tanaman melibatkan

sejumlah perubahan metabolisme dan fisiologis sebagai respons terhadap stres garam dan kekeringan (Hayat et al., 2010). Inokulasi tanaman stres garam dengan strain PGP mengurangi stres salinitas dan kekeringan pada tanaman. Interaksi tanaman-mikroba dapat meningkatkan produktivitas tanaman sekaligus sebagai solusi budaya tanaman untuk lahan yang terkena salinitas seperti inokulasi *Azospirillum* sp. Yang dapat menghambat stres salinitas dan kekeringan pada tanaman (Kim et al., 2012).

7. Peran Bakteri dalam Meningkatkan Pertahanan Tanaman

Induced Systemic Resistance (ISR) tanaman terhadap patogenesis merupakan fenomena luas yang memiliki telah diselidiki secara intensif sehubungan dengan jalur pensinyalan yang mendasarinya serta potensi penggunaannya dalam perlindungan tanaman. Asam salisilat (AS) yang dihasilkan oleh PGP memiliki peran penting dalam jalur pensinyalan yang mengarah ke ISR. Setelah infeksi, kadar AS endogen meningkat secara lokal dan sistemik, dan kadar SA meningkat di floem sebelum ISR terjadi. SA disintesis sebagai respons terhadap infeksi baik secara lokal dan secara sistemik; Evaluasi promosi pertumbuhan dan penyakit sistemik yang diinduksi resistensi (ISR) pada mentimun yang dimediasi oleh bakteri pemacu pertumbuhan tanaman (PGP) membuktikan peran PGP dalam meningkatkan pertahanan tanaman terhadap penyakit (Hayat et al., 2010). Selain itu, Strain *Pseudomonas* pemacu pertumbuhan tanaman, yang menyebabkan resistensi sistematis pada semangka terhadap busuk batang [332]. Di bawah kondisi *in vitro* isolat *P. fluorescens* dan *P. chlororaphis* mendorong pertumbuhan tanaman dan menginduksi resistensi sistemik terhadap patogen hawar batang *Corynespora cassiicola* (Bardas et al., 2009).

G. METODE PENELITIAN

1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan diawali dengan pengambilan sampel pada beberapa lokasi tumbuhan mangrove di Sulawesi Tenggara. Isolasi dan eksplorasi bakteri

dilakukan di Laboratorium Biologi IAIN Kendari. Penelitian ini akan dilaksanakan pada Januari-September 2022.

2. Prosedur Penelitian

Prosedur isolasi, seleksi, dan karakterisasi bakteri yang akan dilakukan dalam penelitian ini terdiri dari tahapan kegiatan sebagai berikut :

a. Isolasi Bakteri dari Tumbuhan Mangrove

1. Bakteri diisolasi dari jaringan tanaman pada akar tanaman mangrove. Sampel jaringan tanaman yang telah diperoleh dimasukkan ke dalam wadah sampel lalu diberi kode yang memuat data tentang lokasi dan waktu pengambilan sampel, kemudian diletakan dan box es untuk dibawah ke laboratorium dan disimpan dengan suhu sekitar 4°C hingga tahapan isolasi dilakukan.
2. Isolasi bakteri dari tumbuhan mangrove mengikuti prosedur yang dikembangkan Hallmann *et al.* (1997) dengan beberapa modifikasi. Akar yang telah digoreskan pada media TSA 5% kemudian digerus menggunakan mortar dan diencerkan sampai pada seri pengenceran 10^{-10} . Seri pengenceran 10^{-8} dan 10^{-10} disebar pada media TSA dalam cawan petri dengan volume sebar 50 μ L. Suspensi sebar diinkubasi selama 2 hari, kemudian dilakukan pengamatan terhadap koloni tumbuh. Koloni yang menunjukkan perbedaan morfologi selanjutnya diisolasi dan disimpan dalam tabung *eppendorf* berisi 0,9 ml larutan gliserol 15% steril pada suhu -20°C.

b. Karakterisasi Bakteri

1. Penelitian ini menggunakan dilakukan dengan mengamati indicator-indikator kualitatif dan dianalisis secara visual sebagaimana yang dikembangkan oleh Michel dan Kaufmann, 1973; Herlina et al. 2017; dan Zhang et al., 2017.
2. Variabel pengamatan meliputi Ketahanan bakteri terhadap cekanman Kekeringan, kemampuan menghasilkan IAA, kemampuan melarutkan fosfat, kemampuan melarutkan kalium, dan kemampuan pathogenesis bakteri terhadap pathogen.

c. Uji Viabilitas Benih Tanaman

1. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap, yang terdiri dari dua perlakuan yaitu benih tanaman tanpa perlakuan bakteri dan benih tanaman dengan perlakuan isolat bakteri.
2. Uji viabilitas benih tanaman meliputi daya bekecambah, kecepatan tumbuh relatif, potensi tumbuh maksimum, pemunculan kecambah, bobot kering kecambah normal, tingkat kontaminasi patogen pada benih, dan indeks vigor (Sadjad *et al.*, 1999; Widiarti *et al.*, 2017).

3. Analisis Data

Data hasil pengamatan penelitian dianalisis menggunakan ANOVA, sedangkan data hasil pengamatan yang dianalisis secara visual menggunakan indikator-indikator kualitatif. Jika F-hitung menunjukkan pengaruh nyata pada taraf kepercayaan 95%, dilanjutkan dengan Uji Jarak Berganda Duncan (UJBD) pada taraf nyata $\alpha = 0,05$.

H. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. Eksplorasi Bakteri Pada Tumbuhan Mangrove

a. Pengumpulan Tanaman Mangrove

Pengambilan sampel tanaman dilakukan pada beberapa lokasi tanaman mangrove yang ada di wilayah Kabupaten Konawe Selatan dan Kota Kendari. Pengambilan sampel dilakukan disetiap hamparan tanaman mangrove dengan mencabut tanaman sampai pada perakaran tanaman dengan kedalaman $\pm 15-20$ cm.



Gambar 1. Proses pengambilan sampel penelitian pada beberapa lokasi

Pengambilan sampel tanaman bertujuan untuk melakukan isolasi bakteri endofit dan rhizozfer dan selanjutnya dilakukan seleksi awal terhadap sampel tanaman untuk mendapatkan isolat-isolat potensial untuk dikembangkan sebagai pupuk hayati dalam menginduksi dan meningkatkan kemampuan pertumbuhan tanaman. Tanaman mangrove yang akan digunakan untuk penelitian dipilih tanaman yang mudah untuk dicabut dan dipilih tanaman yang agak dewasa. Pemilihan tanaman yang telah dewasa dikarenakan mikrobia endofit dan rhizosfere telah tumbuh dan berkembang pada akar dan dalam jaringan vaskular tanaman mangrove sebagai inang bakteri. Seperti yang diungkapkan oleh Stone *et al*, (2000) bahwa bakteri banyak ditemukan pada jaringan vaskuler tanaman inangnya. Jaringan vaskular (pembuluh) terdapat di seluruh tubuh tanaman, mengangkut zat-zat antara akar dan tunas. Kedua jenis jaringan vaskular tersebut adalah xilem, yang mengirim air dan mineral yang terlarut ke atas dari akar ke tunas, dan floem, yang mengangkut makanan yang dibuat di daun yang sudah dewasa ke akar dan ke bagian-bagian sistem tunas (Campbell *et al*, 2002). Pada tanaman yang terlalu muda, jaringan tanaman yang terbentuk belum sempurna sehingga kemungkinan munculnya bakteri karena nutrisi yang diperlukan untuk tumbuhnya bakteri endofit kurang. Nutrien adalah substansi yang digunakan untuk biosintesis dan sebagai sumber energi untuk mendukung pertumbuhan mikrobia (Prescott, Harley & Klein, 1999).

b. Dosinfektan dan Preparasi Sampel Tanaman Mangrove

Tanaman yang telah diperoleh dari Kabupaten Konawe selatan dan Kota Kendari selanjutnya dimasukkan ke dalam plastik sampel lalu diberi label yang memuat data tentang lokasi dan waktu pengambilan sampel, kemudian diletakan dalam box untuk dibawa ke laboratorium.

Pengambilan bakteri rhizosfere dilakukan dengan cara mengambil tanah yang terdapat pada bagian akar tanaman. Kemudian tanah dan akar tanaman

yang masih menempel tanah dimasukkan kedalam labu erlenmeyer berisi 100 ml akuades steril (pengenceran 10^{-1}) dan dikocok dengan pengocok (rotary shaker) dengan kecepatan 150 rpm selama 30 menit. Suspensi yang diperoleh terlebih lalu diencerkan hingga 10^{-10} dan diinkubasikan dalam media tryptic soy agar (TSA). Setiap koloni tunggal yang tumbuh direisolasi dan dibuat biakan murninya kemudian dikarakterisasi sesuai dengan prosedur uji standar.

Untuk bakteri endofit, sebelum isolasi bakteri dilakukan, kegiatan pertama diawali membersihkan akar dan batang tanaman mangrove dengan cara menghilangkan kotoran dan mikrobia kontaminan dari permukaan akar dan batang tanaman. Perbersihan ini bertujuan agar diperoleh isolasi bakteri endofit dari akar dan batang tanaman mangrove merupakan isolat bakteri endofit. Cara pembersihannya yaitu tanaman dicuci dengan air mengalir selama \pm 5-10 menit kemudian batang dicuci dalam 10 ml *baycline* (*commercial bleaching*) yang mengandung 5,3% sodium hypoklorit dan alkohol 70%. Setelah itu, tanaman kemudian dibilas dengan aquadest steril sampai bersih. Penggunaan *Baycline* berfungsi sebagai desinfektan untuk menghilangkan kotoran, bakteri dan fungi yang ada pada akar dan batang sehingga ketika batang ditanam pada medium tidak tumbuh fungi atau bakteri kontaminan di sekitarnya. Tujuan pembilasan dengan aquadest steril adalah untuk menghilangkan busa Alkohol 70 % yang masih menempel pada batang yang dapat mengganggu pertumbuhan bakteri endofit.



Gambar 2. Proses pemisahan bagian-bagian tanaman yang meliputi akar dan batang tanaman mangrove.

Efisiensi sterilisasi permukaan tanaman dilihat dari aquades bilasan terakhir yang dicawankan sebagai kontrol. Hal ini sesuai dengan pendapat Goryluk *et al.* (2009) yang mengatakan bahwa sterilisasi permukaan dikatakan berhasil apabila tidak terdapat pertumbuhan mikroorganisme pada cawan petri yang diberi bilasan terakhir sterilisasi permukaan.

c. Kultur Bakteri Asal Tanaman Mangrove

Tanah, akar dan batang yang telah yang menjadi sumber isolasi bakteri dari tanaman mangrove dipreparasi dan menggunakan pisau steril sepanjang \pm 0,5-0,8 cm dan disimpan dalam media tumbuh untuk mendukung pertumbuhan bakteri endofit dan rhizosfer. Dengan menggunakan pinset steril secara aseptis tanaman ditumbuhkan pada media selektif yaitu menggunakan media Nutrient Broth (NB). Penanaman batang dalam posisi horisontal dengan bekas potongan tertanam di permukaan medium, kemudian diinkubasikan selama 2-3 hari.

Setelah inkubasi, tampak pertumbuhan bakteri pada media NB. Sampel tanaman tomat dikatakan positif mengandung bakteri endofit dan rhizosfer jika bakteri tersebut mampu tumbuh dalam media NB ditandai dengan kekeruhan dalam botol media. Munculnya bakteri endofit dan rhizosfer tersebut karena terdapat hubungan simbiosis antara bakteri endofit dan rhizosfer dan tanaman tomat mangrove, di mana bakteri endofit dan rhizosfer memperoleh nutrisi dan perlindungan dari tanaman mangrove. Peran nutrisi yang diperoleh dari tanaman mangrove bagi bakteri adalah sebagai sumber energi sesuai kebutuhan sel bakteri endofit dan rhizosfer dan sebagai bahan pembangun sel bakteri. Sedangkan pada tanaman mangrove akan memperoleh substansi dari bakteri endofit dan rhizosfer yang berguna untuk mendukung pertumbuhan tanaman mangrove seperti indole-3-acetic acid (IAA), cytokines, dan substansi lainnya yang mendukung pertumbuhan tanaman (Tan & Zou, 2001). Bakteri endofit dan

rhizosfer juga memberikan perlindungan kepada tanaman inang dari berbagai mikrobia patogen dengan cara kompetisi, menghasilkan senyawa antibiotik, atau menginduksi ketahanan tanaman seperti yang dilaporkan Pudaritadesantamaria, (2004) bahwa bakteri yang diisolasi dari akar tanaman pisang telah diketahui dapat menghambat pertumbuhan *Fusarium oxysporum*.

d. Isolasi Bakteri dari Tanaman Mangrove

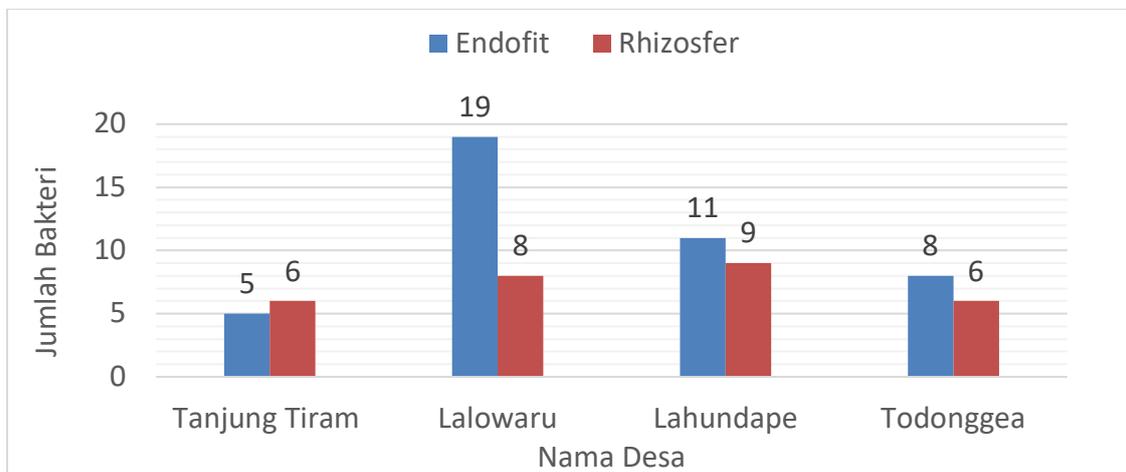
Isolasi adalah memisahkan suatu mikrobia dari lingkungan di alam dan menumbuhkannya sebagai biakan murni dalam medium biakan (Jutono, dkk, 1980). Setelah didapatkan pertumbuhan bakteri endofit dan rhizofer kemudian disuspensi pada media tumbuh, yaitu media TSA dalam cawan petri untuk mendapatkan biakan murni bakteri. Setelah itu, diinkubasikan pada suhu 37°C selama 24 jam, kemudian didapat koloni-koloni bakteri yang tumbuh. Koloni yang tumbuh kemudian dimurnikan dengan melakukan inokulasi 1 ose bakteri yang tumbuh pada tanaman mangrove secara *streak plate* ke permukaan TSA dalam cawan petri. Setelah itu diinkubasikan pada suhu 37° C selama 24 jam, kemudian didapat koloni-koloni bakteri yang terpisah. Dari tahap reisolasi ini diperoleh koloni- koloni bakteri terpisah yang berbentuk circular, berwarna putih, kekuningan, dan terpisah satu sama lain. Isolat yang diperoleh selanjutnya diidentifikasi berdasarkan warna dan pola pertumbuhannya. Isolat-isolat tersebut kemudian diberi kode sesuai dengan asal bakteri dan tempat tumbuh pada saat disolasi. Isolat-isolat ini kemudian dimurnikan dalam media TSA dan kemudian disimpan dalam medium cair gliserin.



Gambar 1. Isolat bakteri yang akan dimurnikan untuk mendapatkan isolat tunggal

e. Jenis Bakteri Yang Terdapat Pada Tumbuhan Mangrove

Hasil penelitian bakteri endofit dan rhizosfer yang diisolasi dari tanaman mangrove, telah dimurnikan dari kontaminan yang tumbuh saat bakteri di tanam pada media tanam. Hasil pemurnian dan seleksi bakteri endofit dan rhizosfer menggunakan media TSA diperoleh 72 isolat bakteri. Karakteristik awal dari isolat bakteri yang diperoleh dari tanaman mangrove dilakukan secara morfologi. Secara kasat mata, koloni isolat bakteri endofit memiliki bentuk bulat, berwarna putih, cembung, dan berwarna putih keruh (Gambar 1). Beberapa isolat menunjukkan karakteristik yang berbeda baik dari bentuk, warna, dan konsistensi koloni. Rata-rata isolat menghasilkan warna putih susu dan kuning, tepian rata, dan berlendir. Namun, ada beberapa isolat yang padat tidak berlendir. Jumlah isolat bakteri endofit yang ditemukan pada jaringan tanaman mangrove disajikan pada gambar 2 :



Gambar 2. Jumlah Isolat bakteri yang ditemukan pada tanaman mangrove di Kabupaten Konse dan Kota Kendari

Secara umum populasi bakteri endofit dan rhizosfer yang ditemukan pada jaringan akar dan batang tanaman mangrove di Kabupaten Konawe Selatan dan Kota Kendari berjumlah 72 isolat yang tersebar pada 4 Desa yaitu desa Tanjung Tiram, Lalowaru, Lahundape, dan Todonggea. Bacon dan Hinton (2006) menyatakan bahwa jumlah bakteri di dalam tumbuhan tidak dapat ditentukan secara pasti, namun bakteri ini dapat dideteksi dengan mengisolasi pada media

agar. Jumlah populasi bakteri pada hampir semua bagian tanaman, tetapi populasi bakteri bagian akar menunjukkan angka yang lebih tinggi dibandingkan dengan jaringan lain (Rosenblueth dan Martinez 2006). Melimpahnya populasi bakteri pada bagian akar, dikarenakan akar merupakan tempat paling awal untuk masuknya segala sesuatu ke dalam tanaman (Dalal dan Kulkarni 2013). Namun terkadang jumlah bakteri lebih banyak di batang daripada di akar. Hal ini dapat disebabkan oleh adanya aliran produk fotosintesis yang berasal dari daun ke seluruh bagian tanaman melalui floem, sehingga dapat dimanfaatkan oleh bakteri sebagai sumber nutrisi (Koomnok et al. 2007).

Menurut Rosenblueth dan Martinez-Romero (2004) akar umumnya merupakan bagian yang paling banyak dikolonisasi bakteri dibandingkan dengan bagian tanaman lain yang berada diatas permukaan tanah. Reinhold-Hurek dan Hurek (1998) juga menjelaskan bahwa selain akar, batang juga merupakan bagian yang banyak dikolonisasi bakteri endofit terutama pada bagian pembuluh xilem. Hal ini diduga karena bakteri mengkolonisasi jaringan inang melalui celah atau luka yang terbentuk saat munculnya akar lateral atau zona pemanjangan akar serta diferensiasi akar dan selanjutnya menyebar ke bagian tanaman yang lain. Lebih lanjut Parida (2016) mengatakan bahwa sistem transmisi bakteri endofit lebih mengarah pada sistem transmisi secara vertikal dan sistem invasinya ke akar terjadi secara pasif melalui lubang alami pada akar atau pada luka. Hal ini juga sejalan dengan pendapat Hallmann dan Berg (2006) menyatakan akar merupakan lokasi utama infeksi bakteri pada tanaman menjadikan bakteri endofit seharusnya lebih banyak ditemukan pada akar. Kebutuhan bakteri yang membutuhkan lebih banyak air yang tahan kekeringan menjadi salah satu alasan lain bakteri lebih banyak mengkolonisasi pada daerah perakaran.

Isolat bakteri dari tanaman mangrove terbanyak ditemukan di daerah Lalowaru dengan jumlah isoalat sebanyak 27 isolat sedangkan terendah ditemukan di desa tanjung tiram yang berjumlah 11 isolat. Populasi mikroorganisme yang tinggi menggambarkan adanya suplai makanan atau energi yang cukup ditambah lagi dengan temperatur yang sesuai, ketersediaan air yang

cukup, dan kondisi ekologi yang menyokong perkembangan mikroorganisme pada daerah tersebut. Jumlah total mikroorganisme sangat berguna dalam menentukan tempat mikroorganisme dalam hubungannya dengan sistem perakaran, sisa bahan organik dan kedalaman profil tanah (Anas, 1989).

Kelompok bakteri asal tanaman mangrove yang terdapat di Kabupaten Konawe selatan dan kota kendari dihasilkan dari beberapa lokasi yang berbeda. Keragaman lokasi yang dijadikan sampel dalam penelitian ini adalah untuk mendapatkan bakteri yang dapat mewakili karakteristik lokasi pengambilan sampel dengan kondisi agroklimat yang berbeda pada setiap lokasi pengambilan sampel seperti daerah pengunungan, daerah lembah dan daerah dataran. Menurut Sun *et al*, (2013) bahwa setiap lokasi memiliki bakteri yang berbeda dengan bakteri ditempat lain, sehingga setiap bakteri memiliki karakteristik yang khas sesuai dengan kondisi agroklimat daerah tersebut. Hasil pengamatan bentuk koloni isolat bakteri bakteri endofit memiliki ciri-ciri yang hampir sama yaitu : bentuk (*form*) koloni berbentuk bundar, permukaan (*elevation*) berbentuk cembung, tepi (*margin*) berbentuk rata dan warna koloni berwarna putih. Warna koloni isolat ini adalah putih kuning. Namun, warna koloni isolat lain hampir semuanya berwarna putih, dari putih bening mengkilat hingga putih kusam *creamy*.

Hasil penelitian bakteri yang diisolasi dari tanaman mangrove menunjukkan keragaman yang cukup tinggi, hal ini ditandai dengan banyaknya jumlah isolat bakteri endofit yang ditemukan yaitu mencapai 72 isolat, hal ini mengindikasikan kemampuan adaptasi bakteri endofit terhadap kondisi tercekam. Marulanda et al. (2006) mengatakan bahwa komunitas mikroba mampu mengembangkan berbagai kegiatan yang sangat penting dalam mempertahankan keseimbangan biologis dan keberlanjutannya dalam tanah. Di daerah yang tertekan, tanaman lebih bergantung pada aktivitas mikroba, dan mikroorganisme akan mampu meningkatkan aktivitas metabolik untuk meminimalisir stres (tekanan). Lebih lanjut Moreno-Ortego *et al*. (1999) bahwa tanaman yang berinteraksi dengan berbagai mikroorganisme dapat meringankan gejala stres pada tanaman. Selain itu, keberadaan mikroorganisme akan

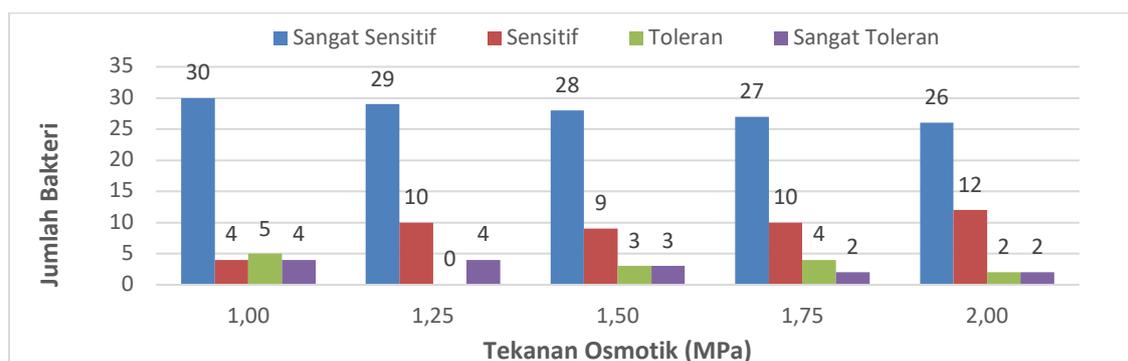
berkontribusi pada peningkatan stabilitas struktural rhizosfer yang sangat penting dalam pemulihan tanah di daerah kering.

Isolasi bakteri pada tanaman mangrove dilakukan pada berbagai tingkat pengenceran (10^{-1} - 10^{-10}). Jumlah isolat bakteri menunjukkan jumlah kepadatan yang berbeda dari pengenceran yang dilakukan. Pada pengenceran berseri antara 10^{-1} - 10^{-10} ditemukan rata-rata jumlah koloni bakteri endofit tertinggi pada bagian akar dan bagian batang. Untuk setiap seri pengenceran tampak bahwa pada bagian organ akar dan batang memiliki populasi yang lebih banyak, dimana semakin besar tingkat pengenceran maka jumlah bakteri yang muncul semakin banyak. Perbedaan laju pertumbuhan ini dipengaruhi oleh sifat dan jenis masing-masing bakteri dan faktor lainnya seperti kemampuan dalam menggunakan media nutrisi. Menurut Lay dan Hastowo (1992) bahwa ketersediaan nutrisi untuk pertumbuhan sel bakteri dipengaruhi jenis mikroba, keadaan, dan jumlah sel awal ketika diinokulasi ke media.

2. Kataristik Bakteri Asal Tumbuhan Mangrove yang Memiliki Potensi Sebagai Penginduksi Toleran Kekeringan

a. Potensi Bakteri Endofit Sebagai Penginduksi Toleran Kekeringan

Karakterisasi potensi bakteri endofit asal tanaman mangrove dilakukan untuk memperoleh bakteri endofit yang berperan sebagai penginduksi ketahanan tanaman terhadap kekeringan. Seleksi ini dilakukan melalui pengujian pada media NB (*Nutrient Broth*) yang mengandung PEG-6000 dengan indikator tingkat kekeruhan bakteri pada media tersebut. Jumlah isolat bakteri endofit yang diisolasi dari tanaman mangrove yang diseleksi menggunakan PEG-6000 disajikan pada gambar 3.



Gambar 3. Grafik hasil seleksi Isolat bakteri endofit menggunakan PEG 6000

Hasil pengujian toleransi bakteri endofit dari tanaman mangrove menggunakan media NB (Nutrient Broth) yang ditambahkan dengan PEG-6000 diperoleh karakteristik bakteri berdasarkan nilai Optical Density (OD) pada tekanan osmotik -1,00 MPa didapatkan 30 isolat bakteri sangat sensitif, 4 isolat bakteri sensitif, 5 isolat bakteri toleran dan 4 isolat bakteri sangat toleran. Pada tekanan osmotik -1,25 MPa diperoleh 29 isolat bakteri sangat sensitif, 10 isolat bakteri sensitif, dan 4 isolat bakteri sangat toleran. Untuk tekanan osmotik -1,50 MPa diperoleh 28 isolat bakteri sangat sensitif, 9 isolat bakteri sensitif, 3 isolat bakteri toleran dan 3 isolat bakteri sangat toleran. Pada tekanan osmotik -1,75 MPa diperoleh 27 isolat bakteri sangat sensitif, 10 isolat bakteri sensitif, 4 isolat bakteri toleran, dan 2 isolat bakteri sangat toleran. Sedangkan pada tekanan osmotik -2,00 MPa ditemukan 26 isolat bakteri sangat sensitif, 12 isolat bakteri sensitif, 2 isolat bakteri toleran, dan 2 isolat bakteri sangat toleran terhadap kekeringan.

Bakteri yang memiliki nilai *Optical Density* (OD), lebih besar dari 0,5 pada tekanan osmotik tertentu dikategorikan sebagai bakteri yang sangat toleran kekeringan. Pengamatan menunjukkan bahwa jumlah bakteri rhizosfer yang sangat toleran kekeringan menurun dengan meningkatnya tekanan osmotik -1,00, -1,25, -1,50, -1,75 dan -2,00. Pilihan dari tingkat tekanan osmotik mengacu pada Michel dan Kauffman bahwa tekanan diciptakan dengan penambahan PEG 6000 yang larut dalam air sehingga menyebabkan media kultur menjadi lebih tebal karena penurunan tekanan potensial air sehingga air di media lebih sulit untuk digunakan oleh bakteri (Fua et al., 2021). Menurut Erna Sinaga (2015) menyatakan bahwa senyawa *polyethylene glycol* (PEG) merupakan senyawa yang dapat menurunkan potensial osmotik larutan melalui aktivitas matriks sub-unit etilena oksida yang mampu mengikat molekul air dengan ikatan hidrogen. Penggunaan larutan PEG 6000 dengan konsentrasi 5-20% pada media *in vitro* diharapkan dapat menciptakan potensial osmotik yang setara dengan kondisi tanah kapasitas lapang dan titik kelembaban kritis sehingga eksplan memberikan respon yang sama dengan tanaman yang mengalami cekaman di lapangan.

Hasil seleksi bakteri endofit toleran cekaman kekeringan pada tekanan - 2,00 MPa disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Bakteri Endofit asal tanaman mangrove yang sangat toleran terhadap cekaman kekeringan pada tekanan -2,00 MPa.

No	Kode isolat	Nilai <i>Optical Density</i> (OD) Pada Tekanan Osmotik (Mpa)					Toleransi Cekaman Kekeringan	Lokasi Asal Isolat (Desa/Kelurahan)
		-1,00	-1,25	-1,50	-1,75	-2,00		
1.	L1BO2	0,308	0,392	0,454	0,207	0,372	Sensitif	Lalowaru
2.	L1BO3	0,145	0,537	0,315	0,163	0,368	Sensitif	Lalowaru
3.	LH1B3	0,296	0,201	0,282	0,393	0,403	Toleran	Lahundape
4.	LH2B2	0,230	0,325	0,280	0,335	0,327	Sensitif	Lahundape
5.	LH2B3	0,392	0,320	0,323	0,394	0,363	Sensitif	Lahundape
6.	LH3B1	0,339	0,294	0,298	0,394	0,303	Sensitif	Lahundape
7.	LH3B3	0,303	0,527	0,344	0,341	0,359	Sensitif	Lahundape
8.	LW1B3	0,481	0,354	0,364	0,351	0,408	Toleran	Lalowaru
9.	LW1B4	0,252	0,338	0,287	0,398	0,306	Sensitif	Lalowaru
10.	LW2B1	0,358	0,509	0,308	0,376	0,380	Sensitif	Lalowaru
11.	LW2B2	0,457	0,395	0,541	0,542	0,709	Sangat Toleran	Lalowaru
12.	LW2B3	0,418	0,533	0,511	0,402	0,455	Toleran	Lalowaru
13.	LW3B1	0,272	0,259	0,271	0,295	0,336	Sensitif	Lalowaru
14.	LW3B2	0,304	0,267	0,312	0,279	0,390	Sensitif	Lalowaru
15.	TG1B2	0,152	0,336	0,310	0,229	0,360	Sensitif	Todonggea
16.	TG3B2	0,398	0,287	0,405	0,371	0,367	Sensitif	Todonggea

Tabel 2 menunjukkan bahwa hasil seleksi bakteri endofit asal tanaman mangrove memiliki kemampuan yang berbeda-beda pada setiap tekanan osmotik yang diberikan. Hasil uji seleksi toleran cekaman kekeringan diperoleh bahwa 16 isolat bakteri endofit asal tanaman mangrove yang memiliki nilai tekanan osmotik PEG-6000 (-2,00 MPa) yang lebih baik dibanding dengan bakteri lain. Dengan demikian bakteri ini dapat dimanfaatkan sebagai penginduksi ketahanan tanaman terhadap cekaman kekeringan. Jumlah bakteri endofit yang dapat mengtoleransi tingkat kekeringan semakin berkurang seiring dengan peningkatan tekanan osmotik. PEG 6000 merupakan zat kimia inert dan non toksis dengan berat molekul. Pada konsentrasi tertentu, PEG 6000 dapat menginduksi kondisi kekurangan air sebagaimana yang terjadi pada tanah.

Penggunaan PEG 6000 untuk mengidentifikasi toleransi kekeringan telah banyak dilakukan pada tanaman pangan seperti padi, gandum, jagung, dan kedelai. Pada kondisi kapasitas lapang, tanah mempunyai potensial osmotik -0.33 Bar sedangkan pada kondisi titik kelembapan kritis mencapai potensial osmotik -15 Bar. Berbagai penelitian melaporkan bahwa penggunaan PEG 6000 dengan konsentrasi 20-25% setara dengan -6.7 sampai -9.9 Bar mampu membedakan genotipe padi yang toleran maupun peka toleran cekaman kekeringan (Widyastuti et al., 2017).

Pada tekanan osmotik -1,00 MPa jumlah bakteri endofit sangat toleran kekeringan yaitu 4 isolat bakteri, tetapi pada tekanan osmotik -1,25 MPa, -1,50 MPa, -1,75 MPa, dan - 2,00 MPa jumlah isolat bakteri yang sangat toleran semakin berkurang dengan jumlah isolat pada masing-masing tekanan osmotik yaitu 4 isolat bakteri, 3 isolat bakteri, 2 isolat bakteri, dan 2 isolat bakteri secara berturut-urut. Tingginya tekanan osmotik di luar sel bakteri menyebabkan cairan di dalam sel akan terdifusi ke luar sel, sehingga kerusakan dinding mikroba akan menyebabkan terjadinya lisis. Berdasarkan hasil uji toleransi terhadap kekeringan menggunakan *polyethylene glycol* (PEG) 6000, diperoleh 16 isolat bakteri endofit yang memiliki nilai OD tertinggi yang diisolasi dari tanaman mangrove yaitu isolat L1BO2, L1BO3, LH1B3, LH2B2, LH2B3, LH3B1, LH3B3, LW1B3, LW1B4, LW2B1, LW2B2, LW2B3, LW3B1, LW3B2, TG1B2, TG3B2. Perbedaan jumlah perolehan isolat bakteri pada masing-masing tekanan osmotik ini diduga dipengaruhi oleh pemberian konsentrasi *polyethylene glycol* (PEG) yang berbeda-beda hal ini sesuai dengan pernyataan Michel dan Kaufman (1973) bahwa tekanan yang dibuat melalui penambahan senyawa PEG yang bersifat larut air menyebabkan media kultur menjadi lebih kental karena terjadinya penurunan tekanan potensial air sehingga air yang ada di media lebih sulit digunakan oleh bakteri.

Penggunaan PEG dalam melakukan seleksi bakteri toleran kekeringan telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya untuk mendapatkan bakteri yang sangat toleran seperti yang Sandhya (2009) dari 81 isolat bakteri *Pseudomonas fluoresen* yang diisolasi pada bunga matahari hanya 26 isolat

bakteri yang dapat mentoleransi tingkat kekeringan maksimum pada tekanan 70,73 MPa. Rahman dan Nutiyal (2002) menggunakan PEG untuk melakukan seleksi bakteri *Rhizobium* sp. NBRI2505 *sesbania* untuk mendapatkan bakteri yang memiliki toleransi terhadap kekeringan. Demikian juga dengan penelitian yang dilakukan Vardharajula (2011) menguji kemampuan *Bacillus* sp terhadap toleransi kekeringan. Lebih lanjut Marulanda (2009) mengatakan mikroorganisme *B. megaterium* memiliki toleransi tinggi terhadap defisit air yang disebabkan oleh tekanan osmotik (PEG).

Beberapa isolat bakteri endofit yang diisolasi dari tanaman mangrove menunjukkan sifat yang sensitive, toleran dan sangat toleran terhadap kekeringan pada tekanan osmotik maksimum (-2,00 MPa), hal ini mengindikasikan bahwa isolat bakteri endofit yang diisolasi dari tanaman mangrove dapat dipromosikan sebagai bakteri yang dapat menginduksi ketahanan tanaman di lahan kering. Sebanyak 16 isolat bakteri yang memiliki nilai OD tertinggi pada tekanan 2,00 Mpa selanjutnya akan digunakan pada uji kemampuan menghasilkan IAA, uji kemampuan memfiksasi nitrogen, dan uji kemampuan dalam melarutkan fosfat.

Pengamatan morfologi koloni telah dilakukan terhadap 16 isolat bakteri yang memiliki nilai OD tertinggi pada tekanan 2,00 Mpa. Hasil pengamatan didapatkan bentuk bulat, bulat sedang dan tak beraturan. Tepi koloni ada yang rata, bergerigi, dan berombak. Keenam belas isolat memiliki elevasi cembung dan rata. Warna atau pigmentasinya bermacam-macam ada yang berwarna putih, putih susu, putih kecoklatan dan putih kekuningan. Hasil pengamatan morfologi bakteri endofit terhadap 16 isolat bakteri endofit disajikan pada tabel 2.

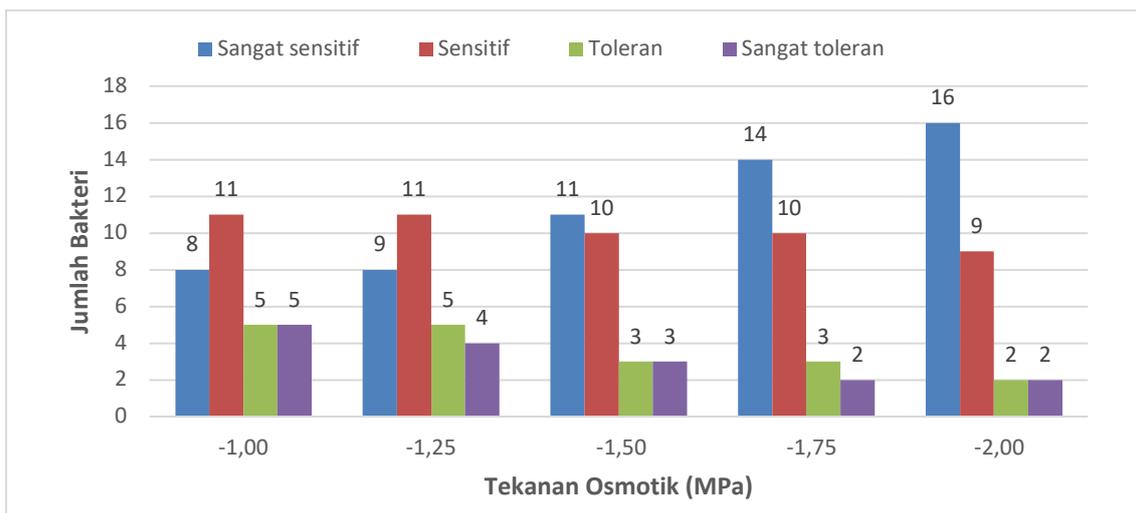
Tabel 2. Hasil pengamatan morfologi bakteri endofit asal tanaman mangrove

Kode Bakteri	Karakter Morfologi			
	Bentuk Koloni	Tepian Koloni	Warna Koloni	Elevasi
LH2B2	Tidak Beraturan	Rata	Putih Susu	Cembung
LH2B3	Tidak Beraturan	Berombak	Putih Susu	Cembung
LH3B1	Tidak Beraturan	Rata	Putih Kecoklatan	Cembung
LH3B3	Bulat Sedang	Berombak	Putih Kekuningan	Cembung
LW1B3	Bulat	Rata	Putih	Cembung
LW1B4	Bulat Sedang	Bergerigi	Putih Kekuningan	Rata
LW2B1	Bulat	Bergerigi	Putih Susu	Cembung
LW2B2	Bulat	Bergerigi	Putih Kekuningan	Cembung
LW2B3	Tidak Beraturan	Bergerigi	Putih Kecoklatan	Cembung
LW3B1	Bulat Sedang	Bergerigi	Putih Kecoklatan	Cembung
LW3B2	Bulat	Rata	Putih Kecoklatan	Rata
TG1B2	Bulat	Bergerigi	Putih Kecoklatan	Cembung
TG3B2	Bulat Sedang	Berombak	Putih Kekuningan	Cembung
L1BO2	Bulat	Rata	Putih Kekuningan	Rata

Tabel menunjukkan bahwa koloni bakteri menunjukkan bentuk yang beragam. Selain itu, morfologi koloni isolat bakteri yang ditemukan pada penelitian ini sesuai dengan pernyataan Cappucino and Sherman bahwa pada umumnya bentuk koloni bakteri berbentuk *circular, irregular, filamentous, rhizoid. Elevasi berbentuk raised, convex, flat, umbonate, crateriform*. Tepian yang berbentuk *entire, undulate, filiform, curled dan lobate*. Perbedaan bentuk koloni pada masing-masing bakteri juga berkaitan dengan kondisi ekologisnya. Menurut Nair dan Padvaty (2014) bahwa distribusimikroorganisme dipengaruhi oleh karakteristik lingkungan hidup, kondisi agroklimat dan kondisi ekologisnya. Selain itu perbedaan ini juga mempengaruhi terhadap sebaran jenis bakteri yang hidup pada lingkungan tertentu.

b. Potensi Bakteri Rhizosfer Sebagai Penginduksi Toleran Kekeringan

Hasil pengujian potensi bakteri rhizosfer toleran kekeringan menggunakan PEG 6000 dapat dilihat pada Gambar 3. Hasil seleksi bakteri rhizosfer toleran kekeringan pada tekanan -2,00 Mpa disajikan pada tabel 3.



Gambar 3. Grafik hasil seleksi Isolat bakteri rhizosfer menggunakan PEG 6000

Hasil pengujian toleransi bakteri rhizosfer dari tanaman mangrove diperoleh karakteristik bakteri berdasarkan nilai *Optical Density* (OD) pada tekanan osmotik -1,00 Mpa ditemukan 8 dengan kategori sensitif, 11 isolat dengan kategori sensitif, 5 isolat kategori toleran dan 5 isolat dengan kategori sangat toleran. Pada tekanan osmotik 1,25 Mpa ditemukan 9 dengan kategori sensitif, 11 isolat dengan kategori sensitif, 5 isolat kategori toleran dan 4 isolat dengan kategori sangat toleran. Pada tekanan osmotik 1,50 Mpa ditemukan 11 dengan kategori sensitif, 10 isolat dengan kategori sensitif, 3 isolat kategori toleran dan 3 isolat dengan kategori sangat toleran. Pada tekanan osmotik 1,75 Mpa ditemukan 14 dengan kategori sensitif, 10 isolat dengan kategori sensitif, 3 isolat kategori toleran dan 2 isolat dengan kategori sangat toleran. Demikian pula, pada tekanan osmotik 2,00 Mpa ditemukan 16 dengan kategori sensitif, 9 isolat dengan kategori sensitif, 2 isolat kategori toleran dan 2 isolat dengan kategori sangat toleran.

Bakteri yang memiliki nilai *Optical Density* (OD), lebih besar dari 0,5 pada tekanan osmotik tertentu dikategorikan sebagai bakteri yang sangat toleran kekeringan. Pengamatan menunjukkan bahwa jumlah bakteri rhizosfer yang sangat toleran kekeringan menurun dengan meningkatnya tekanan osmotik -1,00, -1,25, -1,50, -1,75 dan -2,00. Pilihan dari tingkat tekanan osmotik mengacu pada Michel dan Kauffman bahwa tekanan diciptakan dengan penambahan PEG

6000 yang larut dalam air sehingga menyebabkan media kultur menjadi lebih tebal karena penurunan tekanan potensial air sehingga air di media lebih sulit untuk digunakan oleh bakteri (Fua et al., 2021). Menurut Erna Sinaga (2015) menyatakan bahwa senyawa *polyethylene glycol* (PEG) merupakan senyawa yang dapat menurunkan potensial osmotik larutan melalui aktivitas matriks sub-unit etilena oksida yang mampu mengikat molekul air dengan ikatan hidrogen. Penggunaan larutan PEG 6000 dengan konsentrasi 5-20% pada media *in vitro* diharapkan dapat menciptakan potensial osmotik yang setara dengan kondisi tanah kapasitas lapang dan titik kelembaban kritis sehingga eksplan memberikan respon yang sama dengan tanaman yang mengalami cekaman di lapangan. Hasil seleksi bakteri rhizosfer toleran kekeringan pada tekanan osmottik 2,00 Mpa disajikan pada table berikut:

Tabel 3. Hasil seleksi bakteri rhizosfer toleran kekeringan menggunakan PEG 6000

No	Kode Isolat	Nilai <i>Optical Density</i> (OD) Pada Tekanan Osmotik (Mpa)					Toleransi Cekaman Kekeringan	Lokasi Asal Isolat (Desa/Kelurahan)
		-1,00	-1,25	-1,50	-1,75	-2,00		
1.	LH5B1	0,474	0,525	0,495	0,423	0,372	Sensitif	Lahundape
2.	LH5B2	0,387	0,531	0,435	0,437	0,344	Sensitif	Lahundape
3.	LH6B2	0,357	0,483	0,382	0,354	0,301	Sensitif	Lahundape
4.	T5B1	0,324	0,413	0,397	0,349	0,311	Sensitif	Tanjung Tiram
5.	T4B2	0,416	0,507	0,574	0,526	0,538	Sangat Toleran	Tanjung Tiram
6.	T5B2	0,319	0,398	0,310	0,209	0,305	Sensitif	Tanjung Tiram
7.	TG5B1	0,378	0,456	0,371	0,390	0,321	Sensitif	Todonggea
8.	TG6B1	0,477	0,348	0,346	0,391	0,303	Sensitif	Todonggea
9.	TG6B2	0,347	0,369	0,378	0,341	0,421	Toleran	Todonggea
10.	TG6B3	0,373	0,300	0,390	0,192	0,366	Sensitif	Todonggea
11.	L4B1	0,560	0,405	0,380	0,355	0,360	Sensitif	Lalowaru
12.	L6B2	0,582	0,500	0,599	0,457	0,434	Toleran	Lalowaru
13.	LW6B1	0,527	0,590	0,510	0,565	0,562	Sangat Toleran	Lalowaru

Tabel 3 menunjukkan bahwa hasil seleksi bakteri rhizosfer dari tanaman mangrove memiliki kemampuan yang berbeda-beda pada setiap tekanan osmotik yang diberikan. Berdasarkan hasil uji diperoleh 13 isolat bakteri rhizosfer

yang memiliki nilai OD tertinggi pada tekanan osmotik -2,00 Mpa yang diisolasi dari tanaman mangrove yaitu 0,562 isolat LW6B1 yang ditemukan di Desa Lalowaru dan 0,538 isolat T4B2 yang ditemukan di Desa Tanjung Tiram dengan kategori sangat toleran. Bakteri rhizosfer dengan kategori toleran berjumlah 2 yaitu isolat TG6B2 dan L6B2. Perbedaan jumlah perolehan isolat bakteri pada masing-masing tekanan osmotik ini diduga dipengaruhi oleh pemberian konsentrasi *polyethylene glycol* (PEG) yang berbeda-beda hal ini sesuai dengan pernyataan Michel dan Kaufman (1973) bahwa tekanan yang dibuat melalui penambahan senyawa PEG yang bersifat larut air menyebabkan media kultur menjadi lebih kental karena terjadinya penurunan tekanan potensial air sehingga air yang ada di media lebih sulit digunakan oleh bakteri. Selain itu, tingginya tekanan osmotik di luar sel bakteri menyebabkan cairan di dalam sel akan terdifusi ke luar sel, sehingga kerusakan dinding mikroba akan menyebabkan terjadinya lisis. Menurut Aprilia (2014), toleran adalah suatu kondisi dimana bakteri masih mampu bertahan hidup dan bertahan padalingkungan yang kurang menguntungkan yaitu kekeringan. Sedangkan, sensitif adalah keadaan dimana bakteri tidak mampu bertahan hidup karena lingkungan tidak mendukung kehidupannya. Selain itu, pada tekanan osmotik -2,00 Mpa terdapat bakteri rhizosfer dengan kategori sensitif berjumlah 9 yaitu LH5B1, LH5B2, LH6B2, T5B1, TG5B1, T5B2, TG6B1 TG6B3, dan L4B1.

Dari 29 bakteri, terpilih 13 isolat bakteri rhizosfer yang memiliki kemampuan toleransi terhadap kekeringan berdasarkan nilai OD, selanjutnya akan digunakan pada uji kemampuan menghasilkan IAA, kemampuan memfiksasi nitrogen, kemampuan melarutkan fosfat, dan uji gram.

Hasil pengamatan karakter morfologi bakteri endofit terhadap 13 isolat bakteri rhizosfer disajikan pada tabel 4.

Tabel 4. Karakter morfologi bakteri rhizosfer yang diisolasi dari tumbuhan mangrove.

No.	Kode Bakteri	Karakter Morfologi			
		Tepi	Warna	Bentuk	Elevasi
1.	LH5B2	Berombak	Putih	Bulat	Cembung
2.	L6B2	Rata	Putih Susu	bulat	melengkung
3.	LW6B1	Rata	Putih Susu	Bulat	Cembung

4.	T5B2	Bergerigi	Putih	berombak	Timbul datar
5.	T5B1	Berombak	Putih Kekuningan	berombak	Timbul datar
6.	TG6B2	Rata	Putih Susu	Bulat	Cembung
7.	TG6B3	Bergerigi	Putih	rhizoid	Timbul datar
8.	T4B2	Rata	Putih	Bulat	Cembung
9.	LH6B2	Rata	Putih Kekuningan	Bulat	Cembung
10.	TG5B1	Berombak	Putih Susu	rhizoid	Cembung
11.	TG6B1	Berombak	Putih Susu	Bulat	Cembung
12.	LH5B1	Rata	Putih Susu	Bulat	Cembung
13.	L4B1	Rata	Putih Susu	Bulat	Cembung

Hasil pengamatan karakter morfologi bakteri rhizosfer dari tumbuhan mangrove menunjukkan bentuk yang bervariasi. Berdasarkan hasil identifikasi warna koloni ke 13 pada tabel 2 isolat rhizosfer, hanya terdapat 3 warna yang berbeda yaitu putih, putih susu dan putih kekuningan. Warna putih merupakan warna umum pada isolat ketika di tumbuhkan pada media dalam cawan petri. Menurut Purwaningsih (2004) warna putih susu adalah salah satu ciri isolat bakteri yang ditumbuhkan pada media cawan. Hasil penelitian Heliati (2003) menyatakan bahwa bakteri koloni rhizobium berbentuk cembung, warna putih dan putih susu dengan tekstur lengket yang merupakan ciri-ciri dari bakteri dalam skala laboratorium. Selanjutnya Surtiningsih et al. (2009) menambahkan bahwa karakteristik bakteri Rhizobium secara makroskopis adalah warna koloni putih susu. Ditinjau dari segi bentuknya, ke 13 isolat mempunyai 3 ragam bentuk yang berbeda yaitu circular (bulat), irreguler (berombak), dan rhizoid (berakar). Berdasarkan hasil pengamatan terdapat 9 isolat yang berbentuk circular. Selanjutnya Surtiningsih et al. (2009) menambahkan bahwa karakteristik bakteri Rhizobium secara makroskopis adalah berbentuk koloni sirkuler, irreguler, dan rhizoid. Sari et al. (2018) juga menambahkan, berdasarkan pengamatan morfologi koloni pada hasil isolat Rhizobium dari tanaman legum yang diteliti menunjukkan hasil yang sama, dan ketika ditumbuhkan di media cawan ukuran koloni besar, berwarna putih susu, bentuknya sirkular. Tepian koloni adalah kenampakan pada pinggir koloni yaitu dapat terlihat rata (entire) jika pinggir koloni mulus, berlekuk (lobate) jika pinggir koloni berlekuk dua atau tiga lekukan, bergelombang (undulate) jika seluruh pinggir membentuk gelombang dan bergerigi (serrate) jika pinggir koloni berlekuk tajam. Hasil pengamatan secara makroskopis menunjukkan bahwa tepi koloni bervariasi, namun terdapat 7 isolat

memiliki koloni dengan tepi rata, ini adalah salah satu karakteristik bakteri *Rhizobium*. Menurut Somasegaran et al., (1985) karakteristik morfologi bakteri *Rhizobium* sp. biasanya memiliki tepian yang halus. Selanjutnya Sari et al. (2018) juga menambahkan bahwa bakteri *Rhizobium* marginnya entire. Elevasi menunjukkan pertumbuhan koloni diatas permukaan media, hasil pengamatan terhadap isolat yang telah diisolasi elevasi koloni cembung menjadi elevasi yang terbanyak dari ke 23 isolat yakni 9 isolat. Heliati (2003) yang menyatakan bahwa bakteri koloni *Rhizobium* berbentuk cembung, Sari et al. (2018) juga menambahkan bahwa elevasi koloni *Rhizobium* bentuknya cembung.

3. Kataristik Mikroba Asal Tumbuhan Mangrove Memiliki Potensi Sebagai Pemacu Pertumbuhan

a. Potensi Bakteri Endofit Sebagai Pemacu Pertumbuhan

1) Kemampuan Bakteri Endofit Menghasilkan IAA

Bakteri Penghasil IAA mampu menghasilkan fitohormon yang dapat mempercepat pertumbuhan tanaman. Hormon IAA adalah auksin endogen yang berperan dalam pembesaran sel, menghambat pertumbuhan tunas samping, merangsang terjadinya absisi, berperan dalam pembentukkan jaringan xilem dan floem, dan juga berpengaruh terhadap perkembangan dan pemanjangan akar. Hormon IAA merupakan hormon yang berperan dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman sehingga sintesis oleh bakteri tertentu merupakan alasan yang menyebabkan peningkatan pertumbuhan tanaman (Aryantha et al., 2004). Hasil pengamatan kemampuan bakteri endofit dalam menghasilkan IAA dilihat dari perubahan warna yang diamati pada setiap isolat setelah diinkubasi pada ruang gelap. Hasil pengukuran nilai absorbansi dan perubahan warna pada supernatant kulturbakteri adalah sebagai berikut:

Tabel 5. Hasil pengukuran nilai absorbansi kultur bakteri

NO	Kode isolat	Nilai absorbansi	Warna kultur bakteri	Keterangan
1.	LH2B2	0,795	Merah	++
2.	LH2B3	0,540	Merah	++
3.	LH3B1	0,589	Merah	++
4.	LH3B3	0,489	Merah	++
5	LW1B3	0,275	Netral	-

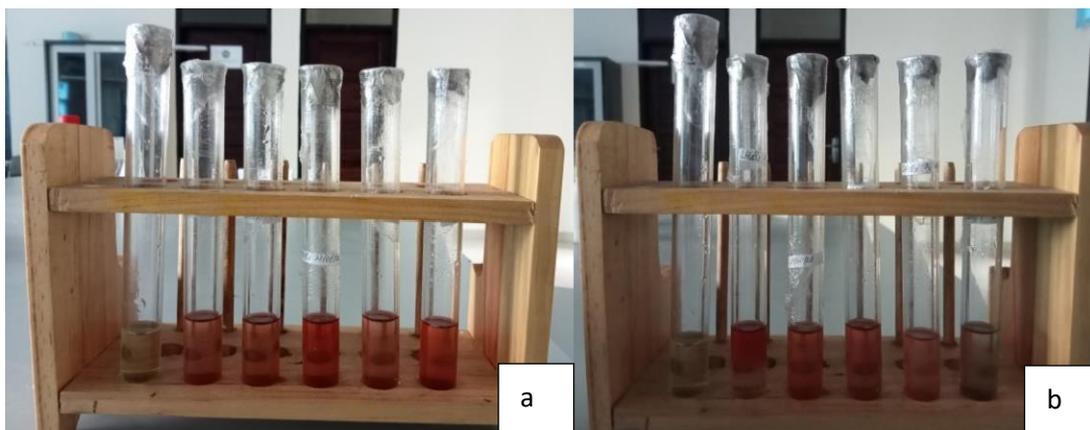
6.	LW1B4	0,378	Merah	++
7.	LW2B1	0,405	Merah	++
8.	LW3B1	0,705	Merah	++
9.	TG1B2	0,360	Merah	++
10.	TG3B2	0,719	Merah	++
11.	L1BO2	0,275	Merah Muda	+
12.	L1BO3	0,567	Merah	++
13.	LH1B3	0,426	Merah	++
14.	LW2B2	0,408	Merah	++
15.	LW3B2	0,491	Merah	++
16.	LW2B3	0,498	Merah	++

Keterangan : (-) Tidak menghasilkan IAA; (+) Menghasilkan IAA kategori rendah; (++) Menghasilkan IAA kategori tinggi.

Hasil pengujian bakteri endofit dalam memproduksi hormon IAA (Gambar 4) menunjukkan bahwa setiap isolat bakteri memiliki kemampuan yang berbeda dalam mensintesis hormon IAA. Menurut Pattern dan Glick (2015) hasil yang berbeda antara setiap konsentrasi IAA isolat bakteri dapat dipengaruhi oleh perbedaan konsentrasi triptofan yang ditambahkan ke media. Triptofan merupakan prekursor dalam biosintesis auksin baik pada tanaman maupun pada mikroorganisme. Triptofan mengandung senyawa aktif yang memacu pertumbuhan mikrobiota rhizosfer dan endofit. Ketersediaan prekursor yang cocok merupakan faktor primer sekresi mikrobial dari metabolit sekunder. Biosintesis mikrobial IAA dalam tanah dapat dipacu dengan adanya triptofan yang berasal dari eksudat akar atau sel-sel yang rusak (Benziri et al, 1998 dalam Husen 2003).

Hormon IAA merupakan hormon yang berperan dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman sehingga sintesis oleh bakteri tertentu merupakan alasan yang menyebabkan peningkatan pertumbuhan tanaman. Terdapat 15 kultur bakteri yang mampu memproduksi hormon IAA dengan kategori tinggi yaitu isolat LH2B2, LH2B3, LH3B1, LH3B3, LW1B4, LW2B1, LW3B1, TG1B2, TG3B2, L1BO2, L1BO3, LH1B3, LW2B2, LW3B2, dan LW2B3. Sintesis IAA oleh mikroba tergantung jalur triptofan dimana typtofan digunakan sebagai prekursor dan metabolik yang berbeda. Beberapa mikroorganisme endofit memiliki potensi

untuk mensintesis IAA untuk meningkatkan atau merangsang pertumbuhan ketika terjadi kolonisasi dengan endofit (Shi et al. 2009).. Salah satu kontribusi besar mikroorganisme ini terhadap pertumbuhan tanaman adalah produksi molekul seperti auksin (Spaepen et al. 2007). Indole 3 asam asetat (IAA) menjadi auksin dapat merangsang pertumbuhan seperti pemanjangan sel dan pembelahan sel dan diferensiasi (Taghavi et al. 2009). Terdapat isolat bakteri yang tidak dapat menghasilkan IAA yaitu isolat LW1B3. IAA merupakan hormon auksin utama dalam tanaman yang mengendalikan pertumbuhan tanaman. Selain itu, banyak proses fisiologis penting termasuk pembesaran sel, diferensiasi sel yang difasilitasi oleh hormon IAA . lebih lanjut IAA yang dihasilkan oleh bakteri jika diberikan pada tanaman akan dapat berpengaruh terhadap sensitivitas jaringan tanaman khususnya pada daerah perakaran. Peningkatan pertumbuhan pada rambut akar tentunya memberikan pengaruh dalam peningkatan luas area penyerapan unsur hara untuk tanaman



Gambar 4. Kemampuan bakteri endofit dalam menghasilkan IAA, (a) perubahan warna merah pada kultur bakteri dan (b) perubahan warna merah mudah pada kultur bakteri.

2) Kemampuan Bakteri Endofit Mengfiksasi Nitrogen

Bakteri endofit merupakan mikroorganisme yang hidup di dalam jaringan tanaman yang sehat tanpa menunjukkan gejala dari keberadaan bakteri tersebut. Bakteri endofit yang memiliki kemampuan dalam penambatan nitrogen secara biologi akan sangat membantu tanaman dalam memperoleh unsur hara N (Van Elsas et al., 2007). Secara umum, fiksasi nitrogen biologis sebagai bagian dari input nitrogen untuk mendukung pertumbuhan tanaman telah menurun akibat intensifikasi pemupukan anorganik (Hindersah dan Simarmata, 2004). Unsur nitrogen termasuk unsur utama dan merupakan faktor pembatas dalam pertumbuhan, sehingga merupakan kunci keberhasilan pertumbuhan tanaman (Purwaningsih, 2004). Sumber N utama tanah adalah dari bahan organik melalui proses mineralisasi NH_4^+ dan NO_3^- . Selain itu N dapat juga bersumber dari atmosfer (78 % melalui curah hujan (8 -10 % N tanah), penambatan (fiksasi) oleh mikroba tanah baik secara simbiosis dengan tanaman maupun hidup bebas.

Hasil pengujian kemampuan bakteri dalam memfiksasi nitrogen terhadap 16 isolat bakteri endofit didapatkan 16 isolat bakteri endofit asal tanaman mangrove yang memiliki kemampuan dalam memfiksasi nitrogen yakni LH2B2, LH2B3, LH3B1, LH3B3, LW1B3, LW1B4, LW2B1, LW3B1, TG1B2, TG3B2, L1B02, L1B03, LH1B3, LW2B2, LW3B2, LW2B3. Kemampuan bakteri endofit dalam memfiksasi nitrogen ini ditandai dengan adanya kekeruhan media dalam tabung reaksi. Hal ini sesuai dengan pendapat Purwowko (2017) bahwa tingkat kekeruhan pada media mempengaruhi dalam pengikatan nitrogen karena adanya enzim nitrogenase yang bekerja di bakteri tersebut. Penelitian Mirsha (2013) menunjukkan bahwa aktifitas maksimum enzim nitrogenase dari bakteri dengan menggunakan media burk memberikan aktifitas yang berbeda-beda sesuai dengan jenis substratnya.

Hasil uji kemampuan bakteri endofit dalam memfiksasi nitrogen dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengujian Kemampuan bakteri endofit dalam fiksasi nitrogen.

NO	Kode Isolat	Indikator warna isolat	Keterangan
1.	LH2B2	Keruh	+
2.	LH2B3	Keruh	++
3.	LH3B1	Keruh	++
4.	LH3B3	Keruh	++
5.	LW1B3	Keruh	++
6.	LW1B4	Keruh	++
7.	LW2B1	Keruh	++
8.	LW3B1	Keruh	++
9.	TG1B2	Keruh	++
10.	TG3B2	Keruh	++
11.	L1BO2	Keruh	++
12.	L1BO3	Keruh	++
13.	LH1B3	Keruh	++
14.	LW2B2	Keruh	++
15.	LW3B2	Keruh	++
16.	LW2B3	Keruh	++

Keterangan: Kemampuan bakteri endofit dalam mengfiksasi nitrogen. (+) Mengfiksasi nitrogen kategori rendah; (++) Mengfiksasi nitrogen kategori tinggi.

Tabel 6 menunjukkan bahwa semua bakteri endofit dapat melakukan fiksasi nitrogen yang ditandai dengan indikator perubahan warna pada media yang digunakan. Haran dan Anshori (1992) menjelaskan bahwa perubahan warna pada media burk terjadi karena sifat indikator media yang berubah menjadi keruh, hal tersebut karena adanya aktivitas nitrogenase, didukung dengan Nurosid (2008) yang menyatakan bahwa media burk mampu menyediakan nutrisi yang dibutuhkan oleh bakteri penambat nitrogen. Perubahan warna keruh pada media burk menunjukkan bahwa terdapat aktivitas nitrogenase yang dilakukan oleh bakteri penambat nitrogen. Hal ini membuktikan bahwa dalam sampel tanaman mangrove yang diteliti, memiliki potensi sebagai mikroba pemfiksasi nitrogen yang ikut berperan dalam pertumbuhan tanaman, sehingga tanaman dapat tumbuh dengan baik.

Beberapa penelitian menunjukkan tentang kontribusi bakteri endofit dalam fiksasi nitrogen seperti Ratna (2015) yang melaporkan bahwa isolat bakteri dari

tanaman apel dapat memfiksasi nitrogen dengan tingkat kekeruhan tertinggi. Lebih Sulistiyani (2017) melaporkan bahwa dari 89 isolat bakteri endofit hanya diperoleh 16 isolat yang mampu memfiksasi nitrogen. Demikian pula dengan laporan Anugrah (2018) bahwa penelitian yang dilakukan dengan menggunakan media NfB terdapat 5 isolat bakteri penambat nitrogen asal perakaran tanaman padi padi (*Oryza sativa*) dengan kode isolate K1, K4, K7, K15 dan K12.

3) Kemampuan Bakteri Endofit dalam Melarutkan Fosfat

Hasil pengujian kemampuan melarutkan fosfat (Gambar 5) terhadap 16 isolat bakteri diperoleh 12 isolat bakteri endofit asal tanaman mangrove yang memiliki kemampuan dalam melarutkan fosfat dalam medium selektif *pikovskaya agar*, yakni LH2B2, LH3B1, LH3B3, LW1B3, LW1B4, LW2B1, LW3B1, TG1B2, TG3B2, LW2B2, LW3B2, LW2B3. Kemampuan isolat bakteri endofit ini ditandai dengan terbentuknya zona bening disekitar koloni bakteri. Zona bening yang terbentuk merupakan indikasi bahwa isolat bakteri tersebut mampu melarutkan fosfat kompleks. Zona bening pada medium *pikovskaya agar* dapat terbentuk akibat pelarutan enzim kitinase. Hal ini sejalan dengan penelitian Suryadi (2012) yang menyatakan zona bening terbentuk akibat enzim kitinase dikeluarkan dari sel bakteri untuk memecah makromolekul kitin menjadi molekul kitin yang lebih kecil. Gohel (2019) menjelaskan bahwa aktivitas kitin secara kualitatif ditentukan oleh adanya zona bening di sekitar koloni bakteri yang tumbuh pada medium *pikovskaya*. Adapun . Hasil uji indek kelarutan fosfat (IKF) yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Hasil pengujian Kemampuan bakteri endofit dalam melarutkan fosfat.

Kode Isolat	Diameter Koloni (mm)	Diameter Zona Bening (mm)	Nilai IKF	Kriteria
LH2B2	8 mm	22 mm	3,75	Sangat tinggi
LH2B3	12 mm	-	-	-
LH3B1	8 mm	20 mm	3,5	Sangat tinggi
LH3B3	8 mm	14 mm	2,7	Sedang
LW1B3	8 mm	19 mm	3,3	Sangat tinggi
LW1B4	8 mm	12 mm	2,5	Sedang
LW2B1	10 mm	15 mm	2,5	Sedang
LW3B1	9 mm	12 mm	2,3	Sedang
TG1B2	9 mm	22 mm	3,4	Sangat tinggi

TG3B2	8 mm	17 mm	3,1	Sangat tinggi
L1BO2	8 mm	-	-	-
L1BO3	8 mm	-	-	-
LH1B3	7 mm	-	-	-
LW2B2	8 mm	20 mm	3,5	Sangat tinggi
LW3B2	8 mm	28 mm	4,5	Sangat tinggi
LW2B3	8 mm	25 mm	4,1	Sangat tinggi

Keterangan : Kategori indeks kelarutan fosfat. ($\leq 1,59$) Rendah; (1,6 – 2,12) sedang; (2,15 – 2,59) tinggi; (2,6 – 3) sangat tinggi.

Berdasarkan tabel di atas nampak indeks kelarutan fosfat kategori sangat tinggi diperoleh pada isolat LW3B2 sebesar 4,5 yang ditandai dengan adanya zona bening disekitar media pikovskaya dan kemampuan bakteri dalam melarutkan fosfat kategori sedang diperoleh pada isolat LW3B1 dengan nilai IKF 2,3. Hasil penelitian terhadap 16 isolat bakteri endofit menunjukan bahwa 12 isolat bakteri endofit memiliki kemampuan yang berbeda-beda dalam melarutkan fosfat. Rachmiati (1995) bahwa mikroorganisme mengeksresikan sejumlah asam organik berbobot molekul rendah seperti oksalat, suksinat, tartrat, sitrat, laktat, asetat, formiat, propionat, glikolat, glutamate, glioksilat, malat, fumarat. Meningkatnya asam-asam organik diikuti dengan penurunan pH. Perubahan pH berperan penting dalam pengikatan kelarutan fosfat. Asam-asam organik akan bereaksi dengan bahan pengikat fosfat yaitu Ca^{2+} pada $Ca_3(PO_4)_2$ yang ada di media pikovskaya, membentuk khelat organik yang stabil sehingga mampu membebaskan ion fosfat terikat.

Beberapa bakteri seperti *Bacillus*, *Pseudomonas* mengeluarkan asam-asam organik dan menurunkan pH di sekitarnya untuk memutuskan ikatan fosfat dalam tanah (Mojn and Radhakrishna, 2012). Rodriguez dan Fraga (1999) menyatakan, beberapa strain dari genus *Pseudomonas*, *Bacillus* dan *Rhizobium* diketahui dapat melarutkan fosfat dengan baik. Bakteri ini memiliki kemampuan terbesar sebagai biofertilizer dengan cara melarutkan unsur fosfat yang terikat pada unsur lain (Fe, Al, Ca, dan Mg), sehingga unsur P tersebut menjadi tersedia bagi tanaman (Marista, 2013). Lebih lanjut Karpagan dan Nagalaksmi (2014) melaporkan bahwa hasil isolasi 37 isolat bakteri dari tanah pertanian menunjukan zona bening pada pertumbuhan mikroba menggunakan medium agar pikovskaya

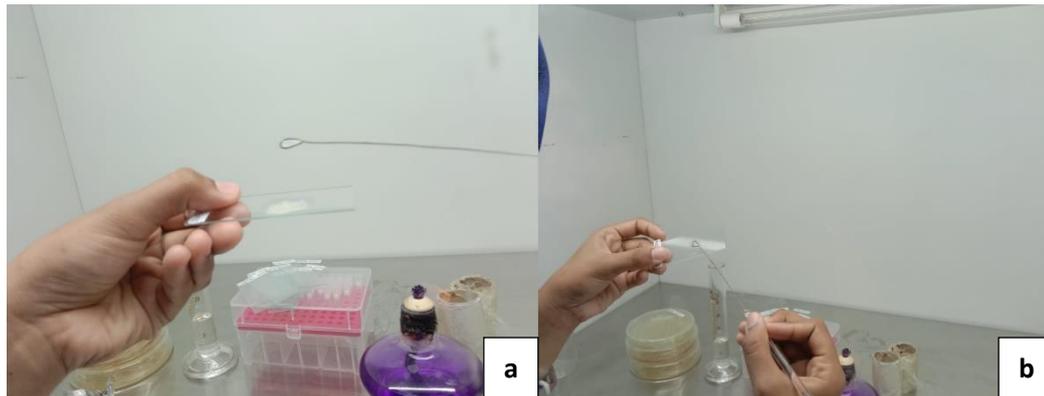
yang dianggap sebagai pelarut fosfat. Dari 37 isolat bakteri, 8 isolat genus *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., dan *Rhizobium* sp menunjukkan indeks kelarutan fosfat (IKF) tertinggi berkisar antara 1,13-3,0 diantara 8 isolat terbaik, 3 strain menunjukan IKF maksimum yang terdapat pada isolat PSM1, PSM2, dan PSM6 dengan produksi fosfat sebesar 0,37 mgL⁻¹, 0,30 mgL⁻¹ dan 0,28 mg-L secara berturut-turut. Penampakan kelarutan fosfat pada media agar pikovskya di sajikan pada gambar berikut.



Gambar 5. Uji fosfat, (a) tidak ada kelarutan fosfat (b) nilai IKF sedang, dan (c) nilai IKF tertinggi

4) Pengujian Gram Bakteri Endofit Menggunakan KOH

Hasil pengujian reaksi gram (tabel 8) yang dilakukan pada isolat bakteri endofit diperoleh hasil 9 isolat bakteri endofit tergolong dalam gram positif yaitu isolat LH2B2, LH3B3, LW1B3, LW1B4, LW2B1, LW2B2, LW2B3, LW3B2, dan isolat LH1B3 yang ditandai dengan tidak adanya lendir pada hasil uji. Selain itu, terdapat 7 isolat bakteri endofit yang tergolong dalam bakteri gram negatif yaitu isolat LH3B1, LW3B1, TG1B2, TG3B2, L1B02, dan isolat L1B03 yang ditandai dengan adanya lendir pada isolat yang diuji (Gambar 6). Terbentuknya lendir tersebut dikarenakan pecahnya dinding sel bakteri akibat berada dalam larutan alkali tinggi ketika diberikan KOH 3%. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Soekirno (2008), yang menyatakan bahwa reaksi gram dapat dikonfirmasi dengan uji kelarutan kalium hidroksida. Sedangkan bakteri gram positif tidak membentuk lendir karena dinding sel bakteri gram positif memiliki lapisan peptidoglikan yang tebal. Menurut Jawetz (2018) bahwa perbedaan kedua bakteri gram didasarkan pada perbedaan struktur dinding sel yang berbeda dan merupakan prosedur penting dalam klasifikasi bakteri.



Gambar 6. Pengujian gram bakteri endofit menggunakan KOH, (a) Bakteri Gram Positif dan (b) Bakteri Gram Negatif

Tabel 9. Pengujian gram bakteri endofit menggunakan KOH

No	Kode Bakteri	Gram
1.	LH2B2	Positif (+)
2.	LH2B3	Negatif (-)
3.	LH3B1	Negatif (-)
4.	LH3B3	Positif (+)
5.	LW1B3	Positif (+)
6.	LW1B4	Positif (+)
7.	LW2B1	Positif (+)
8.	LW2B2	Positif (+)
9.	LW2B3	Positif (+)
10.	LW3B1	Negatif (-)
11.	LW3B2	Positif (+)
12.	TG1B2	Negatif (-)
13.	TG3B2	Negatif (-)
14.	L1BO2	Negatif (-)
15.	L1BO3	Negatif (-)
16.	LH1B3	Positif (-)

Hasil penelitian sebelumnya terdapat 40 % sampel yang memiliki lendir (Negatif) sedangkan sampel tidak memiliki lendir (Positif) dengan persentase 60 %. Aninditia (2013) Bakteri gram negatif menghasilkan lendir dikarenakan memiliki dinding sel yang sensitif dibandingkan dengan bakteri gram positif dan tidak memiliki ketahanan terhadap penghambat basa seperti larutan KOH. Sehingga apabila sel bakteri negatif direaksikan dengan larutan KOH, maka

dinding sel bakteri akan pecah dan terjadi lisis sehingga DNA tidak terikat. DNA bersifat sangat kental di dalam air, sehingga akan membentuk lendir.

b. Potensi Bakteri Rhizosfer Sebagai Pemacu Pertumbuhan

1) Kemampuan Menghasilkan Hormon IAA

Hormon IAA sendiri merupakan salah satu fitohormon golongan auksin yang memegang peranan penting untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Menurut Tenggara (2016), hormon IAA dapat meningkatkan pertumbuhan dan perpanjangan akar sehingga permukaan akar menjadi lebih luas dan akhirnya tanaman mampu menyerap nutrisi dari dalam tanah lebih banyak. Herlina (2016) menambahkan bahwa bakteri Penghasil IAA mampu menghasilkan fitohormon yang dapat mempercepat pertumbuhan tanaman. Hormon IAA adalah auksin endogen yang berperan dalam pembesaran sel, menghambat pertumbuhan tunas samping, merangsang terjadinya absisi, berperan dalam pembentukan jaringan xilem dan floem, dan juga berpengaruh terhadap perkembangan dan pemanjangan akar.

Hasil uji kemampuan bakteri rhizosfer menghasilkan hormon IAA dari 13 isolat bakteri diperoleh 9 isolat yang mampu menghasilkan hormon IAA. Kemampuan isolasi bakteri rhizosfer dalam memproduksi hormon IAA ditandai dengan perubahan warna supernatan kultur bakteri menjadi warna merah muda. Semakin pekat warna merah muda yang dihasilkan maka konsentrasi dari hormon IAA semakin tinggi. Hasil uji kemampuan bakteri rhizosfer menghasilkan hormon IAA dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Kemampuan bakteri rhizosfer menghasilkan hormon IAA

No	Kode isolasi	Nilai absorbansi	Warna kultur bakteri	Keterangan
1.	T5B1	0,210	Netral	-
2.	TG6B1	0,337	Merah muda	+
3.	LH6B2	0,397	Merah	++
4.	L6B2	0,507	Merah	++
5.	LW6B1	0,478	Merah	++
6.	LH5B1	0,334	Merah muda	+
7.	TG5B1	0,382	Merah	++
8.	TG6B2	0,314	Merah muda	+

9.	LH5B2	0,399	Merah	++
10.	T5B2	0,255	Netral	-
11.	TG6B3	0,347	Netral	-
12.	T4B2	0,556	Merah	++
13.	L4B1	0,282	Netral	-

Keterangan : (-) Tidak menghasilkan IAA; (+) Menghasilkan IAA kategori rendah; (++) Menghasilkan IAA kategori tinggi.

Berdasarkan hasil pengujian kemampuan bakteri rhizosfer dalam memproduksi hormon IAA menunjukkan bahwa masing-masing isolasi bakteri rhizosfer memiliki kemampuan yang berbeda dalam mensintesis hormon IAA dari triptofan. Terdapat 6 Isolat bakteri dengan warna merah menunjukkan kandungan IAA dari bakteri tersebut sangat tinggi yaitu LH6B2, L6B2, LW6B1, TG5B1, LH5B2, dan T4B2. Isolat bakteri dengan warna merah muda menunjukkan adanya kandungan IAA dengan kategori rendah yang berjumlah 4 isolat bakteri yaitu TG6B1, LH5B1, dan TG6B2. Isolat bakteri dengan warna netral menunjukkan isolat bakteri tidak mampu menghasilkan IAA yaitu TG6B3, T5B1, T5B2 dan L4B1. Terjadinya perubahan warna kultur bakteri menjadi warna merah muda dikarenakan adanya interaksi antara IAA pada bakteri dengan Fe dari reagen salkowski yang membentuk senyawa kompleks $[\text{Fe}_2(\text{OH})_2(\text{IA})_4]$ (Firdausi, 2018).

Hormon IAA merupakan hormon yang berperan dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman sehingga sintesis oleh bakteri tertentu merupakan alasan yang menyebabkan peningkatan pertumbuhan tanaman. Istiqomah (2017) menambahkan bahwa bakteri penghasil IAA terlibat dalam beberapa proses fisiologis tanaman dengan memasukkan IAA yang dihasilkannya ke tanaman. Kondisi tersebut mampu membantu proses pembentukan akar lateral, adventif, dan perpanjangan akar primer. Keterlibatan bakteri yang mampu memproduksi IAA akan meningkatkan jumlah rambut akar dan akar lateral tanaman.

2) Kemampuan Memfiksasi Nitrogen

Hasil uji kemampuan bakteri rhizosfer memfiksasi nitrogen diperoleh 11 isolat yang mampu memfiksasi nitrogen sedangkan 2 bakteri tidak dapat memfiksasi nitrogen. Distribusi hasil uji kemampuan bakteri rhizosfer dalam memfiksasi nitrogen dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11. Uji kemampuan fiksasi nitrogen bakteri rhizosfer

No.	Kode Isolat	Indikator warna isolat	Keterangan
1.	LW6B1	Keruh	++
2.	LH5B1	Keruh	++
3.	L4B1	Keruh	++
4.	LH6B2	Keruh	++
5.	LH5B2	Keruh	++
6.	TG5B1	Keruh	++
7.	TG6B2	Keruh	++
8.	L6B2	Agak keruh	+
9.	T4B2	Agak keruh	+
10.	TG6B1	Agak keruh	+
11.	T5B1	Agak keruh	+
12.	TG6B3	Jernih	-
13.	T5B2	Jernih	-

Keterangan: Kemampuan bakteri endofit dalam mengfiksasi nitrogen. (+) Mengfiksasi nitrogen kategori rendah; (++) Mengfiksasi nitrogen kategori tinggi.

Hasil uji kemampuan bakteri rhizosfer dalam memfiksasi nitrogen diperoleh 11 isolat yang mampu memfiksasi nitrogen. Terdapat 7 Isolasi bakteri keruh yang memiliki kemampuan memfiksasi tinggi yaitu isolasi bakteri LW6B1, LH5B1, L4B1, LH6B2, LH5B2, TG5B1, dan TG6B2. 4 isolat bakteri agak keruh yaitu isolasi bakteri yang mampu memfiksasi nitrogen yaitu L6B2, T4B2, TG6B1, dan T5B1. 2 isolat bakteri dengan media kultur jernih yang menunjukkan bakteri tersebut tidak mampu memfiksasi nitrogen yaitu TG6B3 dan T5B2. Isolasi positif sebagai pemfiksasi nitrogen jika bakteri tersebut mampu tumbuh dalam larutan Burk salt yang ditandai dengan kekeruhan media dalam tabung reaksi. Isolasi yang memperlihatkan media pertumbuhan yang sangat keruh diberi tanda ++ (aktivitas tinggi), media pertumbuhan keruh diberi tanda + (aktivitas

sedang), dan media yang tidak keruh diberi tanda -(negatif) (Khaeruni, et al., 2020).



Gambar 7. Perbandingan warna kultur isolat bakteri uji fiksasi nitrogen

Nitrogen molekular atau dinitrogen (N_2) menempati 80% dari atmosfer bumi, tetapi secara metabolis nitrogen bentuk ini tidak tersedia untuk tanaman tingkat tinggi. Nitrogen bentuk ini tersedia untuk sejumlah mikroorganisme melalui fiksasi nitrogen biologis (BNF) karena nitrogen atmosfer dikonversikan menjadi ammonia dengan bantuan enzim nitrogenase (Gunawan & Kartina, 2012). Pada umumnya, sumber nitrogen berasal dari udara bebas yang difiksasi oleh mikrob tanah. Mikrob yang berperan sebagai pemacu pertumbuhan mampu berperan dalam menambat nitrogen secara biologis dari udara (Khaeruni, Nirmala, Hisein, et al., 2020). Di dalam tanah nitrogen diubah menjadi ammonium. Dalam bentuk ammonium tersebutlah nitrogen dapat dimanfaatkan oleh tanaman secara optimum. Selain dalam bentuk ammonium, nitrogen juga dapat digunakan oleh tumbuhan dalam bentuk nitrat (Amir et al., 2012). Nitrogen sendiri diserap baik dalam bentuk ammonium (NH_4^+) maupun nitrat (NH_3^-). Ketersediaan N dalam tanah diikat oleh tanaman melalui akar dengan dibantu oleh organisme yang ada dalam tanah. Nitrogen yang terserap oleh tanaman kemudian digunakan untuk merangsang pertumbuhan vegetatif tanaman, seperti daun, batang dan akar. Unsur N berfungsi untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman, menyehatkan pertumbuhan daun dengan warna yang lebih hijau (Sutedjo, 1999). Unsur N dalam tubuh tanaman dijumpai dalam bentuk anorganik yang bergabung dengan unsur C, H, dan O membentuk asam amino, enzim,

asam nukleat, dan klorofil, sehingga dapat meningkatkan laju fotosintesis (Nuraeni et al., 2019).

3) Kemampuan Melarutkan Fosfat

Hara P merupakan hara makro kedua setelah N yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang cukup banyak. Ketersediaan P dalam tanah ditentukan oleh bahan induk tanah serta faktor-faktor yang mempengaruhi ketersediaan hara P seperti reaksi tanah (pH), kadar Al dan Fe oksida, kadar Ca, kadar bahan organik, tekstur dan pengolahan lahan (Kasno et al., 2006). Unsur P merupakan hara utama (primer) kedua setelah N yang berperan dalam metabolisme dan proses mikrobiologi tanah dan mutlak diperlukan baik oleh mikroba tanah maupun tanaman. Unsur P juga berperan dalam pembentukan lemak dan albumin tanaman serta perkembangan akar halus berserabut. Jadi ketersediaan unsur P di dalam tanah menjadi sangat penting bagi tanaman. Fosfat merupakan unsur hara esensial yang dibutuhkan dalam jumlah yang cukup banyak oleh tanaman. Fosfat sendiri berperan aktif pada fase generatif seperti berperan dalam mempercepat pembungaan dan pemasakan buah (Gusmiatun et al., 2019).

Hasil pengujian kemampuan melarutkan fosfat terhadap 13 isolat bakteri rhizosfer diperoleh 10 isolat bakteri rhizosfer yang mampu melarutkan fosfat dalam medium selektif *Pikovskaya agar*. Adapun hasil uji fosfat isolat bakteri rhizosfer dan nilai indeks kelarutan fosfat dapat dilihat pada tabel 12.

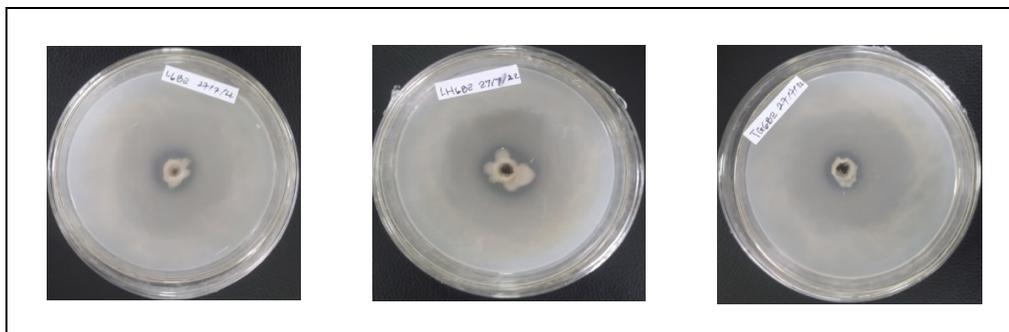
Tabel 12. Hasil uji fosfat isolat bakteri rhizosfer

No.	Kode isolat	Diameter koloni (mm)	Diameter zona bening (mm)	Indeks kelarutan fosfat (IKF)	Keterangan
1.	L4B1	10 mm	24 mm	3,4	Sangat tinggi
2.	TG6B1	10 mm	23 mm	3,3	Sangat tinggi
3.	LW6B1	9 mm	16 mm	2,7	Sangat tinggi
4.	LH6B2	9 mm	25 mm	3,7	Sangat tinggi
5.	LH5B2	9 mm	17 mm	2,8	Sangat tinggi
6.	TG6B3	10 mm	16 mm	2,6	Sangat tinggi
7.	T5B2	7 mm	-	-	-
8.	T4B2	7 mm	-	-	-
9.	LH5B1	9 mm	19 mm	3,2	Sangat tinggi

10.	TG6B2	10 mm	17 mm	2,7	Sangat tinggi
11.	L6B2	8 mm	21 mm	3,6	Sangat tinggi
12.	T5B1	8 mm	-	-	-
13.	TG5B1	8 mm	20 mm	3,5	Sangat tinggi

Keterangan : Kategori indeks kelarutan fosfat. ($\leq 1,59$) Rendah; (1,6 – 2,12) sedang; (2,15 – 2,59) tinggi; (2,6 – 3) sangat tinggi.

Hasil uji kemampuan bakteri rhizosfer dalam melarutkan fosfat diperoleh 10 isolat bakteri yang mampu melarutkan fosfat dengan diameter zona bening yang berbeda-beda. 10 isolat bakteri tersebut diantaranya L4B1, TG6B1, LW6B1, LH6B2, LH5B2, TG6B3, LH5B1, TG6B2, L6B2 dan TG5B1. Isolat dengan nilai IKF tertinggi yaitu isolat LH6B2 dengan nilai IKF 3,7 mm sedangkan isolat dengan nilai IKF terendah yaitu isolat TG6B3 dengan nilai IKF 2,6 mm. Kemampuan bakteri rhizosfer dalam melarutkan fosfat ditandai dengan terbentuknya zona bening pada media kultur isolat bakteri. Terbentuknya zona bening ini menjadi indikasi bahwa bakteri mampu melarutkan fosfat. Zona bening merupakan bentuk adanya asam organik yang diekskresikan oleh bakteri kemudian berikatan dengan ion Ca dari sumber $\text{Ca}_3[\text{PO}_4]_2$ pada media *Pikovskaya* dan membebaskan ion fosfat (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , dan PO_4^{3-}) sehingga membentuk area yang berwarna jernih (Hidayahtulloh & Setiawati, 2022). Adapun zona bening yang terbentuk pada media pikovskaya dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Zona bening pada media uji kelarutan fosfat

4) Pengujian Gram Bakteri Rhizosfer Menggunakan KOH

Hasil pengujian reaksi gram terhadap 13 isolat bakteri rhizosfer dari tumbuhan mangrove menggunakan KOH 3% menunjukkan bahwa 9 isolat bakteri rhizosfer menghasilkan lendir (gram negatif) dan 4 isolat bakteri rhizosfer

tidak menghasilkan lendir (gram positif). Persentase hasil reaksi uji gram menggunakan KOH 3% menunjukkan 69% isolat bakteri rhizosfer menghasilkan lendir sedangkan 31% isolat bakteri rhizosfer tidak menghasilkan lendir. Bakteri gram negatif menghasilkan lendir dikarenakan memiliki dinding sel yang sensitif dibandingkan dengan bakteri gram positif dan tidak memiliki ketahanan terhadap penghambat basa seperti larutan KOH. Hasil pengujian reaksi gram isolat bakteri rhizosfer dari tanaman mangrove menggunakan KOH 3% dapat dilihat pada tabel 13.

Tabel 13. Pengamatan uji reaksi gram menggunakan KOH 3%

No.	Kode Bakteri	Gram
1.	LH5B2	Negatif (-)
2.	L6B2	Positif (+)
3.	LW6B1	Negatif (-)
4.	T5B2	Negatif (-)
5.	T5B1	Negatif (-)
6.	TG6B2	Negatif (-)
7.	TG6B3	Negatif (-)
8.	T4B2	Positif (+)
9.	LH6B2	Positif (+)
10.	TG5B1	Positif (+)
11.	TG6B1	Negatif (-)
12.	LH5B1	Negatif (-)
13.	L4B1	Negatif (-)

Hasil uji reaksi gram menunjukkan bahwa isolasi bakteri rhizosfer sebagian besar menghasilkan lendir saat pengujian reaksi gram menggunakan KOH 3%. Sebanyak 9 isolat bakteri mampu menghasilkan lendir yang mengindikasikan bahwa isolasi bakteri tersebut termasuk gram negatif. Sedangkan 4 isolat bakteri tidak mampu menghasilkan lendir yang mengindikasikan isolasi bakteri tersebut termasuk gram positif. 9 isolat bakteri yang termasuk gram negatif diantaranya isolasi bakteri dengan kode LH5B2, LW6B1, TG5B2, T5B1, TG6B2, TG6B3, TG6B1, LH5B1, dan L4B1. Sedangkan isolasi bakteri yang termasuk gram positif diantaranya isolasi bakteri dengan kode L6B2, TG6B3, LH6B2, dan TG5B1.

4. Daya Hambat Bakteri Asal Tumbuhan Mangrove Dalam Menginduksi Ketahanan Tanaman Terhadap Fusarium

a. Peran Bakteri Rhizosfer Dalam Menginduksi Ketahanan Tanaman

1) Daya Hambat Bakteri Rhizosfer Terhadap Fusarium

Bakteri antagonis merupakan kelompok bakteri banyak yang mempunyai peranan sebagai agen pengendali hayati yang memiliki potensial dalam menekan penyakit layu fusarium yang disebabkan oleh *F. oxysporum*. Bakteri jenis ini dapat menekan cendawan dengan cara menghasilkan metabolit sekunder dan kompetisi Patogen-patogen seperti jamur mampu menghasilkan zat-zat kimia yang dapat menimbulkan berbagai gejala penyakit tanaman meskipun tidak terdapat organisme penyebab penyakit. Salah satu senyawa yang dihasilkan oleh *Fusarium* spp adalah asam fusarat. Asam fusarat merupakan antibiotik sekaligus zat racun dalam air. Toksin ini mengganggu permeabilitas membran pada jaringan tanaman dan pada akhirnya mempengaruhi kebutuhan air tanaman. Pergerakan air dalam tanaman yang terhambat menyebabkan terjadinya layu patologis dengan akibat fatal berupa kematian tanaman. (Rezki, 2018). Pada penelitian ini, bakteri antagonis yang di gunakan merupakan bakteri rhizosfer yang di isolasi dari tumbuhan mangrove kemudian di uji efektivitasnya dalam menghambat pertumbuhan cendawan fusarium.

Hasil pengamatan 13 jenis isolat bakteri rhizosfer terhadap penyakit layu fusarium menunjukkan bahwa ada daya hambat bakteri terhadap patogen *Fusarium oxysporum* dan berpengaruh sangat signifikan pada umur 5 hari setelah inokulasi (HSI). Analisis sidik ragam dan hasil uji DMRT isolat bakteri rhizosfer terhadap daya hambat patogen *F. oxysporum* umur HSI disajikan pada lampiran 1.

Tabel 14. Hasil Uji Persentase Daya Hambat Bakteri Hari Ke 5 Setelah Inokulasi

Perlakuan	Ulangan			Total	Rata-rata
	I	II	III		
LH5B1	33,00	40,00	26,00	99,00	33,00 ^{ab}
LH5B2	40,00	20,00	23,33	83,33	27,67 ^{ab}
LH6B2	60,00	66,00	46,00	172,00	57,33 ^{cd}
T4B2	53,33	10,00	16,66	79,99	26,33 ^{ab}

T5B1	36,00	50,00	30,00	116,00	38,67 ^{abc}
TG5B1	53,30	46,60	36,60	136,50	45,00 ^{bcd}
T5B2	36,00	40,00	30,00	106,00	35,33 ^{ab}
TG6B1	60,00	60,00	70,00	190,00	63,33 ^d
TG6B2	40,00	53,30	33,00	126,30	42,00 ^{bcd}
TG6B3	60,00	63,00	56,60	179,60	59,67 ^{cd}
L4B1	13,33	30,00	50,00	93,33	31,11 ^{ab}
L6B2	76,60	50,00	60,00	186,60	62,00 ^d
LW6B1	13,33	20,00	23,33	56,66	33,00 ^{ab}

Hasil pengamatan pada Tabel 4.2 menunjukkan 13 isolat bakteri rhizosfer pada pengamatan 5 HSI persentase daya hambat tertinggi diperoleh pada perlakuan TG6B1 sebesar 63,33%, berbeda tidak nyata dengan isolat L6B2 sebesar 62,00% tetapi berbeda nyata dengan perlakuan TG6B3 sebesar 59,67% dan LH6B2 sebesar 57,33% dan perlakuan lainnya. Sedangkan persentase daya hambat terendah diperoleh pada isolat LW6B1 sebesar 18,67% yang berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Berdasarkan hasil uji analisis varian menunjukkan bahwa isolat bakteri rhizosfer 5 HSI berpengaruh signifikan dalam menghambat *F. oxysporum*.

Tabel 15. Hasil Uji Daya Hambat Bakteri Ke 7 Setelah Inokulasi

Perlakuan	Ulangan			Total	Rata-rata
	I	II	III		
LH5B1	20,00	16,00	16,00	52,00	17,33 ^a
LH5B2	40,00	16,00	16,00	72,00	24,00 ^{ab}
LH6B2	33,00	28,00	26,00	87,00	29,00 ^c
T4B2	20,00	10,00	13,30	43,30	14,43 ^a
T5B1	26,00	33,00	30,00	89,00	29,67 ^c
TG5B1	53,30	46,60	36,60	136,50	45,50 ^c
T5B2	23,00	20,00	16,00	59,00	19,67 ^{ab}
TG6B1	30,00	30,00	28,00	88,00	29,33 ^c
TG6B2	23,00	16,00	20,00	59,00	19,67 ^{ab}
TG6B3	63,00	63,00	56,60	182,60	60,87 ^d
L4B1	16,60	10,00	16,00	42,60	14,20 ^a
L6B2	33,00	26,00	30,00	89,00	29,67 ^c
LW6B1	6,60	20,00	16,00	42,60	14,20 ^a

Hasil pengamatan 13 jenis isolat bakteri rhizosfer terhadap penyakit layu fusarium pada 7 HSI menunjukkan bahwa ada daya hambat bakteri terhadap patogen *Fusarium oxysporum*. Analisis sidik ragam dan hasil uji DMRT isolat bakteri rhizosfer terhadap daya hambat patogen *F. oxysporum* umur 7 HSI disajikan pada lampiran 2. Hasil pengamatan pada Tabel 15 menunjukkan 13 isolat bakteri rhizosfer pada pengamatan 7 HSI persentase daya hambat tertinggi diperoleh pada perlakuan TG6B3 sebesar 60,87%, berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Sedangkan persentase daya hambat terendah diperoleh pada isolat L4B1 sebesar 14,20% dan LW6B1 sebesar 14,20% yang berbeda tidak nyata dengan isolat T4B2 sebesar 14,43% tetapi berbeda nyata dengan perlakuan lainnya. Berdasarkan hasil uji analisis varian menunjukkan bahwa isolat bakteri rhizosfer 7 HSI berpengaruh signifikan dalam menghambat *F. oxysporum*.

Hasil penelitian terhadap uji efektivitas bakteri rhizosfer tumbuhan mangrove dalam menghambat penyakit layu fusarium (Tabel 14 dan Tabel 15) memiliki kemampuan yang berbeda-beda dalam menekan *Fusarium oxysporum* dikarenakan perbedaan jenis isolate bakteri, perbedaan kemampuan dalam memproduksi senyawa antagonis. Hasil penelitian uji daya hambat pada 5 HIS menunjukkan bahwa isolat TG6B3, TG6B1 dan L6B2 memberikan daya hambat tertinggi pada penghambatan patogen fusarium yang berbeda dengan isolat lainnya. Sedangkan pengamatan pada 7 HIS (Tabel 15) menunjukkan isolat dengan daya hambat tertinggi yaitu pada isolat TG6B3. Dari seluruh isolat yang telah di uji, terdapat 3 isolat yang dapat menghambat patogen fusarium karena ketiga isolat ini mampu menghasilkan senyawa HCN. Isolat tersebut yaitu TG6B3, TG6B1 dan TG5B1.

Ilyas, dan Machmud (2013) melaporkan kemampuan isolat bakteri rhizosfer dalam mengendalikan penyakit maupun populasi patogen melalui beberapa cara, diantaranya yaitu memproduksi senyawa antibiosis, persaingan ruang dan inaktivasi faktor perkecambahan patogen. Lebih lanjut Kuswinanti, T, *et al* (2014) melaporkan bahwa pengujian kemampuan daya hambat isolat bakteri terhadap *F. oxysporum* memiliki persentase daya hambat yang tinggi

yaitu sebesar 80.68% dari total 74 isolat bakteri, sepuluh dan empat isolat bakteri mampu menghambat pertumbuhan *R. solanacearum* dan *F. oxysporum* secara *in vitro*. Perbedaan daya antagonis yang dihasilkan karena adanya perbedaan jenis dan jumlah metabolit yang dihasilkan oleh masing-masing isolat bakteri endofit yang berfungsi sebagai antifungi terhadap jamur patogen *Fusarium oxysporum*. Hasil penelitian Fahdila *et al.*, (2020) yang membuktikan bahwa besarnya zona hambat yang dihasilkan tergantung dari jenis dan stabilitas metabolit yang dihasilkan oleh masing-masing bakteri untuk menghambat pertumbuhan jamur patogen.

Rata-rata hasil uji daya hambat yang diperoleh kemudian dilakukan uji sidik ragam atau *analysis of variance* (Anova) yang berfungsi untuk mengetahui signifikansi perbedaan dalam hal ini yaitu persentase daya hambat semua isolat pada 5 HSI dan 7 HSI. Hasil uji 5 HSI didapatkan perlakuan terbaik pada isolate TG6B1, L6B2, TG6B3, LH6B2, hal ini dikarenakan 4 isolat ini memiliki persentase yang tinggi dalam menghambat pertumbuhan cendawan fusarium. Hasil uji pada 7 HSI didapatkan isolate TG6B3, TG6B1 dan TG5B1 sebagai isolate terbaik karena selain kemampuannya dalam menghambat fusarium, isolate ini mampu menghasilkan senyawa HCN yang merupakan salah satu senyawa yang dihasilkan oleh bakteri yang dapat menghambat fusarium. Beberapa upaya telah dilakukan untuk mengatasi penyakit layu fusarium yang disebabkan oleh *F. oxysporum*, salah satu upayanya yaitu menggunakan fungisida kimia, namun hal tersebut akan menyebabkan kerusakan bagi lingkungan sekitar, serta membunuh organisme yang tidak termasuk sasaran. Oleh karena itu ditemukan alternatif lain yang lebih ramah lingkungan yaitu penggunaan bakteri antagonis. Selain prosenya yang mudah, bakteri antagonis juga memberikan efek ramah lingkungan dan juga meningkatkan kesuburan bagi tanaman serta melindungi inangnya dari serangan patogen lainnya.

2) Kemampuan Bakteri Rhizosfer Dalam Menghasilkan Senyawa Antagonis (HCN)

Asam sianida merupakan senyawa metabolit sekunder yang memiliki peran dalam pengendalian hayati terutama dalam membatasi pertumbuhan jamur yang berkontribusi terhadap antagonisme. Mikroorganisme penghasil HCN bermanfaat saat mereka menekan komponen komunitas mikroba yang tidak diinginkan. Keberadaan asam sianida di dalam tanah mampu menekan perkembangan jamur fusarium penyebab kelayuan pada tanaman tomat (Dewi & Advinda, 2022). Kemampuan isolat bakteri rhizosfer dalam menghambat pertumbuhan cendawan berkaitan dengan kemampuan isolat dalam menghasilkan asam sianida (HCN). Menurut Rahma (2019), beberapa isolat bakteri yang di uji memiliki mekanisme langsung dalam menghambat patogen penyebab layu fusarium seperti kemampuannya dalam memproduksi senyawa antimikroba atau memiliki mekanisme lain dalam menekan pertumbuhan cendawan. Mahartha *et al.*, (2013) menambahkan bahwa mekanisme lain penghambatan mikroba antagonis terhadap patogen fusarium adalah dengan produksi asam sianida (HCN).

Kemampuan isolat bakteri rhizosfer yang di isolasi dari tumbuhan mangrove dalam menghasilkan asam sianida (HCN) disajikan pada Tabel 16 yang menunjukkan bahwa kemampuan bakteri rhizosfer dalam menghambat penyakit layu fusarium yang nantinya dapat dimanfaatkan sebagai pengendali hayati.

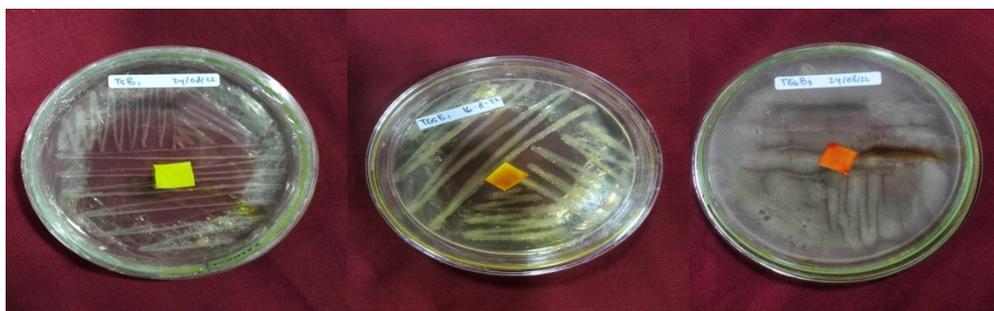
Tabel 16. Kemampuan isolat bakteri rhizosfer menghasilkan Asam Sianida (HCN)

No.	Perlakuan	HCN	Keterangan
1.	LH5B1	-	Kuning
2.	LH5B2	-	Kuning
3.	LH6B2	-	Kuning
4.	T4B2	-	Kuning
5.	T5B1	-	Kuning
6.	TG5B1	*	Coklat Muda
7.	T5B2	-	Kuning
8.	TG6B1	**	Merah Bata
9.	TG6B2	-	Kuning
10.	TG6B3	**	Merah Bata

11.	L4B1	-	Kuning
12.	L6B2	-	Kuning
13.	LW6B1	-	Kuning

Keterangan : (-)Tidak memproduksi HCN warna kuning, (*)memproduksi HCN kategori rendah warna coklat muda, (***)memproduksi HCN kategori tingkat tinggi warna merah bata.

Hasil penelitian menunjukkan kemampuan memproduksi asam sianida tertinggi di peroleh pada isolat TG6B3 dan TG6B1 yang ditandai dengan perubahan warna pada kertas saring yang digunakan sebagai indicator uji, warna kertas saring yang berwarna kuning yang telah di rendam dalam larutan HCN berubah menjadi merah bata pada media TSA yang digunakan, sementara isolat TG5B1 juga mampu menghasilkan asam sianida yang relatif lebih rendah dibanding kedua isolat sebelumnya dan isolat yang lain tidak mampu menghasilkan asam sianida (HCN) karena tidak ada perubahan warna pada kertas saring.



Gambar 9. Kemampuan bakteri rhizosfer dalam memproduksi asam sianida (HCN), warna kuning tidak memproduksi HCN, warna coklat muda memproduksi HCN rendah, dan warna merah bata memproduksi HCN tinggi.

Terdapat 3 isolat yang dapat menghasilkan asam sianida (HCN) dan memiliki kemampuan tertinggi terhadap daya hambat patogen fusarium secara *in vitro*. Ketiga isolat ini yaitu TG5B1 yang mampu menghasilkan asam sianida tingkat rendah, hal ini di tandai dengan perubahan warna kertas saring yang awalnya berwarna kuning berubah menjadi coklat tua, TG6B1 dan TG6B3 yang menghasilkan asam sianida (HCN) tingkat tinggi, hal ini terlihat oleh hasil uji

dimana kertas saring yang awalnya berwarna kuning berubah menjadi merah bata.

Kemampuan isolat dalam menghasilkan asam sianida ditandai oleh perubahan warna kertas saring yang semula berwarna kuning akan berubah menjadi warna coklat tua jika kemampuan memproduksi HCN berada di tingkat rendah, namun jika kertas saring yang dijadikan sebagai indikator penghasil HCN berubah warna menjadi merah bata maka produksi asam sianida sangat tinggi pada isolat tersebut. Hal ini dapat dijadikan sebagai salah satu mekanisme daya hambat bakteri rhizosfer terhadap patogen *F. oxysporum*. Menurut Safriani (2016), kemampuan rhizobakteri dalam menghambat patogen diduga memiliki kaitan erat dengan kemampuan isolat dalam menghasilkan berbagai senyawa metabolit sekunder yang bersifat antimikrob, seperti antibiotik, HCN dan kemampuan memproduksi asam siderofor, yaitu suatu mekanisme yang berperan dalam menekan pertumbuhan koloni cendawan patogen pada akar tanaman. HCN atau asam sianida didalam tanaman tersimpan dalam senyawa glikosida sianogenetik dan akan terurai menjadi HCN apabila bagian tanaman tersebut mengalami kerusakan. Senyawa HCN mempunyai aktivitas biokontrol dan mampu menekan jamur patogen yang menyebabkan penyakit pada akar tanaman.

b. Peran Bakteri Endofit Dalam Menginduksi Ketahanan Tanaman

1) Daya Hambat Bakteri Endofit Tanaman Terhadap Fusarium

Isolat bakteri endofit pada tumbuhan mangrove dilakukan untuk memperoleh sejumlah isolat potensial yang mampu berperan sebagai agens pengendali hayati pada tanaman tomat yang terkena penyakit layu *fusarium oxysporum*. Dari hasil isolasi terdapat 16 isolat bakteri endofit yang dilakukan pengujian terhadap kemampuannya dalam menghambat pertumbuhan penyakit layu *F. oxysporum* serta kemampuan isolat bakteri endofit dalam menghasilkan senyawa antagonis (HCN). Irma Handayani Sihombi (2019) melaporkan bahwa Bakteri yang memiliki kemampuan antibiosis biasanya dapat mengganggu pertumbuhan morfologis dan fisiologis jamur. Ada beberapa cara yang dilakukan bakteri dalam menghambat serangan jamur patogen. Pertama, bakteri

menghasilkan senyawa bioaktif yang dapat mendegradasi komponen struktural jamur. Kedua, senyawa bioaktif juga mempengaruhi permeabilitas membran sel jamur sehingga mengganggu transportasi zat-zat yang diperlukan untuk metabolisme. Ketiga, senyawa yang dihasilkan dapat berfungsi sebagai inhibitor terhadap suatu enzim yang dihasilkan oleh jamur.

Hasil pengamatan daya hambat bakteri endofit terhadap patogen *F. oxysporum* berpengaruh baik pada umur 5 hari setelah inokulasi (HSI) secara signifikan. Hasil pengamatan isolat bakteri endofit terhadap daya hambat patogen *F oxysporum* umur 5 HIS disajikan pada tabel dibawah ini.

Tabel 17. Hasil Uji Daya Hambat Bakteri Endofit Hari Ke-5 Setelah Inokulasi

No	Perlakuan	Ulangan			Rata-Rata
		I	II	III	
1.	LW1B3	46,66	46,66	43,33	45,55 ^{abcd}
2.	LW1B4	50,00	40,00	53,33	47,77 ^{bcd}
3.	LW2B1	46,66	46,66	43,33	45,55 ^{abcd}
4.	LW2B2	33,33	46,66	40,00	39,99 ^{ab}
5.	LW2B3	46,66	46,66	43,33	45,55 ^{abcd}
6.	LW3B1	43,33	53,33	40,00	45,55 ^{abcd}
7.	LW3B2	33,33	33,33	36,66	34,44 ^a
8.	LH1B3	56,66	50,00	53,33	53,33 ^{cd}
9.	LH2B2	60,00	43,33	40,00	47,77 ^{bcd}
10.	LH2B3	43,33	43,33	50,00	45,55 ^{abcd}
11.	LH3B1	50,00	43,33	53,33	48,88 ^{bcd}
12.	LH3B3	53,33	40,00	60,00	51,00 ^{bcd}
13.	TG1B2	46,66	60,00	63,33	56,66 ^d
14.	TG3B2	46,66	50,00	53,33	49,99 ^{bcd}
15.	L1B02	46,66	43,33	43,33	44,44 ^{abc}
16.	L1B03	50,00	43,33	40,00	44,44 ^{abc}

Hasil pengamatan pada tabel 17 menunjukkan daya hambat 16 isolat bakteri endofit pada pengamatan 5 HIS berpengaruh signifikan dengan presentase daya hambat tertinggi di peroleh pada perlakuan TG1B2 sebesar 56,66% yang berbeda tidak nyata dengan perlakuan LH1B3 sebesar 53,33%, LH3B3 sebesar 51,00%, TG3B2 sebesar 49,99, LH3B1 sebesar 48,88%, LH2B2 sebesar 47,77%, LW1B4 sebesar 45,55%, LW1B3 sebesar 45,55%, LW2B3

sebesar 45,55%, LW3B1 sebesar 45,55% dan LH2B3 sebesar 45,55% tetapi berbeda nyata dengan perlakuan lainnya dengan presentase daya hambat terendah yaitu LW2B2 sebesar 39,99%, LW3B2 sebesar 34,44% L1B02 sebesar 44,44% dan L1B03 sebesar 44,44%. Kemampuan tertinggi isolat bakteri endofit disebabkan oleh kemampuannya dalam memproduksi senyawa anti mikroba yang berperan sebagai pengendali hayati. Abdul munif dan Ankardiansyah (2015) melaporkan bahwa bakteri endofit memiliki beberapa mekanisme yang bekerja menekan atau menghambat pertumbuhan patogen. Mekanisme ini adalah kemampuan menghasilkan antibiotik antar lain asam sianida (HCN). Beberapa bakteri endofit diketahui mampu sebagai *Plant Growth Promoting* yang memacu pertumbuhan tanaman dan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit. Malinda dan Wahyu (2015) melaporkan bahwa diantara 102 isolat bakteri endofit terdapat 3 isolat bakteri endofit dengan presentase daya hambat tertinggi, yaitu pada perlakuan EDA 3 yaitu sebesar 60,14%, diikuti dengan EBA 6 yaitu sebesar 57,69% dan EBA 7 yaitu sebesar 57,08%.

Hasil pengamatan daya hambat 16 isolat bakteri endofit pada pengamatan 7 HIS berpengaruh signifikan dalam menekan patogen. Hasil uji daya hambat bakteri endofit hari Ke-7 HIS disajikan pada tabel berikut.

Tabel 18. Hasil Uji Daya Hambat Bakteri Endofit Hari Ke-7 Setelah Inokulasi

Perlakuan	Ulangan			Total	Rata-Rata
	I	II	III		
LW1B3	43,33	43,33	40,00	126,66	42,22 ^{bc}
LW1B4	20,00	23,33	16,66	59,99	19,99 ^a
LW2B1	43,33	43,33	43,33	129,99	43,33 ^{bc}
LW2B2	33,33	40,00	36,66	109,99	36,66 ^b
LW2B3	43,33	43,33	36,66	123,32	41,10 ^{bc}
LW3B1	43,33	50,00	40,00	133,33	44,44 ^{bc}
LW3B2	20,00	23,33	16,66	59,99	19,88 ^a
LH1B3	53,33	46,66	50,00	149,99	49,99 ^c
LH2B2	60,00	43,33	40,00	143,33	47,77 ^{bc}
LH2B3	13,33	23,33	20,00	56,66	18,88 ^a
LH3B1	16,66	20,00	26,66	63,32	21,10 ^a

LH3B3	50,00	33,33	56,66	139,99	46,66 ^{bc}
TG1B2	43,33	53,33	60,00	156,66	52,22 ^c
TG3B2	43,33	46,66	53,33	143,32	47,77 ^{bc}
L1B02	20,00	13,33	10,00	43,33	14,44 ^a
L1B03	26,66	20,00	13,33	59,99	19,99 ^a

Hasil analisis pada tabel 18 menunjukkan daya hambat dari 16 isolat bakteri endofit pada pengamatan 7 HIS berpengaruh signifikan dengan presentase daya hambat tertinggi diperoleh pada perlakuan TG1B2 sebesar 52,22% yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan LH1B3 sebesar 49,99%, TG3B2 sebesar 47,66%, LH3B3 sebesar 46,66%, LH2B2 sebesar 47,77%, LW3B1 sebesar 44,44%, LW1B3 sebesar 42,22%, LW2B1 sebesar 43,33%, LW2B3 sebesar 41,10% dan LW2B2 sebesar 36,66% yang berbeda nyata dengan daya hambat dengan presentase terendah diperoleh pada perlakuan LW1B4 sebesar 19,99%, LW3B2 sebesar 19,88%, LH2B3 sebesar 18,88%, LH3B1 sebesar 21,10%, L1B02 sebesar 14,44% dan L1B03 sebesar 19,99%.

Bakteri endofit dapat digunakan sebagai agen antagonis terhadap jamur patogen *F. oxysporum* yang menyerang tanaman. Bakteri endofit dilaporkan efektif dalam mengendalikan penyakit pada berbagai jenis tanaman dari rumput-rumputan hingga tanaman berkayu. Bakteri endofit mampu memberikan ketahanan bagi tanaman inang karena mikroba ini mampu memproduksi senyawa metabolit sekunder yang dapat menghambat laju pertumbuhan jamur patogen. Margino (2008) telah melakukan penelitian mengenai kemampuan antibiotik senyawa metabolit sekunder yang diisolasi dari fungi endofit. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa 4 isolat memiliki daya hambat tertinggi, yakni berturut-turut 5,5 terhadap *B. subtilis*, 5,6 terhadap *F. oxysporum*, 3,5 terhadap *C. albicans*, dan isolat NGK-1 yang memiliki daya hambat terhadap *B. subtilis* (5,2) dan *F. oxysporum* (2,3). Berdasarkan penelitian ini, besar peluang senyawa metabolit sekunder dari bakteri endofit untuk memiliki daya hambat yang tinggi terhadap mikroba patogen *F. oxysporum* (Candrawati et al., 2018).

2) Kemampuan Bakteri Endofit dalam Menghasilkan Senyawa Antagonis (HCN)

Asam sianida merupakan senyawa metabolit sekunder yang memiliki peran dalam pengendalian hayati terutama dalam membatasi pertumbuhan jamur yang berkontribusi terhadap antagonisme. Mikroorganisme penghasil HCN bermanfaat saat mereka menekan komponen komunitas mikroba yang tidak diinginkan. Keberadaan asam sianida di dalam tanah mampu menekan perkembangan jamur fusarium penyebab kelayuan pada tanaman tomat (Dewi & Advinda, 2022). Berdasarkan data yang telah diperoleh dari pengujian produksi asam sianida (HCN) pada bakteri endofit terdapat 6 bakteri endofit yang mampu memproduksi senyawa asam sianida (HCN). Data dari pengujian produktivitas asam sianida (HCN) pada isolat bakteri endofit dapat dilihat pada tabel 19 dibawah ini.

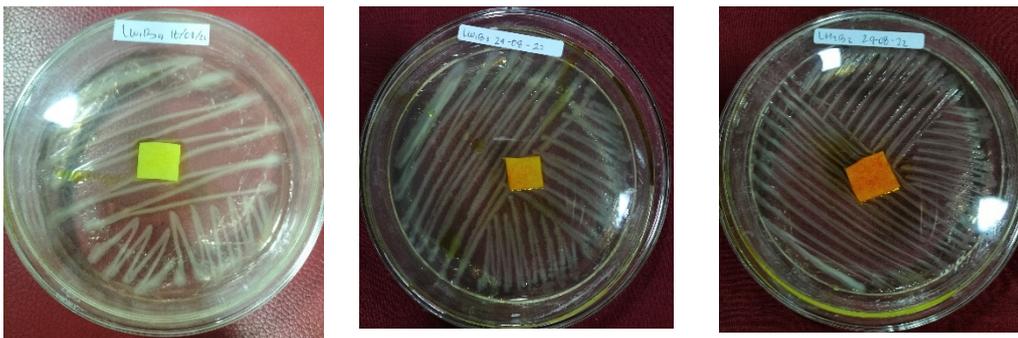
Tabel 19. Kemampuan bakteri endofit dalam menghasilkan senyawa antagonis (HCN)

No	Perlakuan	Uji (HCN)	Keterangan
1.	LW1B3	*	Coklat muda
2	LW1B4	-	Kuning
3	LW2B1	-	Kuning
4	LW2B2	*	Coklat muda
5	LW2B3	**	Merah bata
6	LW3B1	-	Kuning
7	LW3B2	-	Kuning
8	LH1B3	-	Kuning
9	LH2B2	**	Merah bata
10	LH2B3	-	Kuning
11	LH3B1	-	Kuning
12	LH3B3	-	Kuning
13	TG1B2	**	Merah bata
14	TG3B2	**	Merah bata
15	L1B02	-	Kuning
16	L1B03	-	Kuning

Keterangan : (-)Tidak memproduksi HCN warna kuning, (*)memproduksi HCN kategori rendah warna coklat muda, (**)memproduksi HCN kategori tingkat tinggi warna merah bata.

Hasil analisis kemampuan isolat bakteri endofit dalam menghasilkan senyawa antagonis (HCN) dapat dilihat pada tabel 19 menunjukkan bahwa

kemampuan bakteri endofit sebagai pengendali hayati ditunjukkan dengan kemampuannya dalam menghasilkan senyawa yang berupa asam sianida (HCN). Hasil penelitian menunjukkan dari 16 isolat bakteri terdapat 6 isolat bakteri endofit yang menghasilkan asam sianida (HCN) yang dimana 4 dari 6 isolat bakteri endofit menunjukkan produksi asam sianida tertinggi yaitu pada perlakuan LH2B2, TG3B2, TG1B2, dan LW2B3. Sedangkan untuk isolat bakteri endofit dengan kemampuan produksi asam sianida rendah diperoleh pada isolat LW2B2 dan LW1B3. Berikut disajikan performa kemampuan bakteri endofit dalam memproduksi senyawa antagonis (HCN).



Gambar 18. Kemampuan bakteri endofit dalam memproduksi asam sianida (HCN), warna kuning tidak memproduksi HCN, warna coklat muda memproduksi HCN rendah, dan warna merah bata memproduksi HCN tinggi.

Dari gambar diatas dapat dilihat perubahan pada kertas lakmus dalam pengujian kemampuan bakteri endofit dalam menghasilkan senyawa antagonis yang dimana pada perlakuan LW1B4 terlihat kertas lakmus masih berwarna kuning atau tidak terdapat perubahan sama sekali yang mendahkan bahwa isolat bakteri tersebut tidak menghasilkan senyawa antagonis (HCN). sedangkan isolat bakteri endofit pada perlakuan LW1B3 terdapat perubahan pada kertas lakmus dengan warna coklat muda yang dimana mendahkan bahwa bakteri endofit mampu menghasilkan senyawa antagonis (HCN) dengan tingkat rendah. Pada isolat bakteri endofit perlakuan LH2B2 terlihat perubahan kertas lakmus menjadi merah bata yang menandakan bakteri endofit tersebut mampu menghasilkan senyawa antagonis (HCN) dengan tingkat tinggi.

Kehadiran Hidrogen sianida (HCN) dalam jaringan tanaman yang diproduksi oleh bakteri endofit berperan sebagai biokontrol lingkungan dari tanaman terhadap serangan gulma, penyakit atau nematode. Hasil penelitian menunjukkan terdapat beberapa bakteri endofit yang diisolasi dari tumbuhan mangrove mampu menghasilkan senyawa antagonis (HCN). Isolat bakteri endofit yang menghasilkan senyawa antagonis (HCN) terdapat pada isolat bakteri TG3B2, TG1B2, LH2B2, LW2B3, LW2B2 dan LW1B3 ditandai dengan dihasilkannya perubahan warna pada potongan kertas saring. Warna kertas saring yang tetap berwarna kuning menunjukkan isolat yang diuji tidak memproduksi asam sianida, sedangkan warna coklat muda menghasilkan senyawa antagonis rendah, merah bata menandakan produksi asam sianida yang tinggi.

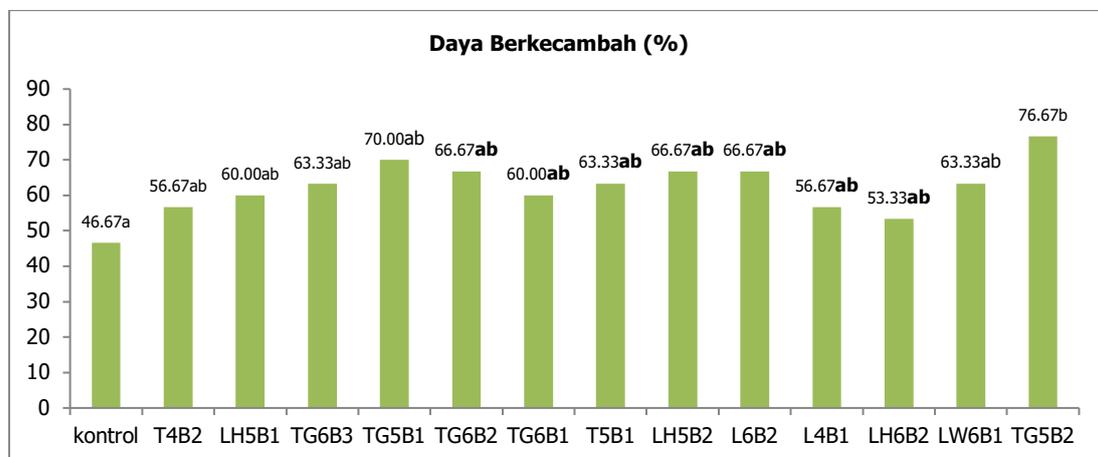
Larasati Puspita Saridewi (2020) melaporkan bahwa isolat bakteri endofit mampu menghasilkan senyawa sianida yang ditunjukkan dengan perubahan warna pada kertas saring. Perubahan kertas warna yang awalnya kuning menjadi merah bata menandakan adanya asam sianida yang diproduksi oleh bakteri endofit. Gusti Ayu Kade (2020) melaporkan terdapat 2 isolat bakteri endofit yang mampu memproduksi senyawa metabolit HCN, yaitu isolat Be03 dan Wae05. Kemampuan bakteri endofit dalam memproduksi senyawa HCN ditandai dengan perubahan warna kertas saring. Perubahan dari kuning menjadi coklat muda hingga merah bata mengindikasikan produksi HCN yang semakin meningkat. Senyawa antagonis (HCN) yang dihasilkan oleh bakteri endofit dapat mengendalikan beberapa patogen antara lain *Macrophomina phaseolina* dan *Fusarium oxysporum* sp. penyebab layu pada tanaman tomat. Asam sianida (HCN) yang diproduksi agens biokontrol berfungsi menghambat pertumbuhan patogen.

5. Kataristik Bakteri Asal Tumbuhan Mangrove Memiliki Potensi Terhadap Mutu Fisiologis Benih

a. Potensi Bakteri Rhizosfer Terhadap Mutu fisiologi Benih pada Tanaman Cabai Rawit (*Capsicum frutescens*)

1) Daya Berkecambah (DB)

Hasil uji viabilitas benih tanaman cabai rawit, yang diinokulasi dari bakteri rhizosfer asal tumbuhan mangrove memberikan pengaruh yang signifikan pada daya berkecambah. Berdasarkan dari hasil uji varian pada variabel pengamatan nyata terhadap pertumbuhan benih tanaman cabai rawit yang diberikan perlakuan bakteri rhizosfer asal tumbuhan mangrove. Adapun grafik daya berkecambah benih cabai rawit yang diberi perlakuan isolat bakteri rhizosfer dan hasil Uji Jarak Berganda Duncan (UJBD) disajikan pada gambar berikut:

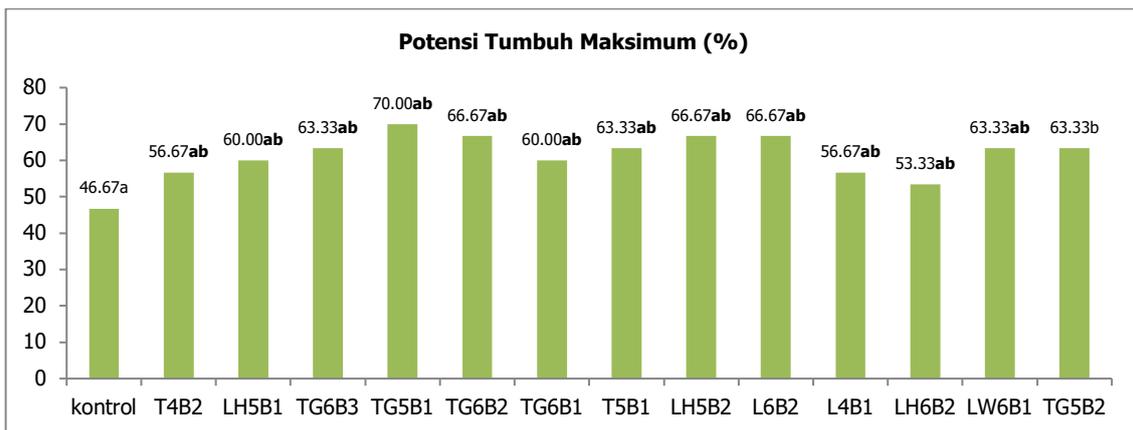


Gambar 19. Rata-rata daya berkecambah benih cabai rawit yang diberi perlakuan isolat bakteri rhizosfer benih dengan campuran rizobakteri. Keterangan: angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada gambar tidak berbeda nyata pada UJBD 0.05.

Hasil UJBD pada gambar 19 menunjukkan bahwa perlakuan isolat bakteri rhizosfer pada benih tanaman cabai rawit terhadap pengamatan berat kering kecambah normal tertinggi diperoleh TG5B2 sebesar 76,67% tidak berbeda nyata dengan TG5B1, TG6B2, LH5B2, L6B2, TG6B3, T5B1, LW6B1, TG6B1, LH5B1, T4B2, L4B1, LH6B2 sebesar 53,33-70,00% tetapi berbeda sangat nyata tanpa isolat bakteri rhizosfer (kontrol) sebesar 46,67%.

2) Potensi Tumbuh Maksimum

Hasil uji viabilitas benih tanaman cabai rawit, yang diinokulasi dari bakteri rhizosfer asal tumbuhan mangrove memberikan pengaruh yang signifikan pada potensi tumbuh maksimum. Berdasarkan hasil uji varian anova pada variabel pengamatan potensi tumbuh maksimum memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan benih tanaman cabai rawit. Adapun grafik potensi tumbuh maksimum benih tanaman cabai rawit yang diberi perlakuan isolat bakteri rhizosfer dan hasil uji Jarak Berganda Duncan (UJBD) rata-rata disajikan pada gambar berikut:



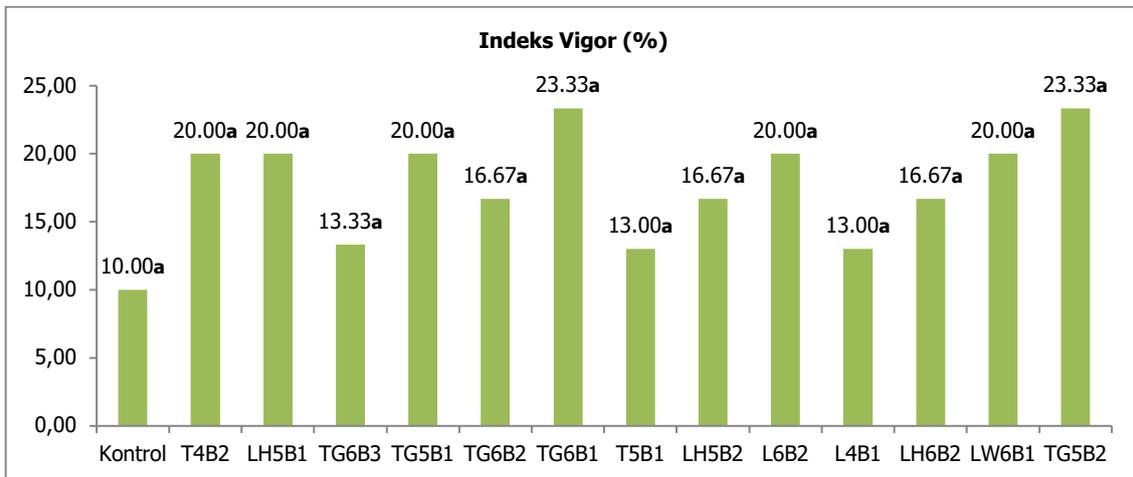
Gambar 20. Rata-rata potensi tumbuh maksimum benih cabai rawit yang diberi perlakuan isolat bakteri rhizosfer benih dengan campuran rizobakteri. Keterangan: angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada gambar tidak berbeda nyata pada UJBD 0.05.

Hasil UJBD pada gambar 20 menunjukkan bahwa perlakuan isolat bakteri rhizosfer pada benih tanaman cabai rawit terhadap pengamatan potensi tinggi maksimum tertinggi diperoleh TG5B1 sebesar 70,00 % tidak berbeda nyata dengan TG6B2, LH5B2, L6B2, TG6B3, T5B1, LW6B1, TG5B2, LH5B1, TG6B1, T4B2, L4B1, LH6B2 sebesar 53,33-66,67% tetapi berbeda sangat nyata tanpa isolat bakteri rhizosfer (kontrol) sebesar 46,67%.

3) Indeks Vigor (IV)

Hasil uji viabilitas benih tanaman cabai rawit, yang diinokulasi dari bakteri rhizosfer asal tumbuhan mangrove memberikan pengaruh yang signifikan pada indeks vigor. Berdasarkan hasil uji varian anova pada variabel pengamatan indeks vigor memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan benih tanaman cabai

rawit. Adapun grafik indeks vigor benih tanaman cabai rawit yang diberi perlakuan isolat bakteri rhizosfer dan hasil uji Jarak Berganda Duncan (UJBD) rata-rata disajikan pada gambar berikut:

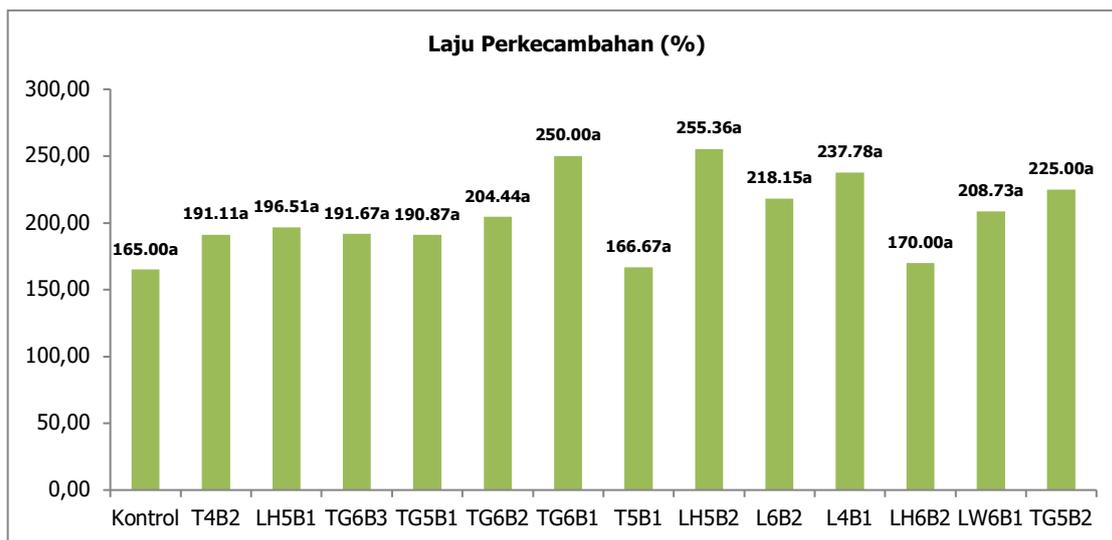


Gambar 21. Rata-rata indeks vigor benih cabai rawit yang diberi perlakuan isolat bakteri rhizosfer benih dengan campuran rizobakteri. Keterangan: angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada gambar tidak berbeda nyata pada UJBD 0.05.

Hasil UJBD pada gambar 21 menunjukkan bahwa perlakuan isolat bakteri rhizosfer pada benih tanaman cabai rawit terhadap pengamatan potensi tinggi maksimum tertinggi diperoleh TG5B2 dan TG6B1 sebesar 23,33% tidak berbeda nyata dengan T4B2, LH5B1, LW6B1, L6B2, TG5B1, LH6B2, LH5B2, TG6B2, TG6B3, T5B1, L4B1 sebesar 13,00-20,00% tetapi berbeda sangat nyata tanpa isolat bakteri rhizosfer (kontrol) sebesar 10,00%.

4) Laju Perkecambahan (LPK)

Hasil uji viabilitas benih tanaman cabai rawit, yang diinokulasi dari bakteri rhizosfer asal tumbuhan mangrove memberikan pengaruh yang signifikan pada laju perkecambahan. Berdasarkan hasil uji varian anova pada variabel pengamatan potensi tumbuh maksimum memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan benih tanaman cabai rawit. Adapun grafik laju perkecambahan benih tanaman cabai rawit yang diberi perlakuan isolat bakteri rhizosfer dan hasil uji Jarak Berganda Duncan (UJBD) rata-rata disajikan pada gambar berikut:

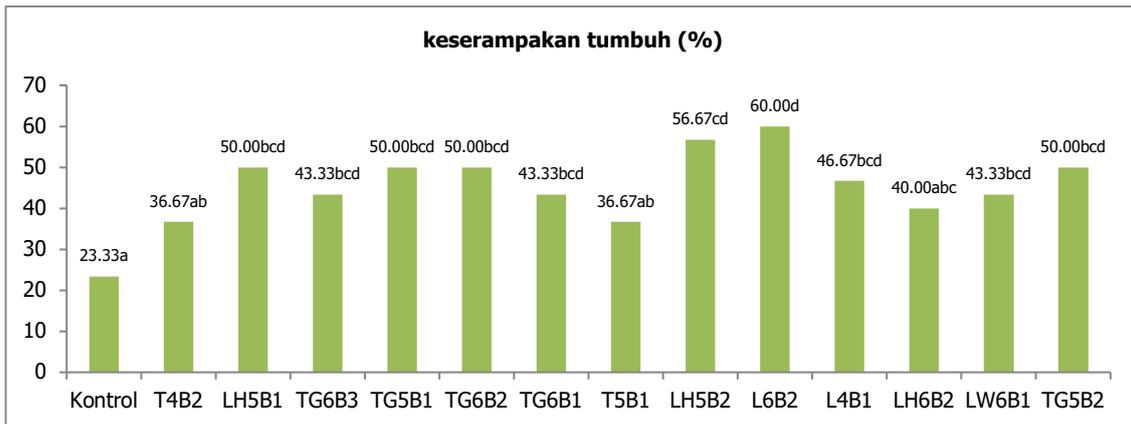


Gambar 22. Rata-rata laju perkecambahan benih cabai rawit yang diberi perlakuan perlakuan isolat bakteri benih dengan campuran rizobakteri. Keterangan: angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada gambar tidak berbeda nyata pada UJBD 0.05.

Hasil UJBD pada gambar 22 menunjukkan bahwa perlakuan isolat bakteri rhizosfer pada benih tanaman cabai rawit terhadap pengamatan laju perkecambahan tertinggi diperoleh LH5B2 sebesar 255,36% tidak berbeda nyata dengan TG6B1, TG5B2, L4B1, L6B2, LW6B1, TG6B2, LH5B1, TG6B3, T4B2, TG5B1, LH6B2, T5B1 diperoleh sebesar 166,67-250,00% tetapi berbeda sangat nyata tanpa isolat bakteri rhizosfer (kontrol) sebesar 165,00%. Dari semua uji coba yang dilakukan, isolat yang berpengaruh nyata terhadap perlakuan yaitu isolat bakteri rhizosfer dengan kode LH5B2 lebih berpengaruh.

5) Keserampakan tumbuh (KST)

Hasil uji viabilitas benih tanaman cabai rawit, yang diinokulasi dari bakteri rhizosfer asal tumbuhan mangrove memberikan pengaruh yang signifikan pada keserampakan tumbuh. Berdasarkan hasil uji varian anova pada variabel pengamatan potensi tumbuh maksimum memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan benih tanaman cabai rawit. Adapun grafik keserampakan tumbuh benih tanaman cabai rawit yang diberi perlakuan isolat bakteri rhizosfer dan hasil uji Jarak Berganda Duncan (UJBD) rata-rata disajikan pada gambar berikut:

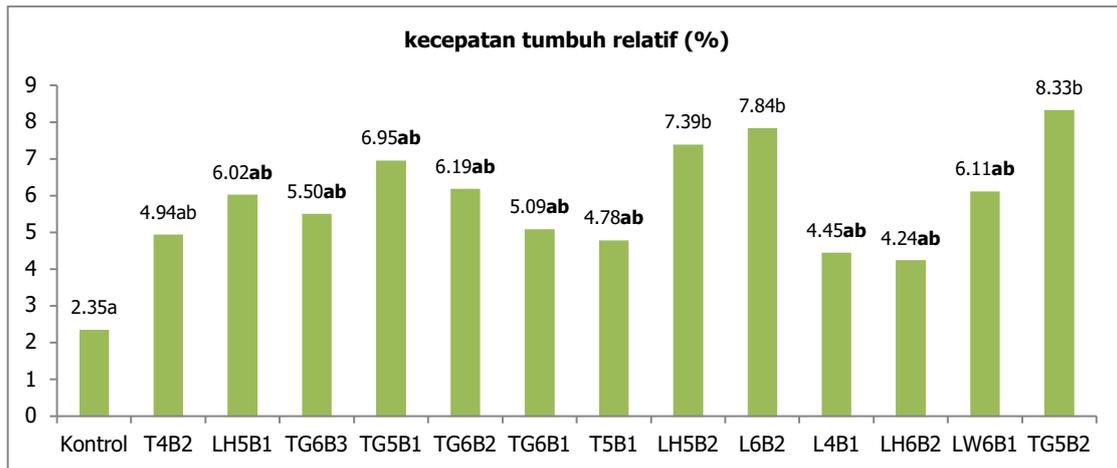


Gambar 23. Rata-rata keserampakan tumbuh benih cabai rawit yang diberi perlakuan perlakuan isolat bakteri benih dengan campuran rizobakteri. Keterangan: angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada gambar tidak berbeda nyata pada UJBD 0.05.

Hasil UJBD pada gambar 23 menunjukkan bahwa perlakuan isolat bakteri rhizosfer pada benih tanaman cabai rawit terhadap pengamatan keserampakan tumbuh tertinggi diperoleh L6B2 sebesar 60,00% tidak berbeda nyata dengan LH5B2, TG5B2, LH5B1, TG5B1, TG6B2, L4B1, TG6B3, TG6B1, LW6B1, LH6B2, T5B1, T4B2 sebesar 36,67-56,67% tetapi berbeda sangat nyata tanpa isolat bakteri rhizosfer (kontrol) diperoleh 23,33%.

6) Kecepatan Tumbuh Relatif (Kct-R)

Hasil uji viabilitas benih tanaman cabai rawit, yang diinokulasi dari bakteri rhizosfer asal tumbuhan mangrove memberikan pengaruh yang signifikan pada kecepatan tumbuh relatif. Berdasarkan hasil uji varian anova pada variabel pengamatan kecepatan tumbuh relatif memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan benih tanaman cabai rawit. Adapun grafik kecepatan tumbuh relatif benih tanaman cabai rawit yang diberi perlakuan isolat bakteri rhizosfer dan hasil uji Jarak Berganda Duncan (UJBD) rata-rata disajikan pada gambar berikut:

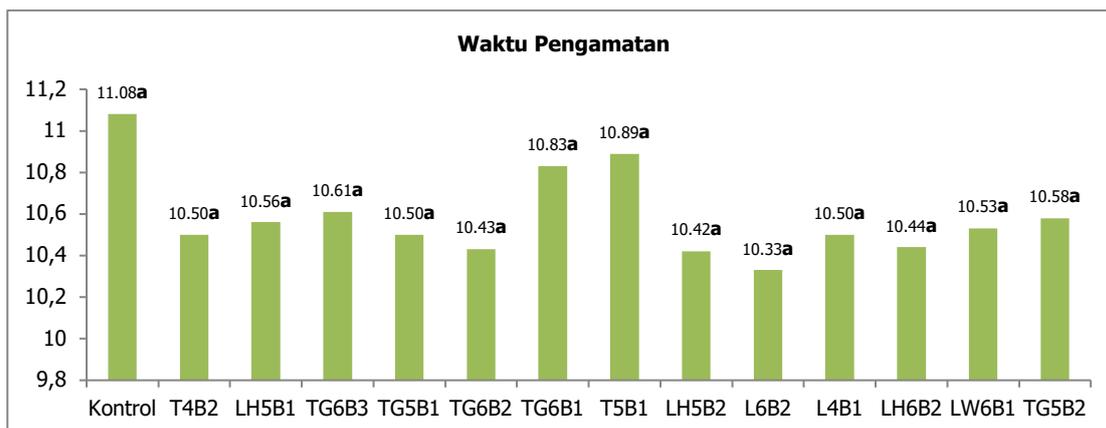


Gambar 24. Rata-rata kecepatan tumbuh relatif benih cabai rawit yang diberi perlakuan perlakuan isolat bakteri benih dengan campuran rizobakteri. Keterangan: angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada gambar tidak berbeda nyata pada UJBD 0.05.

Hasil UJBD pada gambar 24 menunjukkan bahwa perlakuan isolat bakteri rhizosfer pada benih tanaman cabai rawit terhadap pengamatan kecepatan tumbuh relatif tertinggi diperoleh TG5B2 sebesar 8,33% tidak berbeda nyata dengan LH5B2, L6B2, TG5B1, TG6B2, LW6B1, LH5B1, TG6B3, TG6B1, T4B2, L4B1, T5B1, LH6B2 sebesar 4,24-7,43% tetapi berbeda sangat nyata tanpa isolat bakteri rhizosfer (kontrol) sebesar 2,35%. Dari semua uji coba yang dilakukan, isolat yang berpengaruh nyata terhadap perlakuan yaitu isolat bakteri rhizosfer dengan kode TG5B2 lebih berpengaruh.

7) Pemunculan Kecambah (T_{50})

Hasil uji viabilitas benih tanaman cabai rawit, yang diinokulasi dari bakteri rhizosfer asal tumbuhan mangrove memberikan pengaruh yang signifikan pada pemunculan kecambah. Berdasarkan hasil uji varian anova pada variabel pengamatan pemunculan kecambah memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan benih tanaman cabai rawit. Adapun grafik pemunculan kecambah benih tanaman cabai rawit yang diberi perlakuan isolat bakteri rhizosfer dan hasil uji Jarak Berganda Duncan (UJBD) rata-rata disajikan pada gambar berikut:

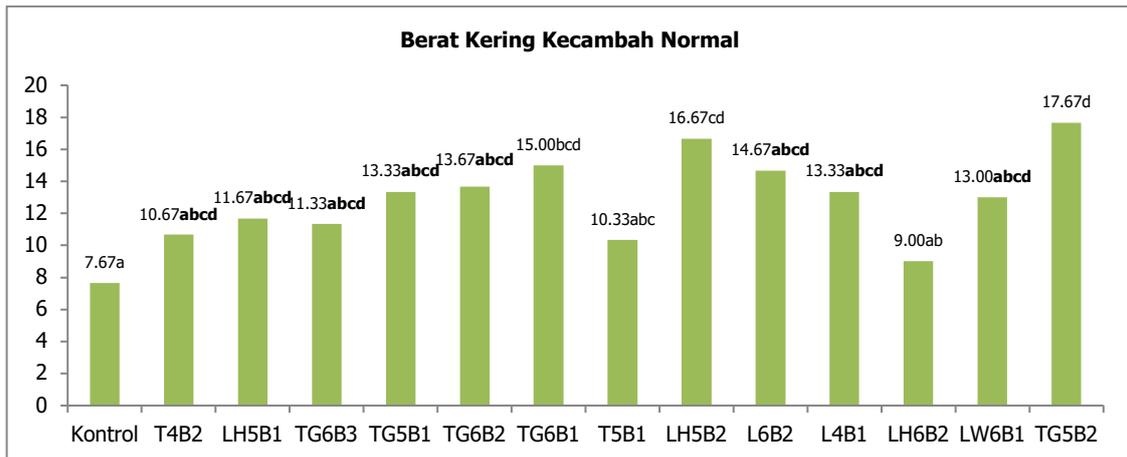


Gambar 25. Rata-rata waktu pengamatan benih cabai rawit yang diberi perlakuan perlakuan isolat bakteri benih dengan campuran rizobakteri. Keterangan: angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada gambar tidak berbeda nyata pada UJBD 0.05.

Hasil UJBD pada gambar 25 menunjukkan bahwa perlakuan isolat bakteri rhizosfer pada benih tanaman cabai rawit terhadap pengamatan waktu tercepat diperoleh L6B2 sebesar 10,33 hari tidak berbeda nyata LH5B2 tetapi berbeda nyata dengan isolat TG6B2, LH6B2, TG5B1, T4B2, L4B1, LW6B1, LH5B1, TG6B3, TG5B2, TG6B3, TG6B1 masing-masing berkisar antara 10,43-10,83 hari dan tanpa isolat bakteri rhizosfer (kontrol) sebesar 11,08 hari.

8) Berat Kering Kecambah Normal

Hasil uji viabilitas benih tanaman cabai rawit, yang diinokulasi dari bakteri rhizosfer asal tumbuhan mangrove memberikan pengaruh yang signifikan pada berat kering kecambah normal. Berdasarkan hasil uji varian anova pada variabel pengamatan potensi tumbuh maksimum memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan benih tanaman cabai rawit. Adapun grafik berat kering kecambah normal benih tanaman cabai rawit yang diberi perlakuan isolat bakteri rhizosfer dan hasil uji Jarak Berganda Duncan (UJBD) rata-rata disajikan pada gambar berikut:



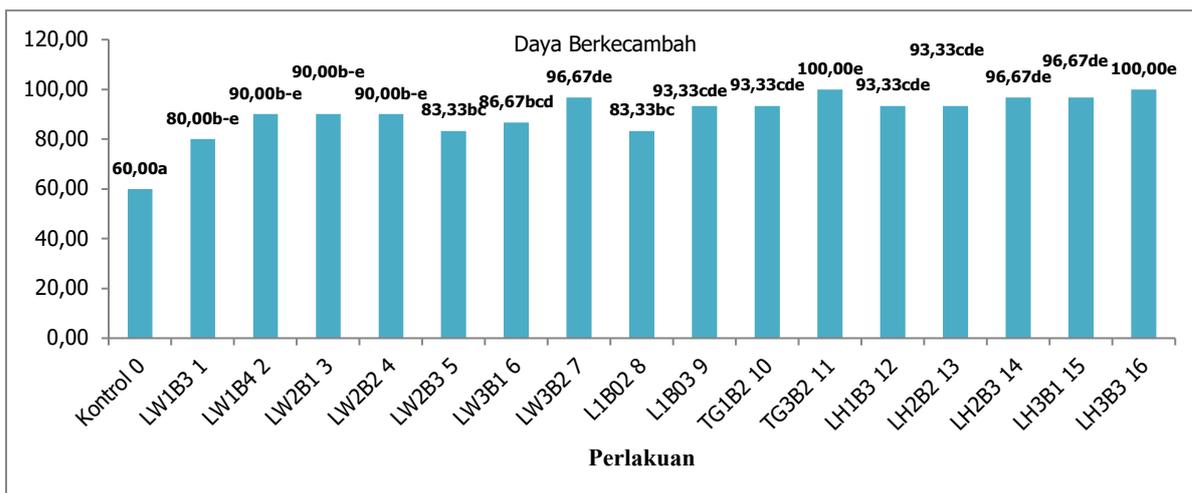
Gambar 26. Rata-rata berat kering kecambah normal benih cabai rawit yang diberi perlakuan perlakuan isolat bakteri benih dengan campuran rizobakteri. Keterangan: angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada gambar tidak berbeda nyata pada UJBD 0.05.

Hasil UJBD pada gambar 26 menunjukkan bahwa perlakuan isolat bakteri rhizosfer pada benih tanaman cabai rawit terhadap pengamatan berat kering kecambah normal tertinggi diperoleh isolat TG5B2 sebesar 17,67 (g) tidak berbeda nyata dengan LH5B2, TG6B1, L6B2, TG6B2, TG5B1, L4B1, TG6B3, LH5B1, T4B2, LW6B1, T5B1, LH6B2 masing-masing berkisar antara 9,00-16,67 (g) dan tanpa isolat bakteri rhizosfer (kontrol) sebesar 7,67 (g).

b. Potensi Bakteri Endofit Terhadap Mutu fisiologi Benih pada tanaman tomat lokal.

1) Daya Berkecambah (DB)

Hasil uji viabilitas benih tomat lokal, yang diinokulasi dari bakteri endofit asal tumbuhan mangrove memberikan pengaruh yang signifikan pada daya berkecambah. Berdasarkan hasil uji varian pada variabel pengamatan daya berkecambah memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan benih tanaman tomat. Sedangkan untuk hasil rata-rata daya berkecambah dan sidik ragam benih tanaman tomat lokal yang diberi perlakuan bakteri endofit asal tumbuhan mangrove disajikan pada lampiran 3. Adapun grafik daya berkecambah benih tomat yang diberi perlakuan isolat bakteri endofit dan hasil Uji Jarak Berganda Duncan (UJBD) rata-rata daya berkecambah disajikan pada gambar 26.



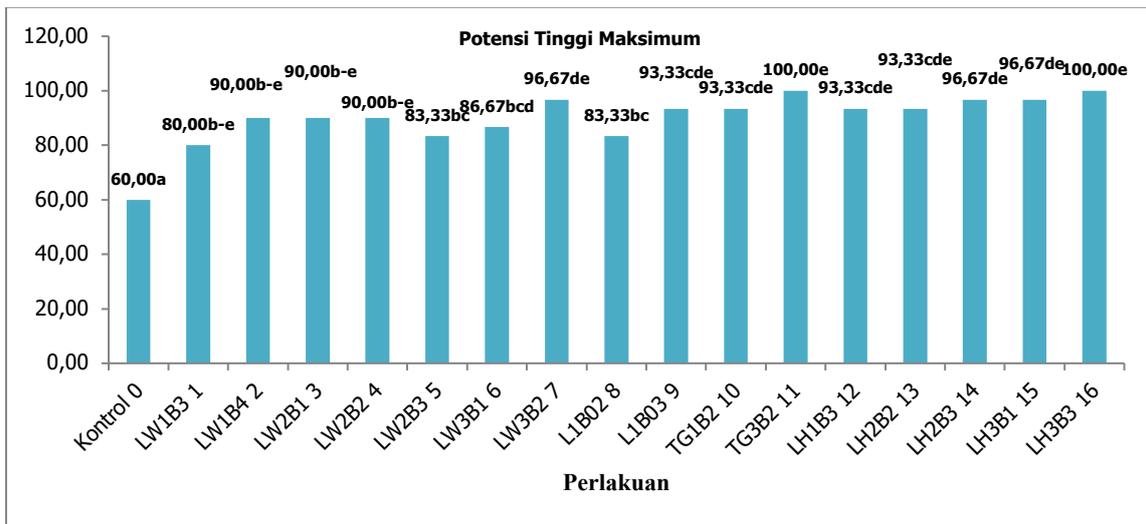
Gambar 26: Rata-rata daya berkecambah benih tanaman tomat yang diberi perlakuan bakteri endofit asal tumbuhan mangrove. Keterangan: angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada gambar berbeda nyata pada UJBD $\alpha=0,05$

Hasil uji Duncan pada gambar 26 menunjukkan bahwa inokulasi bakteri endofit pada benih tanaman tomat lokal terhadap pengamatan daya berkecambah tertinggi diperoleh isolat TG3B2 dan LH3B3 sebesar 100,00% tidak berbeda nyata dengan LW1B4, LW2B1, LW2B2, L1B03, TG1B2, LH1B3, LH2B2, LW3B2, LH2B3, dan LH3B1 masing-masing berkisar antara 90,00-96,67% tetapi berbedah nyata dengan isolat LW3B1, L1B02, LW1B3, LW2B3, LW3B1 berkisar antara 80,00-86,67% dan tanpa perlakuan bakteri endofit (kontrol) sebesar 60,00%.

2) Potensi Tumbuh Maksimum

Hasil uji viabilitas benih tomat lokal, yang diinokulasi dari bakteri endofit asal tumbuhan mangrove memberikan pengaruh yang signifikan pada potensi tumbuh maksimum. Berdasarkan hasil uji varian anova pada variabel pengamatan potensi tumbuh maksimum memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan benih tanaman tomat. Sedangkan untuk hasil rata-rata potensi tumbuh maksimum dan sidik ragam benih tanaman tomat lokal yang diberi perlakuan bakteri endofit asal tumbuhan mangrove disajikan pada lampiran 4. Adapun grafik potensi tumbuh maksimum benih tomat yang diberi perlakuan

isolat bakteri endofit dan hasil Uji Jarak Berganda Duncan (UJBD) rata-rata potensi tumbuh maksimum disajikan pada gambar 27.



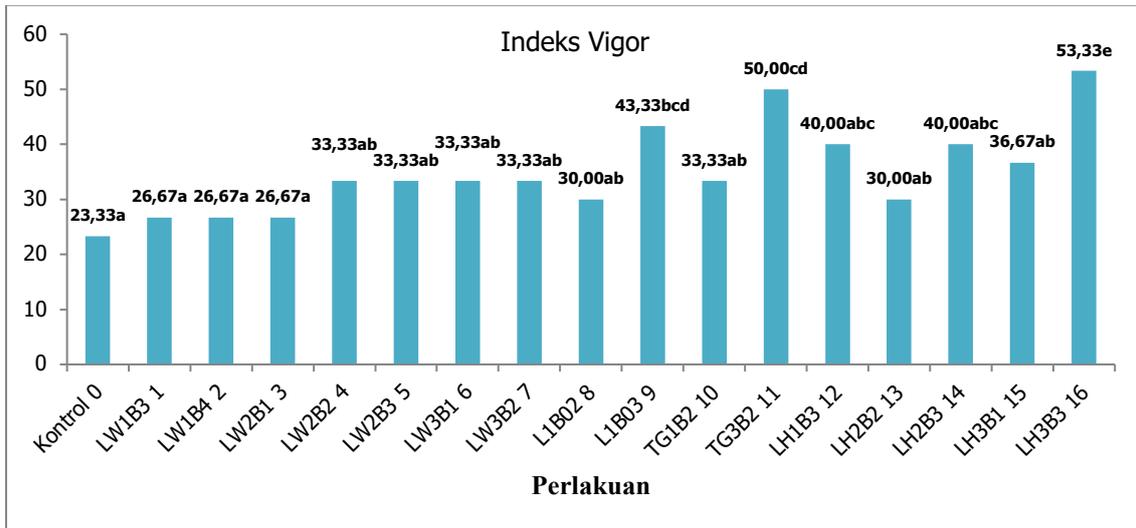
Gambar 27: Rata-rata potensi tumbuh maksimum benih tanaman tomat yang diberi perlakuan bakteri endofit asal tumbuhan mangrove. Keterangan: angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada gambar berbeda nyata pada UJBD $\alpha=0,05$

Hasil uji Duncan pada gambar 27 menunjukkan bahwa inokulasi bakteri endofit pada benih tanaman tomat lokal terhadap pengamatan potensi tumbuh maksimum tertinggi diperoleh isolat TG3B2 dan LH3B3 sebesar 100,00% tidak berbeda nyata dengan LW1B4, LW2B1, LW2B2, L1B03, TG1B2, LH1B3, LH2B2, LW3B2, LH2B3, dan LH3B1 masing-masing berkisar antara 90,00-96,67% tetapi berbedah nyata dengan isolat LW3B1, L1B02, LW1B3, LW2B3, LW3B1 berkisar antara 80,00-86,67% dan sangat berbeda nyata dengan tanpa perlakuan bakteri endofit (kontrol) sebesar 60,00%.

3) Indeks Vigor

Hasil uji viabilitas benih tomat lokal, yang diinokulasi dari bakteri endofit asal tumbuhan mangrove memberikan pengaruh yang signifikan pada indeks vigor. Berdasarkan hasil uji varian anova pada variabel pengamatan indeks vigor memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan benih tanaman tomat lokal. Sedangkan untuk hasil rata-rata indeks vigor dan sidik ragam benih tanaman tomat lokal yang diberi perlakuan bakteri endofit asal tumbuhan mangrove disajikan pada lampiran 4. Adapun grafik indeks vigor benih tomat yang diberi

perlakuan isolat bakteri endofit dan hasil Uji Jarak Berganda Duncan (UJBD) rata-rata indeks vigor disajikan pada gambar 28.



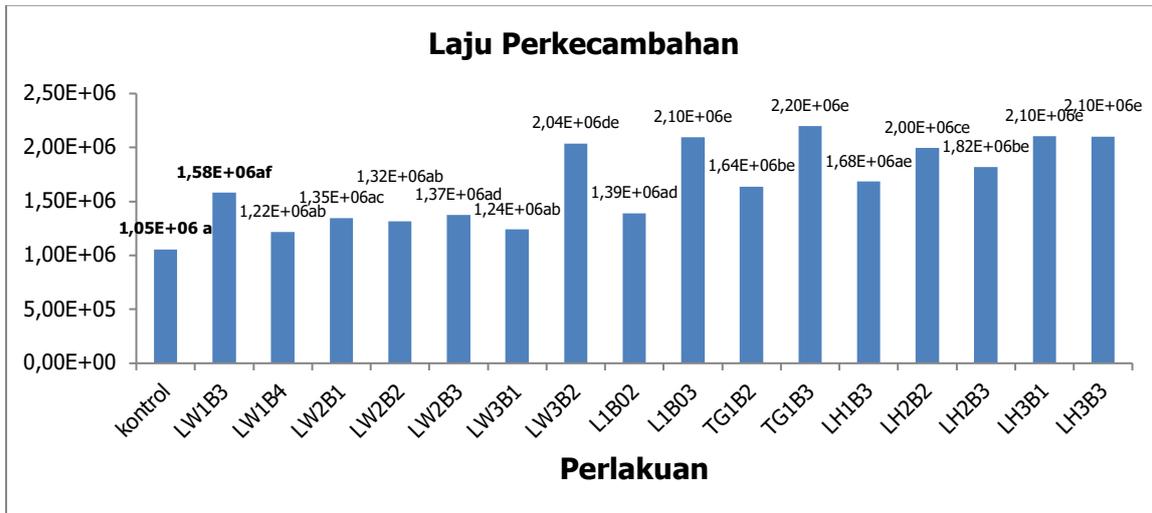
Gambar 28: Rata-rata indeks vigor benih tanaman tomat lokal yang diberi perlakuan bakteri endofit asal tumbuhan mangrove. Keterangan: angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada gambar berbeda nyata pada UJBD $\alpha=0,05$

Hasil uji Duncan pada gambar 28 menunjukkan bahwa inokulasi bakteri endofit pada benih tanaman tomat lokal terhadap pengamatan indeks vigor tertinggi diperoleh isolat LH3B3 sebesar 53,33% tidak berbeda nyata dengan TG3B2, L1B03, LH1B3, LH2B3, masing-masing berkisar antara 40,00-50,00% tetapi berbeda nyata dengan isolat bakteri LW1B4, LW1B3, LW2B1 masing-masing sebesar 26,67% dan tanpa isolat bakteri endofit (kontrol) sebesar 23,33%.

4) Laju Perkecambahan

Hasil uji viabilitas benih tomat lokal, yang diinokulasi dari bakteri endofit asal tumbuhan mangrove memberikan pengaruh yang signifikan pada laju perkecambahan. Berdasarkan hasil uji varian anova pada variabel pengamatan laju perkecambahan memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan benih tanaman tomat lokal. Sedangkan untuk hasil rata-rata laju perkecambahan dan sidik ragam benih tanaman tomat lokal yang diberi perlakuan bakteri endofit asal tumbuhan mangrove disajikan pada lampiran 5. Adapun grafik laju perkecambahan benih tomat yang diberi perlakuan isolat bakteri endofit dan hasil

Uji Jarak Berganda Duncan (UJBD) rata-rata laju perkecambahan disajikan pada gambar 29



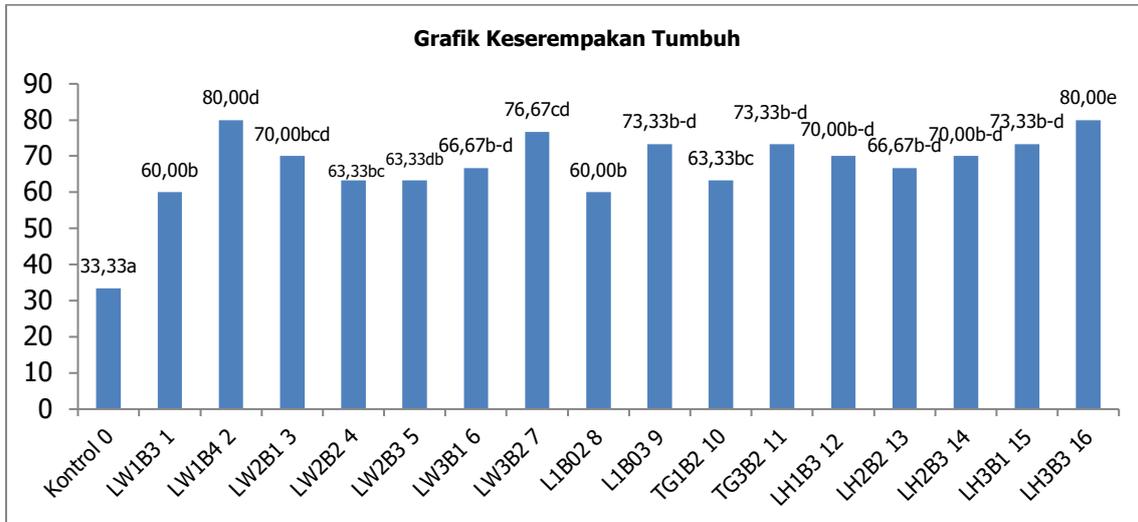
Gambar 29: Rata-rata laju perkecambahan benih tanaman tomat lokal yang diberi perlakuan bakteri endofit asal tumbuhan mangrove. Keterangan: angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada gambar berbeda nyata pada UJBD $\alpha=0,05$

Hasil uji Duncan pada gambar 29 menunjukkan bahwa inokulasi bakteri endofit pada benih tanaman tomat lokal terhadap pengamatan laju perkecambahan tertinggi diperoleh isolat TG3B2 sebesar 2,2000E2% tidak berbeda nyata dengan LH3B3, LW1B4, L1B03, 2, LH1B3, LH2B2, LW3B2, LH2B3, LH3B1, LW3B1, masing-masing berkisar antara 1,5800E2-1,2167E2-2,1033E2% tetapi berbeda sangat nyata isolat LW1B4, LW2B2, LW3B1 masing-masing berkisar antara 1,2167E2-1,3167E2 dan sangat berbeda nyata dengan tanpa isolat bakteri endofit (kontrol) sebesar 1,0533E2%.

5) Keserempakan Tumbuh

Hasil uji viabilitas benih tomat lokal, yang diinokulasi dari bakteri endofit asal tumbuhan mangrove memberikan pengaruh yang signifikan pada keserempakan tumbuh. Berdasarkan hasil uji varian anova pada variabel keserempakan tumbuh perkecambahan memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan benih tanaman tomat lokal. Sedangkan untuk hasil rata-rata keserempakan tumbuh dan sidik ragam benih tanaman tomat lokal yang diberi perlakuan bakteri endofit asal tumbuhan mangrove disajikan pada lampiran 6.

Adapun grafik keserempakan tumbuh benih tomat yang diberi perlakuan isolat bakteri endofit dan hasil Uji Jarak Berganda Duncan (UJBD) rata-rata keserempakan tumbuh disajikan pada gambar 30.



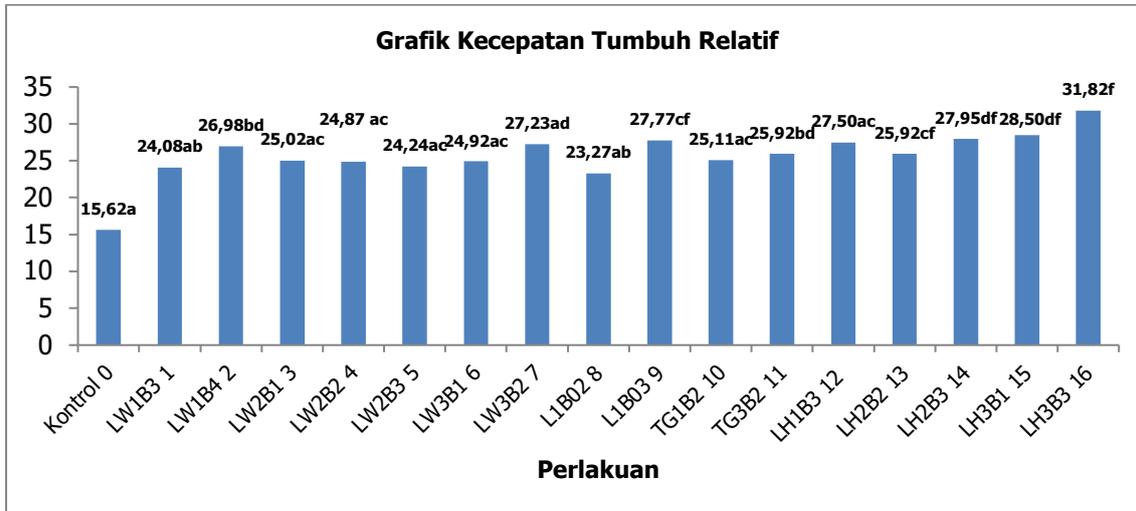
Gambar 30: Rata-rata keserempakan tumbuh benih tanaman tomat yang diberi perlakuan bakteri endofit asal tumbuhan mangrove. Keterangan: angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada gambar berbeda nyata pada UJBD $\alpha=0,05$

Hasil uji Duncan pada gambar 30 menunjukkan bahwa inokulasi bakteri endofit pada benih tanaman tomat lokal terhadap pengamatan keserempakan tumbuh tertinggi diperoleh isolat LH3B3 dan LW1B4 sebesar 80,00% tidak berbeda nyata dengan TG3B2, L1B03, LH1B3, LH2B2, LW3B2, LH2B3, LH3B1, LW3B1, LW2B1 masing-masing berkisar antara 60,67-76,67% tetapi berbeda nyata dengan isolat LW1B3, L1B02 masing-masing sebesar 60,00% dan berbeda sangat nyata tanpa isolat bakteri endofit (kontrol) sebesar 33,33%.

6) Kecepatan Tumbuh Relatif

Hasil uji viabilitas benih tomat lokal, yang diinokulasi dari bakteri endofit asal tumbuhan mangrove memberikan pengaruh yang signifikan pada kecepatan tumbuh relatif. Berdasarkan hasil uji varian anova pada variabel kecepatan tumbuh relatif memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan benih tanaman tomat lokal. Sedangkan untuk hasil rata-rata kecepatan tumbuh relatif dan sidik ragam benih tanaman tomat lokal yang diberi perlakuan bakteri endofit asal tumbuhan mangrove disajikan pada lampiran 7. Adapun grafik kecepatan

tumbuh relatif benih tomat yang diberi perlakuan isolat bakteri endofit dan hasil Uji Jarak Berganda Duncan (UJBD) rata-rata kecepatan tumbuh relatif disajikan pada gambar 31.

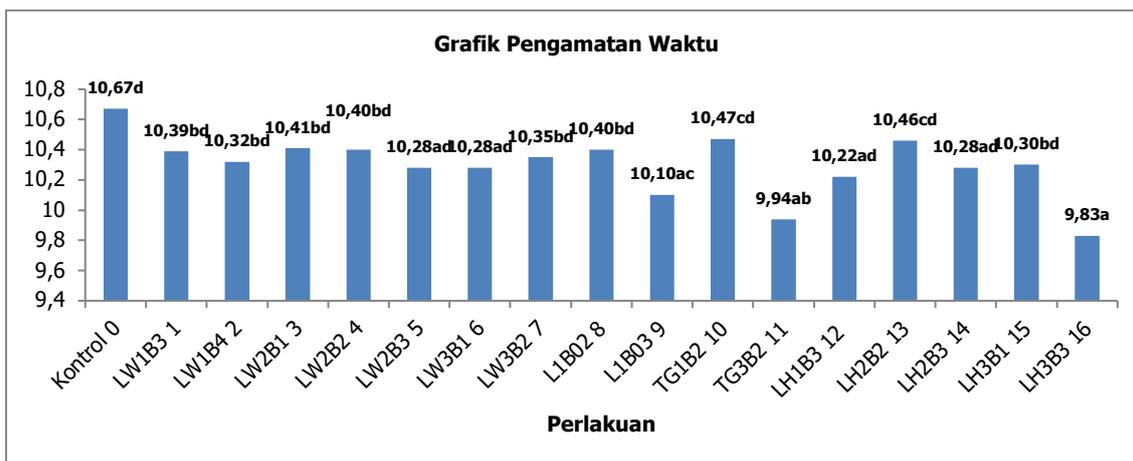


Gambar 31: Rata-rata kecepatan tumbuh relatif benih tanaman tomat yang diberi perlakuan bakteri endofit asal tumbuhan mangrove. Keterangan: angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada gambar berbeda nyata pada UJBD $\alpha=0,05$

Hasil uji Duncan pada gambar 31 menunjukkan bahwa inokulasi bakteri endofit pada benih tanaman tomat lokal terhadap pengamatan kecepatan tumbuh relatif tertinggi diperoleh isolat LH3B3 sebesar 31,82% tidak berbeda nyata dengan TG3B2, L1B03, LH1B3, LH2B3, LH3B1, masing-masing berkisar antara 27,50-29,81% tetapi berbeda nyata dengan isolat L1B02 sebesar 23,27% dan sangatberbeda nyata dengan kontrol sebesar 15,62%.

7) Pengamatan T50

Hasil uji viabilitas benih tomat lokal, yang diinokulasi dari bakteri endofit asal tumbuhan mangrove memberikan pengaruh yang tidak signifikan pada pengamatan T50. Berdasarkan hasil uji varian anova pada variabel pengamatan T50 memberikan pengaruh tidak nyata terhadap pertumbuhan benih tanaman tomat lokal. Sedangkan untuk hasil rata-rata pengamatan T50 dan sidik ragam benih tanaman tomat lokal yang diberi perlakuan bakteri endofit asal tumbuhan mangrove disajikan pada lampiran 8. Adapun grafik pengamatan T50 pada benih tomat yang diberi perlakuan isolat bakteri endofit dan hasil Uji Jarak Berganda Duncan (UJBD) rata-rata pengamatan waktu disajikan pada gambar 32.

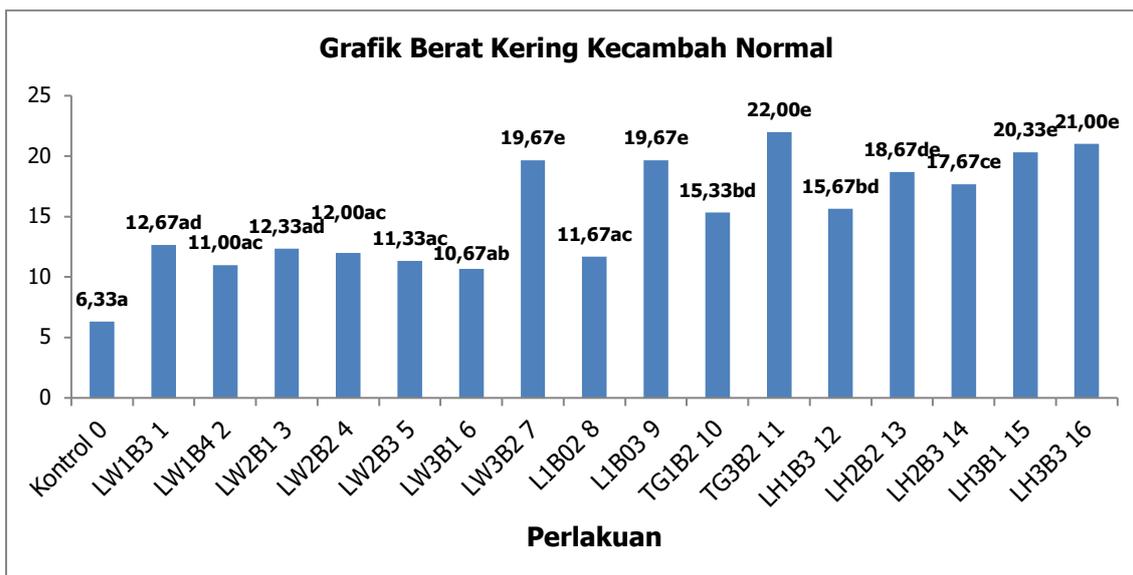


Gambar 32: Rata-rata pengamatan waktu benih tanaman tomat yang diberi perlakuan bakteri endofit asal tumbuhan mangrove. Keterangan: angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada gambar tidak berbeda nyata pada UJBD $\alpha=0,05$

Hasil uji Duncan pada gambar 32 menunjukkan bahwa inokulasi bakteri endofit pada benih tanaman tomat lokal terhadap pengamatan waktu tercepat diperoleh LH3B3 sebesar 9,86 hari tidak berbeda nyata dengan TG3B2, tetapi berbeda nyata dengan isolat LWB4, LW2B1, LW2B2, TG1B2, LH2B2, LW3B2, LW3B1, L1B02, LW1B3, LW2B3 masing-masing berkisar antara 10,29-10,46 hari dan tanpa isolat bakteri endofit (kontrol) sebesar 10,67 hari.

8) Berat Kering Kecambah Normal

Hasil uji viabilitas benih tomat lokal, yang diinokulasi dari bakteri endofit asal tumbuhan mangrove memberikan pengaruh yang signifikan pada berat kering kecambah normal. Berdasarkan hasil uji varian anova pada variabel pengamatan berat kering kecambah normal memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan benih tanaman tomat lokal. Sedangkan untuk hasil rata-rata berat kering kecambah normal dan sidik ragam benih tanaman tomat lokal yang diberi perlakuan bakteri endofit asal tumbuhan mangrove disajikan pada lampiran 9. Adapun grafik berat kering kecambah normal benih tomat yang diberi perlakuan isolat bakteri endofit dan hasil Uji Jarak Berganda Duncan (UJBD) rata-rata berat kering kecambah normal disajikan pada gambar 33.



Gambar 33: Rata-rata berat kering kecambah normal benih tanaman tomat yang diberi perlakuan bakteri endofit asal tumbuhan mangrove. Keterangan: angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada gambar berbeda nyata pada UJBD $\alpha=0,05$

Hasil uji Duncan pada gambar 33 menunjukkan bahwa inokulasi bakteri endofit pada benih tanaman tomat lokal terhadap berat kering kecambah normal tertinggi diperoleh isolat TG3B2 sebesar 22,00(g) tidak berbeda nyata dengan LH3B3, L1B03, TG1B2, LH1B3, LH2B2, LW3B2, LH2B3, LH3B1, masing-masing berkisar antara 15,33-21,00(g) tetapi berbeda nyata dengan isolat LW3B1 sebesar 10,67 (mg) dan tanpa isolat bakteri endofit (kontrol) sebesar 6,33(g).

Hasil penelitian daya berkecambah, indeks vigor, potensi tumbuh maksimum, laju perkecambahan, keserempakan tumbuh, kecepatan tumbuh relatif, pengamatan waktu, dan berat kering kecambah normal potensi isolat terbaik diperoleh perlakuan LH3B3, TG3B2, L1B03, LH3B1, LH2B3, LW3B2, LH2B2, LW2B3, LH2B3, LW2B1, LH1B3.

I. PENUTUP

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan :

1. Isolat bakteri yang dieksloprasi dari tanaman mangrove diperoleh sebanyak 72 Isolat bakteri yang terdiri dari 43 isolat bakteri endofit dan 29 isolat bakteri rhizosfer. Kemudian hasil seleksi diperoleh 18 bakteri endofit dan 13 bakteri rhizosfer memiliki ketahanan terhadap kekeringan pada tekanan osmotic -2,00 Mpa.
2. Isolat bakteri rhizosfer dan bakteri endofit yang diisolasi dari tanaman mangrove memiliki kemampuan sebagai pemacu pertumbuhan yang ditandai dengan kemampuan menghasilkan IAA, fiksasi nitrogen dan melarutkan fosfat.
3. Isolat bakteri rhizosfer dan bakteri endofit yang diisolasi dari tanaman mangrove memiliki kemampuan dalam menginduksi ketahanan tanaman terhadap fusarium yang ditandai dengan kemampuan daya hambat terhadap pathogen fusarium dan kemampuan menghasilkan HCN.
4. Isolat bakteri rhizosfer dan bakteri endofit yang diisolasi dari tanaman mangrove memiliki kemampuan dalam meningkatkan mutu fisiologis tanaman yang ditandai dengan kemampuannya dalam meningkatkan daya berkecambah, potensi tumbuh maksimum, indeks vigor, laju perkecambahan, keserampakan tumbuh, kecepatan tumbuh relatif, pemunculan kecambah, dan berat kering kecambah normal.

2. Saran

Peningkatan pertumbuhan tanaman dapat dilakukan dengan memanfaatkan teknologi ramah lingkungan berupa bakteri endofit atau rhizosfer yang dapat menginduksi produktivitas tanaman sehingga tanaman dapat meningkat hasil dan pertumbuhan tanaman, meningkatkan toleransi tanaman terhadap kekeringan dan meminimalisir serangan patogen. Uji coba skala lapangan bakteri terpilih asal tanaman mangrove merupakan salah satu upaya

untuk mengidentifikasi karakterisasi jenis bakteri potensial sangat menjanjikan sebagai bakteri terbaik yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk hayati.

DAFTAR PUSTAKA

- Alongi, D. M. (1994). The role of bacteria in nutrient recycling in tropical mangrove and other coastal benthic ecosystems. In *Ecology and conservation of southeast Asian marine and freshwater environments including wetlands* (pp. 19-32). Springer, Dordrecht.
- Amir, L., Sari, Arlinda Puspita, Hiola, St. Fatmah, & Jumadi, O. (2012). Ketersediaan Nitrogen Tanah Dan Pertumbuhan Tanaman Bayam (*Amaranthus Tricolor* L.) Yang Diperlakukan Dengan Pemberian Pupuk Kompos Azolla. *Jurnal Sainsmat*, 1(2), 168.
- Aqlinia Maulida., dkk, (2020). Isolasi Bakteri Endofit Bangle (*Zingiber cassumunar* Roxb) dan Uji Antibakteri Supernatan Crude Metabolit Sekunder Isolat Potensial terhadap *Staphylococcus aureus*. *Jurnal Akademika Biologi*, 9(1), 24.
- Asria Yufaizanur, Agam Ihsan Hereri, S. (2020). Efektivitas Daya Hambat Rizobakteri Terhadap Patogen *Fusarium Oxysporum* Secara *In Vitro* Dan Pengaruhnya Terhadap Pembibitan Tanaman Terung (*Solanum Melongena* L.). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 5(1), 51–60.
- Ayu, G., Sutariati, K., Rakian, T. C., Sopacua, N., & Mudi, L. A. (2014). Kajian Potensi Rizobakteri Pemacu Pertumbuhan Tanaman Yang Diisolasi Dari Rizosfer Padi Sehat. *Agroteknos*, 4(2), 71–77.
- Bashan, Y., & Holguin, G. (2002). Plant growth-promoting bacteria: a potential tool for arid mangrove reforestation. *Trees*, 16(2-3), 159-166.
- Bhagwat, J. A., & Ingale, S. T. (2013). Bacteria from mangrove sediments of the Indian coast: A review. *Dynamics of Mangrove Ecosystem*, 6.
- Bibi, F., Ullah, I., Alvi, S. A., Bakhsh, S. A., Yasir, M., Al-Ghamdi, A. A. K., & Azhar, E. I. (2017). Isolation, diversity, and biotechnological potential of rhizo- and endophytic bacteria associated with mangrove plants from Saudi Arabia. *Genetics and Molecular Research*, 16(2).
- Bardas, G. A., Lagopodi, A. L., Kadoglidou, K., & Tzavella-Klonari, K. (2009). Biological control of three *Colletotrichum lindemuthianum* races using *Pseudomonas chlororaphis* PCL1391 and *Pseudomonas fluorescens* WCS365. *Biological Control*, 49(2), 139-145.

- Compant, S., Clément, C., & Sessitsch, A. (2010). Plant growth-promoting bacteria in the rhizo-and endosphere of plants: their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(5), 669-678.
- Dhakal, D., Pokhrel, A. R., Shrestha, B., & Sohng, J. K. (2017). Marine rare actinobacteria: isolation, characterization, and strategies for harnessing bioactive compounds. *Frontiers in microbiology*, 8, 1106.
- Dewi, N. (2015). *Uji Antagonis Bakteri Rizosfer Pisang Terhadap Cendawan Patogen Thizoctonia Solani* (Doctoral Dissertation, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar).
- Egamberdieva, D., Wirth, S. J., Alqarawi, A. A., Abd_Allah, E. F., & Hashem, A. (2017). Phytohormones and beneficial microbes: essential components for plants to balance stress and fitness. *Frontiers in microbiology*, 8, 2104.
- Fua, Jumardi L., Sabaruddi, L., Bande, La Ode Santiaji, Leomo, S., Sutariati, Gusti Ayu Kade, Khaeruni, A., Safuan, La Ode, Gusnawaty, Rakian, T. C., Muhidin, Iswandi, M., & Nurlila, Ratna Umi. (2021). Isolasi Bakteri Endofit Toleran Kekeringan Dari Lokal Tanaman Tomat. *Jurnal Ilmu Biologi Pakistan*.
- Fahdila, S., Susilo, F., & Karim, A. (2020). Isolasi Dan Identifikasi Bakteri Endofit Pada Akar Cabai (*Capsicum Annuum* L.) Untuk Menghambat Pertumbuhan Jamur (*Fusarium Oxysporum*). *Jurnal Ilmiah Biologi Uma (Jibioma)*, 2(2), 93-98.
- Ghevariya, K., & Desai, P. (2014). Rhizobacteria Of Sugarcane: In Vitro Screening For Their Plant Growth Promoting Potentials. *Research Journal Of Recent Sciences*, 3, 52–58.
- Gonneea, M. E., Paytan, A., & Herrera-Silveira, J. A. (2004). Tracing organic matter sources and carbon burial in mangrove sediments over the past 160 years. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 61(2), 211-227.
- Ghizelini, A. M., Mendonça-Hagler, L. C. S., & Macrae, A. (2012). Microbial diversity in Brazilian mangrove sediments: a mini review. *Brazilian Journal of Microbiology*, 43, 1242-1254.
- Hardestyariki, D., Yudono, B., & Munawar, M. (2013). Eksplorasi Bakteri Hidrokarbonoklastik Dari Rhizosfer Di Lahan Tambang Minyak Rakyat, Kecamatan Babat Toman, Sumatera Selatan. *Jurnal Penelitian Sains*, 16(3), 168321.

- Hardiansyah, M. Y., Musa, Y., & Jaya, A. M. (2020). Identifikasi Plant Growth Promoting Rhizobacteria Pada Rizosfer Bambu Duri Dengan Gram KOH 3%. *Agrotech. Res.*, 4(1).
- Hasanuddin, R. (2020). Isolasi Bakteri Rhizosfer Penghasil Antimikroba Pada Akar Tanaman Jeruk Nipis (*Citrus Aurantifolia Swingle*). *Sasambo Journal Of Pharmacy*, 1(2), 46–50.
- Hayat, R., Ali, S., Amara, U., Khalid, R., & Ahmed, I. (2010). Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. *Annals of microbiology*, 60(4), 579-598.
- Herlina, L., Pukan, K. K., & Mustikaningtyas, D. (2017). The endophytic bacteria producing IAA (Indole Acetic Acid) in *Arachis hypogaea*. *Cell Biology and Development*, 1(1), 31-35.
- Heny Wulandari, dkk, (2021) Isolasi dan Pengujian Bakteri Endofit Dari Tanaman Lada (*Piper nigrum* L.) Sebagai Antagonis Terhadap Patogen Hawar Beludru (*Septobasidium* sp.). *Jurnal Perkebunan & Lahan Tropika*, 2(2), 25.
- Hidayati, U, dkk, (2014). Potensi Kultur Campuran Bakteri Endofit sebagai Pemacu Pertumbuhan Bibit Tanaman Karet. *Jurnal Penelitian Karet*. 32(2).
- Ilyas, S., & Machmud, M. (2013). Karakterisasi Rizobakteri Yang Berpotensi Mengendalikan Bakteri *Xanthomonas Oryzae* Pv. *Oryzae* Dan Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Padi. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 13(1), 42-51.
- Islamiah, D. N., Linda, R., & Rahmawati. (2017). Jenis-Jenis Bakteri Rizosfer Kawasan Tanah Mangrove *Avicennia* Di Kelurahan Terusan, Kecamatan Mempawah Hilir, Kalimantan Barat. *Jurnal Protobiont*, 6(3), 165–172.
- Istifadah, N., Sunarto, T., Kkartiwa, D. E., & Herdiyantoro, D. (2008). Kemampuan Kompos Plus Dalam Menekan Penyakit *Layu Fusarium* (*Fusarium Oxysporum* F. Sp. *Lycopersici*) Pada Tanaman Tomat. *Agrikultura*, 19(1).
- Israwan, R. F., Ardyati, T., & Suharjono. (2015). Eksplorasi Bakteri Pemfiksasi Nitrogen Non Simbiotik Penghasil IAA Dan Pelarut Fosfat Asal Rhizosfer Tanaman Apel Kota Batu , Jawa Timur. *Biotropika*, 3(2), 55–59.

- Istiqomah, I., Aini, L. Q., & Abadi, A. L. (2017). Kemampuan *Bacillus Subtilis* Dan *Pseudomonas Fluorescens* Dalam Melarutkan Fosfat Dan Memproduksi Hormon Iaa (*Indole Acetic Acid*) Untuk Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Tomat. *Buana Sains*, 17(1), 75.
- Jufri, Sri Wahyuni, Muh. Restu, G. (2017). Identifikasi Dan Karakterisasi Mikroba Rhizosfer Pada Hutan Rakyat Tanaman Bitti (*Vitexcofassus Reinw*), Jati (*Tectona Grandis*) Dan Jabon Merah (*Anthocephalus Macrophyllus*).
- Jufri, S. W. (5106). Identifikasi Dan Karakterisasi Mikroba Rhizosfer Pada Hutan Rakyat Tanaman Bitti (*Vitexcofassus Reinw*), Jati (*Tectona Grandis*) Dan Jabon Merah (*Anthocephalus Macrophyllus*). 02, 1–7.
- Karim, H., Arifin, A. N., & Suryani, A. I. (2016). Seleksi Bakteri Antagonis Asal Rizosfer Tanaman Cabai (*Capsicum Sp*) Untuk Menekan Penyakit Layu Fusarium Secara *In vitro*. *Sainsmat: Jurnal Ilmiah Ilmu Pengetahuan Alam*, 5(2).
- Kim, Y. C., Glick, B. R., Bashan, Y., & Ryu, C. M. (2012). Enhancement of plant drought tolerance by microbes. In *Plant responses to drought stress* (pp. 383-413). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Kusumawati, dkk, (2014). Karakterisasi Bakteri Endofit Tanaman Purwoceng Sebagai Penghasil Senyawa Steroid Dan Antipatogen. *Jurnal Littri*, 24(1), 2
- La Fua, J., Laode Sabaruddin, La Ode Santiaji Bande, Sitti Leomo, Gusti Ayu Kade Sutariati, Andi Khaeruni, La Ode Safuan, Gusnawaty HS, Tresjia Corona Rakian, Muhidin, Marsuki Iswandi and Ratna Umi Nurlila, (2021). Isolation of Drought-Tolerant Endophyte Bacteria From Local Tomato Plants. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 24: 1055-1062.
- La Mudi, dkk. (2021). Aplikasi Konsorsium Endo-R hizobakteria Untuk Meningkatkan Vigor Benih Pada Gogo Lokal. *Jurnal Agrotech*. 11(1).
- Liu, Z., Zhang, X dan Li. L (2021). Isolation and Characterization of Three Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Growth Endhacement of Rice Seedling. *Jurnal Plant Growth Regul*.
- Li, J., & Kremer, R. J. (2006). Growth response of weed and crop seedlings to deleterious rhizobacteria. *Biological Control*, 39(1), 58-65.
- Law, J. W. F., Pusparajah, P., Ab Mutalib, N. S., Wong, S. H., Goh, B. H., & Lee, L. H. (2019). A review on mangrove actinobacterial diversity: the roles of Streptomyces and novel species discovery. *Progress In Microbes & Molecular Biology*, 2(1).

- Mahartha, K. A., Khalimi, K., & Wirya, G. N. A. S. (2013). Uji Efektivitas Rizobakteri Sebagai Agen Antagonis Terhadap *Fusarium Oxysporum* F. Sp. Capsici Penyebab Penyakit Layu *Fusarium* Pada Tanaman Cabai Rawit (*Capsicum Frutescens* L.). *J. Agro Tropika*, 2(3), 145-154.
- Malinda, N., Soekarno, B. P. W., & Yuliani, T. S. (2015). Penghambatan *Fusarium Oxysporum* Oleh Kultur Filtrat Bakteri Rhizosfer Dari Tanaman Kedelai Secara *In vitro*. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 11(6), 187–195. <https://doi.org/10.14692/Jfi.11.6.187>
- Moustaine, M., Elkahkahi, R., Benbouazza, A., Benkirane, R., & Achbani, E. H. (2017). Effect of plant growth promoting rhizobacterial (PGPR) inoculation on growth in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and characterization for direct PGP abilities in Morocco. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 2(2), 238708.
- Podolich, O., Ardanov, P., Zaets, I., Pirttilä, A. M., & Kozyrovska, N. (2015). Reviving of the endophytic bacterial community as a putative mechanism of plant resistance. *Plant and Soil*, 388(1), 367-377.
- Patra, J. K., & Thatoi, H. N. (2011). Metabolic diversity and bioactivity screening of mangrove plants: a review. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33(4), 1051-1061.
- Rahayuniati, R. F., & Mugiastuti, E. (2009). Pengendalian Penyakit Layu *Fusarium* Tomat: Aplikasi Abu Bahan Organik Dan Jamur Antagonis Control Of Tomato Fusarial Wilt: Application Of Organic Ash And Antagonistic Fungi. *Pembangunan Pedesaan*, 9(1).
- Rodriguez, H., & Fraga, R. (1999). The use of phosphate solubilizing bacteria as inoculants simultaneously increases P uptake by the plant and crop yield. *Biotechnol. Adv*, 17, 319-339.
- Safriani, S., Syamsuddin, S., & Marlina, M. (2016). Daya Hambat Rhizobakteri Terhadap Pertumbuhan Koloni Patogen Terbawa Benih Cabai Merah Secara *In vitro* Dan Pengaruhnya Terhadap Viabilitas Benih. *Jurnal Kawista Agroteknologi*, 1(1), 50-58.
- Saharan, B. S., & Nehra, V. (2011). Plant growth promoting rhizobacteria: a critical review. *Life Sci Med Res*, 21(1), 30.
- Sahoo, K., and N. K. Dhal. (2009) "Potential microbial diversity in mangrove ecosystems: a review."

- Szymańska, S., Borruso, L., Brusetti, L., Hulisz, P., Furtado, B., & Hryniewicz, K. (2018). Bacterial microbiome of root-associated endophytes of *Salicornia europaea* in correspondence to different levels of salinity. *Environmental Science and Pollution Research*, *25*(25), 25420-25431.
- Schippers, B., Bakker, A. W., & Bakker, P. A. (1987). Interactions of deleterious and beneficial rhizosphere microorganisms and the effect of cropping practices. *Annual review of Phytopathology*, *25*(1), 339-358.
- Sulistyoningtyas, M., E., dkk. (2017). Pengaruh Pemberian PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) pada Pertumbuhan Bud Chip Tebu (*Saccharum officinarum* L.). *Jurnal Produksi Tanaman*. *5*(3).
- Tsegaye, Z., Gizaw, B., Tefera, G., Feleke, A., Chaniyalew, S., Alemu, T., & Assefa, F. (2019). Isolation and biochemical characterization of Plant Growth Promoting (PGP) bacteria colonizing the rhizosphere of Tef crop during the seedling stage. *BJSTR*, *14*, 013-027.
- Thatoi, H., Behera, B. C., Mishra, R. R., & Dutta, S. K. (2013). Biodiversity and biotechnological potential of microorganisms from mangrove ecosystems: a review. *Annals of Microbiology*, *63*(1), 1-19.
- Vaishnav, A., Shukla, A. K., Sharma, A., Kumar, R., & Choudhary, D. K. (2019). Endophytic bacteria in plant salt stress tolerance: current and future prospects. *Journal of Plant Growth Regulation*, *38*(2), 650-668.
- Widiarti W., dkk, (2015). Respon Vigor Benih dan Pertumbuhan Awal Tanaman Tomat Terhadap Konsentrasi dan Lama Perendaman Asam Klorida (HCL). *Jurnal Agritop Universitas Muhammadiyah Jember*.
- Zhang, J., Wang, P., Fang, L., Zhang, Q. A., Yan, C., & Chen, J. (2017). Isolation and characterization of phosphate-solubilizing bacteria from mushroom residues and their effect on tomato plant growth promotion. *Polish Journal of Microbiology*, *66*(1).
- Zhang, L., An, R., Wang, J., Sun, N., Zhang, S., Hu, J., & Kuai, J. (2005). Exploring novel bioactive compounds from marine microbes. *Current opinion in microbiology*, *8*(3), 276-281.

Lampiran 1. Hasil seleksi bakteri rhizosfer menggunakan PEG 6000

No	Kode Isolat	Nilai <i>Optical Density</i> (OD) Pada Tekanan Osmotik (Mpa)					Lokasi Asal Isolat (Desa/Kelurahan)
		-1,00	-1,25	-1,50	-1,75	-2,00	
1.	LH5B1	0,474	0,525	0,495	0,423	0,372	Lahundape
2.	LH5B2	0,387	0,531	0,435	0,437	0,344	Lahundape
3.	LH6B2	0,357	0,483	0,382	0,354	0,301	Lahundape
4.	LH6B1	0,389	0,347	0,460	0,202	0,282	Lahundape
5.	LH6B1	0,477	0,146	0,138	0,154	0,270	Lahundape
6.	LH4B3	0,573	0,390	0,183	0,399	0,292	Lahundape
7.	LH4B2	0,336	0,480	0,399	0,304	0,259	Lahundape
8.	LH4B1	0,080	0,306	0,094	0,176	0,250	Lahundape
9.	T5B1	0,324	0,413	0,397	0,349	0,311	Tanjung Tiram
10.	T4B2	0,416	0,507	0,574	0,526	0,538	Tanjung Tiram
11.	T5B2	0,319	0,398	0,310	0,209	0,305	Tanjung Tiram
12.	T6B1	0,024	0,040	0,087	0,116	0,214	Tanjung Tiram
13.	T6B2	0,490	0,465	0,310	0,360	0,292	Tanjung Tiram
14.	T4B1	0,403	0,351	0,216	0,135	0,278	Tanjung Tiram
15.	TG5B1	0,378	0,456	0,371	0,390	0,321	Todonggea
16.	TG6B1	0,477	0,348	0,346	0,391	0,303	Todonggea
17.	TG6B2	0,347	0,369	0,378	0,341	0,421	Todonggea
18.	TG6B3	0,373	0,300	0,390	0,192	0,366	Todonggea
19.	TG5B2	0,487	0,335	0,358	0,313	0,298	Todonggea
20.	TG4B1	0,355	0,105	0,092	0,171	0,231	Todonggea
21.	L4B1	0,560	0,405	0,380	0,355	0,360	Lalowaru
22.	L6B2	0,582	0,500	0,599	0,457	0,434	Lalowaru
23.	LW6B1	0,527	0,590	0,510	0,565	0,562	Lalowaru
24.	LW4B1	0,336	0,304	0,187	0,180	0,245	Lalowaru
25.	LW4B2	0,399	0,076	0,088	0,137	0,210	Lalowaru
26.	L5B1	0,352	0,308	0,097	0,133	0,263	lalowaru
27.	L6B1	0,039	0,052	0,034	0,90	0,140	Lalowaru
28.	L6B3	0,342	0,083	0,127	0,146	0,222	Lalowaru
29.	L5B2	0,050	0,033	0,091	0,197	0,203	Lalowaru

Lampiran 2. Hasil seleksi bakteri endofit menggunakan PEG 6000

No	Kode Isolat	Nilai Optical Density (OD) Pada Tekanan Osmotik (MPa)					Lokasi Asal Isolat (Kecamatan)
		-1,00	-1,25	-1,50	-1,75	-2,00	
1	T1B01	0,180	0,116	0,369	0,407	0,034	Tanjung Tiram
2	T1B02	0,056	0,070	0,060	0,303	0,065	Tanjung Tiram
3	T2B01	0,082	0,094	0,124	0,088	0,103	Tanjung Tiram
4	T2B02	0,191	0,048	0,137	0,211	0,176	Tanjung Tiram
5	T3B01	0,174	0,117	0,056	0,414	0,068	Tanjung Tiram
6	T3B02	0,063	0,079	0,163	0,095	0,083	Tanjung Tiram
7	L1B01	0,553	0,368	0,315	0,359	0,265	Lalowaru
8	L1B02	0,308	0,392	0,454	0,207	0,372	Lalowaru
9	L1B03	0,145	0,537	0,315	0,163	0,368	Lalowaru
10	L2B01	0,202	0,077	0,167	0,061	0,170	Lalowaru
11	L2B02	0,089	0,051	0,456	0,107	0,100	Lalowaru
12	L2B03	0,058	0,087	0,151	0,087	0,132	Lalowaru
13	L3B01	0,112	0,117	0,256	0,064	0,211	Lalowaru
14	L3B02	0,103	0,100	0,180	0,049	0,078	Lalowaru
15	L3B03	0,298	0,280	0,275	0,066	0,127	Lalowaru
16	L3B04	0,144	0,142	0,266	0,131	0,242	Lalowaru
17	LW1B1	0,206	0,148	0,201	0,264	0,219	Lalowaru
18	LW1B2	0,160	0,315	0,246	0,250	0,260	Lalowaru
19	LW1B3	0,481	0,354	0,364	0,351	0,408	Lalowaru
20	LW1B4	0,252	0,338	0,287	0,298	0,306	Lalowaru
21	LW2B1	0,558	0,509	0,308	0,376	0,380	Lalowaru
22	LW2B2	0,457	0,395	0,441	0,542	0,709	Lalowaru
23	LW2B3	0,518	0,533	0,411	0,402	0,455	Lalowaru
24	LW3B1	0,272	0,159	0,271	0,295	0,336	Lalowaru
25	LW3B2	0,304	0,267	0,312	0,379	0,390	Lalowaru
26	LW3B3	0,261	0,219	0,286	0,244	0,798	Lalowaru
27	LH1B1	0,177	0,147	0,214	0,153	0,203	Lahundape
28	LH1B2	0,288	0,354	0,227	0,121	0,178	Lahundape
29	LH1B3	0,296	0,201	0,282	0,293	0,403	Lahundape
30	LH2B1	0,208	0,290	0,330	0,373	0,257	Lahundape
31	LH2B2	0,230	0,325	0,280	0,335	0,327	Lahundape
32	LH2B3	0,392	0,320	0,323	0,394	0,363	Lahundape
33	LH3B1	0,339	0,294	0,298	0,394	0,303	Lahundape
34	LH3B2	0,156	0,084	0,162	0,194	0,210	Lahundape
35	LH3B3	0,403	0,527	0,344	0,341	0,359	Lahundape
36	TG1B1	0,169	0,111	0,246	0,172	0,150	Todonggea
37	TG1B2	0,152	0,336	0,310	0,329	0,360	Todonggea
38	TG1B3	0,511	0,386	0,549	0,417	0,162	Todonggea
39	TG1B4	0,138	0,057	0,064	0,106	0,048	Todonggea
40	TG2B1	0,207	0,196	0,193	0,126	0,152	Todonggea
41	TG2B2	0,194	0,172	0,143	0,156	0,142	Todonggea
42	TG3B1	0,524	0,387	0,242	0,591	0,214	Todonggea
43	TG3B2	0,498	0,087	0,405	0,371	0,367	Todonggea

Lampiran 3. Hasil Uji Persentase Daya Hambat Bakteri Rhizosfer Hari Ke 5 Setelah Inokulasi

Perlakuan	Ulangan			Total	Rata-rata
	I	II	III		
LH5B1	33,00	40,00	26,00	99,00	33,00 ^{ab}
LH5B2	40,00	20,00	23,33	83,33	27,67 ^{ab}
LH6B2	60,00	66,00	46,00	172,00	57,33 ^{cd}
T4B2	53,33	10,00	16,66	79,99	26,33 ^{ab}
T5B1	36,00	50,00	30,00	116,00	38,67 ^{abc}
TG5B1	53,30	46,60	36,60	136,50	45,00 ^{bcd}
T5B2	36,00	40,00	30,00	106,00	35,33 ^{ab}
TG6B1	60,00	60,00	70,00	190,00	63,33 ^d
TG6B2	40,00	53,30	33,00	126,30	42,00 ^{bcd}
TG6B3	60,00	63,00	56,60	179,60	59,67 ^{cd}
L4B1	13,33	30,00	50,00	93,33	31,11 ^{ab}
L6B2	76,60	50,00	60,00	186,60	62,00 ^d
LW6B1	13,33	20,00	23,33	56,66	33,00 ^{ab}

Lampiran 4. Sidik Ragam Daya Hambat Bakteri Rhizosfer Hari Ke 5 Setelah Inokulasi

SK	DB	JK	KT	F-Hitung	F-Tabel	
					0,05	0,01
Perlakuan	12,00	7965,76	663,81	5,05	2,15	2,96
Galat	26,00	3416,69	131,41			
Total	38,00	11382,45			KK=	28%

Lampiran 5. Hasil Uji Persentase Daya Hambat Bakteri Rhizosfer Hari Ke 7 Setelah Inokulasi

No	Perlakuan	Ulangan			Total	Rata-rata
		I	II	III		
1	LH5B1	20,00	16,00	16,00	52,00	17,33 ^a
2	LH5B2	40,00	16,00	16,00	72,00	24,00 ^{ab}
3	LH6B2	33,00	28,00	26,00	87,00	29,00 ^c
4	T4B2	20,00	10,00	13,30	43,30	14,43 ^a
5	T5B1	26,00	33,00	30,00	89,00	29,67 ^c
6	TG5B1	53,30	46,60	36,60	136,50	45,50 ^c
7	T5B2	23,00	20,00	16,00	59,00	19,67 ^{ab}
8	TG6B1	30,00	30,00	28,00	88,00	29,33 ^c
9	TG6B2	23,00	16,00	20,00	59,00	19,67 ^{ab}
10	TG6B3	63,00	63,00	56,60	182,60	60,87 ^d
11	L4B1	16,60	10,00	16,00	42,60	14,20 ^a
12	L6B2	33,00	26,00	30,00	89,00	29,67 ^c
13	LW6B1	6,60	20,00	16,00	42,60	14,20 ^a

Lampiran 6. Sidik Ragam Daya Hambat Bakteri Rhizosfer Hari Ke 7 Setelah Inokulasi

SK	DB	JK	KT	F-Hitung	F-Tabel	
					0,05	0,01
Perlakuan	12,00	6622,63	551,89	16,61**	2,15	2,96
Galat	26,00	863,77	33,22			
Total	38,00	7486,41			KK=	22%

Lampiran 7. Hasil Uji Persentase Daya Hambat Bakteri endofit Hari Ke 5 Setelah Inokulasi

No	Perlakuan	Ulangan			Rata-Rata
		I	II	III	
1.	LW1B3	46,66	46,66	43,33	45,55 ^{abcd}
2.	LW1B4	50,00	40,00	53,33	47,77 ^{bcd}
3.	LW2B1	46,66	46,66	43,33	45,55 ^{abcd}
4.	LW2B2	33,33	46,66	40,00	39,99 ^{ab}
5.	LW2B3	46,66	46,66	43,33	45,55 ^{abcd}
6.	LW3B1	43,33	53,33	40,00	45,55 ^{abcd}
7.	LW3B2	33,33	33,33	36,66	34,44 ^a
8.	LH1B3	56,66	50,00	53,33	53,33 ^{cd}
9.	LH2B2	60,00	43,33	40,00	47,77 ^{bcd}
10.	LH2B3	43,33	43,33	50,00	45,55 ^{abcd}
11.	LH3B1	50,00	43,33	53,33	48,88 ^{bcd}
12.	LH3B3	53,33	40,00	60,00	51,00 ^{bcd}
13.	TG1B2	46,66	60,00	63,33	56,66 ^d
14.	TG3B2	46,66	50,00	53,33	49,99 ^{bcd}
15.	L1B02	46,66	43,33	43,33	44,44 ^{abc}
16.	L1B03	50,00	43,33	40,00	44,44 ^{abc}

Lampiran 8. Sidik Ragam Daya Hambat Bakteri Endofit Hari Ke 5 Setelah Inokulasi

SK	DB	JK	KT	F-Hitung	F-Tabel	
					0,05	0,01
Perlakuan	15	1177,98	78,53	2,31	1,99	2,65
Galat	32	1088,82	34,03			
Total	47	2266,80			KK =	13%

Lampiran 9. Hasil Uji Persentase Daya Hambat Bakteri endofit Hari Ke 5 Setelah Inokulasi

No	Perlakuan	Ulangan			Total	Rata-Rata
		I	II	III		
1.	LW1B3	43,33	43,33	40,00	126,66	42,22 ^{bc}
2.	LW1B4	20,00	23,33	16,66	59,99	19,99 ^a
3.	LW2B1	43,33	43,33	43,33	129,99	43,33 ^{bc}
4.	LW2B2	33,33	40,00	36,66	109,99	36,66 ^b
5.	LW2B3	43,33	43,33	36,66	123,32	41,10 ^{bc}
6.	LW3B1	43,33	50,00	40,00	133,33	44,44 ^{bc}
7.	LW3B2	20,00	23,33	16,66	59,99	19,88 ^a
8.	LH1B3	53,33	46,66	50,00	149,99	49,99 ^c
9.	LH2B2	60,00	43,33	40,00	143,33	47,77 ^{bc}
10.	LH2B3	13,33	23,33	20,00	56,66	18,88 ^a
11.	LH3B1	16,66	20,00	26,66	63,32	21,10 ^a
12.	LH3B3	50,00	33,33	56,66	139,99	46,66 ^{bc}
13.	TG1B2	43,33	53,33	60,00	156,66	52,22 ^c
14.	TG3B2	43,33	46,66	53,33	143,32	47,77 ^{bc}
15.	L1B02	20,00	13,33	10,00	43,33	14,44 ^a
16.	L1B03	26,66	20,00	13,33	59,99	19,99 ^a

Lampiran 10. Sidik Ragam Daya Hambat Bakteri Endofit Hari Ke 7 Setelah Inokulasi

SK	DB	JK	KT	F-Hitung	F-Tabel	
					0,05	0,01
Perlakuan	15	8347,25	556,48	15,71	1,99	2,65
Galat	32	1133,44	35,42			
Total	47	9480,69			KK =	17%

Lampiran 11. Hasil Pengamatan Daya Berkecambah (%) Pada Benih tomat

Daya Berkecambah					
Perlakuan	Ulangan			Total	Rata-rata
	I	II	III		
Kontrol	60,00	60,00	60,00	180,00	60,00
LW1B3	80,00	80,00	80,00	240,00	80,00
LW1B4	90,00	90,00	90,00	270,00	90,00
LW2B1	80,00	100,00	90,00	270,00	90,00
LW2B2	80,00	100,00	90,00	270,00	90,00
LW2B3	90,00	80,00	80,00	250,00	83,33
LW3B1	80,00	90,00	90,00	260,00	86,67
LW3B2	100,00	100,00	90,00	290,00	96,67
L1B02	80,00	90,00	80,00	250,00	83,33
L1B03	90,00	90,00	100,00	280,00	93,33
TG1B2	90,00	90,00	100,00	280,00	93,33
TG3B2	100,00	100,00	100,00	300,00	100,00
LH1B3	80,00	100,00	100,00	280,00	93,33
LH2B2	100,00	90,00	90,00	280,00	93,33
LH2B3	100,00	90,00	100,00	290,00	96,67
LH3B1	100,00	90,00	100,00	290,00	96,67
LH3B3	100,00	100,00	100,00	300,00	100,00
	1500,00	1540,00	1540,00	4580,00	

SK	DB	JK	KT	F Hitung	F Tabel	
					0,05	0,01
Perlakuan	16	4431,372549	276,9607843	7,434	1,951	2,577
Galat	34	1266,666667	37,25490196			
Total	50	5698,039216		kk=		7%

Keterangan: ** Berpengaruh Sangat nyata

Lampiran 12. Hasil Pengamatan Potensi Tinggi Maksimum (%) Benih Tomat

Potensi Tinggi Maksimum					
Perlakuan	Ulangan			Total	Rata-rata
	I	II	III		
Kontrol	60,00	60,00	60,00	180,00	60,00
LW1B3	80,00	80,00	80,00	240,00	80,00
LW1B4	90,00	90,00	90,00	270,00	90,00
LW2B1	80,00	100,00	90,00	270,00	90,00
LW2B2	80,00	100,00	90,00	270,00	90,00
LW2B3	90,00	80,00	80,00	250,00	83,33
LW3B1	80,00	90,00	90,00	260,00	86,67
LW3B2	100,00	100,00	90,00	290,00	96,67
L1B02	80,00	90,00	80,00	250,00	83,33
L1B03	90,00	90,00	100,00	280,00	93,33
TG1B2	90,00	90,00	100,00	280,00	93,33
TG3B2	100,00	100,00	100,00	300,00	100,00
LH1B3	80,00	100,00	100,00	280,00	93,33
LH2B2	100,00	90,00	90,00	280,00	93,33
LH2B3	100,00	90,00	100,00	290,00	96,67
LH3B1	100,00	90,00	100,00	290,00	96,67
LH3B3	100,00	100,00	100,00	300,00	100,00
Total	1500,00	1540,00	1540,00	4580,00	

SK	DB	JK	KT	F Hitung	F Tabel	
					0,05	0,01
Perlakuan	16	4431,372549	276,960	7,434	1,951	2,577
Galat	34	1266,666667	37,254			
Total	50	5698,039216		Kk		0,06797

Keterangan: **Berepengaruh sangat nyata

Lampiran 13. Hasil Pengamatan Indeks Vigor Benih (%) Pada Benih Tomat

Indeks Vigor					
Perlakuan	Ulangan			Total	Rata-rata
	I	II	III		
Kontrol	20,00	30,00	20,00	70,00	23,33
LW1B3	30,00	20,00	30,00	80,00	26,67
LW1B4	20,00	20,00	40,00	80,00	26,67
LW2B1	30,00	30,00	20,00	80,00	26,67
LW2B2	30,00	40,00	30,00	100,00	33,33
LW2B3	30,00	30,00	40,00	100,00	33,33
LW3B1	30,00	40,00	30,00	100,00	33,33
LW3B2	30,00	40,00	30,00	100,00	33,33
L1B02	30,00	30,00	30,00	90,00	30,00
L1B03	40,00	40,00	50,00	130,00	43,33
TG1B2	30,00	40,00	30,00	100,00	33,33
TG3B2	60,00	50,00	40,00	150,00	50,00
LH1B3	40,00	30,00	50,00	120,00	40,00
LH2B2	30,00	30,00	30,00	90,00	30,00
LH2B3	40,00	30,00	50,00	120,00	40,00
LH3B1	40,00	40,00	30,00	110,00	36,67
LH3B3	50,00	50,00	60,00	160,00	53,33
Total	580,00	590,00	610,00	1780,00	

SK	DB	JK	KT	F Hitung	F Tabel	
					0,05	0,01
Perlakuan	16	3274,509804	204,6568627	4,3489	1,951	2,577
Galat	34	1600,000	47,05882353			
Total	50	4874,509804		kk		0,19654894

Keterangan: **Berepengaruh sangat nyata

Lampiran 14. Hasil Pengamatan Keserempakan Tumbuh (%) Pada Benih Tanaman Tomat

Keserempakan Tumbuh					
Perlakuan	Ulangan			Total	Rata-rata
	I	II	III		
Kontrol	30,00	40,00	30,00	100,00	33,33
LW1B3	60,00	60,00	60,00	180,00	60,00
LW1B4	80,00	80,00	80,00	240,00	80,00
LW2B1	60,00	80,00	70,00	210,00	70,00
LW2B2	60,00	60,00	70,00	190,00	63,33
LW2B3	60,00	60,00	70,00	190,00	63,33
LW3B1	60,00	70,00	70,00	200,00	66,67
LW3B2	70,00	80,00	80,00	230,00	76,67
L1B02	60,00	70,00	50,00	180,00	60,00
L1B03	70,00	80,00	70,00	220,00	73,33
TG1B2	60,00	50,00	80,00	190,00	63,33
TG3B2	80,00	70,00	70,00	220,00	73,33
LH1B3	70,00	60,00	80,00	210,00	70,00
LH2B2	70,00	70,00	60,00	200,00	66,67
LH2B3	70,00	60,00	80,00	210,00	70,00
LH3B1	70,00	70,00	80,00	220,00	73,33
LH3B3	80,00	80,00	80,00	240,00	80,00
Total	1110,00	1140,00	1180,00	3430,00	

SK	DB	JK	KT	F Hitung	F Tabel	
					0,05	0,01
Perlakuan	16	5549,019608	346,8137255	6,3169	1,9515	2,5778
Galat	34	1866,666667	54,90196078			
Total	50	7415,686275		kk=		0,1101

Keterangan: **Berpengaruh sangat nyata

Lampiran 15. Hasil Pengamatan Laju Perkecambahan (LPK) (%) Pada Benih Tomat

Laju Perkecambahan					
Perlakuan	Ulangan			Total	Rata-rata
	I	II	III		
Kontrol	83,33	100	133,333	316,666	105,555
LW1B3	137,5	162,5	175	475	158,333
LW1B4	100	77,777	188,888	366,666	122,222
LW2B1	112,5	170	122,222	404,722	134,907
LW2B2	112,5	150	133,333	395,833	131,944
LW2B3	100	137,5	175	412,5	137,5
LW3B1	150	122,222	100	372,222	124,074
LW3B2	150	250	211,111	611,111	203,703
L1B02	137,5	155,555	125	418,055	139,351
L1B03	255,556	144,444	230	630	210
TG1B2	166,66	155,555	170	492,222	164,074
TG3B2	220	190	250	660	220
LH1B3	175	140	190	505	168,333
LH2B2	200	188,888	211,111	600	200
LH2B3	190	166,666	190	546,666	182,222
LH3B1	200	211,111	220	631,111	210,370
LH3B3	250	130	250	630	210
Total	2740,55	2652,222	5011201,235	8467,777	

SK	DB	JK	KT	F Hitung	F Tabel	
					0,05	0,01
Perlakuan	16	67926,246	4245,390	3,4717	1,95156	2,5778
Galat	34	41576,080	1222,8259			
Total	50	109502,326		kk=		0,2106

Keterangan: **= Berpengaruh sangat nyata

Lampiran 16. Kecepatan Tumbuh Relatif (%/etmal) Pada Benih Tanaman Tomat

Kecepatan Tumbuh Relatif					
Perlakuan	Ulangan			Total	Rata-rata
	I	II	III		
Kontrol	15,21928072	17,96170496	13,68081918	46,86180486	15,62060162
LW1B3	24,41358641	22,5044955	25,32267732	72,24075924	24,08025308
LW1B4	25,65467865	24,88544789	30,38195138	80,92207792	26,97402597
LW2B1	22,73526474	28,27805528	24,05211455	75,06543457	25,02181152
LW2B2	22,73526474	27,61138861	24,28288378	74,62953713	24,87651238
LW2B3	23,44955045	22,73526474	26,24691975	72,43173493	24,14391164
LW3B1	22,73526474	26,05211455	25,96120546	74,74858475	24,91619492
LW3B2	25,76640027	29,27805528	26,65467865	81,6991342	27,23304473
L1B02	22,73526474	25,96120546	21,9019314	70,5984016	23,53280053
L1B03	26,96120546	26,88544789	29,44472194	83,29137529	27,76379176
TG1B2	23,44955045	24,52530803	27,36896437	75,34382284	25,11460761
TG3B2	33,0962371	28,67549118	27,67549118	89,44721945	29,81573982
LH1B3	25,47768898	24,93306693	32,0962371	82,50699301	27,502331
LH2B2	27,44472194	25,96120546	24,35864136	77,76456876	25,92152292
LH2B3	28,44472194	24,21878122	31,18714619	83,85064935	27,95021645
LH3B1	29,35381285	27,87029637	28,27805528	85,5021645	28,5007215
LH3B3	31,18714619	31,18714619	33,0962371	95,47052947	31,82350982
Total	430,8596404	439,5244755	451,990676	1322,374792	

SK	DB	JK	KT	F Hitung	F Tabel	
					0,05	0,01
Perlakuan	16	574,2436312	35,89022695	6,6232	1,9515	2,5778
Galat	34	184,240614	5,41884159			
Total	50	758,4842453		kk=		0,08977778

Keterangan: **= Berpengaruh sangat nyata

Lampiran 17. Pengamatan Waktu (%) Pada Benih Tanaman Tomat

Waktu Pengamaan T50					
Perlakuan	Ulangan			Total	Rata-rata
	I	II	III		
Kontrol	11,00	10,00	11,00	32,00	10,67
LW1B3	10,33	10,50	10,33	31,17	10,39
LW1B4	10,42	10,42	10,13	30,96	10,32
LW2B1	10,33	10,40	10,50	31,23	10,41
LW2B2	10,33	10,50	10,38	31,21	10,40
LW2B3	10,50	10,33	10,00	30,83	10,28
LW3B1	10,33	10,17	10,38	30,88	10,29
LW3B2	10,50	10,25	10,30	31,05	10,35
L1B02	10,33	10,38	10,50	31,21	10,40
L1B03	10,17	10,13	10,00	30,29	10,10
TG1B2	10,50	10,50	10,40	31,40	10,47
TG3B2	9,50	10,00	10,33	29,83	9,94
LH1B3	10,00	10,67	10,00	30,67	10,22
LH2B2	10,50	10,38	10,50	31,38	10,46
LH2B3	10,33	10,50	10,00	30,83	10,28
LH3B1	10,33	10,17	10,40	30,90	10,30
LH3B3	10,00	10,00	9,50	29,50	9,83
Total	175,42	175,28	174,64	525,33	

SK	DB	JK	KT	F Hitung	F Tabel	
					0,05	0,01
Perlakuan	16	1,871876362	0,116992273	2,008	1,95156	2,57787
Galat	34	1,980462963	0,058248911			
Total	50	3,852339325		kk=		0,02343

Keterangan: tn= Berpengaruh tidak nyata

Lampiran 18. Berat Kering Kecambah Normal (%) Pada Benih Tanaman Tomat

Berat Kering Kecambah Normal (BKKN)					
Perlakuan	Ulangan			Total	Rata-rata
	I	II	III		
Kontrol	5,000	6,000	8,000	19,000	6,333
LW1B3	11,000	13,000	14,000	38,000	12,667
LW1B4	9,000	7,000	17,000	33,000	11,000
LW2B1	9,000	17,000	11,000	37,000	12,333
LW2B2	9,000	15,000	12,000	36,000	12,000
LW2B3	9,000	11,000	14,000	34,000	11,333
LW3B1	12,000	11,000	9,000	32,000	10,667
LW3B2	15,000	25,000	19,000	59,000	19,667
L1B02	11,000	14,000	10,000	35,000	11,667
L1B03	23,000	13,000	23,000	59,000	19,667
TG1B2	15,000	14,000	17,000	46,000	15,333
TG3B2	22,000	19,000	25,000	66,000	22,000
LH1B3	14,000	14,000	19,000	47,000	15,667
LH2B2	20,000	17,000	19,000	56,000	18,667
LH2B3	19,000	15,000	19,000	53,000	17,667
LH3B1	20,000	19,000	22,000	61,000	20,333
LH3B3	25,000	13,000	25,000	63,000	21,000
Total	248,000	243,000	283,000	774,000	

SK	DB	JK	KT	F Hitung	F Tabel	
					0,05	0,01
Perlakuan	16	1000,745098	62,5465686	5,1038	1,9515	2,5778
Galat	34	416,6666667	12,254902			
Total	50	1417,411765		kk=		23%

Keterangan: **= Berpengaruh sangat nyata