

**EFEKTIVITAS PGPR DALAM MENGHAMBAT
PERTUMBUHAN *Ralstonia solanacearum* SECARA IN VITRO**

S K R I P S I

Oleh :

IRGIA NAI BATARI

NPM : 2004290039

Program Studi : AGROTEKNOLOGI



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025**

EFEKTIVITAS PGPR DALAM MENGHAMBAT
PERTUMBUHAN *Ralstonia solanacearum* SECARA IN VITRO

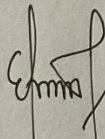
S K R I P S I

Oleh :

IRGIA NAI BATARI
2004290039
AGROTEKNOLOGI

Disusun Sebagai Salah Satu Syarat untuk Menyelesaikan Studi Strata-1 (S1)
Pada Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Komisi Pembimbing :



Assoc. Prof. Ir. Efrida Lubis, M.P
Dosen Pembimbing

Disahkan Oleh:

Dekan



Assoc. Prof. Dr. Darni Mawar Tarigan, S. P, M. Si.

Tanggal Lulus : 04 September 2025

PERNYATAAN

Dengan ini saya :

Nama : Irgia Nai Batari

NPM : 200290039

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi dengan judul Efektivitas PGPR Dalam Menghambat Pertumbuhan *Ralstonia solanacearum* Secara In Vitro adalah hasil dari penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri. Jika terdapat karya orang lain, saya akan mencantumkan sumber yang jelas.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila ditemukan adanya penjiplakan (plagiarisme), maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh. Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak manapun.

Medan, Agustus 2025

Yang menyatakan



Irgia Nai Batari

RINGKASAN

Irgia Nai Batari, “Efektivitas PGPR Dalam Menghambat Pertumbuhan *Ralstonia solanacearum* Secara In Vitro” dibimbing oleh: Assoc. Prof. Ir. Efrida Lubis, M.P. *Ralstonia solanacearum* merupakan bakteri tular tanah penyebab penyakit layu bakteri yang sangat merugikan bagi tanaman dan petani. Pengendalian dengan bahan kimia secara terus menerus dapat merusak ekosistem. Pengendalian secara hayati merupakan salah satu cara alternatif dengan menggunakan biakan PGPR dari sekitar perakaran tanaman bambu.

Alhamdulillah penelitian ini telah dilaksanakan di laboratorium hama dan penyakit tumbuhan Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara di Jln. Muchtar Basri, Kecamatan Medan Timur, Kota Medan. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2024 sampai April 2025. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode RAL (Rancangan Acak Lengkap) Non faktorial. Pengujian sampel menggunakan metode atau teknik pengenceran 1, 2 dan 3. Pengukuran zona hambat yang terbentuk di sekitar cakram diukur dengan diameter vertikal dan diameter horizontal dengan satuan mm menggunakan jangka sorong. Pengujian yang dilakukan mengarah pada kandungan IAA PGPR, zona hambat dan antagonis PGPR terhadap patogen tular tanah *Ralstonia solanacearum*.

Hasil penelitian menunjukkan PGPR mengandung senyawa IAA dengan jumlah yang rendah karena tingkat kepekatan warna yang tidak terlalu pekat. Ketiga perlakuan menunjukkan hasil positif dalam menghambat pertumbuhan patogen tular tanah *R. solanacearum* dengan kriteria akhir P1 (sangat kuat), P2 (kuat) dan P3 (kuat) sehingga *Pseudomonas fluorescens* memiliki sifat antagonis terhadap patogen karena senyawa metabolit sekunder pada bakteri *Pseudomonas fluorescens* sebagai antibakteri jumlahnya tinggi.

SUMMARY

Irgia Nai Batari, “The Effectiveness of PGPR in Inhibiting the Growth of *Ralstonia solanacearum* in Vitro” supervised by: Assoc. Prof. Ir. Efrida Lubis, M.P. *Ralstonia solanacearum* is a soil-borne bacterium that causes bacterial wilt disease which is very detrimental to plants and farmers. Continuous chemical control can damage the ecosystem. Biological control is an alternative way by using PGPR culture from around the roots of bamboo plants.

Alhamdulillah, this research has been carried out in the laboratory of pests and plant diseases of Muhammadiyah University of North Sumatra on Jln. Muchtar Basri, East Medan District, Medan City. This research was conducted from October 2024 to April 2025. This research was conducted using the Non-factorial RAL (Completely Randomized Design) method. Measurement of the inhibition zone formed around the disk is measured by the vertical diameter and horizontal diameter with a unit of mm using a caliper. Tests conducted lead to PGPR IAA content, inhibition zone and PGPR antagonist against soil-borne pathogen *Ralstonia solanacearum*.

The results showed that PGPR contained low amounts of IAA compounds because the level of color concentration was not too concentrated. The three treatments showed positive results in inhibiting the growth of soil-borne pathogen *R. solanacearum* with the final criteria P1 (very strong), P2 (strong) and P3 (strong). *Pseudomonas fluorescens* has antagonistic properties against pathogens because the secondary metabolite compounds in *Pseudomonas fluorescens* bacteria as antibacterials are high.

RIWAYAT HIDUP

Irgia Nai Batari dilahirkan pada tanggal 8 Desember 2002 di Kisaran, Kecamatan Kisaran Timur, Kabupaten Asahan, Sumatera Utara merupakan anak keempat dari empat bersaudara dari pasangan ayahanda Indra Susanto dan Ibunda Rahmawati.

Pendidikan yang telah ditempuh sebagai berikut :

1. Tahun 2009 menyelesaikan Taman Kanak-Kanak (TK) di Raudhatul Athfal, Kecamatan Kisaran Timur, Kabupaten Asahan, Sumatera Utara.
2. Tahun 2014 menyelesaikan Sekolah Dasar di SD Negeri 010039 Sentang, Kecamatan Kota Kisaran Timur, Kabupaten Asahan, Sumatera utara.
3. Tahun 2017 menyelesaikan Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 6 Kisaran, Kecamatan Kota Kisaran Timur, Kabupaten Asahan, Sumatera Utara.
4. Tahun 2020 menyelesaikan Sekolah Menengah Atas (SMA) di MAN Asahan, Kecamatan Kisaran Timur, Kabupaten Asahan, Sumatera Utara.
5. Tahun 2020 melanjutkan pendidikan Strata 1 (S1) pada program studi Agroteknologi di Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Kegiatan yang sempat diikuti selama menjadi mahasiswa pertanian UMSU antara lain:

1. Mengikuti Masa Pengenalan Kehidupan Kampus bagi Mahasiswa Baru (PKKMB) Fakultas Pertanian UMSU tahun 2020.
2. Mengikuti Masta (Masa ta'aruf) PK IMM Faperta UMSU tahun 2020.

3. Mengikuti kegiatan Kajian Intensif Al-Islam dan Kemuhammadiyah (KIAM) oleh Badan Al-Islam dan Kemuhammadiyah (BIM) tahun 2020.
4. Melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PTPN III Sei Dadap, Kecamatan Sei Dadap, Kabupaten Asahan, Provinsi Sumatera Utara pada bulan Agustus tahun 2023.
5. Melaksanakan Kegiatan KKN (Kuliah Kerja Nyata) UMSU 2023 di Desa Perkebunan Sei Dadap I/II, Kecamatan Sei Dadap Kabupaten Asahan.
6. Mengikuti Ujian *Test of English as a Foreign Language* (TOEFL) di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara 2024.
7. Melaksanakan penelitian di Laboratorium Hama dan Penyakit Tanaman Lantai III Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Jl. Kapten Muchtar Basri No.3, Glugur Darat II, Kec. Medan Timur, Kota Medan.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, karunia dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Skripsi ini. Tidak lupa penulis haturkan shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW. Adapun judul Skripsi ini adalah **“Efektivitas PGPR Dalam Menghambat Pertumbuhan *Ralstonia solanacearum* Secara In Vitro”**. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Assoc. Prof. Dr. Dafni Mawar Tarigan, S.P., M.Si. Selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Ibu Assoc. Prof. Dr. Ir. Wan Arfiani Barus, M.P. selaku Wakil Dekan I Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Dr. Akbar Habib, S.P., M.P. selaku Wakil Dekan III Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Ibu Assoc. Prof. Dr. Aisar Novita, S.P., M.P. Selaku Ketua Program Studi Jurusan Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Rini Susanti, S.P., M.P. Selaku Sekretaris Program Studi Jurusan Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Ibu Assoc. Prof. Ir. Efrida Lubis, M.P. Selaku Komisi Pembimbing.
7. Ibu Assoc. Prof. Dr. Widiastuty, S.P., M.Si. Selaku Dosen Pembimbing I.
8. Ibu Nurhajjah, S.P., M.Agr. Selaku Dosen Pembimbing II.
9. Seluruh Staf Pengajar dan Pegawai di Fakultas Pertanian Universitas

Muhammadiyah Sumatera Utara.

10. Kedua orang tua penulis Ayahanda Indra Susanto dan Ibunda Rahmawati yang senantiasa memberikan do'a dan dukungan sepenuh hati kepada penulis baik secara moral maupun material, kakak dan abang penulis Inggri Narasati abang gunawan dan Aidil Wal Bahri serta Fahrul Azmi yang berperan serta memberikan bantuan dan dukungan.
11. Teman-teman Agroteknologi 1 stambuk 2020 dan terkhususnya teman teman dari peminatan Hama dan Penyakit Tanaman atas bantuan dan dukungannya.
12. Diri saya sendiri, yang mampu bertanggung jawab terhadap diri sendiri hingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Terimakasih sudah selalu husnudzon ketika keadaan sempat tidak berpihak.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis menerima segala saran dari pembaca untuk penyempurnaan skripsi ini.

Medan, Agustus 2025

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
PERNYATAAN	i
RINGKASAN	ii
SUMMARY	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
PENDAHULUAN.....	1
Latar Belakang	1
Tujuan Penelitian	3
Kegunaan Penelitian.....	3
TINJAUAN PUSTAKA	4
Klasifikasi dan Morfologi <i>Ralstonia solanacearum</i>	4
Mekanisme Infeksi <i>Ralstonia solanacearum</i> Pada Tanaman Inang.....	5
Gejala Serangan <i>Ralstonia solanacearum</i>	7
Kisaran Inang <i>Ralstonia solanacearum</i>	8
Pengendalian Penyakit <i>Ralstonia solanacearum</i>	10
Produksi Hormon PGPR (<i>Plant Growth Promoting Rhizobacteria</i>)	12
PGPR (<i>Plant Growth Promoting Rhizobacteria</i>).....	13
Kandungan PGPR (<i>Plant Growth Promoting Rhizobacteria</i>)	13
Hipotesis Penelitian.....	14
BAHAN DAN METODE	15
Tempat dan Waktu Penelitian	15
Bahan dan Alat.....	15
Metode Penelitian.....	15
Pelaksanaan Penelitian	16

Persiapan Bahan PGPR	16
Sterilisasi Alat dan Bahan	16
Isolasi Bakteri <i>Ralstonia solanacearum</i>	17
Persiapan dan Pembuatan Media Tanam	17
Pengenceran PGPR (<i>Plant Growth Promoting Rhizobacteria</i>)	18
Pembuatan Media dan Pengujian PGPR	19
Pengujian PGPR.....	19
Pengamatan	20
Parameter Pengamatan	20
PGPR Penghasil Hormon <i>Indole Acetic Acid</i> (IAA).....	20
Pengukuran Zona Hambat dan Uji Antagonis	20
HASIL DAN PEMBAHASAN	23
KESIMPULAN DAN SARAN	34
DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN.....	42

DAFTAR TABEL

Nomor	Judul	Halaman
1.	Kriteria Kekuatan Daya Hambat Antibakteri.....	21
2.	Jenis-jenis Bakteri Yang Teridentifikasi pada PGPR	26
3.	Hasil Uji Antagonis PGPR Dalam Menghambat Pertumbuhan Patogen <i>R. solanacearum</i> 24 JSI.....	29
4.	Hasil Uji Antagonis PGPR Dalam Menghambat Pertumbuhan Patogen <i>R. solanacearum</i> 48 JSI.....	29
5.	Hasil Uji Antagonis PGPR Dalam Menghambat Pertumbuhan Patogen <i>R. solanacearum</i> 72 JSI.....	29
6.	Hasil Uji Antagonis PGPR Dalam Menghambat Pertumbuhan Patogen <i>R. solanacearum</i> 96 JSI.....	29
7.	Hasil Uji Antagonis PGPR Dalam Menghambat Pertumbuhan Patogen <i>R. solanacearum</i> 120 JSI.....	30

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul	Halaman
1.	Proses Pengenceran.....	18
2.	Pengukuran Zona Hambat.....	21
3.	Hasil Pengenceran.....	24
4.	Bentuk dan Gram PGPR di bawah Mikroskop	25
5.	Isolat murni PGPR (<i>Pseudomonas fluorescens</i>)	27
6.	Hasil Isolat Murni Patogen <i>Ralstonia solanacearum</i>	28

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Judul	Halaman
1.	Bagan Plot Penelitian	42
2.	Data Pengukuran Zona Hambat PGPR terhadap Patogen Bakteri <i>Ralstonia solanacearum</i> Pengamatan ke-1	43
3.	Data Pengukuran Zona Hambat PGPR terhadap Patogen Bakteri <i>Ralstonia solanacearum</i> Pengamatan ke-2	44
4.	Data Pengukuran Zona Hambat PGPR terhadap Patogen Bakteri <i>Ralstonia solanacearum</i> Pengamatan ke-3	45
5.	Data Pengukuran Zona Hambat PGPR terhadap Patogen Bakteri <i>Ralstonia solanacearum</i> Pengamatan ke-4	46
6.	Data Pengukuran Zona Hambat PGPR terhadap Patogen Bakteri <i>Ralstonia solanacearum</i> Pengamatan ke-5	47
7.	Rata-rata Zona Hambat PGPR (<i>Pseudomonas fluorescens</i>) Terhadap Patogen <i>Ralstonia solanacearum</i>	48
8.	Pembuatan PGPR (<i>Plant Growth Promoting Rhizobacteria</i>).....	49
9.	Pengenceran PGPR	50
10.	Pengujian Isolat PGPR (<i>Plant Growth Promoting Rhizobacteria</i>).....	50
11.	Gejala Serangan Patogen <i>Ralstonia solanacearum</i>	51
12.	Proses Pengambilan Ose dari Pangkal Batang Tanaman.....	51
13.	Isolasi Patogen <i>Ralstonia solanacearum</i>	52
14.	Proses Uji Antagonis PGPR terhadap Patogen <i>Ralstonia solanacearum</i>	53
15.	Super Visi Penelitian.....	54

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Budidaya tanaman di sektor pertanian penunjang penting pada upaya menggerakkan roda perekonomian serta ketahanan pangan nasional. Sebagai negara agraris dengan kandungan SDA (sumber daya alam) yang sangat melimpah, Indonesia mengandalkan sektor pertanian yang menjadi tumpuan perekonomian (Dewi *dkk*, 2016). Kualitas dan kuantitas hasil pertanian Indonesia perlu ditingkatkan dan menjadi tantangan masyarakat Indonesia untuk memenuhi kebutuhan pasar serta agar dapat bersaing dengan hasil pertanian luar negeri.

Salah satu hambatan dalam produksi adalah serangan *Ralstonia solanacearum*, salah satu bakteri tular tanah yang dapat bertahan bertahun-tahun dan berdampak pada penurunan hasil hingga 100%. *R. solanacearum* merupakan patogen yang menempati urutan keenam dari bakteri yang merusak tanaman di Indonesia dan berada di urutan kedua dari sepuluh bakteri penyebab penyakit tanaman dalam golongan patologi molekuler tanaman (Setiawan, 2019). *R. solanacearum* merupakan salah satu bakteri yang dapat mengurangi hasil panen dan produksi berbagai jenis tanaman yang dibudidayakan. Bakteri *R. solanacearum* menyebabkan terjadinya pembusukan pada akar kentang, menyebabkan layu di beberapa tanaman hias, tembakau, terong dan tomat serta penyebab penyakit moko pada tanaman pisang (Olson, 2005). Tanaman yang terserang patogen *R. solanacearum* menunjukkan tanda-tanda berubahnya warna pada bagian batang diikuti bagian akar dengan warna kuning kecoklatan, lalu menyebabkan tanaman menjadi layu dan pada tingkat serangan yang parah, infeksi oleh patogen *R. solanacearum* mengakibatkan kematian

secara mendadak pada tanaman (Setyari *dkk*, 2013).

Tingginya risiko serta kerugian yang disebabkan bakteri *R. solanacearum* mendorong petani mengupayakan berbagai cara dalam mengendalikan penyakit tersebut dan yang umum dimanfaatkan adalah dengan penggunaan pestisida sintetik atau kimiawi. Pestisida yang bersifat kimiawi dipilih karena mudah untuk diperoleh dan mampu mengurangi infeksi patogen dengan cepat. Namun, penggunaan pestisida kimia secara terus menerus serta tidak mengikuti dosis anjuran menyebabkan terjadinya resistensi pada organisme pengganggu tanaman, mengganggu ketidakseimbangan ekosistem dan dapat menyebabkan kerusakan pada lingkungan (Nababan *dkk*, 2017). Berdasarkan permasalahan tersebut sangat diperlukan suatu upaya pengendalian yang tepat, ramah lingkungan serta aman bagi manusia dalam upaya mengendalikan OPT, termasuk *R. solanacearum*.

Salah satu metode pengendalian ramah lingkungan terhadap serangan bakteri patogen *R. solanacearum* adalah penggunaan bahan aktif biologis atau agen hayati berupa PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) yang diperoleh dari mikroorganisme yang secara alami telah ada di lingkungan tertentu. PGPR merupakan kelompok organisme yang memiliki banyak manfaat bagi tanaman diantaranya mampu mengkolonisasi bagian akar tanaman, meningkatkan pertumbuhan pada tanaman, memperbaiki kerusakan akibat serangan hama serta dapat melindungi tanaman dari penyakit (Mohanty *dkk*, 2021). PGPR yang digunakan sebagai pestisida nabati memiliki kemampuan dalam menekan penyakit pada tanaman sehingga dapat dijadikan sebagai pestisida nabati. Beberapa penelitian menunjukkan PGPR mampu meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit seperti *Fusarium* dan hawar daun yang disebabkan

oleh *Xanthomonas* (Ristiana dkk, 2022).

Aktivitas dan manfaat PGPR sebagai agen hayati berpotensi digunakan untuk mengendalikan ataupun menghambat perkembangan patogen *R. solanacearum* sebagai solusi yang ramah lingkungan dan mudah didapatkan. Tingginya risiko penyebaran *R. solanacearum* di alam memerlukan pengujian secara hati-hati dan pada lokasi yang steril. Berdasarkan uraian permasalahan tersebut dibutuhkan penelitian tentang “Efektivitas PGPR dalam menghambat perkembangan patogen bakteri *Ralstonia solanacearum* secara In vitro”.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas PGPR dalam menghambat pertumbuhan patogen bakteri *Ralstonia solanacearum* secara in vitro.

Kegunaan Penelitian

1. Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Strata 1 (S1) pada Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Sebagai bahan ajar dan sumber informasi bagi pihak pihak yang tertarik dan untuk penelitian lebih lanjut mengenai topik ini.

TINJAUAN PUSTAKA

Klasifikasi dan Morfologi *Ralstonia solanacearum*

Berdasarkan Cabi (2017), Klasifikasi atau sistematika penamaan bakteri patogen :

Kingdom : *Procaryote*

Filum : *Proteobacteria*

Class : *Betaproteobacteria*

Ordo : *Burkholderiales*

Family : *Rastolniaceae*

Genus : *Ralstonia*

Spesies : *Ralstonia solanacearum*

Ralstonia solanacearum adalah organisme aerob obligat (organisme yang membutuhkan oksigen untuk bertahan hidup dan tumbuh) yang melakukan respirasi seluler menggunakan bantuan oksigen untuk metabolisme zat seperti pembentukan gula, lemak dan energi. Strain patogen *R. solanacearum* memiliki kisaran suhu minimum 10 °C dan suhu maksimum pada 41 °C dapat di toleransi (Kelman, 1953).

R. solanacearum memiliki bentuk basil serta tanpa memiliki spora. Bakteri ini memiliki Gram yang negatif dan berukuran sekitar 0,5–0,7 *mikrometer* x 1,5 – 2,0 *mikrometer* dengan memiliki satu *flagellum floral* (organ gerak) aerobik dan koloni pada media kecil, susunan yang tidak beratur, bulat dan tampak putih dalam cahaya pantulan dan coklat ketika objek digerakkan (Hayward, 1991).

R. solanacearum dikenal dengan jenis bakteri yang bersifat *fitopatogenik* sangat diwaspadai dan sangat mengganggu dengan tingkat daya rusak yang tinggi

di seluruh dunia karena bakteri ini sangat mematikan inang, tersebar luas secara geografis, dan menyerang berbagai macam inang dan berbagai spesies tanaman yang menyebabkan kerusakan secara ekonomi yang cukup signifikan (Chandrashekara dan Prasannakumar, 2010).

Kerugian pendapatan secara langsung berupa hasil oleh *R. solanacearum* terbilang cukup beragam sesuai dengan jenis tanaman inang yang terserang, kultivar, pengaruh iklim, kondisi tanah, sistem tanam yang digunakan, dan pengaruh strain. Misalnya 3% hingga 90% pada tanaman kentang, kerugian hasil bervariasi antara 0% dan 91% pada tanaman tomat, 10% hingga 30% pada tanaman tembakau. Selain itu, 80% hingga 100% pada tanaman pisang dan hingga 20% pada tanaman kacang tanah. (Elphinstone, 2005). Patogen ini sangat sulit dikendalikan karena memiliki kemampuan dengan sifat yang endofit, kemampuan bertahan di tanah, terutama di lapisan tanah yang lebih dalam, mampu bergerak di sepanjang air, dan memiliki hubungan yang erat terhadap inang lain berupa tanaman liar atau pengganggu seperti gulma (Wang dan Lin, 2005).

Secara umum, bakteri *R. solanacearum* merupakan bakteri penyebab penyakit tanaman dengan sifat yang memiliki tingkat bahaya sangat tinggi terhadap tanaman inang dikarenakan memiliki risiko kematian yang tinggi dan kemampuan untuk mempertahankan kehidupannya di bawah permukaan tanah dalam kurun waktu yang terbilang lama, bahkan mampu bertahan meskipun tidak ada tanaman inang yang dapat digunakan untuk proses berkembang biak (Chepkoech *dkk*, 2013).

Mekanisme Infeksi *Ralstonia solanacearum* Pada Tanaman Inang

Patogen *Ralstonia solanacearum* memvirulensi atau menginfeksi tanaman

dengan cara memasukan dirinya ke dalam akar dari perantara luka ataupun lubang-lubang alami pada tanaman terutama bagian akar, berpindah tempat dan memperbanyak diri pada jaringan pembuluh tanaman, mencapai pembuluh xilem pada akar tanaman yang rentan dalam kurun waktu hanya 24 jam (Caldwell *dkk*, 2017). Setelah patogen masuk ke jaringan pengangkut atau xilem, selanjutnya patogen *R. solanacearum* akan melakukan perbanyakan diri atau berkembang biak dan melakukan migrasi secara sistemik atau perlahan dari luar kedalam pada jaringan inang yang terserang patogen (Lowe-power *dkk*, 2018).

Virulensi *R. solanacearum* tergantung pada konsorsium yang artinya infeksi melibatkan berbagai jenis bakteri yang saling bekerjasama dalam suatu lingkungan dalam menyerang tanaman inang, konsorsium sebagai faktor virulensi yang penting, termasuk enzim yang menghancurkan dinding sel tumbuhan, polimer ekstraseluler, dan puluhan faktor lain III, termasuk nilai pH dan ketersediaan oksigen di tanah (Deslandes dan Genin, 2014). Statusnya sebagai bakteri penyebab penyakit pada tanaman sangat berbahaya dan akan menular dengan bantuan perantara tanah, patogen *R. solanacearum* mencoba mendekati tanaman inangnya dengan cara mendeteksi eksudat akar tanaman inang dan bereaksi terhadapnya (Hida *dkk*, 2015). Dampak patogen tular tanah, *R. solanacearum* dapat menyebabkan kehilangan hasil panen mencapai 10-20 % pada setiap tahun, patogen penyakit yang mampu menularkan dampaknya melalui tanah seringkali mendapatkan anggapan lebih berbahaya jika dibandingkan dengan penyakit yang sistem penularannya melalui benih atau udara (USDA, 2003).

Gejala Serangan *Ralstonia solanacearum*

R. solanacearum sebagai patogen mengganggu transportasi air dan nutrisi dengan menghancurkan sel-sel tumbuhan. Dalam proses penghancuran sel-sel, selulase dan pektinase merupakan enzim yang sangat berperan penting dalam proses tersebut. Enzim-enzim yang terlibat dalam proses ini adalah selulase dan pektinase. Enzim-enzim ini menghancurkan dinding sel tanaman yang mengandung selulosa dan pektin. Akibat infeksi oleh *R. solanacearum* adalah perubahan fisiologi tanaman, yaitu gangguan transportasi air dan nutrisi lain, sehingga tanaman yang terinfeksi layu dan akhirnya mati (Agrios, 2005).

Sebagai patogen tular tanah, *R. solanacearum* dalam menyerang inang menyebabkan tanaman yang terserang menjadi layu dan busuk pada umbi seperti kentang. Tanaman kentang yang terinfeksi akan mati dengan cepat dalam waktu 3-4 hari sedangkan pada tanaman tua yang terserang *R. solanacearum* menunjukkan gejala layu pada bagian daun yang masih muda dan menyebabkan pertumbuhan tanaman menjadi terhambat atau kerdil (Yuliar *dkk*, 2015).

Bakteri *Ralstonia solanacearum* menyerang tanaman menunjukkan beberapa tahapan gejala, gejala awalnya tanaman tampak segar pada saat pagi ataupun sore hari namun tanaman terlihat layu pada saat siang hari. Hal tersebut bisa terjadi dikarenakan transportasi air dari akar ke daun dan batang terhalang oleh penumpukan bakteri, sehingga tanaman tidak mendapatkan pasokan air yang cukup dan akhirnya layu. Infeksi oleh *R. solanacearum* dapat dimulai pada tanaman muda. Pada tanaman yang sudah terinfeksi oleh *Ralstonia solanacearum*, tanda-tanda busuk yang jelas dapat terlihat pada akar dan di dasar batang (Maris *dkk*, 2022).

Gejala lain yang tampak akibat serangan penyakit yang menyebabkan layu oleh bakteri yang penyebabnya adalah *R. solanacearum* dapat berbeda beda di antara berbagai jenis tanaman kesukaan patogen yang cukup mudah diserang. Namun terdapat gejala yang paling sering ditimbulkan yaitu muncul layu dan menguningnya daun muda di tanaman baik layu sebagian (unilateral) ataupun layu keseluruhan bagian daunnya, kemudian akan muncul cairan berwarna putih susu yang merupakan cairan bakteri yang terkumpul pada bagian terluar dari batang, bagian rimpang, atau umbi dari inang tanaman terjangkit yang dengan cepat dilukai (Denny, 2006).

Infeksi lebih lanjut menyebabkan pembusukan akar dan pangkal batang, dengan massa bakteri berwarna putih susu yang terlihat, yang merupakan ciri khas infeksi oleh patogen yang menyebabkan layu bakteri (Nasrun *dkk*, 2007). Dalam Wijiyono (2009) juga menambahkan gejala awal adalah tanaman mulai layu dan kemudian menyebar ke daun bagian bawah. Setelah itu, gejala lain muncul di seluruh bagian tanaman berupa daun layu, daun berubah warna menjadi kuning hingga coklat kehitaman, dan akhirnya tanaman mati. Serangan pada umbi menyebabkan gejala yang terlihat secara eksternal seperti bintik-bintik coklat kehitaman dan cairan putih keruh (massa bakteri) yang keluar dari mata tunas atau ujung sulur.

Kisaran Inang *Ralstonia solanacearum*

Ralstonia solanacearum termasuk patogen *fitobakteri* yang memiliki kemampuan untuk mempertahankan diri dan melakukan perkembangbiakan pada kondisi lingkungan yang tidak memiliki inang, namun dapat dengan cepat mengambil keuntungan di saat inangnya muncul (Takikawa, 2012). Selain itu,

R. solanacearum merupakan bakteri *saprophyt* yang memiliki kemampuan hidup dengan kurun waktu lebih satu tahun di air yang mengalir serta di tanah. *R. solanacearum* mampu hidup pada kondisi lingkungan yang ekstrim dalam bentuk yang layak namun mustahil untuk berkembang biak, merupakan bentuk pertahanan diri yang dimanfaatkan agar mampu menjalani kehidupan meskipun berada dalam lingkungan dengan kondisi yang tidak diinginkan (Grey dan Stek, 2001).

R. solanacearum memiliki kisaran tanaman inang yang cukup banyak jumlahnya yaitu didalamnya termasuk dari spesies berjumlah 140 tanaman dalam famili lebih dari 40. Banyaknya inang dari patogen *R. solanacearum* menyebabkan bakteri yang bersifat tular tanah dan polifag ini cukup sulit untuk dikendalikan (Machmud *dkk*, 2003). Pada Semangun (2000) juga menambahkan sulitnya upaya pengendalian patogen *R. solanacearum* dikarenakan bakteri ini juga dapat tumbuh pada inang yang banyak pada jenis tanaman liar termasuk jenis gulma. Selain itu, pada studi terbaru yang dilakukan menunjukkan bahwa getah yang dihasilkan mengandung glukosa yang berada di area dalam jakur penjarangan yang merupakan bagian pembuluh padatanaman, amino acid dan asam karboksilat yang mampu membantu dalam proses tumbuh dan kembang *Ralstonia solanacearum* yang dilakukan di laboratorium (Fatima dan Senthil-Kumar 2015).

Ralstonia solanacearum penyebab layu bakteri adalah salah satu jenis penyakit tanaman paling berbahaya yang tersebar luas di daerah tropis dan subtropis. Layu bakteri merupakan patogen tular tanah memiliki banyak inang yang merusak dari keluarga *solanaceae* (tomat, kentang, lada, jahe, terong)

R. solanacearum juga menyebabkan terganggunya produksi pada tanaman tembakau yang diawetkan di seluruh dunia dan di Tiongkok (Mamphogoro *dkk*, 2020). *Ralstonia solanacearum*, patogen yang menyebabkan layu bakteri pada tanaman cabai, ditandai dengan layu tanaman disertai pembusukan pada akar. Patogen ini tidak hanya menyebabkan layu bakteri pada cabai, tetapi juga menyerang tanaman inang lain seperti tomat, terong, cabai, paprika, kacang, dan jahe (Widyastama *dkk*, 2023).

R. solanacearum berasal dan berubah-ubah bentuknya di lingkungan atau tempat yang memiliki perbedaan sangat jauh dan perbedaan kemampuan pula yang di miliki pada tiap inang dengan tanah dan kondisi lingkungan yang berbeda pula. Tingkat perbedaan tersebut memunculkan berbagai bentuk ekspresi penyakit variabel dan potensi penyakit untuk setiap hubungan antar susunan genetik inang atau parasite (Buddenhagen, 2009). Bakteri ini memiliki migrasi atau penyebaran pada wilayah dengan struktur permukaan bumi yang luas mulai dari daerah yang dilewati jalur khatulistiwa, non jalur khatulistiwa, dan beriklim hangat (Liu *dkk*, 2009). Kompleks spesies patogen *R. Solanacearum* (*Ralstonia solanacearum species complex/ RSSC*) memiliki spektrum inang yang paling beragam dan penyebaran geografis terluas di antara semua bakteri patogen tumbuhan (Elphinstone, 2005).

Pengendalian Penyakit *Ralstonia solanacearum*

Pengendalian penyakit kayu bakteri oleh patogen *Ralstonia solanacearum* sangat sulit dilakukan apabila penyakit ini telah menyebar kesuluruhan bagian tanaman bahkan hanya dalam kurun waktu 24 jam telah menunjukkan gejala. Sifatnya yang tular tanah menyebabkan penyebaran *R. solanacearum* sangat

cepat, mudah bertahan pada kondisi lingkungan yang ekstrem dan dapat bertahan bertahun-tahun di tanah. Beberapa metode untuk memerangi layu bakteri yang telah diterapkan adalah penanaman berbagai jenis varietas yang memiliki ketahanan, pengaplikasian produk pestisida, pengulangan jenis tanam yang berbeda, sterilisasi lingkungan, serta upaya mengendalikan penyakit dengan metode bahan aktif biologis yang berfungsi sebagai penyerang bakteri lain terhadap patogen. Bakteri yang berasosiasi pada jaringan tanaman dan bakteri akar yang membantu proses pertumbuhan tanaman diketahui memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan aktif biologis dalam beberapa kasus penyakit tanaman (Vega *dkk*, 2005).

Metode dalam mengendalikan penyakit layu bakteri dengan memanfaatkan pestisida menimbulkan resiko yang sangat besar apabila digunakan dengan dosis yang tidak tepat dan digunakan secara terus menerus. Berbagai cara dalam mengendalikan penyakit yang biasanya dilakukan umumnya dengan menerapkan penggunaan penutup atau mulsa alami dari sisa penggelingan atau jerami, penggunaan limbah ampas dari nilam, aplikasi antibiotik, pemberian nutrisi, dan menggunakan sisa bakaran dari gabah. Namun, hasil yang dicapai masih kurang memuaskan dan seringkali layu bakteri kembali menyerang tanaman inang. Pengendalian dengan bahan aktif biologis *Pseudomonas fluorescens* merupakan alternatif untuk pengendalian hama, yang diharapkan dapat menjadi solusi yang efektif untuk permasalahan ini (Asman, 1998). Mekanisme atau cara pengendalian hayati menurut Junaid *dkk* (2013) dapat berupa antibiosis, persaingan, mikoparasitisme, enzim pengurai dinding sel, dan induktor resistensi, pemacu pertumbuhan, dan kolonisasi rhizosfer.

Produksi Hormon PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*)

PGPR mampu memberikan dampak yang positif kepada tanaman dengan saling menguntungkan. Asosiasi bakteri dengan tanaman tidak hanya mengacu pada kondisi pertumbuhan tanaman, tetapi juga terlibat dalam toleransi terhadap tingkat stres secara biotik dan abiotik (Koza *dkk*, 2022). *Pseudomonas fluorescens* merupakan kelompok PGPR yang terdapat di rizosfer, dan dapat memacu pertumbuhan tanaman karena kemampuannya menghasilkan hormon tumbuh *Indole Acetic Acid* (IAA). Disamping itu kelompok bakteri pada PGPR terdapat siderofor dan asam sianida yang dihasilkan dari senyawa antimikroba yang berpotensi sebagai biokontrol (Advinda, 2020).

PGPR adalah komunitas bakteri yang secara aktif mengkolonisasi akar tanaman untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman, hasil panen, dan kesuburan tanah. Terbukti bahwa penggunaan PGPR memiliki pengaruh yang signifikan terhadap berat kering akar selada. Menurut Figueiredo *dkk* (2010), keuntungan penggunaan PGPR adalah peningkatan kandungan mineral dan fiksasi nitrogen, peningkatan toleransi tanaman terhadap cekaman lingkungan, manfaatnya sebagai agen biokontrol, pupuk hayati, perlindungan tanaman dari fitopatogen, dan peningkatan produksi *Indole 3-Acetic Acid*. Hasil penelitian Chrisnawati *dkk* (2017) memperlihatkan *Pseudomonas fluorescens* PFT8, PfN19, dan PfK55 efektif dalam mengendalikan penyakit layu *Fusarium* pada tanaman tomat. Ketiga isolat tersebut dapat menunda munculnya gejala layu *Fusarium* dari 4,13 hari setelah inokulasi (hsi) menjadi 6,75 hingga 7,30 hsi dan mengurangi intensitas penyakit dari 40,24% menjadi 14,30 hingga 16,88%.

PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*)

Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) adalah bakteri yang hidup di sekitar rizosfer. Bakteri ini mampu mengkolonisasi akar tanaman dan berperan penting dalam pertumbuhan tanaman PGPR mampu menghasilkan hormon tumbuh seperti auksin, giberalin dan sitokinin yang berguna sebagai pelarut fosfat serta fiksasi nitrogen bagi pertumbuhan tanaman. PGPR dalam kandungannya mampu dalam memperbanyak rizosfer secara cepat dan beberapa jenis *Rizobakteria* mampu berperan ganda sebagai pupuk hayati dan agen hayati dalam mengendalikan penyakit pada berbagai jenis tanaman (Ashrafuzzaman *dkk*, 2009). Tanah yang berada disekitar perakaran tanaman disebut dengan rizosfer yang aktivitasnya dipengaruhi oleh mikroorganisme tanah dan zat cairan yang dikeluarkan oleh perakaran tanaman. Tanaman menarik mikroba yang bermanfaat dengan cara mengeluarkan eksudat akar. Eksudat tersebut merupakan sumber nutrisi bagi mikroba tanah (Ghosh *dkk*, 2013).

Kandungan PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*)

PGPR merupakan salah satu jenis dalam upaya pengendalian patogen secara alternatif yang memiliki banyak sekali kandungan bakteri di dalamnya. Pada PGPR ada beberapa contoh jenis bakteri yang terdapat di dalamnya yaitu *Rhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Bacterium*, *Mycobacterium*, dan termasuk di dalamnya terdapat *Pseudomonas* (Situngkir *dkk*, 2021).

IAA dihasilkan dari metabolisme L-triptofan oleh beberapa mikroorganisme, diantaranya adalah PGPR. Selain membentuk senyawa IAA, rizobakteri ini juga dapat memproduksi *Indole Butyric Acid* (IBA) dengan konsentrasi yang

bervariasi. Penambahan triptofan juga telah terbukti memberikan efek stimulasi pada pertumbuhan akar tanaman dan pemanjangan bagian pucuk trubus pada kacang hijau (Shahab *dkk*, 2009).

Hipotesis Penelitian

Adanya pengaruh *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) dalam menghambat pertumbuhan patogen *Ralstonia solanacearum*.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hama dan Penyakit Tanaman Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Jln. Kapten Muchtar Basri No.3, Glugur Darat 2, Kec. Medan Timur, Kota Medan. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2024 sampai April 2025.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air, gula merah, akar bambu, bekatul/dedak, kapur sirih, *Nutrient Agar* (NA), *Tryptic Soy Agar* (TSA), Reagen *Salkowski*, L-triptofan, lugol, iodine, kristal violet, safranin, kertas cakram, plastik wrap, kertas aluminium foil dan bagian pangkal batang tanaman tomat yang terserang *Ralstonia solanacearum*.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah jarum ose, pipet tetes, petridish, timbangan analitik, magnetic stirrer, autoklaf, laminar air flow, bunsen, labu erlenmeyer, mikroskop, jangka sorong, pengukur suhu, cangkul, pisau, alat tulis, toples 5 liter, wadah baskom, penutup, saringan, gelas ukur dan mikropipet.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) Non Faktorial dengan perlakuan 3 taraf konsentrasi PGPR dan 3 ulangan, yaitu :

P₁ = Pengenceran PGPR 10⁻¹

P₂ = Pengenceran PGPR 10⁻²

P₃ = Pengenceran PGPR 10⁻³

Pelaksanaan Penelitian

1. Persiapan Bahan PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*)

Pembuatan PGPR dilakukan dengan menyediakan 250 gram akar bambu yang telah di rajang lebih kecil yang kemudian direndam ke dalam air yang telah masak selama 3-6 hari, Setelah itu hasil rendaman disaring. Proses selanjutnya yaitu gula merah sebanyak 1 kg, ½ kg bekatul, 1 sdm kapur sirih semua bahan di rebus ke dalam 2 liter air sampai mendidih, setelah itu di dinginkan. Setelah dingin, saring bahan yang telah di masak tadi kemudian campurkan dengan biang PGPR dalam wadah toples ukuran 5 liter. Kemudian tutup rapat, lalu di biarkan selama 15 hari. Adapun tanda bahan sudah jadi dan dapat digunakan terlihat tanda/ciri-ciri munculnya busa kental berwarna putih kekuningan dan memiliki bau khas yang menyengat seperti aroma fermentasi. Sesuai dengan pernyataan A'yun *dkk*, (2013) bahwa pembuatan PGPR dari akar bambu dilakukan sebagai berikut: akar bambu dikumpulkan dan direndam dalam air selama tiga hari untuk dijadikan “bahan dasar PGPR”. Setelah tiga hari, semua bahan (gula merah, terasi, bekatul, kapur) direbus dalam 20 liter air, lalu didinginkan. Campuran yang sudah dingin disaring dan kemudian dicampur dengan strain PGPR, campuran disimpan dalam wadah tertutup dan diaduk sekali sehari, dan setelah 15 hari, PGPR dari akar bambu siap digunakan.

2. Sterilisasi Alat dan Bahan

Alat-alat yang akan digunakan di laboratorium dicuci terlebih dahulu kemudian dikeringkan dan setelah itu dibungkus atau dibalut dengan kertas aluminium foil. Setelah semua terbungkus lakukan sterilisasi alat yang akan digunakan dengan menggunakan autoclaf pada suhu 121 °C selama 15-20 menit

begitu juga untuk sterilisasi bahan yang akan digunakan dalam penelitian.

3. Isolasi Bakteri *Ralstonia solanacearum*.

R. solanacearum adalah salah satu patogen yang menyerang tanaman tomat merugikan secara ekonomi. Bakteri ini diisolasi dari tanaman yang terserang dengan melihat gejala layu, daun menguning dan terdapat lendir berwarna putih susu pada pangkal batang tanaman (Denny, 2006). Untuk sampel berupa potongan pangkal batang tomat disterilkan dengan alkohol 70% lalu direndam kedalam labu erlenmeyer yang berisikan aquades hingga terlihat lendir bakteri pada sampel keluar. Lendir putih susu diambil ditanam dengan jarum ose dengan metode gores pada media NA, inkubasi selama 48 jam dengan suhu 27 °C. Hasil inkubasi menunjukkan isolat berwarna merah muda pada bagian tengah dan putih pada bagian tepi yang merupakan koloni virulen, kemudian isolat dimurnikan. Pemurnian dilakukan dengan cara memindahkan isolat ke media NA yang baru untuk mendapatkan kultur murni dan kemudian diperbanyak.

4. Persiapan/Pembuatan Media Tanam

Media NA digunakan untuk biakan bakteri *Ralstonia solanacearum*, dibuat dengan cara menyiapkan serbuk media yaitu sebanyak 12 gram dan aquades 600 ml. Kemudian diaduk hingga homogen (merata) dengan menggunakan alat Hj-3 Magnetic Stirrer dengan suhu 90 °C hingga warna larutan media terlihat bening dan tidak keruh. Setelah diperoleh larutan bening, selanjutnya labu erlenmeyer ditutup dengan menggunakan kertas aluminium foil dan direkatkan dengan menggunakan plastik wrap dan kemudian larutan NA dimasukkan ke dalam autoklaf, suhu autoklaf dikontrol pada 121 °C selama 30 menit. Setelah 30 menit keluarkan uap yang terperangkap di dalam autoklaf dengan membuka katup

hingga suhu 0 °C. Setelah uap pada autoklaf keluar semua, selanjutnya keluarkan larutan media NA untuk didinginkan dan dituang ke media petridish.

Media TSA (*Tryptic Soy Agar*) digunakan untuk mengisolasi dan menyeleksi PGPR. Dibuat dengan cara menyiapkan serbuk media yaitu sebanyak 10 gram dan aquades 500 ml. Pembuatan media TSA sama caranya dengan pembuatan media NA.

5. Pengenceran PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*)

Pengenceran bertujuan untuk mendapatkan konsentrasi suspensi bakteri PGPR yang sesuai. Pengenceran dilakukan dengan cara menyiapkan 3 tabung reaksi. Masing-masing tabung reaksi diisi aquades steril sebanyak 9 ml kemudian tutup tabung reaksi menggunakan aluminium foil dan plastik wrap, selanjutnya masukan tabung reaksi ke dalam autoklaf selama 30 menit pada suhu 121 °C. Setelah didinginkan, ambil biakan PGPR dengan menggunakan mikropipet sebanyak 1 ml sampai tabung ke 3. Pengenceran 1,2, dan 3 ditunjukkan dengan angka 10^{-1} , 10^{-2} dan 10^{-3} .



Gambar 1. Proses Pengenceran

Setiap hasil pengenceran dengan masing-masing suspensi ditambahkan pada media TSA yang masih dalam kondisi cair atau belum mengeras sebanyak 0,5 ml untuk masing-masing petridish, tunggu media tumbuh selama 72 jam.

6. Pembuatan Media dan Pengujian PGPR

Timbang L-tryptophan sebanyak 0,02 gram kemudian larutkan dengan aquades 100 ml. Setelah larut, timbang media TSA sebanyak 4 gram kemudian campur dengan larutan L-tryptophan dengan 200 ppm lalu aduk hingga homogen dengan alat Magnetic Stirrer with Hot Plate. Sterilkan larutan media dengan autoklaf selama 30 menit dengan suhu 121 °C. Setelah media jadi dan telah mengeras isolat bakteri PGPR yang telah murni diinokulasikan dengan metode streak dan diinkubasi selama 72 jam. Ketika sudah diinkubasi selama 72 jam media ditetesi dengan Reagen *Salkowski* dan diinkubasi selama 30 menit dalam ruang gelap. Perubahan warna yang terjadi kemudian diamati, hasil positif ditandai dengan perubahan warna isolat menjadi merah muda.

7. Pengujian PGPR

Pengujian tingkat efektivitas PGPR dalam menghambat pertumbuhan *R. solanacearum* dengan menyediakan media NA sebanyak 9 petridish, kemudian ambil isolat PGPR dan diencerkan dengan aquades yang telah disterilkan. Setelah itu ambil kertas cakram kemudian direndam di dalam larutan yang telah diencerkan sesuai dengan suspensi perlakuan yaitu 10^{-1} , 10^{-2} dan 10^{-3} selama 2-3 menit. Selanjutnya kertas cakram diletakkan pada bagian tengah petridish pada masing-masing sisi kanan dan kiri yang telah digoreskan bakteri *R. solanacearum*, lakukan pada keseluruhan petridish sesuai dengan suspensi perlakuan PGPR yang diuji. Setelah itu petridish ditutup dengan plastik wrap untuk menjaga kesterilan dan mencegah terjadinya kontaminasi dan selanjutnya diinkubasi diinkubator dan steril lalu diamati dan dilakukan pengamatan pada 24 jam berikutnya.

8. Pengamatan

Pengamatan dilakukan satu hari atau 24 jam setelah peletakan masing-masing isolat bakteri pada petridish. Pengamatan dilakukan selama 5 hari dengan interval waktu 24 jam sekali. Proses pengamatan dilakukan dengan cara mengukur diameter zona hambat bakteri yang terbentuk dengan menggunakan alat ukur berupa jangka sorong. Hasil pengukuran setiap ulangan kemudian dicatat sesuai dengan waktu pengamatan sebanyak 5 kali pengamatan.

9. Parameter Pengamatan

1) PGPR Penghasil Hormon *Indole Acetic Acid* (IAA)

Uji aktivitas PGPR dalam memproduksi hormon IAA dapat dilakukan secara kualitatif dengan menggunakan metode kolorimetri (perbandingan warna) menggunakan Reagen *Salkowski*. Isolat bakteri yang telah murni diinokulasikan pada media TSA + L-triptofan dengan metode streak, dan diinkubasi selama 72 jam (3 hari). Kemudian ditetesi Reagen *Salkowski* dan diinkubasi selama 30 menit dalam ruang gelap. Perubahan warna yang terjadi kemudian diamati, hasil positif ditandai dengan perubahan warna isolat menjadi merah muda.

2) Pengukuran Zona Hambat Dan Uji Antagonis

Diameter zona penghambatan atau zona jernih di sekitar cakram kertas merupakan indikasi sensitivitas bakteri terhadap agen antibakteri yang digunakan, yang berfungsi sebagai bahan uji, dan dinyatakan melalui diameter zona penghambatan. Zona penghambatan yang terbentuk di sekitar cakram diukur dengan menggunakan penggaris ukur secara vertikal dan horizontal dalam satuan milimeter (Toy *dkk*, 2015).

Diameter zona hambat diukur dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Zona Hambat} = \frac{(D_V - D_C) + (D_H - D_C)}{2}$$

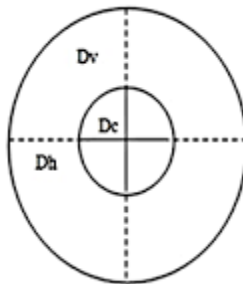
(sumber : Toy *dkk*, 2015)

Keterangan :

D : Diameter Vertikal

D_H : Diameter Horizontal

D_C : Diameter Cakram



Gambar 2. Pengukuran Zona Hambat

Tabel 1. Kriteria Kekuatan Daya Hambat Antibakteri

Kriteria		
Zona hambat	5 mm atau kurang	Lemah
Zona hambat	6-10 mm	Sedang
Zona hambat	11-20 mm	Kuat
Zona hambat	≥ 20 mm	Sangat kuat

Sumber : Suryadi, 2009.

Pembuatan suspensi PGPR yang digunakan untuk uji *R. solanacearum* dilakukan dengan menumbuhkan bakteri PGPR dalam 0,1 ml medium cair, diikuti dengan inkubasi selama 72 jam pada suhu ruangan. Suspensi bakteri kemudian diencerkan dalam air suling steril dari konsentrasi 1×10^{-1} menjadi konsentrasi 1×10^{-3} . Uji antagonisme bakteri PGPR dilakukan dengan metode Kirby-Bauer. Suspensi bakteri *Ralstonia solanacearum* yang telah disiapkan kemudian

dibiakkan dengan cara dioleskan pada media NA. Cakram steril dengan diameter 6 mm direndam selama 10 menit dalam suspensi bakteri antagonis dengan konsentrasi 1×10^{-1} - 1×10^{-3} . Selanjutnya diinokulasikan pada bagian tengah cawan petri yang berjarak 4 cm dari tepi cawan petri dan 2 cm dari patogen bakteri. Bakteri kemudian diinkubasi selama 24 jam pada suhu ruang 27°C , setelah itu diameter zona penghambatan yang terbentuk di sekitar cakram kertas diamati. Pengukuran diameter zona penghambatan bakteri antagonis dilakukan dengan mengukur zona penghambatan yang terbentuk di sekitar cakram kertas menggunakan pengukur digital (Larasaty *dkk*, 2020). Pengukuran zona hambat juga berhubungan terhadap kandungan metabolit sekunder pada PGPR yang bersifat antagonis sehingga memiliki kemampuan dalam mengendalikan berbagai jenis OPT yang menyerang tanaman (He *dkk*, 2021).

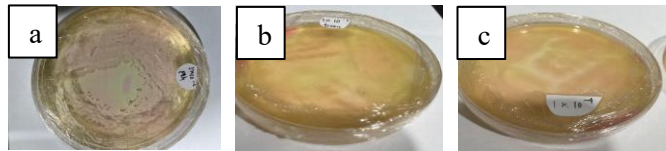
HASIL DAN PEMBAHASAN

1) PGPR Penghasil Hormon *Indole Acetic Acid* (IAA)

Asam indol asetat (IAA) adalah salah satu senyawa yang terkandung dalam PGPR dan berperan dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Senyawa ini juga memiliki efek fisiologis pada tanaman, termasuk pembesaran sel, absisi, penghambatan pembentukan tunas lateral, pertumbuhan akar, dan aktivitas kambium. (Khairuna, 2019). Hormon auksin pada senyawa IAA ini sangat berperan penting pada tanaman sehingga kandungan IAA pada PGPR yang diaplikasikan pada tanaman yang terserang oleh patogen *R. Solanacearum* dapat membantu memulihkan kondisi tanaman yang terserang. Pengujian hormon IAA yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui kemampuan isolat PGPR dalam menghasilkan IAA. PGPR mungkin tidak secara langsung melawan *R. solanacearum* melalui produksi IAA. Sebaliknya, dengan menyediakan IAA dalam jumlah yang terkontrol, PGPR membantu menyeimbangkan pertumbuhan tanaman dan memicu respons pertahanan sehingga tanaman lebih tahan terhadap infeksi patogen. IAA adalah contoh senyawa yang mengandung gugus indol, sehingga menghasilkan warna merah muda saat bereaksi dengan Reagen *Salkowski*.

Isolat yang menghasilkan IAA berkualitas tinggi ditandai dengan perubahan warna menjadi merah muda, karena terjadi reaksi antara IAA dan Fe yang membentuk kompleks (Kovacs, 2009). Penambahan Reagen *Salkowski* pada setiap pengenceran akan mengakibatkan perubahan warna isolat menjadi merah muda ketika PGPR menghasilkan hormon IAA.

Hasil pengamatan pada setiap pengenceran PGPR dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil Pengenceran, (a) PGPR dengan pengenceran 1, (b) PGPR dengan pengenceran 2, dan (c) PGPR dengan pengenceran 3
Sumber : Dokumentasi Pribadi

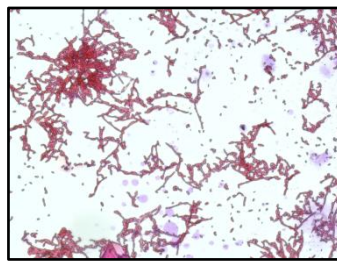
Hasil pengamatan menunjukkan tiga isolat dengan pengenceran yang berbeda mampu menghasilkan hormon tumbuh IAA. ketiga isolat P₁, P₂ dan P₃, secara berturut-turut menunjukkan hasil warna merah muda dengan tingkat kepekatan yang sama, yaitu warna merah muda yang tidak terlalu pekat yang menunjukkan kandungan IAA rendah. Semakin pekat warna merah muda yang dihasilkan maka semakin tinggi konsentrasi IAAnya, begitupula sebaliknya semakin pudar warna merah muda yang dihasilkan maka semakin rendah konsentrasi IAAnya (Kovacs, 2009).

Penambahan Reagen *Salkowski* ke PGPR dalam berbagai tingkat pengenceran diinkubasi selama 30 menit dalam kondisi gelap dan menunjukkan hasil positif, yang ditandai dengan perubahan warna PGPR menjadi merah muda, yang menunjukkan bahwa perlakuan terhadap isolat tersebut menyebabkan pembentukan senyawa IAA (Patten dan Glick, 2002). Kandungan IAA pada PGPR yang rendah dapat membantu tanaman dalam merangsang perpanjangan akar utama pada tanaman, sementara itu kandungan IAA yang tinggi mendorong pembentukan akar samping dan akar adventif (Astriani, 2015). Auksin sebagai ZPT dapat mempercepat pertumbuhan akar tanaman. Beberapa hormon dalam kelompok auksin meliputi IAA (*Indole Acetic Acid*), NAA (Asam Naftalena Asetat) dan IBA (*Indole Butyric Acid*) yang merupakan hormon yang memiliki fungsi dalam merangsang pembentukan organ pada tanaman (Lubis *dkk*, 2018).

PGPR merupakan kumpulan bakteri yang bersifat endofit terhadap tanaman. Bakteri endofit adalah bakteri yang terdapat di dalam jaringan tanaman yang sehat, tidak menyebabkan gejala penyakit, dan tidak merusak tanaman inang. Bakteri endofit dapat diisolasi dan diekstraksi dari media pertumbuhan bakteri dengan menggunakan teknik sterilisasi permukaan (Hanif *dkk*, 2017).

2) Bentuk dan Gram Isolat PGPR

Hasil pengamatan bentuk dan gram PGPR dapat dilihat pada gambar 4 di bawah ini.



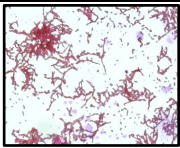
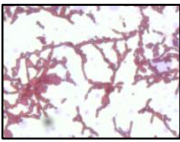
Gambar 4. Bentuk dan gram PGPR di bawah mikroskop
Sumber : Dokumentasi Pribadi

Pengamatan morfologi PGPR secara mikroskopis dilakukan dengan pewarnaan Gram. Identifikasi pewarnaan Gram adalah salah satu prosedur yang paling banyak digunakan untuk membedakan dua kelompok besar bakteri, yaitu Gram negatif dan Gram positif (Susanti *dkk*, 2024). Berdasarkan gambar di atas, uji pewarnaan Gram didapatkan isolat bakteri berbentuk basil negatif. Bakteri yang memiliki Gram negatif akan menunjukkan warna merah muda. Sesuai dengan pengamatan morfologi yang dilakukan secara mikroskopis yaitu dengan langsung melihat dengan cermat mulai dari ciri warna dan bentuk koloni bakteri pada PGPR. Hal ini sesuai dengan pernyataan Amaliah *dkk* (2018) yang menyatakan jika PGPR memiliki Gram positif, maka selnya akan berwarna biru atau ungu dan jika PGPR memiliki Gram negatif, maka akan berwarna merah atau merah muda.

Gram positif dan negatif menunjukkan adanya perbedaan pada struktur dinding sel pada bakteri PGPR tersebut. Bakteri yang memiliki Gram dengan hasil positif mempunyai susunan bentuk dinding sel dengan terkandung di dalamnya berupa peptidoglikan yang tinggi, sedangkan bakteri yang memiliki Gram dengan hasil negatif mempunyai susunan bentuk tepian sel dengan kandungan lipid yang tinggi pula (Fitri dan Yasmin, 2011).

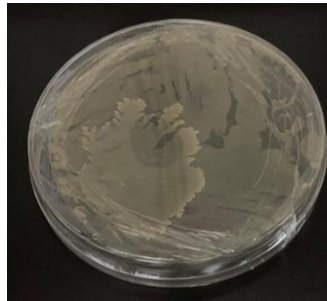
Bakteri PGPR yang lebih spesifik yang ditemukan pada saat pengamatan berbentuk batang dan berwarna putih susu. Menurut Fajarfika *dkk* (2022) ciri-ciri karakteristik bakteri tersebut mengarah ke spesies *Pseudomonas fluorescens* yaitu bakteri yang memiliki basil negatif, berwarna putih susu, bentuk batang, permukaan rata. Bakteri lain yang teridentifikasi yaitu *Rhizobium* yang dapat dilihat pada tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Jenis-jenis Bakteri Yang Teridentifikasi pada PGPR

No	Bakteri	Ciri-Ciri Bakteri
1.	 <i>Pseudomonas fluorescens</i>	Berbentuk basil Gram negatif Berwarna putih susu (Setelah dimurnikan) Dinding sel memiliki kandungan lipid
2.	 <i>Rhizobium</i>	Berbentuk basil Gram negatif Berwarna merah muda Tidak membentuk spora

Pseudomonas fluorescens dan *Rhizobium* merupakan jenis bakteri yang berhasil teridentifikasi pada saat dilakukan pengamatan dengan mengamati ciri-ciri morfologi bakteri (bentuk sel dan koloni) serta dengan pewarnaan Gram. *Pseudomonas fluorescens* dipilih karena bakteri ini merupakan bakteri dengan

koloni yang lebih banyak di temukan pada isolat PGPR di bandingkan dengan *Rhizobium*. Selain itu, *P. fluorescens* merupakan bakteri yang bersifat antagonis sedangkan pada bakteri *Rhizobium* berfokus pada proses fiksasi nitrogen yang dibutuhkan oleh tanaman (Nasikah, 2007).



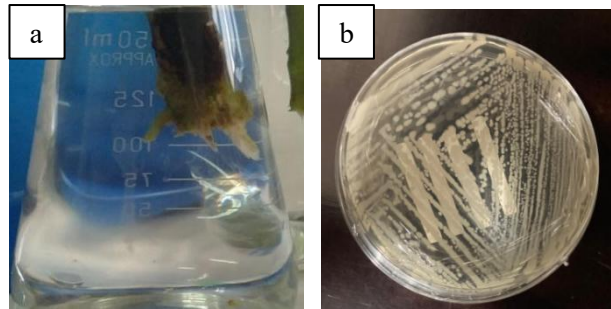
Gambar 5. Isolat murni PGPR (*Pseudomonas fluorescens*)
Sumber : Dokumentasi Pribadi

Pada isolat murni PGPR yang diamati terdapat *Pseudomonas fluorescens* yang merupakan salah satu bakteri yang ada di dalam PGPR. Sesuai dengan Situngkir *dkk* (2021) yang menyatakan bahwa beberapa contoh bakteri PGPR yaitu *Rhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Bacterium*, *Mycobacterium*, dan *Pseudomonas fluorescens*. Ciri-ciri bakteri didukung oleh Rahmadian *dkk* (2018) yang mengatakan bahwa secara morfologi salah satu karakterisasi dari spesies *Pseudomonas fluorescens* yaitu memiliki memiliki sifat-sifat seperti Gram negatif, berbentuk batang atau kokus, obligat aerob, bergerak dengan flagela polar polar.

3) Hasil Isolasi Patogen *Ralstonia solanacearum*

Pengisolasian patogen *Ralstonia solanacearum* pada tanaman tomat dilakukan dengan mengambil ciri-ciri tanaman tomat yang terserang patogen *R. solanacearum* di lapangan yang menunjukkan akar tanaman membusuk, pangkal batang busuk dan terdapat lendir kekuningan, tanaman muda layu dan daun muda yang mengering. Adapun gambar isolasi *Ralstonia solanacearum* dari pangkal

batang tanaman tomat (*Solanum lycopersicum*) dapat dilihat pada gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6. Hasil Isolat Murni Patogen *Ralstonia solanacearum*
Sumber : Dokumentasi Pribadi

Pada saat dilakukan proses pengeluaran eksudat bakteri (lendir bakteri) *Ralstonia solanacearum* yang berada di pangkal batang tanaman tomat dengan merendam pangkal batang di labu erlenmeyer terlihat mengeluarkan lendir berwarna putih susu. Karakteristik yang ditemukan pada saat pengamatan yang telah dilakukan pemurnian didapatkan bahwa bakteri tersebut merupakan patogen dengan ciri-ciri mengarah kepada spesies *Ralstonia solanacearum* yang berasal dari pangkal batang tanaman tomat dengan ciri bakteri yaitu berbentuk batang berukuran panjang 0,5-1,5 mikrometer, lebar 0,5-0,7 mikrometer, tidak berspora, gramnya negatif, tanpa memiliki kapsul bergerak dengan satu flagel yang terdapat di ujung dan hidup pada kondisi aerob (Berliana *dkk*, 2020).

4) Hasil Zona Hambat dan Uji Antagonis PGPR Terhadap Patogen *Ralstonia solanacearum*

Pengujian zona hambat dan uji antagonis dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar tingkat kemampuan *Pseudomonas fluorescens* dalam menghambat perkembangan atau pertumbuhan patogen *Ralstonia solanacearum* dan untuk mengetahui apakah *Pseudomonas fluorescens* memiliki sifat antagonis terhadap patogen layu bakteri. Hasil uji zona hambat dan uji antagonis

Pseudomonas fluorescens terhadap *R. solanacearum* mendapatkan hasil yang berbeda-beda pada setiap perlakuan yang diberikan sesuai dengan tabel hasil di bawah ini.

Tabel 3. Hasil Uji Zona Hambat dan Antagonis PGPR Dalam Menghambat Pertumbuhan Patogen *R. solanacearum* 24 Jam Setelah Inkubasi

Perlakuan	Diameter Zona Hambat			Kriteria
	Vertikal	Horizontal	Zona Hambat	
P ₁ (10 ⁻¹)	2,71	2,48	5,19	Sedang
P ₂ (10 ⁻²)	1,71	1,6	3,31	Lemah
P ₃ (10 ⁻³)	3,96	2,45	6,41	Sedang

Keterangan : P₁ (Pengenceran 10⁻¹), P₂ (Pengenceran 10⁻²), P₃ (Pengenceran 10⁻³).

Tabel 4. Hasil Uji Zona Hambat dan Antagonis PGPR Dalam Menghambat Pertumbuhan Patogen *R. solanacearum* 48 Jam Setelah Inkubasi

Perlakuan	Diameter Zona Hambat			Kriteria
	Vertikal	Horizontal	Zona Hambat	
P ₁ (10 ⁻¹)	3,25	2,8	6,05	Sedang
P ₂ (10 ⁻²)	2,13	2,15	4,28	Lemah
P ₃ (10 ⁻³)	4,31	2,96	7,27	Sedang

Keterangan : P₁ (Pengenceran 10⁻¹), P₂ (Pengenceran 10⁻²), P₃ (Pengenceran 10⁻³).

Tabel 5. Hasil Uji Zona Hambat dan Antagonis PGPR Dalam Menghambat Pertumbuhan Patogen *R. solanacearum* 72 Jam Setelah Inkubasi

Perlakuan	Diameter Zona Hambat			Kriteria
	Vertikal	Horizontal	Zona Hambat	
P ₁ (10 ⁻¹)	10,33	8,33	18,66	Kuat
P ₂ (10 ⁻²)	6,33	5,81	12,15	Kuat
P ₃ (10 ⁻³)	6,81	6,3	13,11	Kuat

Keterangan : P₁ (Pengenceran 10⁻¹), P₂ (Pengenceran 10⁻²), P₃ (Pengenceran 10⁻³).

Tabel 6. Hasil Uji Zona Hambat dan Antagonis PGPR Dalam Menghambat Pertumbuhan Patogen *R. solanacearum* 96 Jam Setelah Inkubasi

Perlakuan	Diameter Zona Hambat			Kriteria
	Vertikal	Horizontal	Zona Hambat	
P ₁ (10 ⁻¹)	12,96	10,53	23,5	Sangat Kuat
P ₂ (10 ⁻²)	6,53	6,31	12,85	Kuat
P ₃ (10 ⁻³)	7,6	8,83	16,43	Kuat

Keterangan : P₁ (Pengenceran 10⁻¹), P₂ (Pengenceran 10⁻²), P₃ (Pengenceran 10⁻³).

Tabel 7. Hasil Uji Zona Hambat dan Antagonis PGPR Dalam Menghambat Pertumbuhan Patogen *R. solanacearum* 120 Jam Setelah Inkubasi

Perlakuan	Diameter Zona Hambat			Kriteria
	Vertikal	Horizontal	Zona Hambat	
P ₁ (10 ⁻¹)	14,18	10,71	24,89	Sangat Kuat
P ₂ (10 ⁻²)	6,76	6,7	13,46	Kuat
P ₃ (10 ⁻³)	8,03	9,53	17,56	Kuat

Keterangan : P₁ (Pengenceran 10⁻¹), P₂ (Pengenceran 10⁻²), P₃ (Pengenceran 10⁻³).

Berdasarkan tabel hasil uji daya hambat di atas, hasil yang didapatkan berbeda-beda pada setiap perlakuan. Pada P₁ (10⁻¹) secara berturut-turut mendapatkan hasil 5,19 (sedang), 6,05 (sedang), 18,66 (kuat), 23,5 (sangat kuat) dan 24,89 (sangat kuat). Hasil perlakuan P₁ terlihat mengalami kenaikan zona hambat diawali dengan kriteria sedang pada pengamatan 1 dan 2, kemudian dengan kriteria kuat pada pengamatan ke 3, dan mendapatkan hasil sangat kuat pada pengamatan ke 4 dan ke 5.

Pada P₂ (10⁻²) secara berturut-turut mendapatkan hasil 3,31 (lemah), 4,28 (lemah), 12,15 (kuat), 12,85 (kuat) dan 13,46 (kuat). Hasil perlakuan P₂ terlihat mengalami kenaikan kriteria zona hambat meskipun tidak sampai maksimal yang diawali dengan hasil lemah pada pengamatan 1 dan 2, kemudian mengalami kenaikan hasil kuat pada pengamatan ke 3, 4 dan ke 5.

Pada P₃ (10⁻³) secara berturut-turut mendapatkan hasil 6,41 (sedang), 7,27 (sedang), 13,11 (kuat), 16,43 (kuat) dan 17,56 (kuat). Hasil perlakuan P₃ terlihat langsung mengalami kenaikan kriteria zona hambat meskipun tidak mencapai nilai atau hasil maksimal yang diawali dengan hasil sedang pada pengamatan 1 dan 2, kemudian mengalami kenaikan hasil kuat pada pengamatan ke 3, 4 dan ke 5 namun pada P₃ tidak mendapatkan hasil yang sangat kuat.

Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan ketiga perlakuan menunjukan PGPR dengan positif mampu dalam menyebabkan penghambatan terhadap bakteri patogen *R. solanacearum* pada saat 120 jam setelah inokulasi, Namun perlakuan dengan pengenceran 1 (10^{-1}) menunjukan hasil tertinggi pada zona hambat 24, 89 mm dengan kriteria sangat kuat. Lamanya *Pseudomonas fluorescens* dalam menghambat pertumbuhan patogen tergantung oleh beberapa faktor seperti kondisi lingkungan atau suhu, metode aplikasi yang digunakan serta kandungan di dalamnya. Hal ini sesuai dengan penelitian Sandiase *dkk* (2018) yang menunjukan bahwa kemampuan penghambatan bakteri terhadap patogen dipengaruhi oleh adanya perbedaan struktur dinding sel, kecepatan tumbuh, serta jumlah senyawa metabolit yang terkandung hingga koloni PGPR bersentuhan dengan patogen membutuhkan waktu 5 sampai 7 hari pasca inokulasi atau 120-168 jam. Daya hambat metabolit skunder pada PGPR terhadap patogen meningkat seiring waktu karena akumulasi senyawa antimikroba yang terus diproduksi oleh bakteri, serta peningkatan jumlah koloni bakteri yang juga memproduksi senyawa tersebut di media NA. Selain itu, bakteri PGPR dapat menghasilkan siderofor untuk mengikat zat besi yang dibutuhkan patogen, menciptakan kompetisi ruang dan nutrisi dengan patogen, dan bahkan memproduksi enzim-enzim tertentu yang dapat melisiskan dinding sel patogen (Sandiase *dkk*, 2023).

Berdasarkan hasil pengukuran zona hambat yang dilakukan, diameter zona hambat yang terbentuk pada setiap perlakuan semakin membesar yang menunjukan bahwa *Pseudomonas fluorescens* pada PGPR memiliki kemampuan dalam menyebabkan penghambatan terhadap tumbuh kembang patogen *R. solanacearum*. Sesuai dengan Parida (2012) yang menyatakan bahwa

kemampuan bakteri penghasil siderofor dalam menghambat pertumbuhan patogen *Ralstonia solanacearum* dapat diukur berdasarkan diameter zona hambat disekitar koloni bakteri. Semakin besar diameter zona penghambatan, semakin besar pula kemampuan isolat bakteri penghasil siderofor untuk menghambat pertumbuhan bakteri patogen *R. solanacearum*. Senyawa siderofor juga dapat membantu rizobakteri *Pseudomonas fluorescens* dalam melarutkan fosfat yang dibutuhkan oleh tanaman. Akibatnya, pertumbuhan tanaman menjadi lebih baik dan tanaman tersebut lebih tahan terhadap penyakit (Habazar dan Yaherwandi, 2006).

Pseudomonas fluorescens merupakan bakteri yang bersifat antibiosis dalam menghambat pertumbuhan patogen. Hal ini sesuai dengan Gusnadi dkk (2023) yang menyatakan bahwa *Pseudomonas fluorescens* menghasilkan senyawa antibiotik dan memproduksi enzim lisis yang keduanya memiliki kemampuan dalam menghambat atau membunuh pertumbuhan mikroba dengan cara mempengaruhi pertumbuhan dinding sel, menghambat sintesis protein, dan merusak fungsi membran plasma. Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan, ketiga perlakuan seluruhnya mengeluarkan zona hambat. Menurut pernyataan Istiqomah dan Kusumawati (2018) zona penghambatan yang dihasilkan oleh bakteri antagonis adalah metabolit sekunder yang berfungsi untuk memperlambat atau membunuh patogen. Mekanisme kerja atau proses penghambatan bakteri antagonis terhadap patogen terjadi melalui produksi senyawa dalam bentuk metabolit sekunder seperti siderofor, kitinase, antibiotik, sianida, dan induksi resistensi sistemik.

Hasil zona hambat *Pseudomonas fluorescens* yang didapatkan pada setiap perlakuan memperoleh hasil yang positif dalam menghambat pertumbuhan

patogen *Ralstonia solanacearum* sehingga *Pseudomonas fluorescens* memiliki sifat antagonis terhadap patogen. Sesuai dengan Compant *dkk* (2005) yang menyatakan bahwa bakteri *Pseudomonas fluorescens* memiliki kemampuan untuk menghambat patogen melalui produksi berbagai senyawa antibiotik dari metabolit sekunder, termasuk antibiotik, surfaktan, dan siderofor.

Hasil uji daya hambat dan antagonis bakteri *Pseudomonas fluorescens* terhadap layu bakteri *Ralstonia solanacearum* mendapatkan hasil dengan kriteria akhir kuat dan sangat kuat diduga karena senyawa metabolit sekunder pada bakteri *Pseudomonas fluorescens* sebagai antibakteri meningkat seiring waktu inkubasi. Kemampuan dalam pengahambatan pertumbuhan bakteri akan semakin meningkat jika senyawa metabolit skunder yang dihasilkan tinggi. Metabolit sekunder tersebut dihasilkan jika kondisi lingkungan kurang mendukung dalam pertumbuhan bakteri yang menyebabkan senyawa bioaktif berupa zat antibakteri dan membuat bakteri mampu memperthankan hidupnya (Agustina, 2022).

KESIMPULAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan bahwa PGPR yang diisolasi dari akar bambu dan dibiakan didapatkan jenis bakteri *Pseudomonas fluorescens* yang memiliki kandungan IAA (*Indole Acetic Acid*) berbentuk basil (batang) dan memiliki Gram negatif. Mikroba PGPR yang teridentifikasi bersifat antagonis dan memiliki daya hambat terkuat berasal dari bakteri *Pseudomonas fluorescens*. Taraf tertinggi yang mampu menghambat pertumbuhan patogen *Ralstonia solanacearum* yaitu pada pengenceran 10^{-1} dengan zona hambat sebesar 24,89 mm.

Saran

PGPR (*Pseudomonas fluorescens*) mampu menghambat pertumbuhan *Ralstonia solanacearum* secara in vitro, sehingga diperlukan pengujian lebih lanjut terhadap PGPR (*Pseudomonas fluorescens*) untuk mendapatkan formulasi yang terbaik dan agar dapat diaplikasikan di lapangan secara aman.

DAFTAR PUSTAKA

- Advinda, L. 2020. *Pseudomonas fluorescens* agens biokontrol Blood Disease Bacteria (BDB) tanaman pisang. *Monograf*. Yogyakarta : Deepublish.
- Agrios, G. N. 2005. Plant Pathology 5th Edision. Academia Press, San Diego, CA.
- Agustina, C. R. 2022. Aktivitas antibakteri dari fermentasi air kelapa (*Cocos nucifera*) terhadap *Ralstonia sp.* Pada tanaman tomat (*Solanum lycopersicum*). (8.5.2017), 2003–2005.
- Amaliah, Zakiyah, Z. N., Bahri, S., & Amelia, P. 2018. Limbah cair rendaman kacang kedelai. *Jurnal Agroteknologi*. 5 (1) : 253-257.
- Ashrafuzzaman, M., F. A. Hossen, M. R. Ismail, Md. A. Hoque, M. Z. Islam, S. M. Shahidullah, and S. Meon. 2009. Efficiency of *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) for the enhancement of rice growth. *African Journal of Biotechnology*. 8 (7) : 1247-1252.
- Astriani, M. 2015. Seleksi bakteri penghasil *Indole Acetic Acid* (IAA) dan pengujian pada bibit kelapa sawit (*Elais guneensus* Jacq.). [Tesis]. Bogor (ID) : Institut Pertanian Bogor.
- A'yun, K. Q., Hadiastono, T., & Martosudiro, M. 2013. Pengaruh penggunaan PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) terhadap intensitas TMV (*Tobacco Mosaic Virus*), pertumbuhan dan produksi pada tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.). *Jurnal HPT*. Vol. 1 (1).
- Berliana, S., Abadi, I. A.L., & Kusuma, R. R. 2020. Eksplorasi PGPR *Indigenous* lereng gunung arjuna sebagai agen antagonis terhadap *Ralstonia solanacearum* pada kentang. (Disertasi doktoral, Universitas Brawijaya).
- Buddenhagen, I. W. 2009. Blood bacterial wilt of banana : history, field biology and solution. *Acta Hort*. 828, 57-68.
- CABI. 2017. Invasive species compandium (Datasheets, maps, images, abstracts and full text on invasive species of the word : *Ralstonia solanacearum*).
- Calwell, D. et al. 2017. *Ralstonia solanacearum* differentially colonizes roots of

- resistant and susceptible tomato plants. *Phytopathology*. 107, 528-536.
- Chanrashekara, K. N and M. K. Prasannakumar. 2010. New host plants for *Ralstonia solanacearum* from India. *New Disease Report*. 22-26.
- Chepkoech, E. Kinyua, M. Kiplagat, O. Arunga, EE. Kimno, S. Olwenyo, G. Njuguna, P and Oggema, J. 2013. Potato breeding potential for resistance to bacterial wilt (*Ralstonia solanacearum*) in Kenya. *African Crop Science Conference Proceedings*. 11 : 517-520.
- Chrisnawati, S., Marlen, L., & Nasrun. 2017. Evaluasi antagonis *Pseudomonas fluorescens* dalam mengendalikan penyakit layu *Fusarium* pada tomat. *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon*, 3 (2) : 273-277.
- Compant, S., Duffy, B., Nowak, J., Clement, C dan Barka, E, A. 2005. Use of *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* for biocontrol of plant disease : principles, mechanisms of action, and future prospects. *Applied and Environmental Microbiology*. 71 (9) : 4951-4959.
- Denny, T. P. 2006. "Plant pathogenic *Ralstonia* species", in *Plant Associated Bacteria*, ed. S. S. Gnanamanickam (Dordrecht : Springer). 573-644.
- Deslandes, L., & Genin, S. 2014. Opening the *Ralstonia solanacearum* type III effector tool box : insights into host cell subversion mechanisms. *Curr. Opin. Plant Biol.* 20 : 110-117.
- Dewi, R., Fatma., Prihanto, P. H., & Edy, J. K. 2016. Analisis penyerapan tenaga kerja pada sektor pertanian di Kabupaten Tanjung Jabung Barat. 5 (1).
- Elphinstone, J. G. 2005. The current bacterial wilt situation : a global overview. *Bacterial wilt disease and th *Ralstonia solanacearum* species Complex*.
- Fajarfika, R., Hilmany, T., Nafi'ah, H. H., Sativa, N., & Supriatna, J. 2022. Isolasi *Pseudomonas sp.* Untuk pengendalian biologi terhadap layu bakteri. The Isolation of *Pseudomonas sp.* For Biological Control of Bacterial. *Jurnal Agroteknologi dan Sains*. 6 (2) : 106-114.
- Fatimah, U & Senthil Kumar, M. 2015. Plant and pathogen nutrient acquisition strategies. *Front. Plant Sci.* 6 : 750.
- Figueiredo, M., Seldin, L., Araujo, F., & Mariano, R. 2010. *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* : Fundamentals and Applications. *Microbiology*

Monographs. (18) : 21-43.

Fitri, L dan Yasmin, Y. 2011. Isolasi dan pengamatan morfologi koloni bakteri kitinolitik. *Jurnal Biologi Edukasi.* 3 (2) : 20-25.

Ghosh, P. K., Saha, P., Mayilraj, S., & Maiti, T. K. 2013. Role of IAA metabolizing enzymes on production of IAA in root, nodule of *Cajanus cajan* and its PGP *Rhizobium sp.* *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology.* 2 (3) : 234-239.

Grey, B. E & Steck, T. R. 2001. The viable but noncultureable state of *Ralstonia solanacearum* may be involved in long-term survival and plant infection. *Appl. Environ. Microbiol.* 67 : 3866-3872.

Gusnadi, B., Advinda, L., Anhar, A., Eka Putri, I. L., & Chatri, M. 2023. *Pseudomonas fluorescens* sebagai agen biokontrol pengendali berbagai penyakit tanaman. *Serambi Biologi*, 8(2), 123-128.

Habazar, T., & Yaherwandi. 2006. Pengendalian hayati hama dan penyakit tumbuhan. Padang : Andalas University Press.

Hanif, A., & Susanti, R. 2017. Analisis senyawa antifugal bakteri endofit asal tanaman jagung (*Zea mays* L.). Agritech : *Jurnal Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian.* 1 (1).

Hayward, A. C. 1991. Biology and epidemiology of bacterial wilt caused by *Pseudomonas solanacearum*. *Annu. Rev. Phytopathol.* 29 : 565-87.

He D-C, M-H He, DM Amalin, W Liu, DG Alvindia & J, Zhan. 2021. Biological control of plant diseases : An evolutionary and eco-economic consideration. *Pathogens.* 10 (10).

Hida, A., Oku, S., Kawasaki, T., Nakashimada, Y., Tajima, T., & Kato, J. 2015. Identification of the *mcpA* and *mcpM* genes, encoding methyl-accepting proteins involved in amino acid and l-malate chemotaxis, and involvement of *McpM*-mediated chemotaxis in plant infection by *Ralstonia pseudosolanacearum* (formerly *Ralstonia solanacearum* phylotypes I and III). *Appl. Environ. Microbiol.* 81(21) : 7420-7430.

Istiqomah, I., & Kusumawati, D. E. 2018. Pengaruh media arang sekam terhadap perkembangan penyakit powdery mildew (*Oidium sp*) pada tanaman mentimun jepang (*Cucumis sativus* L.) dengan sistem irigasi tetes. *Jurnal*

Agro. 5(1) : 1-12.

Kelman, A. 1953. The bacterial wilt caused by *P. Solanacearum*. A literature review and bibliography. Nort Carolina Agric. Expt. Sta. Tech. Bull.

Khairuna. 2019. Diktat Fisiologi Tumbuhan. Medan : Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Tarbiyah dan Keguruan Universitas Islam Negeri Sumatera Utara.

Kovacs, K. 2009. Application of mossbauer spectroscopy in plant physiology [Ph. D. Dissertation]. ELTE Chemistry Doctoral School. ELTEN Institute of Chemistry, Budapest. 2-7.

Koza, N. A., Adedayo, A. A., Babalola, O.O., & Kappo, A.P. 2022. Microorganisms in plant growth and development : roles in abiotic stress tolerance and secondary metabolites secretion. *Microoganisms*. 10(18) : 1528.

Larasaty, S., Mukarlina, M., & Kurniatuhadi, R. 2020. Uji antaginis *Pseudomonas fluorescens spp.* terhadap isolat bakteri *Xanthomonas* (SL3) dari daun padi bergejala hawar di Kabupaten Kubu Raya. *Jurnal Bios Logos*. 11(1).

Liu, Y., Kanda, A., Yanto, K., Kiba, A., Hikichi, Y., Aino, M., & Takikawa, Y. 2009. Molecular typing of Japanese strains of *Ralstonia solanacearum* in relation to the ability to induce a hypersensitive reaction in *Tobacco*. *Journal of general plant pathology*. 75(5) : 369-380.

Lowe-Power, T.M., Hendrich, C. G., Von Roepenack-Lahaye, E., Li, B., Wu, D., Mitra, R., ... & Jancewicz, A. 2018. Metabolomics of tomato xylem sap during bacterial wilt reveals *Ralstonia solanacearum* produces abundant putrescine, a metabolite that accelerates wilt disease. *Environmental microbiology*. 20(4) : 1330-1349.

Lubis, E., Pinem, M. I., & Febrian, R. 2018. Contributions of IAA (*Indole Acetic Acid*) and 2-Ip (*Dimenthyl Allyl Amino Purine*) on multiplacation of red plant banana explants (*Musa paradisiaca*) in Ms media by in vitro. In *Proceeding International Conference Sustainable Agriculture and Natural Resources Management (ICoSAaNRM)* (Vol. 2, No. 1).

Machmud, M., Y, Suryadi, Jumanto, I., Manzila. 2003. Teknik produksi antibodi monoklonal (McAb) untuk deteksi dan identifikasi

Ralstonia solanacearum.

- Mamphogoro, T. P., C. N. Kamutando, M. M. Maboko, O. A. Aiyegoro, and O. O. Babalola. 2020. Epiphytic bacteria from sweet pepper antagonistic in vitro to *Ralstonia solanacearum* BD 261, a causative agent of bacterial wilt. *Microorganisms*. 9(9) : 1-16.
- Maris, Y. F., Sofa, Z., Oktaviana, A., & Dewi, T. 2022. Malu sebagai produk inovasi di masa pandemi. *Journal Science Innovation and Technology*. 292) : 20-27.
- Mohanty, P., Singh, P.K., Chakraborty, D. Mishra, S. Pattnaik, R. 2021. Insight into the role of PGPR in sustainable agriculture and environment. *Frontiers in Sustainable Food System*. 5 : 1-12.
- Nababan, C. P., Suswanti dan Syahbudin, H. 2017. Efektivitas penggunaan biofumigan limbah *brassica* terhadap penyakit layu bakteri (*Ralstonia solanacearum* ras 3) pada tanaman kentang di Pematang Silimakuta Kabupaten Simalungun. *Agrotekno*. 2(1) : 56-64.
- Nasikah. 2007. Pengaruh inokulasi *Rhizobium* dan waktu pemberian pupuk N (Urea) terhadap pertumbuhan dan hasil kedelai di lahan sawah setelah kedelai (*glycine max* (L.) Merril.) *Skripsi* pada Jurusan Biologi. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Malang. Malang.
- Nasrun dan N. 2007. Penyakit layu bakteri pada nilam dan strategi pengendaliannya. *Jurnal Litbang Pertanian*. 26(1).
- Olson, H. A. 2005. *Ralstonia solanacearum*.
- Parida, I. 2012. Seleksi dan karakterisasi bakteri penghasil siderofor sebagai agen antagonis *Ralstonia solanacearum* pada tomat. *Skripsi*. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Patten, C. L and Glick, B. R. 2022. Role of *Pseudomonas putida* indoleacetic acid in development of the host plant root system. *Applied and Environmental Microbiology*. 68(8) : 3795-3801.
- Rahmadian, C. A., Ismail., Abrar, M., Erina., Rastina., & Fahrimal, Y. 2018. Isolasi dan identifikasi bakteri *Pseudomonas sp* pada ikan asin di tempat pelelangan ikan Labuhan Haji Aceh Selatan. *Jurnal Jimvet*. 2(4) : 493-502. ISSN : 2655-9641.

- Ristiana, F., Tumbelaka, M. S., Nangoi, R. 2022. The effect of PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) bio fertilization on the growth and production of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *J. Agro Terapan*. 3(3) : 43-51.
- Sandiase, I. K., Widiyanti, N. L. P. M., & Warpala, I. W. S. 2023. Variasi konsentrasi *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) rendaman akar bambu menghambat pertumbuhan jamur *Fusarium oxysporum* secara in vitro. *Biota : Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*. 120-130.
- Semangun, H. 2000. Penyakit-penyakit tanaman perkebunan Indonesia. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. 835 hal.
- Setiawan, A. W. 2019. Epidemiologi penyakit layu bakteri dan perkembangan kompleks spesies *Ralstonia solanacearum*. *Jurnal Galung Tropika*. 8(3) : 244-270.
- Setyari, A. R., Luqman, Q. A dan Abdul, L. A. 2013. Pengaruh pemberia pupuk air terhadap penyakit layu bakteri (*Ralstonia solanacearum*) pada tanaman tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill.). *Jurnal HPT*. 1(2) : 80-87.
- Situngkir, N. C., Sudana, I. M., dan Singarsa, I. D. P. 2021. Pengaruh jenis bakteri PGPR dalam beberapa jenis media pembawa untuk meningkatkan pertumbuhan dan ketahanan tanaman padi beras merah lokal Jatiluwih terhadap penyakit. *Jurnal Agroteknologi Tropikai*. 10(2) : 233-243.
- Suryadi, Y. 2009. Effectiveness of *Pseudomonas fluorescens* against groundnut bacterial wilt (*Ralstonia solanacearum*). *Journal of Tropical Plant Pests and Diseases*. 9(2) : 174-180.
- Susanti, R., Fadhillah, W., & Hanif, A. 2024. Aplikasi bakteri endosimbion rayap *macrotermes gilvus* Hagen dalam mendekomposisi berbagai jenis kayu dan tanah mineral. *AGRIUM : Jurnal Ilmu Pertanian*. 27(1) : 88-97.
- Takikawa, Y. 2012. Studies on identification and taxonomy of plant pathogenic bacteria. *Journal of General Plant Pathology*. 78(6) : 409-412.
- Toy, T., S., S, Lampus, B., S dan Hutagalun, S.P. uji daya hambat ekstrak rumput laut *Gracilaria* sp terhadap pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus*. Fakultas Kedokteran Universitas Sam Ratulangi. Manado. *Jurnal e-GiGi (Eg)*. Vol 3(1) : 153-159.
- USDA. 2003. Biological control of *Fusarium* wilt and other soilborne pathogenic

fungi.

Wang, J. F., & Lin, C. H. 2005. Integrated management of tomato bacterial wilt. AVRDC-The world vegetable center, Taiwan.

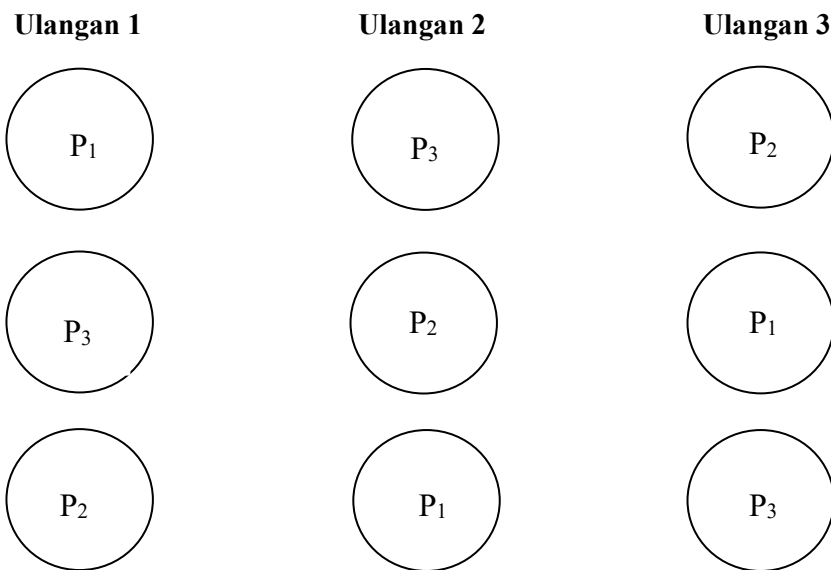
Widyastama, I. K. A., Kawuri, R., & Pharmawati, M. 2023. Identification of bacteria caused bacterial wilt disease in potato plant (*Solanum tuberosum* L.) in taman tanda village, Tabanam, Bali. *Jurnal Metamorfosa Journal of Biological Sciences*. 48(3) : 752.

Wijiyono. 2009. Keanekaragaman bakteri serasah daun *Avicennia marina* yang mengalami dekomposisi pada berbagai tingkat salinitas di Teluk Tapian Nauli. *[Thesis]*. Program Studi Biologi pada Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara. Medan. Hal 5.

Yuliar, Nion, Y. A., & Toyota, K. 2015. Recent trends in control methods for bacterial wilt diseases caused by *Ralstonia solanacearum*. *Microbes and environments*. 30(1) : 1-11.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Bagan Penelitian



Keterangan : P₁ (Pengenceran 10⁻¹), P₂ (Pengenceran 10⁻²), P₃ (Pengenceran 10⁻³).

Lampiran 2. Data Pengukuran Zona Hambat PGPR terhadap Patogen Bakteri *Ralstonia solanacearum* Pengamatan ke-1

Ulangan	Taraf	Diameter	Nilai	Rata-rata
1	P ₁	Vertikal	10,6 mm	3,55 mm
		Horizontal	8,5 mm	
	P ₃	Vertikal	19,3 mm	10,2 mm
		Horizontal	13,1 mm	
	P ₂	Vertikal	13,6 mm	7,4 mm
		Horizontal	13,2 mm	
2	P ₃	Vertikal	12,2 mm	5,25 mm
		Horizontal	10,3 mm	
	P ₂	Vertikal	8,6 mm	2,5 mm
		Horizontal	8,4 mm	
	P ₁	Vertikal	12,7 mm	7,05 mm
		Horizontal	13,4 mm	
3	P ₂	Vertikal	6,1 mm	0,05 mm
		Horizontal	6,0 mm	
	P ₁	Vertikal	11,0 mm	5 mm
		Horizontal	11,0 mm	
	P ₃	Vertikal	10,3 mm	3,8 mm
		Horizontal	9,3 mm	

Keterangan : P₁ (Pengenceran 10⁻¹), P₂ (Pengenceran 10⁻²), P₃ (Pengenceran 10⁻³).

Lampiran 3. Data Pengukuran Zona Hambat PGPR terhadap Patogen Bakteri *Ralstonia solanacearum* Pengamatan ke-2

Ulangan	Taraf	Diameter	Nilai	Rata-rata
1	P ₁	Vertikal	11,7 mm	4,35 mm
		Horizontal	9,0 mm	
	P ₃	Vertikal	19,6 mm	10,9 mm
		Horizontal	14,2 mm	
	P ₂	Vertikal	13,6 mm	8 mm
		Horizontal	14,4 mm	
2	P ₃	Vertikal	12,9 mm	6,05 mm
		Horizontal	11,2 mm	
	P ₂	Vertikal	9,5 mm	3,15 mm
		Horizontal	8,8 mm	
	P ₁	Vertikal	13,2 mm	7,35 mm
		Horizontal	13,5 mm	
3	P ₂	Vertikal	7,7 mm	1,7 mm
		Horizontal	7,7 mm	
	P ₁	Vertikal	12,6 mm	6,45 mm
		Horizontal	12,3 mm	
	P ₃	Vertikal	11,4 mm	4,9 mm
		Horizontal	10,4 mm	

Keterangan : P₁ (Pengenceran 10⁻¹), P₂ (Pengenceran 10⁻²), P₃ (Pengenceran 10⁻³).

Lampiran 4. Data Pengukuran Zona Hambat PGPR terhadap Patogen Bakteri *Ralstonia solanacearum* Pengamatan ke-3

Ulangan	Taraf	Diameter	Nilai	Rata-rata
1	P ₁	Vertikal	31,7 mm	21 mm
		Horizontal	22,3 mm	
	P ₃	Vertikal	19,9 mm	11,35 mm
		Horizontal	14,8 mm	
	P ₂	Vertikal	21,2 mm	15,35 mm
		Horizontal	21,5 mm	
2	P ₃	Vertikal	18,3 mm	12,1 mm
		Horizontal	17,9 mm	
	P ₂	Vertikal	19,5 mm	11,8 mm
		Horizontal	16,1 mm	
	P ₁	Vertikal	23,7 mm	17,8 mm
		Horizontal	23,9 mm	
3	P ₂	Vertikal	15,3 mm	9,3 mm
		Horizontal	15,3 mm	
	P ₁	Vertikal	24,6 mm	17,2 mm
		Horizontal	21,8 mm	
	P ₃	Vertikal	20,7 mm	15,9 mm
		Horizontal	23,1 mm	

Keterangan : P₁ (Pengenceran 10⁻¹), P₂ (Pengenceran 10⁻²), P₃ (Pengenceran 10⁻³).

Lampiran 5. Data Pengukuran Zona Hambat PGPR terhadap Patogen Bakteri *Ralstonia solanacearum* Pengamatan ke-4

Ulangan	Taraf	Diameter	Nilai	Rata-rata
1	P ₁	Vertikal	33,4 mm	22,25 mm
		Horizontal	23,1 mm	
	P ₃	Vertikal	21,7 mm	17,25 mm
		Horizontal	24,8 mm	
	P ₂	Vertikal	21,8 mm	16,15 mm
		Horizontal	22,5 mm	
2	P ₃	Vertikal	19,1 mm	12,7 mm
		Horizontal	18,3 mm	
	P ₂	Vertikal	19,9 mm	12,55 mm
		Horizontal	17,2 mm	
	P ₁	Vertikal	25,2 mm	18,75
		Horizontal	24,3 mm	
3	P ₂	Vertikal	15,5 mm	9,85 mm
		Horizontal	16,2 mm	
	P ₁	Vertikal	37,2 mm	29,5 mm
		Horizontal	33,8 mm	
	P ₃	Vertikal	22,8 mm	19,35 mm
		Horizontal	27,9 mm	

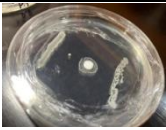
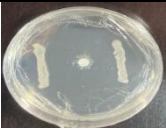
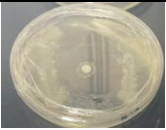
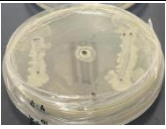
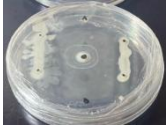
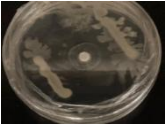
Keterangan : P₁ (Pengenceran 10⁻¹), P₂ (Pengenceran 10⁻²), P₃ (Pengenceran 10⁻³).

Lampiran 6. Data Pengukuran Zona Hambat PGPR terhadap Patogen Bakteri *Ralstonia solanacearum* Pengamatan ke-5

Ulangan	Taraf	Diameter	Nilai	Rata-rata
1	P ₁	Vertikal	34,3 mm	22,85 mm
		Horizontal	23,4 mm	
	P ₃	Vertikal	23,0 mm	18,65 mm
		Horizontal	26,3 mm	
	P ₂	Vertikal	22,0 mm	16,7 mm
		Horizontal	23,4 mm	
2	P ₃	Vertikal	19,5 mm	14,15 mm
		Horizontal	20,8 mm	
	P ₂	Vertikal	20,7 mm	13,3 mm
		Horizontal	17,9 mm	
	P ₁	Vertikal	29,1 mm	21 mm
		Horizontal	24,9 mm	
3	P ₂	Vertikal	15,9 mm	10,4 mm
		Horizontal	16,9 mm	
	P ₁	Vertikal	39,7 mm	30,85 mm
		Horizontal	34,0 mm	
	P ₃	Vertikal	23,7 mm	19,9 mm
		Horizontal	28,1 mm	

Keterangan : P₁ (Pengenceran 10⁻¹), P₂ (Pengenceran 10⁻²), P₃ (Pengenceran 10⁻³).

Lampiran 7. Rata-rata Zona Hambat PGPR (*Pseudomonas fluorescens*) Terhadap Patogen *Ralstonia solanacearum*

Waktu Pengamatan (Jam)	Perlakuan		
	P ₁	P ₂	P ₃
24	 5,19 mm (Sedang)	 3,31 mm (Lemah)	 6,41 mm (Sedang)
48	 6,05 mm (Sedang)	 4,28 mm (Lemah)	 7,27 mm (Sedang)
72	 18,66 mm (Kuat)	 12,15 mm (Kuat)	 13,11 mm (Kuat)
96	 23,5 mm (Sangat Kuat)	 12,85 mm (Kuat)	 16,43 mm (Kuat)
120	 24,89 mm (Sangat Kuat)	 13,46 mm (Kuat)	 17,56 mm (Kuat)

Keterangan : P₁ (Pengenceran 10⁻¹), P₂ (Pengenceran 10⁻²), P₃ (Pengenceran 10⁻³).
mm (milimeter)

Lampiran 8. Pembuatan PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*)



Perendaman Akar Bambu



Pembuatan Biang PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*)



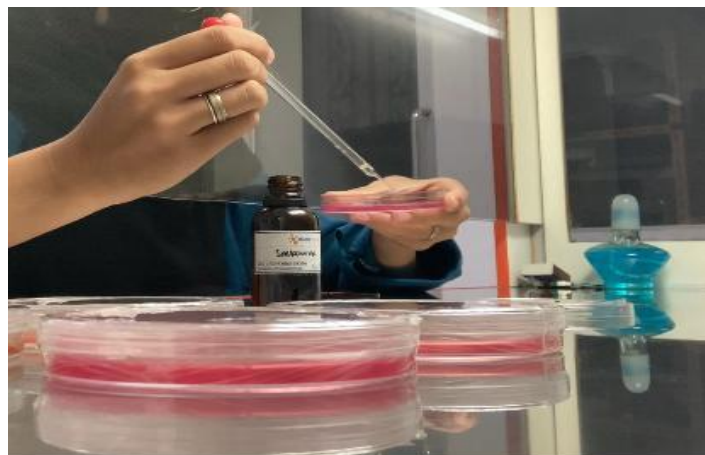
Hasil Biakan PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*)

Lampiran 9. Pengenceran PGPR



Biang PGPR yang telah dilakukan Pengenceran

Lampiran 10. Pengujian Isolat PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*)



Pengujian PGPR dengan Reagen Salkowski



Hasil Pengujian PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*)

Lampiran 11. Gejala Serangan Patogen *Ralstonia solanacearum*



Tanaman Tomat yang Terserang *Ralstonia solanacearum*

Lampiran 12. Proses Pengambilan Ose dari Pangkal Batang Tanaman



Pemotongan Pangkal Batang Tanaman



Pembelahan dan Perendaman Pangkal Batang dalam Alkohol

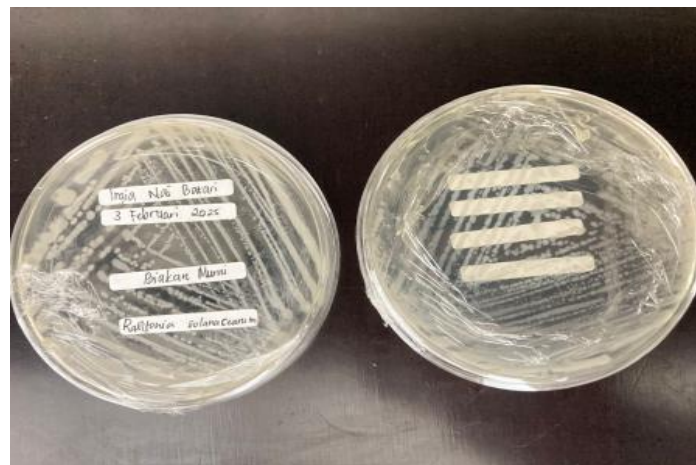


Hasil Ose Patogen yang Keluar dari Pangkal Batang

Lampiran 13. Isolasi Patogen *Ralstonia solanacearum*



Penggoresan Patogen Pada Media NA (Nutrient Agar)



Biakan Murni Patogen *Ralstonia solanacearum*

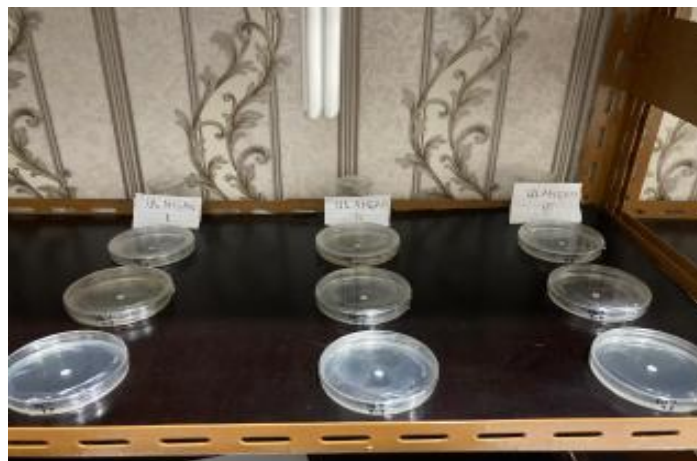
Lampiran 14. Proses Uji Antagonis PGPR terhadap Patogen *Ralstonia solanacearum*



Peletakkan PGPR dan Patogen *Ralstonia solanacearum* Pada Media NA



Peletakkan Kertas Cakram Pada Media NA



Isolat yang Telah diletakkan Pada Media Pengujian

Lampiran 15. Supervisi Penelitian



Supervisi Dosen Pembimbing Ke Laboratorium Penelitian