



Monograf

BAKTERI ENDOFIT

■ PENYUSUN KONSORSIUM ■

Membantu Tanaman Melawan Penyakit



Prof. Dr. Ir. Nur Prihatiningsih, M.S.

Dr. Ir. Heru Adi Djatmiko, M.P.

Nur Kholida Wulansari, S.P., M.P.

BAKTERI ENDOFIT PENYUSUN KONSORSIUM, MEMBANTU TANAMAN MELAWAN PENYAKIT

**Prof. Dr. Ir. Nur Prihatiningsih, M.S.
Dr. Ir. Heru Adi Djatmiko, M.P.
Nur Kholida Wulansari, S.P., M.P.**



Penerbit
Universitas Jenderal Soedirman
2023

Monograf

**BAKTERI ENDOFIT PENYUSUN KONSORSIUM,
MEMBANTU TANAMAN MELAWAN PENYAKIT**

© 2023 Universitas Jenderal Soedirman

Cetakan Kesatu, Maret 2023

Hak Cipta dilindungi Undang-undang

All Right Reserved

Penulis:

Prof. Dr. Ir. Nur Prihatiningsih, M.S.

Dr. Ir. Heru Adi Djatmiko, M.P.

Nur Kholida Wulansari, S.P., M.P.

Editor Isi:

Prof. Dr. Ir. Sakhidin, M.P.

Editor Bahasa:

Dra. Dyah Wijayawati, M.Pd.

Diterbitkan oleh:

UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN

Gd. BPU Percetakan dan Penerbitan

Telp. (0281) 626070

Email: unsoedpresspwt@gmail.com



Anggota

Afiliasi Penerbit Perguruan Tinggi Indonesia

Nomor : 003.082.1.02.2019

ix + 66 hal, 15,5 x 23 cm

ISBN: 978-623-465-100-3

*Dilarang mengutip dan memperbanyak tanpa izin tertulis dari penerbit,
sebagian atau seluruhnya dalam bentuk apapun, baik cetak,
photoprint, microfilm dan sebagainya.*

PRAKATA

Dalam budi daya tanaman keberadaan penyakit merupakan ancaman bagi petani. Penyakit tanaman dapat mengakibatkan penurunan produksi bahkan gagal panen. Penyakit tersebut disebabkan oleh patogen. Patogen menghancurkan tanaman dengan merusak bagian-bagian tanaman. Mengganggu proses fisiologinya hingga tanaman merana. Dengan terganggunya proses fisiologi, maka tanaman akan menjadi sakit dan tidak dapat membentuk hasil yang diharapkan.

Konsorsium yang didalamnya terdapat konsorsium bakteri endofit dapat membantu tanaman dalam melawan penyakit. Konsorsium bakteri endofit merupakan sekumpulan bakteri yang mampu hidup di dalam jaringan tanaman dan dapat ditumbuhkan kembali pada medium buatan. Konsorsium bakteri endofit sebagai pengendali hayati dapat menekan penyakit layu dan berbagai penyakit lain yang disebabkan oleh patogen dari golongan jamur dan bakteri. Konsorsium bakteri endofit juga memiliki peran dalam ketahanan tanaman. Memacu pertumbuhan tanaman dengan menghasilkan fitohormon yang memiliki peran dalam pembesaran sel dan pertumbuhan.

Monograf dengan judul **Bakteri Endofit Penyusun Konsorsium, Membantu Tanaman Melawan Penyakit** diharapkan dapat menjadi pedoman dalam pengendalian hayati penyakit tanaman, karena dengan konsorsium maka setiap bakteri endofit yang memiliki potensi dalam menyerang patogen dan menghasilkan fitohormon dapat bekerja sama dalam melawan penyakit dan memacu pertumbuhan. Monograf ini berisi tentang berbagai manfaat konsorsium dan mekanisme bakteri endofit dalam dunia pertanian serta menambah pengetahuan di bidang pertanian khususnya perlindungan tanaman.

Purwokerto, November 2022

Penulis

DAFTAR ISI

PRAKATA	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
I. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Pemilihan dan Keunggulan Bakteri Endofit	1
B. Bakteri Endofit sebagai Bakteri Berguna	2
C. Pengertian Konsorsium Bakteri Endofit.....	5
D. Perumusan Masalah.....	8
II. METODE PEMECAHAN MASALAH.....	10
III. BAKTERI ENDOFIT	13
A. Metode Isolasi Bakteri Endofit.....	13
B. Bakteri Endofit sebagai Agens Pengendali Hayati	15
C. Bakteri Endofit sebagai Pemacu Pertumbuhan dan Hasil Tanaman.....	20
D. Bakteri Endofit sebagai Penginduksi Ketahanan Tanaman Terhadap Patogen	22
E. Prospek Pengembangan Bakteri Endofit sebagai Agens Pengendali Hayati	23
IV. KONSORSIUM BAKTERI ENDOFIT	25
A. Metode Seleksi bakteri Endofit sebagai Penyusun Konsorsium.....	25
B. Pengujian Eksistensi Bakteri dalam Konsorsium Bakteri Endofit (<i>shelf-life</i>).....	28
C. Komposisi Konsorsium Bakteri Endofit.....	29
V. PENGUJIAN POTENSI KONSORSIUM BAKTERI ENDOFIT TERHADAP PATOGEN.....	33
A. Teknik Pengujian Konsorsium Bakteri Endofit terhadap Bakteri Patogen.....	33

B.	Teknik Pengujian Konsorsium Bakteri Endofit terhadap Jamur Patogen.....	34
VI.	PENGUJIAN POTENSI KONSORSIUM BAKTERI ENDOFIT TERHADAP TANAMAN	38
A.	Uji Konsorsium Bakteri Endofit sebagai Pemacu Pertumbuhan Tanaman (Penghasil ZPT).....	38
B.	Uji Konsorsium Bakteri Endofit sebagai Penginduksi Ketahanan Tanaman terhadap Patogen (Penghasil Metsek: Enzim, Antibiotik)	43
VII.	FORMULA CAIR KONSORSIUM BAKTERI ENDOFIT	47
A.	Komposisi Formula Cair Konsorsium Bakteri Endofit	47
B.	<i>Shelf-life</i> Bakteri dalam Konsorsium.....	52
VIII.	PENUTUP	54
	DAFTAR PUSTAKA.....	55

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Macam-macam bakteri endofit dalam mengendalikan patogen	16
Tabel 2.	Macam-macam bakteri endofit dalam menghasilkan hormon pertumbuhan	21
Tabel 3.	Karakteristik tepung sebelum formulasi dan setelah formulasi.	32
Tabel 4.	Nilai konsentrasi IAA yang dihasilkan oleh konsorsium bakteri endofit akar tanaman ubi jalar var. Papua Patippi serta jumlah bakteri (Valentina et al., 2018)	39
Tabel 5.	Aktivitas produksi IAA secara kualitatif dan kuantitatif	41
Tabel 6.	Nilai aktivitas enzim Amilase <i>B. subtilis</i> B315	45
Tabel 7.	Penghambatan <i>Xoo</i> oleh <i>B.subtilis</i> B315 <i>in vitro</i>	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Aplikasi bakteri sebagai agens pengendali hayati. (A) gejala layu bakteri pada kontrol, (B) perlakuan mutan <i>Bacillus</i> sp B315M16, (C) tanaman sehat pada perlakuan <i>Bacillus</i> sp. B315 tipe alami.....	2
Gambar 2.	Tahapan cara isolasi bakteri endofit bertarget <i>Bacillus</i> sp.	14
Gambar 3.	Kultur <i>B. subtilis</i> 6Sm dengan patogen <i>B. cinerea</i> B0510 (a). zona interaksi penghambatan, (b) produksi botryanes pada kontrol, zona tanpa interaksi, dan zona interaksi, (c) karakteristik hifa <i>B. cinerea</i> B0510 pada kontrol, <i>B. cinerea</i> B0510 tanpa interaksi dan pada zona interaksi (Bolivar-Anillo et al., 2021).....	17
Gambar 4.	Daya hambat bakteri hasil isolasi terhadap <i>R. solanacearum</i> secara in-vitro. (A) kontrol, (B) Aka: bakteri endofit akar koloni a isolat Purwokerto, (B) AKb: bakteri endofit akar koloni b isolat Kebumen, (C): AKc: bakteri endofit akar koloni c isolat Kebumen, (E): TK: bakteri rizozfer (Saridewi et al., 2020).	19
Gambar 5.	Mekanisme <i>B. substillis</i> B298 dalam menghambat <i>Colletotrichum</i> sp. In vitro. (A) penghambatan <i>B. substillis</i> B298 dengan <i>Colletotrichum</i> sp. (B) mekanisme penghambatan, pembengkakan dan lisis hifa. Sumber (Prihatiningsih et al., 2019).	19
Gambar 6.	Mekanisme bakteri endofit dalam perlindungan tanaman terhadap patogen dan hama.....	23
Gambar 7.	Uji kompatibilitas dua isolat bakteri endofit pada masing-masing cawan Petri (A) kompatibel dan (B) kurang kompatibel.....	27

Gambar 8.	Kompatibilitas bakteri dengan uji antagonisme (a) kompatibel dan (b) tidak kompatibel.....	27
Gambar 9.	Penghambatan pertumbuhan lima isolat <i>Bacillus</i> spp. (A) perlakuan dengan kloroform (B) tanpa kloroform (C) <i>Bacillus</i> sp. B315 melawan <i>R. solanacearum</i>	34
Gambar 10.	Penghambatan konsorsium bakteri endofit terhadap <i>R. solani</i> . (A) Pertumbuhan koloni <i>R. solani</i> terhadap konsorsium bakteri endofit, (B) Kerusakan ujung hifa <i>R. solani</i> , (C) <i>R. solani</i> pada pertumbuhan normal.....	35
Gambar 11.	Mekanisme penghambatan konsorsium bakteri endofit terhadap <i>R. solani</i> , malformasi ujung hifa bengkak, lisis, dan pecah. (A) Pertumbuhan hifa normal, (B) Pembengkakan ujung hifa.....	36
Gambar 12.	Aktivitas antijamur terhadap (A) <i>Phyllosticta pirina</i> , (B) <i>Alternaria alternata</i> (Fries) Keissler dengan metode sumuran.....	37
Gambar 13.	Uji produksi IAA. (A) Kontrol (B) Perlakuan bakteri endofit B01-B08.....	42
Gambar 14.	Spektrum FTIR dari ekstrak <i>B. subtilis</i> B315.	45

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Pemilihan dan Keunggulan Bakteri Endofit

Bakteri endofit merupakan bakteri yang hidup dan berasosiasi dengan tanaman baik di dalam daun, bunga, buah dan akar yang tidak menimbulkan gejala penyakit pada tanaman inangnya tersebut. Bakteri ini berperan menguntungkan tanaman karena memiliki fungsi ganda yaitu sebagai pengendali patogen dan sebagai pemacu pertumbuhan tanaman. Bakteri endofit dapat diisolasi dari seluruh bagian tanaman mulai dari daun, bunga, buah, akar, umbi, biji, dan di dalam nodul tanaman kekacangan (Prihatiningsih et al., 2020)

Bakteri endofit adalah bukan patogen, sehingga mempunyai fungsi yang dapat berpengaruh positif pada tanaman. Berbagai manfaat yang dimiliki bakteri endofit, maka perlu untuk dilakukan eksplorasi dan kajian mendalam guna mendukung pertanian berkelanjutan. Peran yang dilakukan bakteri endofit untuk tanaman diantaranya sebagai pupuk hayati. Mikroba mampu mengubah nutrisi yang tidak tersedia menjadi tersedia untuk tanaman sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman. Selain itu mikroba tersebut juga dapat menjaga kesuburan tanah secara berkelanjutan dengan memperbaiki N_2 di atmosfer, memobilisasi unsur makro dan mikro (Wahane et al., 2020).

Bakteri endofit mampu menghasilkan fitohormon IAA. Fungsi IAA yaitu untuk mendorong pemanjangan sel serta menambah kemampuan dalam menyerap air. Kemampuan IAA dalam proses pengembangan sel terkait dengan adanya zat lain (Salisbury dan Ross. 1985). Bakteri endofit juga memiliki Siderofor dalam memacu pertumbuhan tanaman. Siderofor dapat mengikat besi (Fe^{3+}) menjadi ikatan siderofor besi yang tersedia bagi tanaman. Fe^{3+} merupakan unsur penting dalam perkembangan patogen. Patogen yang kekurangan Fe^{3+}

menyebabkan daya infeksi menjadi berkurang sehingga menghambat perkembangan penyakit. menghasilkan berbagai macam enzim untuk dapat menekan infeksi patogen.

Bakteri endofit yang memiliki keunggulan sebagai agens pengendali hayati, memacu pertumbuhan tanaman, menginduksi ketahanan tanaman terhadap patogen, sehingga dipilih dan dikembangkan sebagai agens pengendali hayati. Bakteri endofit sangat berguna dalam upaya mendukung pertanian berkelanjutan. Bakteri endofit tidak menyebabkan kerusakan lingkungan, justru akan memperbaiki kerusakan lingkungan. Bakteri endofit tidak menyebabkan resistensi terhadap patogen maupun organisme lain yang ada di agroekosistem.



Gambar 1. Aplikasi bakteri sebagai agens pengendali hayati. (A) gejala layu bakteri pada kontrol, (B) perlakuan mutan *Bacillus* sp B315M16, (C) tanaman sehat pada perlakuan *Bacillus* sp. B315 tipe alami. Sumber (Prihatiningsih et al., 2015).

B. Bakteri Endofit sebagai Bakteri Berguna

Bakteri endofit merupakan bakteri berguna dalam kehidupan manusia. Beberapa diantaranya pada bidang pertanian, kesehatan, maupun industri. Di bidang pertanian, mikroba endofit bermanfaat sebagai penghasil zat pengatur tumbuh seperti auksin dan etilen, serta senyawa penghantar sinyal pada perkembangan tanaman. Selain itu, melindungi tanaman pertanian dari serangan hama dan patogen dengan menghasilkan senyawa kimia tertentu, diantaranya enzim amilase, protease, pullunase, kitinase, xylanase, dan lipase (Morikawa, 2006);

(Lestari et al., 2017). Interaksi antara bakteri endofit dengan inang dapat menaikkan imunitas atau kesehatan tanaman. Hal tersebut disebabkan oleh hormon yang diproduksi oleh bakteri endofit. selain itu, bakteri endofit juga digunakan sebagai agens biokontrol pada berbagai jenis patogen atau penyebab penyakit tanaman (Mushtaq et al., 2017). Infeksi yang disebabkan oleh virus, bakteri, serangga maupun nematoda dapat dikendalikan dengan inokulasi bakteri endofit. Bakteri endofit memiliki mekanisme ISR (*Induced Systemic Resistance*) (Berg & Hallmann, 2007).

Interaksi bakteri endofit dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman dan kesehatan tanaman pagi gogo berhasil diteliti oleh (Herlina et al., 2017). (Munif et al., 2012) bakteri endofit dapat meningkatkan pertumbuhan bibit padi. Gusmaini et al. (2013) melaporkan aplikasi bakteri endofit berpengaruh positif dan nyata dalam meningkatkan pertumbuhan, produksi herba segar dan kering serta andrografolid pada tanaman sambiloto. Peningkatan pertumbuhan, produksi biomas, kadar dan produksi andrografolid, serta serapan N, P, K. Tanaman juga memiliki korelasi positif dengan hormon yang dihasilkan oleh bakteri endofit. Bakteri endofit dapat memproduksi hormon IAA dan GA₃ yang dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman lebih baik dibanding kontrol. Bakteri endofit juga memiliki potensi dalam menekan perkembangan patogen. Foeh et al. (2019) melaporkan bakteri endofit dapat menekan pertumbuhan *Phytophthora palmivora* in vitro sebesar 95,52%. Bakteri endofit mampu menghambat perkembangan antraknosa pada cabai besar dengan menghasilkan berbagai metabolit sekunder dengan daya hambat 99,20% (Wibawa et al., 2019). Pemanfaatan bakteri endofit tanaman karet dapat digunakan untuk Biofertilizer. Bakteri endofit tersebut memiliki potensi dalam meningkatkan pertumbuhan bibit tanaman karet dan mengurangi pemakaian pupuk sintetis sampai dengan 25%, selain itu juga dapat meningkatkan keberhasilan okulasi sebesar 48% pada saat fase daun muda/off season.

Berbagai mekanisme yang dimiliki bakteri endofit sehingga dapat disebut bakteri berguna dalam perlindungan tanaman. Hormon dan enzim yang dihasilkan dapat melindungi tanaman dari patogen, dapat membantu meningkatkan pertumbuhan, dapat membantu perakaran tanaman dalam memfiksasi nitrogen, mengoptimalkan penyerpan unsur makro dan mikro dalam tanah, sebagai biofertilizer, serta memiliki sifat antagonis terhadap

patogen. Karakteristik tersebut dapat dimanfaatkan manusia dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman dan mengurangi gagal panen.

Salah satu kemampuan bakteri yang dapat dieksplorasi kemampuannya dalam melindungi tanaman dari patogen adalah dihasilkannya enzim ekstraselular. Enzim ekstraselular adalah enzim yang dihasilkan di dalam sel, akan tetapi bekerja di luar sel. Enzim tersebut diantaranya enzim kitinase, amilase, protease, dan enzim selulase.

Enzim kitinase merupakan enzim ekstraseluler yang dapat menghidrolisis dinding sel patogen. Semakin besar aktivitas hidrolisis, maka akan nampak semakin besar zona bening yang terbentuk di sekitar koloni. Lestari et al. (2017) menunjukkan waktu *Bacillus subtilis* B209 memproduksi enzim kitinase tertinggi pada inkubasi 15 jam dengan nilai aktivitas 6,537 U/mL. Faktor yang memengaruhi produksi kitinase yaitu suhu dan pH. Suhu dapat memengaruhi aktivitas hidrolisis substrat. Aktivitas kitinase menunjukkan peningkatan seiring dengan peningkatan perlakuan suhu. Pada suhu optimum, aktivitas enzim tereksresi optimum tanpa mengalami denaturasi. Akan tetapi peningkatan suhu di atas optimum, menyebabkan kerusakan pada gugus fungsi sehingga kehilangan aktivitas katalitiknya (Baharuddin et al., 2014). Perlakuan pH dalam aktivitas enzim kitinase adalah untuk mengetahui pH optimum dalam menghidrolisis substrat. Pengujian pH dilakukan dengan penambahan bufer sitrat untuk pH 3-5 dan bufer fosfat untuk pH 8-9. Hasil penelitian menunjukkan *B. subtilis* B209 menghasilkan aktivitas kitinase terbaik pada pH 6 dengan aktivitas sebesar 7,080 U/mL (Lestari et al., 2017).

Bakteri endofit yang memiliki peran sebagai agens antagonis salah satunya menghasilkan enzim amilase. Mekanisme sebagai agens antagois yaitu dengan meningkatkan pertahanan tanaman terhadap OPT yang menyerang tanaman. OPT tersebut diantaranya jamur, bakteri, nematoda, bahkan insekta. Keberadaan enzim amilase mampu menghambat pertumbuhan patogen *Ralstonia solanacearum* pada kentang (Prihatiningsih & Djatmiko, 2016b). Lebih lanjut dalam hasil penelitian tersebut dinyatakan bahwa enzim amilase yang dihasilkan oleh *B. subtilis* sebagai mekanisme antibiosis dengan aktivitas 0,802 U/mL

dengan kelompok senyawa alkana, aldehid, keton, asam karboksilat, ester, amina, dan amida. Fungsi enzim amilase dalam pengendalian penyakit tanaman yaitu sebagai penghambat dan mematikan patogen yang disebut bakterisidal dan bakteriostatik.

Protease merupakan enzim proteolitik yang mengkatalisis pemutusan ikatan peptida pada protein. Bakteri endofit yang menghasilkan enzim protease dapat melindungi tanaman dari serangan patogen. Hasil penelitian Prihatiningsih et al. (2021), menyatakan aktivitas enzim protease yang dihasilkan bakteri *B. subtilis* B315 dapat menekan aktivitas patogen *R. solanacearum* pada tanaman cabai sebesar 60,89%.

C. Pengertian Konsorsium Bakteri Endofit

Konsorsium bakteri endofit adalah sekumpulan bakteri yang mampu hidup di dalam jaringan tumbuhan dan dapat ditumbuhkan kembali pada medium buatan dengan memiliki ciri dan struktur yang sama (Pradana et al., 2016), Konsorsium bakteri endofit dapat berfungsi sebagai pengendali hayati, sebagai pemacu pertumbuhan tanaman, sebagai biofertilizer, sebagai agens fitoremediasi, dan sebagai penginduksi ketahanan tanaman terhadap patogen.

Dalam menentukan konsorsium bakteri endofit, diperlukan uji sinergisme atau kompatibilitas untuk dapat mengetahui kompatibilitas isolat bakteri endofit sebagai konsorsium biofertilizer (Hartanti, 2020). Uji sinergisme dapat dilakukan dengan uji hipersensitif untuk mendapatkan bakteri nonpatogen. Kemudian dilanjutkan dengan uji patogenesitas (Munif et al., 2014). Pengamatan uji patogenesitas dilakukan dengan mengamati zona hambat pada masing-masing isolat (Puspita et al., 2020). Lebih lanjut Munif et al. 2014) menyatakan, konsorsium bakteri endofit asal tanaman meranti merah, lada, alba, jabon dan sengan mampu menekan perkembangan cendawan *Fusarium oxysporum* dan *Sclerotium rolfsii*.

Uji patogenesitas perlu dilakukan untuk mengetahui interaksi antar isolat bakteri endofit yang ditumbuhkan bersama-sama. Karakteristik isolat konsorsium bakteri endofit yang memiliki sifat antagonis yaitu

terbentuknya zona hambat pada medium tumbuh. Zona hambat menunjukkan bahwa formula konsorsium tidak kompatibel/bersifat antagonis. Antagonisme antar isolat bakteri endofit dalam konsorsium dapat terjadi karena adanya pengaruh negatif dengan dihasilkannya senyawa kimia yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri endofit lainnya. Faktor lain yang menjadi pengaruh adanya antagonisme yaitu adanya persaingan/kompetisi. Kompetisi nutrisi dalam medium dapat menyebabkan reaksi kimia dalam medium tumbuh sehingga menghambat laju pertumbuhan bagi kelompok bakteri endofit lain sehingga menyebabkan viabilitasnya berkurang.

Konsorsium bakteri endofit sebagai pengendali hayati dapat menekan penyebab layu yang disebabkan oleh patogen *Ralstonia solanacearum* pada isolat (*Bacillus* sp SJI + *S. marcescens* isolat JBIE3) dan (*Bacillus* sp SJI + *Bacillus* sp HI + *S. marcescens* isolat JB1E3) serta dapat meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan bibit tanaman cabai pada isolat (*Serratia marcescens* ULG1E4 dan isolat JB1E3) (Resti et al., 2018). Selain sebagai pengendali hayati patogen, konsorsium bakteri endofit juga dapat digunakan sebagai agens nematoda parasit tanaman. Strategi dalam pengendali nematoda parasit tumbuhan akan meningkatkan efektivitas dalam pengembangan nematisida berbasis bakteri endofit (Kumar & Dara, 2021). Konsorsium bakteri endofit memiliki mekanisme pengendalian yang berupa kompetisi, penghasil antibiotik, dapat menginduksi ketahanan secara bersamaan sehingga dapat lebih efektif dalam mengendalikan patogen tanaman (Rambe et al., 2020).

Sebagai pemacu pertumbuhan tanaman, konsorsium bakteri endofit salah satu mekanismenya dapat menghasilkan hormon IAA. Hormon IAA (*Indol Acetic Acid*) adalah fitohormon auksin endogen yang memiliki peran dalam pembesaran sel, penghambat pertumbuhan tunas sekunder, merangsang terjadinya absisi, dan perkembangan sel tanaman. Oleh sebab itu, dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman sangat membutuhkan IAA. Salah satu yang dapat menghasilkan IAA adalah bakteri endofit (Herlina et al., 2017; Valentina et al., 2018; Chen et al., 2017). Lebih lanjut hasil penelitian Valentina et al. (2018) menyatakan bahwa IAA yang dihasilkan oleh konsorsium bakteri endofit dapat

diperoleh dengan mengukur nilai absorbansi menggunakan alat spektrofotometer.

Pada isolat konsorsium bakteri endofit, IAA yang dihasilkan didapat dari pertumbuhan kultur konsorsium yang pertumbuhannya baik. Pertumbuhan yang baik akan diikuti oleh laju pertumbuhan sel dan metabolisme. Dan hal yang sebaliknya, apabila pertumbuhan sel berkurang maka produksi IAA akan menurun. Hal ini disebabkan karena nutrisi yang tersedia pada medium tumbuh telah digunakan sebagai bahan metabolisme sel.

Prihatiningsih et al. (2017) menyatakan bahwa pada tanah yang diaplikasikan bakteri endofit *Bacillus subtilis* terindikasi peningkatan Fe sebesar 19,81% dan 13,11%. Potensi *B. subtilis* B298 sebagai pemacu pertumbuhan tanaman berdasarkan aktivitas siderofor dalam mengkelat Fe. Hasil dari perlakuan menunjukkan adanya interaksi *B. subtilis* B298 meningkatkan serapan Fe dan volume akar, tinggi tanaman dan luas daun. Hal tersebut menunjukkan *B. subtilis* B298 mampu menghasilkan senyawa yang dapat memacu pertumbuhan tanaman seperti siderofor, IAA dan pelarut fosfat.

Peningkatan variabel pertumbuhan dipengaruhi oleh tercukupinya hormon yang diperlukan untuk tumbuh. Senyawa yang dihasilkan *B. subtilis* B298 adalah IAA. Keberadaan siderofor hydroxamat yang dihasilkan *B. subtilis* yang terdapat di rizosfer efektif dalam meningkatkan unsur hara Fe dan P. unsur hara tersebut diserap oleh tanaman sehingga dapat meningkatkan bobot kering tanaman. Bobot kering tanaman mencerminkan jumlah unsur hara yang diserap oleh tanaman (Sivasakthi et al., 2014).

Biofertilizer yang dihasilkan oleh konsorsium bakteri endofit yang terdiri atas *Bacillus* dan *Pseudomonas* dapat bersinergi dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman budidaya dengan menghasilkan zat pengatur tumbuh yang memiliki peran dalam memacu pertumbuhan tanaman. selain itu, *Pseudomonas* juga dapat melarutkan unsur P yang tidak tersedia menjadi tersedia bagi tanaman (Manguntungi et al., 2018). Hasil penelitian Abdel-Hamid et al. (2022), mengungkapkan pada konsorsium endofit (T11r+T13r) menghasilkan 23 senyawa yang berbeda pada minyak thyme dengan konsentrasi tertinggi.

Penggunaan biofertilizer konsorsium bakteri endofit mampu menghasilkan fitohormon yang memiliki fungsi dalam pertumbuhan tanaman. Bakteri endofit menghasilkan unsur hara Nitrogen dan dapat melarutkan kandungan fosfat sehingga dapat digunakan sebagai biofertilizer pengganti pupuk sintetis serta mampu memproduksi fitormon yang berfungsi memacu pertumbuhan tanaman. Selain itu, bakteri endofit dapat meningkatkan produksi senyawa bioaktif alami (Andriani & Oktafiyanto, 2019).

Fungsi biofertilizer dapat dimanfaatkan sebagai pupuk hayati pada budi daya sistem hidroponik. Hasil penelitian (Komalasari et al., 2019) menyatakan penggunaan biofertilizer konsorsium bakteri endofit mampu mengurangi penggunaan pupuk anorganik. Menurut (Wulansari et al., 2021) penggunaan biofertilizer dalam bentuk cair dapat mengurangi penggunaan pupuk AB-Mix 25 %. Biofertilizer konsorsium bakteri endofit pada medium tanam berasosiasi dengan jaringan akar, batang, dan daun. Melalui jaringan perakaran, bakteri endofit masuk ke jaringan tanaman batang dan daun melalui xilem.

Konsorsium bakteri endofit sebagai agens fitoreasi. Bakteri yang memiliki kemampuan dalam fitoremediasi diisolasi dari tanaman yang terkontaminasi logam berat. Konsorsium bakteri dapat mendetoksifikasi kontaminan dengan mekanisme yang dimiliki bakteri. Bakteri yang resisten terhadap logam berat disebabkan biosorpsi yang menyerap logam secara pasif sehingga logam tidak merusak struktur sel bakteri dan proses bioakumulasi yang merupakan proses secara aktif sehingga dapat merusak sel bakteri (Mukherjee et al., 2018).

D. Perumusan Masalah

Permasalahan tentang bakteri endofit meliputi proses isolasi, pengujian potensinya sebagai pengendali hayati, pemacu pertumbuhan dan hasil tanaman, penginduksi ketahanan tanaman sampai dengan penyusunan konsorsium untuk dibuat suatu formula yang siap diaplikasikan oleh petani. Berdasarkan hal tersebut maka dapat disusun perumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah metode yang tepat untuk mendapatkan bakteri endofit dari tanaman?

2. Apakah bakteri endofit berpotensi sebagai antagonis yang mampu sebagai pengendali hayati terhadap patogen dan penyakit tanaman?
3. Apakah bakteri endofit yang diperoleh mampu menunjukkan potensinya sebagai pemacu pertumbuhan dan hasil tanaman, yang ditunjukkan oleh kemampuannya sebagai penghasil IAA, siderofor, pelarut fosfat, pemfiksasi N, penghasil HCN?
4. Apakah bakteri endofit berpotensi meningkatkan ketahanan tanaman terhadap patogen, yang ditunjukkan dengan kemampuannya meningkatkan senyawa fenol total?
5. Apakah konsorsium bakteri endofit menunjukkan karakter yang sama dari gabungan karakter yang dimiliki bakteri endofit secara tunggal?
6. Apakah bakteri endofit sebagai penyusun konsorsium bersinergi menunjukkan potensi membantu tanaman melawan penyakit?
7. Apakah konsorsium bakteri endofit dapat memacu pertumbuhan tanaman dan menginduksi ketahanan tanaman terhadap patogen?
8. Apakah komposisi formula cair bakteri endofit dapat mempertahankan daya tahan (*shelf-life*) selama masa simpan?

II. METODE PEMECAHAN MASALAH

Metode yang digunakan untuk memecahkan permasalahan tersebut di atas adalah melaksanakan metode yang tepat dalam isolasi bakteri endofit dari jaringan tanaman baik akar, daun, dan batang. Kunci utama dalam isolasi bakteri endofit agar yang tumbuh pada medium biakan adalah benar-benar endofit adalah dengan mengevaluasi atau mengecek pada bilasan ke tiga (air steril), maka sebagian dari air bilasan tersebut ditumbuhkan pada medium biakan, seiring dengan itu menumbuhkan pula potongan bagian tanaman pada medium setelah sterilisasi permukaan dan dibilas tiga kali. Apabila dari air bilasan ke tiga yang ditumbuhkan pada medium tidak tumbuh mikroba maka pada cawan Petri lain yang ditumbuhi bakteri dari tepi potongan bagian tanaman dapat dipastikan bahwa yang tumbuh tersebut adalah bakteri endofit, selanjutnya dapat dimurnikan, karena sterilisasi permukaannya berhasil dan yang tumbuh betul-betul dari dalam jaringan. Hal ini dijelaskan pada Bab III.A.

Metode pemecahan masalah potensi bakteri endofit penyusun konsorsium dilaksanakan dengan menguji potensi bakteri endofit tersebut sebagai penghasil IAA, siderofor, pelarut fosfat, pemfiksasi N serta penghasil HCN, itu semua menunjukkan potensinya sebagai pemacu pertumbuhan tanaman. Potensi sebagai pengendali penyakit tanaman dilaksanakan dengan metode *dual culture* in vitro terhadap patogen, dan di lahan dilaksanakan dengan aplikasi perendaman benih, penyiraman atau pengocoran dan penyemprotan. Potensi konsorsium bakteri endofit sebagai pengimbas ketahanan tanaman dapat diketahui dengan metode inokulasi pada tanaman, maka bakteri endofit tersebut mampu mentrigger kandungan senyawa fenol pada tanaman menjadi meningkat. Senyawa fenol sebagai indikasi pada tanaman yang tahan terhadap patogen. Hal ini karena senyawa fenol dapat meningkatkan enzim *Phenylalanine Ammonium Lyase* (PAL) dan mensintesis enzim kitinase yang secara fungsional berperan dalam sifat ketahanan tanaman terhadap patogen.

Metode evaluasi bakteri endofit sebagai pengimbas ketahanan dijelaskan pada BAB III.D.

Metode pemecahan masalah dalam karakterisasi bakteri endofit dari konsorsium dilakukan dengan metode seleksi dengan uji kompatibilitas atau kesesuaian bakteri endofit yang berbeda menunjukkan keberagaman, akan tetapi tidak semua bakteri endofit kompatibel dengan bakteri endofit lainnya. Uji kompatibilitas bakteri dilakukan dengan metode goresan silang (*cross streak method*). Kompatibilitas tersebut ditandai dengan tidak adanya aktivitas penghambatan atau zona hambat antar isolat pada goresan. Mekanisme penghambatan mikroba dengan produksi antibiotik, toksin dan siderofor. Metode karakterisasi bakteri endofit dari gabungan karakter dalam konsorsium bakteri endofit dijelaskan pada BAB IV.A.

Metode dalam memecahkan masalah penyakit tanaman dilakukan dengan pengujian potensi konsorsium bakteri endofit terhadap patogen dari golongan bakteri dan golongan jamur. Pengujian tersebut menggunakan tehnik pengujian mekanisme antibiosis terhadap bakteri patogen jamur patogen. konsorsium bakteri endofit dapat menghambat pertumbuhan bakteri patogen *Ralstonia solanacearum* dengan mengamati aktivitas penghambatan yang akan terlihat dengan adanya zona bening pada permukaan pertumbuhan, dan jamur patogen *Ralstonia solani*, *Cercospora* spp. dengan mengamati kerusakan hifa dan penghambatan pertumbuhan. Pertumbuhan patogen dari golongan bakteri dan jamur dapat terhambat karena konsorsium bakteri endofit menghasilkan siderofor, enzim kitinase, protease, selulase, glukonase, siderofor, dan asam sianida sehingga dapat merusak sel dan menghambat pertumbuhan. Potensi konsorsium bakteri endofit dalam melawan patogen dijelaskan pada BAB.V.

Metode pemecahan masalah bakteri endofit dalam memacu pertumbuhan tanaman dan menginduksi ketahanan tanaman terhadap patogen dilaksanakan dengan pengujian aktivitas hormon IAA secara kualitatif dan kuantitatif. Uji kualitatif dilakukan menggunakan medium cair JNFB (*James Nitrogen Free Malat Bromethymol Blue*). Medium JNFB mengandung mikronutrien pepton dengan prekursor triptofan. Triptofan memiliki fungsi yang sangat penting dalam biosintesis IAA.

Triptofan akan disintesis bakteri endofit menjadi senyawa IAA yang kemudian akan dimanfaatkan tanaman dalam pertumbuhannya. Pengujian secara kuantitatif diukur menggunakan spektrofotometer. Metode konsorsium bakteri endofit dalam memacu pertumbuhan tanaman dijelaskan pada BAB.VIA.

Metode dalam pemecahan masalah komposisi formula cair dalam mempertahankan daya tahan (*shelf-life*) selama masa simpan dilakukan dengan menguji beberapa medium pembawa dalam memenuhi nutrisi selama penyimpanan. Komposisi medium pembawa tersebut diantaranya yaitu 100g kentang: 5 g gula: 2 g terasi: 2 liter air. Medium perbanyak dengan bahan pembawa berbentuk cair harus menyimpan banyak bahan organik agar viabilitasnya semain baik. Penentuan bahan pembawa memperhatikan daya simpan produk. Viabilitas bahan pembawa merupakan cara untuk dapat mengevaluasi masa kadaluarsa. Dengan viabilitas yang semakin lama, maka kadaluarsa biopestisida dari konsorsium bakteri endofit akan semakin panjang. Metode komposisi formula cair pada konsorsium bakteri endofit dijelaskan pada BAB. VII.

III. BAKTERI ENDOFIT

A. Metode Isolasi Bakteri Endofit

Bakteri endofit merupakan mikroba menguntungkan yang berinteraksi dengan tanaman tanpa menyebabkan gangguan atau kerusakan. Bakteri endofit masuk ke dalam jaringan tanaman melalui akar, namun bagian tanaman yang terpapar udara langsung seperti bunga, batang dan kotiledon juga menjadi jalur masuk bakteri endofit.

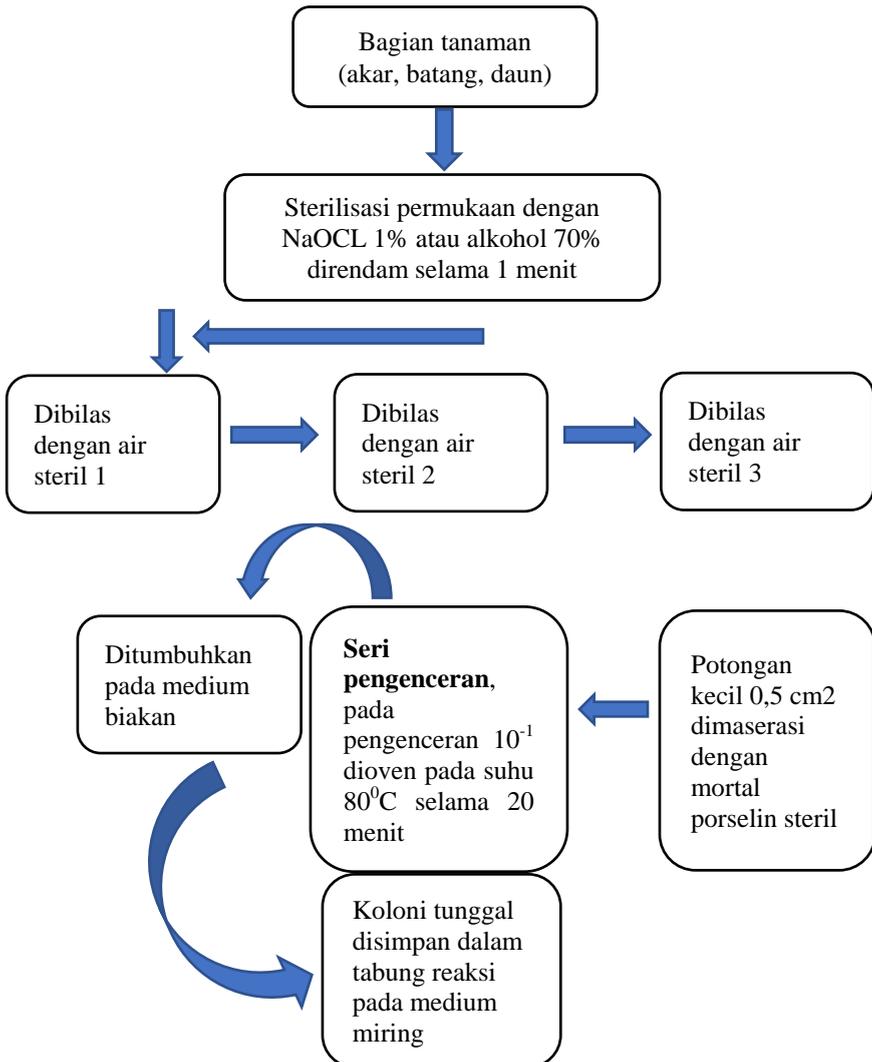
Isolasi bakteri endofit diawali dengan mencuci sampel daun, akar, batang dan bagian tanaman lainnya dengan cara sterilisasi permukaan dengan merendamnya dalam etanol 70% selama 5 menit atau sodium hipoklorit (NaOCL) 1% selama 1 menit dan dibilas berseri tiga kali dengan air steril. Kelebihan air dikeringkan dengan laminar airflow. Permukaan sampel yang sudah steril kemudian dipotong menjadi ukuran kurang lebih 0,5 cm² pada kondisi aseptik.

Sterilisasi permukaan dimaksudkan untuk memastikan permukaan bagian tanaman sudah tereliminasi dari mikroba permukaan. Tiap-tiap bagian diletakkan pada medium NA (*nutrient agar*). Plate agar diinkubasi di dalam inkubator pada suhu kamar 30-1⁰C, bakteri yang tumbuh pada medium NA diamati 3-5 hari setelah inkubasi. Koloni tunggal yang tumbuh direinokulasi pada medium NA baru untuk menyeleksi karakter morfologi dan kemudian kultur murni yang tetap ditumbuhkan secara *slant culture* untuk keperluan selanjutnya. Tahapan cara isolasi bakteri endofit bertarget *Bacillus* sp. ditunjukkan pada Gambar 2.

Tahap 1. Sterilisasi permukaan

Akar tanaman sehat dibersihkan dari tanah kemudian dipotong-potong kecil ditimbang 5 g dan disterilisasi permukaannya dengan alkohol 70% kemudian dibilas dengan air steril 3 kali. Untuk memastikan bahwa yang tumbuh adalah dari jaringan tanaman, maka pada air cucian/ bilasan ketiga diambil 0,1 ml ditumbuhkan pada medium yang sudah memadat

kurang lebih 1 hari. Apabila tidak tumbuh bakteri maka sterilisasi permukaan berhasil dan nantinya yang akan tumbuh adalah bakteri endofit. Hal ini merupakan langkah kunci yang penting dalam isolasi bakteri endofit. Sterilisasi permukaan merupakan cara kerja pertama yang harus dilakukan secara aseptik pada saat isolasi bakteri endofit.



Gambar 2. Tahapan cara isolasi bakteri endofit bertarget *Bacillus* sp. Sumber: Prihatiningsih et al. 2020

Tahap 2. Maserasi

Maserasi dilakukan pada mortal porselen yang steril, hasil maserasi dari 5 g akar tersebut di atas dimasukkan ke dalam air steril 45 ml dalam erlenmeyer steril dan dishaker 150 rpm selama 20 menit, kemudian dibiarkan beberapa saat kurang lebih 5 menit.

Tahap 3. Seri pengenceran dan pemanasan pada oven

Setelah maserasi, suspensi dari tahap 2 diambil 1 ml dan diencerkan dalam 9 ml air steril. Pada pengenceran 10^{-1} ini, suspensi dipanaskan dalam oven 80°C selama 20 menit untuk mengeliminasi bakteri lain yang tumbuh karena bakteri lain akan mati pada suhu tersebut, sedangkan *Bacillus* sp. masih dapat bertahan hidup karena memiliki endospora. Setelah 20 menit dalam oven kemudian dilakukan seri pengenceran sampai 10^{-4} , kemudian dari 10^{-2} sampai dengan 10^{-4} diambil 50 μl untuk ditumbuhkan secara *spread plate* sebelumnya. Koloni yang tumbuh kemudian diidentifikasi secara morfologi koloni, sel, endospora, dan karakter fisiologi, meliputi uji Gram, uji katalase, uji pertumbuhan pada variasi suhu, kandungan NaCl, dan sumber senyawa karbon. Uji biokimia meliputi kemampuan mereduksi nitrat, penghasil siderofor, penghasil fitohormon, pelarut fospat, penghasil enzim hidrolisis dan ketahanan terhadap antibiotik.

B. Bakteri Endofit sebagai Agens Pengendali Hayati

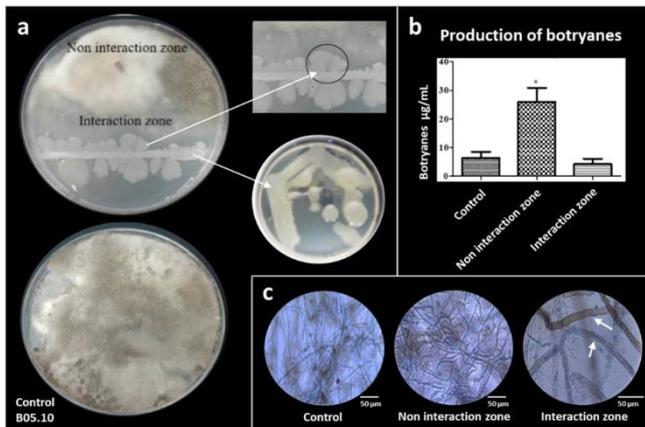
Bakteri Endofit agens pengendali hayati adalah organisme jenis bakteri yang berasal dari jaringan tanaman yang dapat digunakan sebagai pengendali organisme pengganggu tumbuhan yang ramah lingkungan. Bakteri endofit dapat diisolasi dari seluruh bagian tanaman, yaitu akar, batang, daun tanaman. Isolat bakteri endofit yang akan digunakan sebagai agens pengendali hayati terlebih dahulu diuji kemampuan antagonisnya. Antagonis adalah kemampuan agens hayati dalam menghambat perkembangan suatu patogen tanaman.

Tabel 1. Macam-macam bakteri endofit dalam mengendalikan patogen

No	Bakteri endofit	Tanaman inang	Patogen	Pengaruh terhadap patogen	Referensi
1	<i>Pseudomonas putida</i>	Kacangan	<i>Uromyces appendiculatus</i>	Pertumbuhan patogen yang tidak normal, lisis, dan menyusutnya hifa patogen	Abo-Elyousr et al., (2021)
2	<i>Pseudomonas</i> spp.	Seledri	<i>Meloidogyne</i> spp	Menghasilkan enzim protease yang menyebabkan kematian pada <i>Meloidogyne</i> spp	(Afriyani et al., 2020)
3	<i>Bacillus</i> sp dan <i>Burkholderia</i> sp.	Kedelai	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i> , <i>Phomopsis sojae</i> dan <i>Rhizoctonia solani</i> .	Menghasilkan senyawa antimikroba dalam kultur supernatan, bakteriosin dan metabolit sekunder	(Lopes et al., 2018)
4	<i>Burkholderia</i> , <i>Rahnella</i> , <i>Pseudomonas</i> , dan <i>Curtobacterium</i>	Salicaceae	<i>Rhizoctonia solani</i> AG-8, <i>Fusarium culmorum</i> , <i>Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i> , dan <i>Pythium ultimum</i>	Menghasilkan metabolit antijamur, occidiofungin dan hidrogen sianida. IAA, trikalsium fosfat terlarut, dan siderofor	(Kandel et al., 2017)
5	<i>Bacillus subtilis</i>	Kentang	<i>Xanthomonas oryzae</i> pv. <i>oryzae</i>	Menghasilkan antibiotik	Djarmiko et al., 2022
6	<i>Bacillus</i>	Grapevine	<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Phytophthora infestans</i>	L-Dihydroxanthurenic acid, Trimethylpyrazine, L-Dihydroxanthurenic acid, Dihydrochalcone	Bruisson et al., 2019

Genus *Bacillus* spp dan *Pseudomonas* spp dalam fungsinya sebagai pengendali hayati yaitu dapat menghambat pertumbuhan *Pectobacterium carotovorum*, *Phytophthora infestans*, *Alternaria solani*, *Fusarium solani*, *Rhizoctonia solani* in-vitro dengan menghasilkan siderofor. Pada penelitiannya di Green house *Bacillus* yang telah diidentifikasi sekuensing gen 16S rRNA, *B. subtilis* 30B-B6 secara signifikan dapat mengurangi penyakit busuk daun yang disebabkan oleh *P. infestans* (Caulier et al., 2018). 5 strain Bp 2(2), Jg3(3), Bgd1(1), Jg 1(3) dan Jg 1(4) *Bacillus* spp. juga dapat dimanfaatkan sebagai agens pengendali *Xanthomonas axonopodis* pv. *Glycines* (Xag) pada tanaman kedelai dengan menghidrolisis karbon dan menghasilkan antibiotik (Nurchayanti & Ayu, 2020).

Bakteri endofit *B. subtilis* asal tanaman jagung memiliki potensi dalam mengendalikan patogen *Botrytis cinerea*. Hasil isolasi didapat 5 strain *B. subtilis* (2S, 5Cs, 5Cm, 6Ss, 6Sm). Identifikasi awal yaitu dengan uji antagonis pada patogen *B. cinerea* di medium PDA dengan mengamati daya hambat pada miselium. Uji lanjut dilakukan dengan mengamati kandungan IAA, kelarutan fosfat, kelarutan potasium, pertumbuhan pada medium bebas Nitrogen, aktivitas proteolitik, aktivitas amilosa, deteksi siderofor, produksi Botryane pada uji antagonis. *Botryane* merupakan kelas seskuiterpen yang diturunkan dari metabolit sekunder yang menampilkan karakteristik sistem non-isoprenoid bisiklik dan ditemukan pada spektrum aktivitas biologi, seperti fitotoksisitas dan anti mikrobal (Su et al., 2020).



Gambar 3. Kultur *B. subtilis* 6Sm dengan patogen *B. cinerea* B0510 (a). zona interaksi penghambatan, (b) produksi botryanes pada kontrol, zona tanpa interaksi, dan zona interaksi, (c) karakteristik hifa *B. cinerea* B0510 pada kontrol, *B. cinerea* B0510 tanpa interaksi dan pada zona interaksi (Bolivar-Anillo et al., 2021).

Lipopeptida yang dihasilkan bakteri endofit menyebabkan malformasi morfologi dan kerusakan hifa jamur patogen seperti pembentukan pori, pengeritingan, plasmolisis maupun kerusakan disintegrasi dan pembengkakan hifa. Pengamatan di mikroskop elekton nampak mekanisme yang menyebabkan terjadi perubahan struktur dalam sel hifa jamur (Hasan et al., 2020).

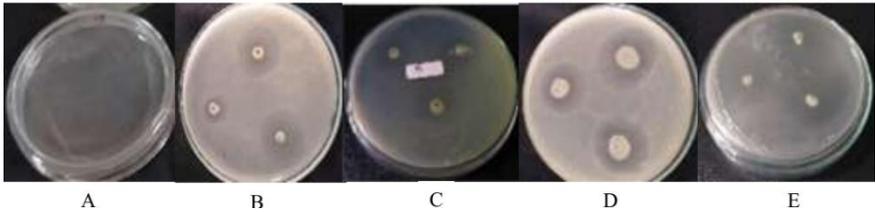
Pengaruh bakteri *P. putida* dalam melawan penyakit karat kacang yang disebabkan oleh *Uromyces appendiculatus*. Penekanan patogen dilakukan *P. putida* ASU15 dengan aktivitas enzim kitinase, lipase dan protease. Enzim ini akan membuat pertumbuhan patogen yang tidak normal, lisis, dan menyusutnya hifa patogen *U. appendiculatus* serta menekan pertumbuhan patogen. Aktivitas kitinase dapat menghidrolisis kitin pada sel jamur patogen sehingga dapat menekan pertumbuhan patogen. Aktivitas mikroba endofit juga dapat meningkatkan ketahanan sistemik pada tanaman, melindungi tanaman dari serangan patogen tanah dengan memproduksi biofilm di sekitar perakaran tanaman (Abo-Elyousr et al., 2021).

Penghambatan *B. subtilis* terhadap patogen tanaman terung ditunjukkan dengan mekanisme antibiosis dengan menghasilkan metabolit sekunder yaitu siderofor, enzim dan antibiotik. Hasil penelitian menunjukkan aktivitas penghambatan terhadap patogen *Colletotricum gloeosporioides* dan patogen *Ralstonia solanacearum*. *B. subtilis* B298 mampu menghambat *C. gloeosporioides* sebesar 55,4% dan *R. solanacearum* sebesar 22%. Metabolit antifungal ditunjukkan dengan dihasilkannya siderofor, serta enzim hidrolitik seperti protease, lipase, kitinase dan amilase (Prihatiningsih et al., 2017).

Pengendalian hayati *B. subtilis* B298 juga digunakan pada tanaman cabai dengan metode mikroenkapsulasi. Formulasi mikroenkapsulasi yaitu maltodextrin dan gom arab dengan perbandingan 3:2. Maltodextrin berfungsi sebagai bahan penyalut. Penggunaan gom arab dapat menstabilkan emulsi (Khasanah et al., 2015). Penggunaan gom arab sebagai bahan penyalut dapat melindungi senyawa yang ada di dalam emulsi, melindungi mikroba dan metabolit sekunder yang ada di dalamnya. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan penghambatan fenol dan flavonoid sebesar 21,56% dan 50,61%. Hal ini dapat menurunkan insidensi penyakit. Hal ini didukung *B. subtilis* B298 menghasilkan metabolit sekunder enzim kitinase (Prihatiningsih et al., 2019).

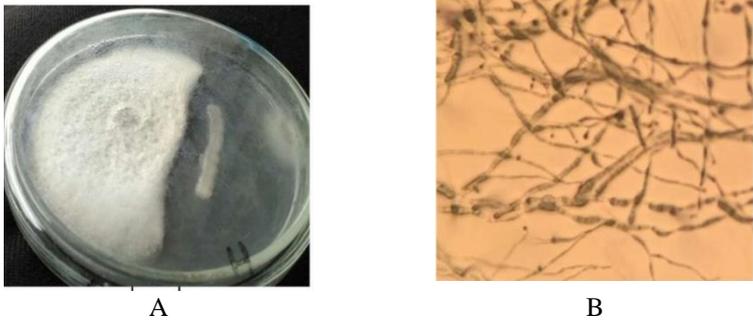
Eksplorasi bakteri endofit dari akar terung mampu menghambat pertumbuhan patogen *R. solanacearum* (Saridewi et al., 2020). Dari hasil penelitian ditemukan 4 bakteri endofit yang teridentifikasi dari golongan *B. subtilis*. uji laboratorium menunjukkan bahwa semua isolat memiliki

mekanisme bakteriostatik dan dapat menghambat pertumbuhan *R. solanacearum*. Diharuskannya antibiotik pada mekanisme bakteriostatik dapat menghambat pertumbuhan *R. solanacearum* dan berimbas pada kekebalan inang.



Gambar 4. Daya hambat bakteri hasil isolasi terhadap *R. solanacearum* secara in-vitro. (A) kontrol, (B) Aka: bakteri endofit akar koloni a isolat Purwokerto, (B) AKb: bakteri endofit akar koloni b isolat Kebumen, (C): AKc: bakteri endofit akar koloni c isolat Kebumen, (E): TK: bakteri rizozfer (Saridewi et al., 2020).

Dampak bakteriostatik pada patogen dapat mengganggu sintesis protein sehingga dapat mengganggu permeabilitas membran dan berakibat lisis.



Gambar 5. Mekanisme *B. subtilis* B298 dalam menghambat *Colletotrichum* sp. In vitro. (A) penghambatan *B. subtilis* B298 dengan *Colletotrichum* sp. (B) mekanisme penghambatan, pembengkakan dan lisis hifa. Sumber (Prihatiningsih et al., 2019).

Mekanisme antifungal ditunjukkan dengan adanya aktivitas siderofor serta enzim hidrolitik lainnya yang dihasilkan oleh *B. subtilis* AI01 dan AI03 yaitu amilase, lipase, protease dan kitinase. Siderofor menghambat pertumbuhan patogen melalui mekanisme antibiosis. *B. subtilis* mampu menghambat jamur patogen *C. gloeosporioides* dengan persentase

penghambatan 55,4% (Prihatiningsih et al., 2017). Isolat *B. subtilis* B315 efektif dalam menghambat perkembangan patogen *R. solanacearum* dengan mekanisme bakteriostatik (Prihatiningsih et al., 2020). *B. subtilis* B315 dapat menekan pertumbuhan *R. solanacearum* dengan zona hambat 14 mm. Aktivitas penghambatan *B. subtilis* B315 ditunjukkan dengan menghasilkan enzim amilase dengan aktivitas 0,802 unit/ml (Prihatiningsih & Djatmiko, 2016b). *B. subtilis* B315 dapat menghambat pertumbuhan *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* dengan penghambatan terbesar 10 mm. Pada formula nanosuspensi zona hambat 2,1 mm dengan index antibiosis 0,42 (Djatmiko et al., 2022). Isolat bakteri AKc mampu menekan intensitas penyakit sebesar 53,84%. Isolat AKc termasuk genus *B. subtilis*. Isolat AKc menunjukkan konsistensi penekanan terhadap penyakit kayu bakteri pada tanaman terung baik pada uji in vitro maupun in planta (Prihatiningsih et al., 2020).

C. Bakteri Endofit sebagai Pemacu Pertumbuhan dan Hasil Tanaman

Bakteri endofit sebagai pemacu pertumbuhan tanaman dipengaruhi adanya enzim, hormon, maupun metabolit sekunder yang berkolerasi dalam meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman. Hormon pertumbuhan tanaman selain diproduksi oleh tanaman itu sendiri, juga dapat diproduksi oleh bakteri endofit. Bakteri endofit sebagai pemacu pertumbuhan dan hasil tanaman sejalan dengan produksi hormon yang dihasilkan oleh bakteri endofit tersebut. Peningkatan pertumbuhan tanaman, baik pada tinggi tanaman, jumlah daun, diameter batang berkorelasi dengan hormon yang dihasilkan oleh bakteri endofit.

Bakteri endofit pemacu pertumbuhan tanaman dapat berperan dalam memfasilitasi pertumbuhan tanaman dengan menyediakan mineral yang dibutuhkan tanaman bidang pangan, hortikultura dan silvikultur. Bakteri endofit penghasil ePGPB (*Endopitic Plant Growth Promoting Bacteria*) memfasilitasi tanaman untuk dapat menyerap unsur mineral seperti nitrogen, fosfor, besi atau memodulasi tanaman dengan menyediakan hormon pemacu pertumbuhan termasuk auksin, sitokinin maupun giberelin (Santoyo et al., 2016).

Tabel 2. Macam-macam bakteri endofit dalam menghasilkan hormon pertumbuhan

No	Bakteri endofit	Tanaman inang	Hormon yang dihasilkan	Pengaruh terhadap tanaman	Referensi
1	<i>Burkholderia</i> , <i>Rahnella</i> , <i>Pseudomonas</i> , dan <i>Curtobacterium</i>	Salicaceae	IAA dan sintesis nutrisi	Menghasilkan metabolit antijamur, occidiofungin dan hidrogen sianida	(Kandel et al., 2017)
2	Isolat DM dan K1K1	Kacang hijau	IAA	Pembenyukan dan penambahan akar lateral	(Herlina et al., 2017)
3	<i>Pseudomonas putida</i> PF-20 dan 24.7B	Tembakau	Siderofor	Pengimbas ketahanan	(Wahyuni & Iwan, 2005)
4	<i>Azotobacter</i>	Jagung	Phospat, siderofor, IAA, amonia, HCN	Meningkatkan pertumbuhan benih	(Agustiyani, 2016)
5	<i>Enterobacter</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Pseudomonas</i> , dan <i>Staphylococcus</i>	Jeruk nipis	AIA	Meningkatkan pertumbuhan tanaman	(Aji & Lestari, 2020)
6	Isolat aK2, aK8, aK14, aK111, dK25, dK28, dK104, dK107, aK35, aK37, dan aK79	Pisang klutuk	AIA	Meningkatkan pertumbuhan	(Rahayu et al., 2021)

Seleksi bakteri endofit dalam potensinya sebagai ePGPB yaitu dengan menguji kemampuannya dalam mensistesis IAA, produksi siderofor, pelarut phospat, fiksasi Nitrogen (Woźniak et al., 2019). IAA merupakan hormon yang memiliki peran dalam pembesaran sel, pembentukan jaringan xilem dan floem, dan dapat berpengaruh pada pemanjangan akar. Perkembangan sel dan akar tersebut dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman.

IAA yang dihasilkan oleh bakteri endofit *Azotobacter* isolat (Az.Ed, Az.Pd.Bd, Az.D.2, Az.Lo.10B) mampu menunjang perkecambahan benih jagung karena menghasilkan amonia relatif, HCN,

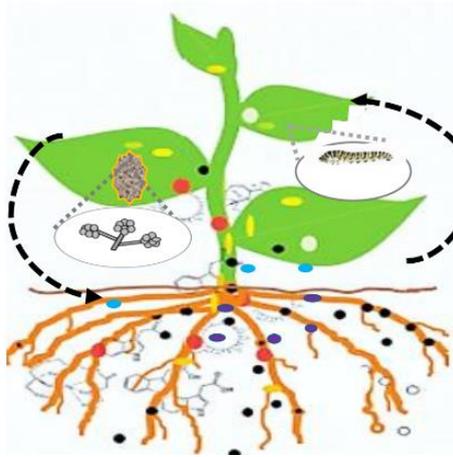
IAA. Hormon ini juga berpengaruh terhadap kandungan klorofil pada tanaman. Meningkatnya kandungan IAA secara langsung dapat merangsang peningkatan kadar klorofil pada tanaman sehingga akan berpengaruh pada bobot tanaman (Agustiyani, 2016).

D. Bakteri Endofit sebagai Penginduksi Ketahanan Tanaman Terhadap Patogen

Penginduksi ketahanan oleh bakteri endofit dilakukan dengan mekanisme dalam menghasilkan siderofor. Contoh bakteri selain *Bacillus* yang dapat menghasilkan siderofor adalah *Pseudomonas* spp. *Pseudomonas* nonfluorescens menghasilkan siderofor yaitu piokelin. Piokelin terdiri dari asam salisilat. Asam salisilat berfungsi sebagai siderofor endogenus dalam menginduksi ketahanan sistemik tanaman (Marten et al., 2018).

Kumpulan bakteri endofit memunculkan ISR atau ketahanan terimbas pada tanaman sehingga dapat mengurangi keparahan penyakit dan memperbaiki stres pada tanaman. Bakteri endofit juga dapat meningkatkan ketahanan terhadap serangan hama. Pada sebuah penelitian, ditemukan bahwa *B. pumilus* SE34 menginduksi ISR dengan memproduksi zat beracun fenolat, fitoaleksin dan akumulasi kitinase serta enzim hidrolitik yang berperan dalam merangsang pertahanan tanaman. Penginduksi toleransi yang dihasilkan bakteri endofit yaitu melalui molekul 1-aminocyclopropane-1-karboksilat yaitu sebagai produksi deaminase (Benhamou et al., 1998).

Bakteri endofit dapat melindungi inangnya baik secara langsung maupun tidak langsung. Secara langsung dengan memproduksi senyawa antimikroba termasuk enzim hidrolitik antibiotik dan senyawa organik. Secara tidak langsung dengan menghasilkan protein yang menghalangi patogenesitas dari patogen yaitu senyawa PR-1, PR-2, PR-3 dan PR-4. Enzim tersebut merupakan antioksidan dan stimulan sekunder hasil metabolisme inang dan bakteri endofit (Oukala et al., 2021). Ketahanan terimbas tanaman tembakau muncul secara spesifik dengan melindungi inang pada kondisi sesuai. Selanjutnya ketahanan dapat timbul lebih baik melalui perlakuan dua strain bakteri dibandingkan strain tunggal (Klopper et al., 2004).



Gambar 6. Mekanisme bakteri endofit dalam perlindungan tanaman terhadap patogen dan hama. Sumber (Benhamou et al., 1998).

E. Prospek Pengembangan Bakteri Endofit sebagai Agens Pengendali Hayati

Penggunaan bakteri endofit dalam pengendalian hayati mulai dikembangkan untuk menciptakan pola budidaya pertanian berkelanjutan. Penggunaan fungisida sintetis pada saat ini telah mengancam ekosistem pertanian sehingga penggunaannya perlu digantikan dengan fungisida hayati yang berasal dari bakteri endofit. Fungisida hayati berbasis bakteri endofit merupakan fungisida yang ramah lingkungan, ramah ekosistem dan ramah terhadap produk hasil pertanian. Fungisida ini memiliki peran dalam mengendalikan patogen tanaman dari golongan jamur, bakteri, nematoda bahkan hama tanaman.

Peran bakteri endofit dalam mengendalikan patogen dari golongan jamur disampaikan oleh Putri et al. (2016) yang menuliskan penggunaan bakteri endofit asal tanaman karet dapat menghambat perkembangan penyakit akar putih yang disebabkan oleh patogen golongan jamur *Rigidoporus micropus*. Uji antagonis di Laboratorium, bakteri endofit dapat menekan pertumbuhan miselium ditunjukkan dengan adanya kerusakan hifa patogen. Penghambatan tersebut disebabkan oleh metabolit sekunder yang dihasilkan bakteri endofit. Berdasarkan uji kromatografi, metabolit sekunder yang dihasilkan bakteri endofit asal

tanaman karet yaitu dari golongan amida, asam, quinin, derivat indol, steroid, azole, alkohol dan hidrokarbon.

Pengembangan secara *in planta* disampaikan oleh (Rahma et al., 2014) dalam aplikasi bakteri endofit untuk menekan penyakit layu Stewart yang disebabkan patogen *Pantoea stewartii* subsp. *Stewartii* pada tanaman jagung. Hasil penelitian menyatakan bahwa perlakuan menggunakan bakteri endofit dapat menekan periode inkubasi, menekan keparahan penyakit sampai dengan 48,95-55,60%, dapat menginduksi ketahanan tanaman jagung terhadap infeksi *P. stewartii*. Prospek pengembangan bakteri endofit memiliki peran penting dalam mendukung pertanian berkelanjutan. Sifat bakteri endofit yang tidak berdampak negatif pada jaringan tanaman menunjukkan kemungkinan adanya simbiosis mutualisme bakteri endofit dengan tanaman (Munif, 2003).

IV. KONSORSIUM BAKTERI ENDOFIT

A. Metode Seleksi bakteri Endofit sebagai Penyusun Konsorsium

Isolat tunggal bakteri endofit berpotensi sebagai agens biokontrol dan pemacu pertumbuhan tanaman telah banyak diidentifikasi, akan tetapi konsorsium bakteri endofit perlu dilakukan untuk mengoptimalkan berbagai peran bakteri endofit. Metode seleksi bakteri endofit sebagai penyusun konsorsium yaitu dengan isolasi, uji hipersensitif, uji antagonis dan uji kompatibilitas.

Isolasi bakteri endofit dapat diperoleh dari seluruh bagian tanaman yaitu akar, batang, daun. Bagian tanaman diambil sampel sebanyak 1 g kemudian disterilisasi permukaan dengan perendaman alkohol 70% atau larutan hipoklorit kemudian dibilas dengan air steril 3 kali. Sampel steril dikeringkan dan ditempelkan pada medium TSA untuk mengetahui keberhasilan sterilisasi permukaan. Untuk mendapatkan bakteri, sampel bagian tanaman dihaluskan dengan ditambahkan air steril 1:10. Selanjutnya suspensi diencerkan pada 10^1 dan ditumbuhkan pada medium TSA 20%, diinkubasi pada suhu ruang selama 3 hari (Munif et al., 2012).

Uji hipersensitif dilakukan untuk mengetahui karakter bakteri endofit bersifat antagonis. Uji hipersensitif dilakukan dengan menginjeksikan konsorsium bakteri pada tanaman tembakau. Apabila tanaman tembakau tidak menunjukkan gejala nekrosis maka konsorsium bakteri termasuk dalam golongan antagonis dan dapat digunakan pada uji selanjutnya (Wijaya & Advinda, 2021).

Uji antagonis bertujuan untuk mendapatkan konsorsium bakteri endofit yang berpotensi sebagai agens pengendali hayati. Pengujian dilakukan dengan cara menumbuhkan konsorsium bakteri endofit bersamaan dengan patogen dalam medium PDA apabila patogen tergolong dalam kelas jamur dan NA apabila patogen tergolong kelas

bakteri. Jamur patogen ditumbuhkan pada bagian tengah cawan petri dan bakteri ditumbuhkan pada jarak 2-3 cm ke arah tepi cawan Petri. Pengamatan dilakukan dengan mengamati zona pertumbuhan patogen yang mengarah pada bakteri endofit (R2) dan yang berlawanan sebagai kontrol (R1) (Purnawati et al., 2019). Penghambatan dihitung berdasarkan rumus (Muthukumar & Venkatesh, 2013)

$$I = (C - T) / C \times 100\%$$

I = Penghambatan (%)

C = Pertumbuhan koloni yang berlawanan dengan kertas saring yang mengandung konsorsium bakteri endofit

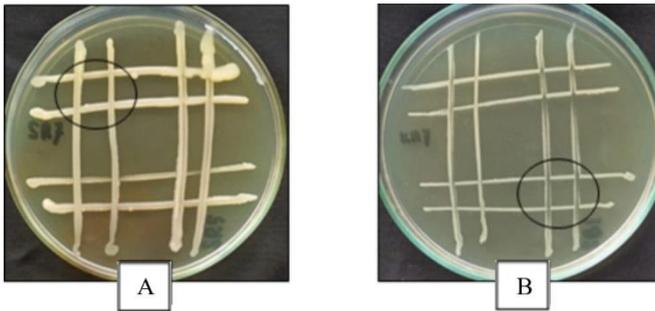
T = Pertumbuhan koloni yang mengarah ke kertas saring yang mengandung konsorsium bakteri endofit

Uji kompatibilitas atau kesesuaian bakteri endofit yang berbeda menunjukkan keragaman, akan tetapi tidak semua bakteri endofit kompatibel dengan bakteri endofit lainnya. Uji kompatibilitas bakteri dilakukan dengan metode goresan silang (*cross streak method*). Dua atau lebih bakteri digoreskan secara vertikal dan horizontal pada medium NA, selanjutnya diinkubasi pada suhu ruang selama 48 jam. Pengamatan dilakukan pada pertemuan goresan vertikal dan horizontal. Apabila nampak penghambatan pertumbuhan pada bakteri endofit seperti zona bening pada persimpangan goresan, maka bakteri endofit tidak kompatibel satu dengan lainnya (Resti et al., 2018). Berdasarkan kesesuaian tersebut diperoleh bakteri endofit penyusun konsorsium.

Hasil penelitian Prihatiningsih et al. (2022) menunjukkan adanya kompatibilitas bakteri endofit yang berasal dari Petanahan, Kabupaten Kebumen, Karangwangkal, dan Sumbang, Kabupaten Banyumas. Isolat tersebut diantaranya A5, A6, KR4, KR7, dan SB3. Paten yang telah didaftarkan tentang Konsorsium bakteri endofit sebagai pengendali patogen hawar daun bakteri, dengan nomor pendaftaran paten nomor P00202108038 tanggal 27 September 2021.

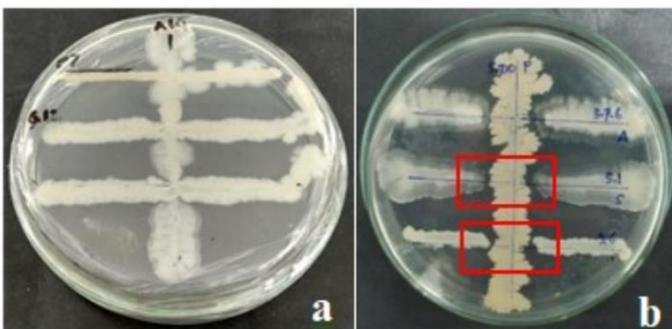
Kompatibilitas tersebut ditandai dengan tidak adanya aktivitas penghambatan pada saat diuji di cawan Petri (Gambar 7.). Gambar A menunjukkan kompatibilitas dua isolat bakteri endofit dengan tidak adanya penghambatan lisis atau kerusakan pada goresan isolat. Gambar B

menunjukkan adanya lisis pada goresan yang saling berkaitan. Hal tersebut menunjukkan bahwa isolat bakteri endofit tidak kompatibel.



Gambar 7. Uji kompatibilitas dua isolat bakteri endofit pada masing-masing cawan Petri (A) kompatibel dan (B) kurang kompatibel. Sumber (Prihatiningsih et al., 2022).

Penyusunan bakteri endofit yang digunakan untuk konsorsium untuk menganalisis aktivitas enzimatis digunakan metode saling silang (Fitriasari et al., 2020). Metode saling silang dilakukan dalam satu cawan Petri pada medium NA. Konsorsium bakteri yang kompatibel tidak menunjukkan aktivitas antagonisme dengan adanya zona hambat antar isolat pada goresan. Mekanisme penghambatan mikroba dengan produksi antibiotik, toksin dan siderofor.



Gambar 8. Kompatibilitas bakteri dengan uji antagonisme (a) kompatibel dan (b) tidak kompatibel. Sumber (Fitriasari et al., 2020).

Uji kompatibilitas konsorsium bakteri endofit juga dapat dilakukan dengan metode *paper disk diffusion* pada medium cair *Nutrient Broth* (NB). Hal yang pertama dilakukan yaitu menumbuhkan koloni tunggal isolat konsorsium bakteri dan diinkubasi selama 24 jam. Uji kompatibilitas dilakukan dengan menanam suspensi isolat bakteri endofit A pada medium NA kemudian diratakan dengan glass L, selanjutnya diletakkan kertas saring yang telah direndam suspensi isolat bakteri B. Pengujian dilakukan secara *vice versa* dengan 3 isolat yang dimiliki. Indikasi pasangan isolat yang kompatibel dengan isolat yang lain yaitu terbentuknya zona bening (Pradana et al., 2022).

B. Pengujian Eksistensi Bakteri dalam Konsorsium Bakteri Endofit (*shelf-life*)

Penyimpanan mikroba sangat penting untuk diperhatikan agar mikroba bakteri endofit tidak mengalami penurunan viabilitas selama masa simpan. Umur simpan bakteri endofit (*shelf-life*) dipengaruhi oleh teknik penyimpanan yang dilakukan. Penyimpanan mikroba pada hakekatnya menghentikan atau mengurangi laju pemakaian energi sel sehingga dapat memperpanjang umur mikroba bakteri endofit dengan tetap memelihara viabilitasnya.

Bakteri endofit yang telah lama disimpan memungkinkan penurunan viabilitas sehingga perlu diuji kembali dengan tujuan untuk mengetahui perubahan fungsi dan kemampuan bakteri endofit. Viabilitas bakteri endofit dapat terpelihara dengan metode penyimpanan yang tepat, yaitu dengan tetap mempertahankan ciri genetik bakteri endofit serta efisien dalam biaya serta biaya. Penyimpanan bakteri endofit dapat dilakukan dengan metode beku pada suhu -20°C setelah dibuat bentuk pelet (Najmiyati & Akhadi, 2012), dan metode *Freeze drying* (Maciag et al., 2020), dan liofilisasi (Syafira & Shovitri, 2021).

Selain metode penyimpanan, medium atau nutrisi pembawa pada saat masa simpan juga sangat mempengaruhi viabilitas bakteri endofit. Bakteri memiliki empat fase dalam kehidupan. Yaitu, fase lag, fase eksponensial atau fase logaritmik, fase stasioner, dan fase kematian. Apabila bakteri endofit berperan aktif pada medium pembawa saat masa simpan, maka setelah melalui masa simpan dan sudah memasuki masa

kematian, maka apabila diaplikasikan bakteri endofit tersebut tidak efektif dalam mengendalikan patogen.

Pengujian eksistensi bakteri endofit dilakukan dengan menumbuhkan kembali bakteri endofit setelah masa simpan pada medium NA. Eksistensi bakteri endofit ditunjukkan dengan kemampuan tumbuh pada medium NA tersebut. Pada penelitian (Najmiyati & Akhadi, 2012) pengamatan viabilitas mikroba ditumbuhkan kembali pada medium NA dengan menggunakan penghitungan koloni setelah ditumbuhkan pada cawan Petri pada inkubasi 48 jam. Hal lain yang dilakukan yaitu dengan menghitung *Total Petroleum Hidrokarbon* (TPH) untuk dapat mengukur kemampuan konsorsium bakteri dalam menghidrolisis Hidrokarbon.

C. Komposisi Konsorsium Bakteri Endofit

Konsorsium bakteri endofit merupakan gabungan dari beberapa bakteri endofit yang berbeda, yang dapat saling bekerja sama/bersinergi, dan dapat menghambat perkembangan patogen bersama-sama (Rambe et al., 2020). Konsorsium bakteri endofit membutuhkan formula nutrisi untuk dapat bertahan hidup pada fase penyimpanan dan selanjutnya diaplikasikan untuk tanaman budidaya. Komposisi biofertilizer berbasis konsorsium bakteri endofit terdiri atas larutan induk dan medium pembawa. Pembuatan biofertilizer dibutuhkan *carrier* atau medium pembawa yang berfungsi untuk memfasilitasi jumlah sel yang juga akan meningkatkan daya tahan bakteri endofit ketika diaplikasikan secara luas. Manguntungi et al. (2018) menuliskan bahwa bahan pembawa tersebut berbentuk *Liquid carriers* yang berasal dari limbah kompos. Lebih lanjut, dalam fungsinya untuk diproduksi masal komposisi yang digunakan yaitu 100 ml *Liquid carriers* ditambahkan 1% larutan induk konsorsium bakteri endofit.

Prihatiningsih et al. (2019), mengembangkan mikroenkapsulasi berbasis *B. subtilis* B298 dalam manajemen pengelolaan penyakit antraknosa pada cabai. Komposisi mikroenkapsulan yaitu maltodextrin, gum arab dan larutan induk *B. subtilis* B298. Metode pengeringan formula dapat menggunakan *freeze drying* maupun pengeringan dengan oven. Mikroenkapsulan berukuran partikel dengan ukuran 1-5000 μm . Kelebihan mikroenkapsulasi yaitu dapat melindungi mikroba dari

lingkungan, dapat mengubah komponen cair menjadi padat sehingga lebih mudah dalam distribusi dan aplikasi, dapat memisahkan komponen yang tidak sesuai, serta melindungi dan mengontrol pelepasan agens hayati. Mikroenkapsulan dapat digunakan sebagai medium pembawa konsorsium setelah uji kompatibilitas.

Invensi ini mengenai formulasi biopestisida yang terdiri dari medium tanam organik, talk (CaCO_3), CMC 1% dan manitol 1% dengan perbandingan 10:5:1:1: dan dengan penambahan *Bacillus* sp. B298. Bahan pembawa medium tanam organik terdiri atas sekam bakar, pupuk kandang, cocopit dan bokasi, dengan perbandingan 1:3:3:1. Penambahan *Bacillus* sp. pada formulasi biopestisida sebanyak $\frac{1}{4}$ v/b komposisi formula, dengan kepadatan 10^{10} cfu/ml. *Bacillus* sp. B298 yang digunakan umur 2 hari dalam medium YPGA dipanen dan disuspensikan dengan 100 ml air steril. Suspensi ini disemprotkan pada formula yang telah dibuat, diaduk supaya merata, kemudian disimpan pada suhu kamar $26,5^\circ\text{C}$. Penggunaan atau aplikasi formulasi biopestisida invensi ini terbaik adalah 2 minggu setelah pencampuran. Aplikasinya adalah dengan cara penyalutan atau penyelimutan pada benih dan umbi langsung sebelum tanam atau dengan cara pemberian pada lubang tanam. Formula ini dibuat oleh (Prihatiningsih & Djatmiko, 2015) dan telah dipatenkan dengan nomor paten IDP000037663 tahun 2015.

Bahan lain yang dapat digunakan untuk produksi masal yaitu medium cair dengan pembawa dari ekstrak tauge, air kelapa, air cucian beras dan ekstrak daging ayam. Bahan lain yang ditambahkan glukosa, urea, dan terasi. Seluruh bahan pembawa di sterilisasi dan ditambahkan larutan induk konsorsium bakteri endofit. Sebanyak 450 ml larutan pembawa kemudian ditambahkan 50 ml larutan induk. Aplikasi pada tanaman 20 ml per tanaman (Pradana et al., 2022). Lebih lanjut, perkembangan jumlah sel yang ada pada formula biofertilizer sangat dipengaruhi oleh ketersediaan nutrisi. Bakteri endofit mengolah nutrisi yang ada pada formula sehingga dimanfaatkan untuk kelangsungan hidupnya. Semakin tinggi jumlah sel dan keragaman konsorsium bakteri endofit pada formula mempengaruhi efektivitas formula dalam meningkatkan daya antagonistik, pertumbuhan, dan hasil tanaman.

Medium cair dengan komposisi daging keong mas dikembangkan oleh (Ulfah & Sulyanti, 2021). Komposisi yang dikembangkan yaitu ekstrak keong mas, air kelapa, sukrosa dan bakteri endofit. Perbandingan yang digunakan 5% ekstrak keong mas + 85% air kelapa + 10% sukrosa. Formulasi ini kemudian disterilkan, ditambahkan korsorsium bakteri endofit dan dishaker selama 2 x 24 jam pada kecepatan 150 rpm.

Formula biobakterisida yang terdiri atas ekstrak kentang, gula pasir dan terasi dengan perbandingan 100:5:2 berbahan aktif *B. subtilis* 315 dengan kerapatan 10^{10} cfu/ml. Berdasarkan karakter *B. subtilis* B315 yang merupakan antagonis mampu mengendalikan penyakit layu pada Solanaceae yang disebabkan oleh *R. solanacearum*. Paten sederhana nomor IDS000003470 (Prihatiningsih et al., 2015).

Barrera et al. (2020) menggunakan metode enkapsulasi atau penyelimutan dalam formulasi biofertilizer. Suspensi enkapsulasi diperoleh dari campuran larutan pektin AKM 4%, CU-L 066/10ha dan air steril. Larutan tersebut ditambahkan maltodextrin, 1% sorbitol, 1% monosodium glutamat, Amiloglukosidase yang digunakan untuk degradasi maltodextrin, larutan pengikat silang kalsium glukonat. Suspensi sel atau larutan induk ditambahkan pada formula yang telah dibuat kemudian diaduk. Selanjutnya ditambahkan kalsium glukonat yang berfungsi sebagai pengikat formula dan larutan induk. Pada tahap akhir, formula dioven pada suhu 30°C selama 24 jam.

Formula tepung dikembangkan oleh (Putri et al., 2016) dengan komposisi formula talk, pepton, CMC, gula merah gula putih, ekstrak khamir, bentonit, kalsium karbonat, dekstrosa, molase. Pada formula tepung dengan pembawa talk, bakteri mampu bertahan pada penyimpanan 6 bulan. Talk merupakan bentuk dari tanah mineral yang berasosiasi dengan kaolinit dan gipsit. Talk memiliki kelebihan dapat sebagai penghisap minyak dan lemak. Penambahan bahan lain pada formula ini sebagai nutrisi yang akan dimanfaatkan bakteri endofit dalam fase penyimpanan.

Prihatiningsih (2020), mengembangkan formula mikroenkapsulan yang telah dipatenkan dengan nomor paten IDS000002704 (Prihatiningsih et al., 2017) Komposisi formula tersebut adalah maltodextrin dan gum arab dengan perbandingan 3:2 serta air steril.

Tujuan formula mikroenkapsulan adalah untuk memperlama masa simpan *B. subtilis* 298, mudah dalam transportasi dan aplikasi.

Uji daya hambat patogen *Bacillus* sp. terhadap *Colletotrichum* sp. dengan formulasi medium tepung memiliki kemampuan yang berbeda tergantung komposisi medium (Fakhruddin & Nurcahyanti, 2020). Formulasi tepung yang digunakan yaitu tepung beras, tepung tapioka, tepung jagung, tepung talk, dengan pembawa urea, glukosa dan CMC (Tabel 3).

Tabel 3. Karakteristik tepung sebelum formulasi dan setelah formulasi.

Formulasi	Tekstur		Bau	
	Sebelum	Sesudah (7hsi)	Sebelum	Sesudah (7hsi)
Tepung beras+urea+glukosa+ CMC	Halus	Remah	Tidak menyengat	Menyengat
Tepung tapioka+urea+glukosa+ CMC	Halus	Agak remah	Tidak menyengat	Agak menyengat
Tepung jagung+urea+glukosa+ CMC	Kasar	Remah	Tidak menyengat	Menyengat
Tepung talk+urea+glukosa+ CMC	Halus	Menggumpal	Tidak menyengat	Agak menyengat

Sumber (Fakhruddin & Nurcahyanti, 2020)

V. PENGUJIAN POTENSI KONSORSIUM BAKTERI ENDOFIT TERHADAP PATOGEN

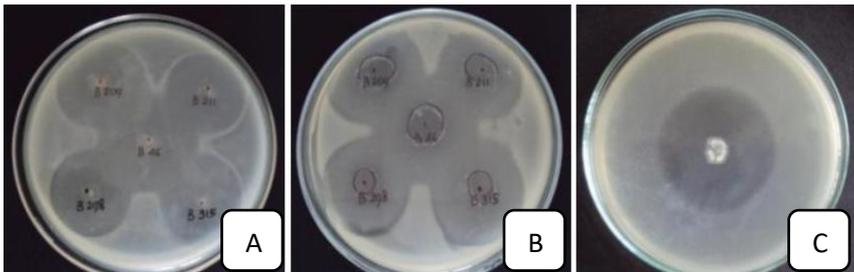
A. Teknik Pengujian Konsorsium Bakteri Endofit terhadap Bakteri Patogen

Teknik pengujian mekanisme antibiosis terhadap bakteri patogen dapat dilakukan dengan metode yang dikembangkan oleh Arwiyanto (1997). Medium King's B yang telah disiapkan dalam cawan Petri selanjutnya dinokulasi *P.fluorescens* dengan tiga strain per cawan Petri. Pada cawan Petri yang lain dengan medium *Tryptic Soy Agar* ditumbuhkan tiga strain *Bacillus* spp. yang berbeda. Inokulum kemudian diinkubasi selama 2 hari dengan suhu 30⁰C. selanjutnya cawan petri dibalik dan pada tutup cawan Petri dituangkan 1 ml larutan cloroform. Perlakuan tersebut dilakukan selama 2-4 jam. Tahap selanjutnya adalah menuangkan suspensi *R. solanacearum* dan diinkubasi selama 24 jam pada suhu 30⁰C. zona hambat yang terbentuk kemudian diukur. Deteksi mekanisme penghambatan dilakukan dengan mengambil secara aseptis kemudian dimasukkan dalam tabung reaksi yang berisi 0,6% air pepton. Agar selanjutnya dihancurkan dan digojok selama 24 jam pada suhu 30⁰C. air pepton akan berubah menjadi keruh yang menunjukkan adanya pertumbuhan bakteri. Air pepton yang mengandung bakteri selanjutnya ditumbuhkan kembali pada medium agar untuk memastikan bakteri yang menghambat.

Metode lain dinyatakan oleh Irfanti et al. (2021) yaitu dengan metode sumuran. Sebelum membuat sumuran, suspensi *R. solanacearum* diinokulasikan pada medium NA menggunakan metode *spread plate*. Selanjutnya sumur dibuat dengan melubangi medium NA pada posisi di tengah dengan menggunakan *cork borer*. Bakteri antagonis *Bacillus* spp. dan *P. fluorescens* kemudian dimasukkan ke dalam lubang sumuran yang telah dibuat. Pengamatan dilakukan setiap 12 jam. Pengamatan dilakukan dengan mengukur zona hambat pertumbuhan bakteri patogen *R.*

solanacearum. Hasil penelitian menunjukkan bakteri *R. solanacearum* mengalami penghambatan dengan ditunjukkan adanya zona bening (Gambar 9). Zona bening terjadi karena bakteri antagonis *Bacillus* spp. dan *P. fluorescens* menghasilkan metabolit sekunder berupa siderofor, kitinase dan sianida sehingga mampu menghambat pertumbuhan bakteri patogen.

Prihatiningsih et al. (2020) melakukan uji penghambatan *R. solanacearum* dengan *Bacillus* spp. menggunakan metode dua lapis. Tahapan yang dilakukan yaitu, setiap koloni *Bacillus* spp. diinokulasi pada medium YPGA kemudian diinkubasi pada suhu ruang selama 24 jam, kemudian cawan petri dibalik pada tutupnya diberi 1 ml chloroform, diinkubasi 2-4 jam. Pada lapisan kedua, setelah cawan Petri dibalik kembali, dituangkan 4 mL agar air dengan kandungan 200 µl suspensi *R. Solanacearum*. Perlakuan tersebut diinkubasi pada suhu ruang selama 48 jam. Aktivitas penghambatan akan terlihat dengan adanya zona bening pada permukaan medium.



Gambar 9. Penghambatan pertumbuhan lima isolat *Bacillus* spp. (A) perlakuan dengan kloroform (B) tanpa kloroform (C) *Bacillus* sp. B315 melawan *R. solanacearum*.

Sumber Prihatiningsih et al. (2020).

B. Teknik Pengujian Konsorsium Bakteri Endofit terhadap Jamur Patogen

Pengujian aktivitas antibiosis konsorsium terhadap jamur patogen dilakukan dengan pengujian antibiosis. Pengujian antibiosis dilakukan dengan menanam kertas saring mengandung konsorsium bakteri endofit ditumbuhkan berhadapan dengan isolat patogen jamur. Marsaoli et al.

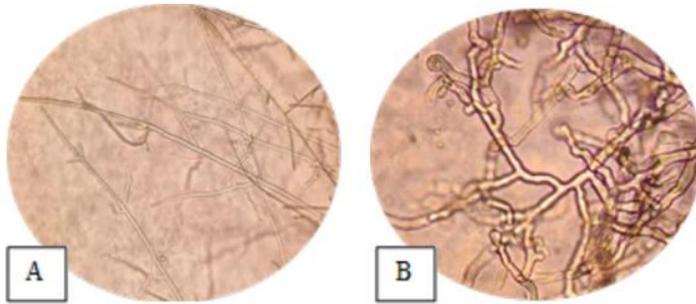
(2020) melakukan pengujian antagonis bakteri endofit dengan isolat patogen *Cercospora* spp. Kertas saring yang digunakan untuk uji antibiosis direndam dengan suspensi bakteri endofit. Selanjutnya kertas saring diletakkan pada cawan Petri yang telah berisi medium PDA dengan jarak 2 cm, sedangkan jamur *Cercospora* spp. dipotong dengan *cork borer* dan diletakkan pada sisi yang berseberangan dengan jarak yang sama. Pengamatan dilakukan setelah inkubasi 48-96 jam, dengan mengamati diameter miselium jamur *Cercospora* spp. ke arah bakteri dan yang berlawanan. Dari hasil perlakuan menunjukkan adanya penekanan bakteri endofit dengan menghambat pertumbuhan jamur patogen. Penghambatan pertumbuhan melalui senyawa antimikroba.

Pada metode yang sama, Prihatiningsih et al. (2022) melakukan uji konsorsium bakteri endofit isolat A5, A6, KR4, KR7, dan SB3 dan dengan patogen *Rizoctonia solani*. Dari hasil uji in-vitro tersebut nampak bahwa pertumbuhan miselium *R. solani* menjadi terhambat.



Gambar 10. Penghambatan konsorsium bakteri endofit terhadap *R. solani*. (A) Pertumbuhan koloni *R. solani* terhadap konsorsium bakteri endofit, (B) Kerusakan ujung hifa *R. solani*, (C) *R. solani* pada pertumbuhan normal.
Sumber (Prihatiningsih et al., 2022)

Kerusakan miselium pada Gambar 10. menunjukkan bakteri menempel pada dinding miselium, menghasilkan siderofor, enzim kitinase, protease, selulase, glukonase, siderofor, dan asam sianida yang berasal dari koloni bakteri sehingga dapat merusak hifa, adanya perubahan struktural sel, perubahan fungsi vakuola sehingga menyebabkan kebocoran protoplas dan keretakan miselium. Kerusakan hifa yang diakibatkan oleh konsorsium bakteri endofit dilihat dengan mikroskop tersaji pada Gambar. 11.

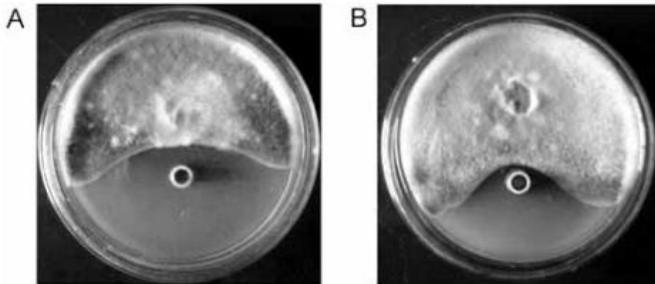


Gambar 11. Mekanisme penghambatan konsorsium bakteri endofit terhadap *R. solani*, malformasi ujung hifa bengkak, lisis, dan pecah. (A) Pertumbuhan hifa normal, (B) Pembengkakan ujung hifa. Sumber (Prihatiningsih et al., 2022)

Senyawa antifungal yang dimiliki oleh konsorsium bakteri antagonis dapat mengakibatkan gangguan pertumbuhan jamur patogen. Gangguan tersebut dapat berupa pembengkakan hifa, lisis, keriting (Lestari et al., 2021; Fiko & Widiyanti, 2019). Senyawa antifungal yang dimiliki diantaranya antibiotik. Senyawa antibiotik yang dimiliki antifungal bersifat toksik dan dapat menghancurkan dinding sel patogen. Senyawa lain yang dimiliki beberapa bakteri juga yaitu berupa enzim ekstraseluler diantaranya enzim kitinase, protease yang mampu merusak dinding sel jamur patogen dengan membuat hifa jamur menjadi lisis. Karakterisi biokimia bakteri endofit dalam mengendalikan penyakit layu ditulis oleh Saridewi et al. (2020) bahwa bakteri endofit menghasilkan enzim protease, amilase, HCN, kitinase. Bakteri endofit golongan *B. subtilis* tipe alami dapat menekan penyakit sebesar 64% (Prihatiningsih et al., 2015).

Identifikasi karakter biokimia dilakukan dengan uji kuantitatif pada metode yang berbeda. Pengujian penghasil enzim protease dilakukan dengan menumbuhkan bakteri endofit pada medium buatan yang mengandung *skim milk agar* kemudian diinkubasi. Zona bening akan nampak pada medium apabila bakteri endofit mampu menghasilkan enzim protease. Zona bening menunjukkan bakteri endofit mampu mendegradasi protein yang ada pada susu skim. Degradasi protein menunjukkan adanya perombakan protein menjadi asam amino pada medium biakan. Produksi enzim protease secara optimal diperoleh pada saat bakteri berada pada fase akhir eksponensial atau awal stasioner.

Metode lain dalam pengujian antagonis yaitu metode sumuran yang diungkapkan oleh Chen & Chen. (2010) dan dikembangkan pada uji konsorsium *B. subtilis* dan *B. megaterium* dengan jamur *Cercospora* sp. oleh (Rochmawati & Trimulyono, 2021).



Gambar 12. Aktivitas antijamur terhadap (A) *Phyllosticta pirina*, (B) *Alternaria alternata* (Fries) Keissler dengan metode sumuran. Sumber (Chen & Chen, 2010).

Metode sumuran yang digunakan yaitu dengan menumbuhkan jamur *Cercospora* sp. pada medium PDA dengan jarak 1,5 cm kemudian diinkubasi pada suhu ruang, dengan jarak sama dibuat sumuran menggunakan *cork borer*. Selanjutnya 100 μ L kultur konsorsium bakteri *B. subtilis* dan *B. megaterium* dimasukkan ke dalam sumuran menggunakan mikropipet. Kepadatan konsorsium bakteri yang digunakan 10^8 CFU/mL. langkah selanjutnya yaitu diinkubasi selama 24 jam pada suhu 32°C . Penghambatan pertumbuhan nampak dalam pertumbuhan jamur *Cercospora* sp. akan dapat menghambat apabila diameter jamur pada perlakuan mengalami penghambatan dibanding kontrol.

VI. PENGUJIAN POTENSI KONSORSIUM BAKTERI ENDOFIT TERHADAP TANAMAN

A. Uji Konsorsium Bakteri Endofit sebagai Pemacu Pertumbuhan Tanaman (Penghasil ZPT)

Pemacu pertumbuhan tanaman yang dihasilkan oleh isolat konsorsium bakteri yaitu dengan dihasilkannya hormon IAA (*Indole-3-Acetic-Acid*). IAA memiliki peran dalam mengatur pertumbuhan tanaman. Pengaruh pemberian bakteri endofit terhadap benih jagung dilaporkan oleh Agustiyani. (2016), bahwa tinggi tanaman jagung dan kandungan klorofil pada perlakuan, menghasilkan panjang akar dan bobot basah tanaman yang nyata.

Pengamatan produksi IAA dengan spektrofotometri yang dilakukan setiap hari selama masa inkubasi konsorsium bakteri. Hasil tersebut dapat dilihat dari banyaknya konsentrasi IAA yang dihasilkan oleh masing-masing bakteri endofit. Perbedaan kemampuan masing-masing bakteri sangat mempengaruhi jumlah IAA yang dihasilkan. Kemampuan mikroba dalam memproduksi IAA dipengaruhi oleh jenis atau spesimen mikroba. Mikroba dengan jenis yang sama tidak akan menghasilkan jumlah maupun kadar IAA yang sama. Lebih lanjut (Wulandari et al., 2019) menyatakan dari uji kualitatif yang dilakukan semakin gelap warna yang dihasilkan maka mengindikasikan semakin tinggi produksi IAA. Hasil penelitian tersebut menunjukkan *Bacillus* sp. yang ditemukan bahwa *Bacillus* sp. 1, *Bacillus* sp. 2, *Bacillus* sp. 3, *Bacillus* sp. 5 menunjukkan perubahan warna merah pada medium. Hal tersebut menunjukkan pada uji kualitatif bakteri dalam menghasilkan IAA, bakteri tersebut memiliki potensi dalam memproduksi IAA. Sedangkan yang tidak memiliki potensi dalam menghasilkan IAA medium tidak menunjukkan perubahan warna.

Tabel 4. Nilai konsentrasi IAA yang dihasilkan oleh konsorsium bakteri endofit akar tanaman ubi jalar var. Papua Patippi serta jumlah bakteri (Valentina et al., 2018)

No	Isolat Konsorsium	Hari ke-	Konsentrasi IAA (ppm)	Rata-rata konsentrasi IAA \pm sd (ppm)	Jumlah sel Bakteri
1	Konsorsium a (A1B1)	1	-0,051	$0,2809 \pm 0,2123$	$2,15 \times 10^6$
		2	0,2256		$2,95 \times 10^6$
		3	0,5167		$6,45 \times 10^6$
		4	0,3566		$4,90 \times 10^6$
		5	0,3566		$4,50 \times 10^6$
2	Konsorsium b (A1B2)	1	0,0219	$0,2751 \pm 0,2170$	$2,75 \times 10^6$
		2	0,2547		$3,55 \times 10^6$
		3	0,4148		$5,00 \times 10^6$
		4	0,5604		$7,05 \times 10^6$
		5	0,1237		$4,10 \times 10^6$
3	Konsorsium c (B1B2)	1	0,4294	$0,8632 \pm 0,6524$	$4,05 \times 10^6$
		2	1,7103		$6,30 \times 10^6$
		3	1,3901		$5,50 \times 10^6$
		4	0,5895		$4,90 \times 10^6$
		5	0,3420		$2,60 \times 10^6$
4	Konsorsium d (A1B4)	1	0,7059	$0,7483 \pm 0,4284$	$5,45 \times 10^6$
		2	1,4628		$10,40 \times 10^6$
		3	0,6914		$10,95 \times 10^6$
		4	0,5167		$6,85 \times 10^6$
		5	0,3420		$5,55 \times 10^6$
5	Konsorsium e (B1B3)	1	0,2838	$0,7644 \pm 0,5579$	$4,15 \times 10^6$
		2	0,8528		$5,05 \times 10^6$
		3	1,6521		$5,20 \times 10^6$
		4	0,7351		$4,70 \times 10^6$
		5	0,2984		$3,60 \times 10^6$
6	Konsorsium f (B2B3)	1	0,4291	$0,9155 \pm 0,3733$	$3,20 \times 10^6$
		2	1,3032		$12,40 \times 10^6$
		3	1,2736		$9,25 \times 10^6$
		4	0,8512		$7,40 \times 10^6$
		5	0,7205		$3,45 \times 10^6$

Selain itu, konsentrasi IAA juga dipengaruhi oleh faktor nutrisi yang tersedia dalam medium. Hal yang sama dipaparkan oleh (Agustian et al., 2010), bahwa produksi IAA dipengaruhi oleh ketersediaan prekursor terutama tersedianya unsur L-triptofan yang terdapat pada

medium. Triptofan merupakan komponen yang sangat penting bagi bakteri endofit dalam melakukan sintesis IAA. Setiap konsorsium dibiakkan pada medium buatan baik cair maupun padat. Valentina et al. (2018) menggunakan medium cair JNFB (*James Nitrogen Free Malat Bromethymol Blue*). Medium JNFB mengandung mikronutrien pepton dengan prekursor triptofan. Triptofan memiliki fungsi yang sangat penting dalam biosintesis IAA. Triptofan akan disintesis bakteri endofit menjadi senyawa IAA yang kemudian akan dimanfaatkan tanaman dalam pertumbuhannya.

Secara umum, konsorsium bakteri endofit menunjukkan peningkatan produksi IAA pada hari kedua dan ketiga setelah inkubasi. Hal tersebut disebabkan bakteri endofit dalam konsorsium sedang berada pada fase eksponensial, bakteri mampu memanfaatkan nutrisi dan diubah menjadi enzim yang akan digunakan untuk sintesis IAA. Oleh sebab itu ketersediaan nutrisi sangat penting dalam mempengaruhi produksi metabolit sekunder khususnya IAA.

Produksi IAA oleh bakteri endofit pada perakaran padi dipaparkan oleh (Prihatiningsih, et al., 2020). IAA merupakan hormon auksin endogen yang dapat disintesis dari seluruh bagian tanaman dan berasosiasi pada jaringan ujung akar, meristem, dan kambium. IAA juga dapat merangsang pembelahan sel, dominasi apikal, serta pembentukan akar lateral dan adventif. Pada penelitian tersebut, diidentifikasi produksi IAA secara kualitatif dan kuantitatif (Tabel 5). IAA yang dihasilkan oleh bakteri endofit dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman padi.

Lebih lanjut Prihatiningsih et al. (2020) menyatakan aplikasi bakteri endofit sangat berpengaruh pada panjang akar, berat segar tanaman, berat segar akar, volume akar, dan berat kering akar.

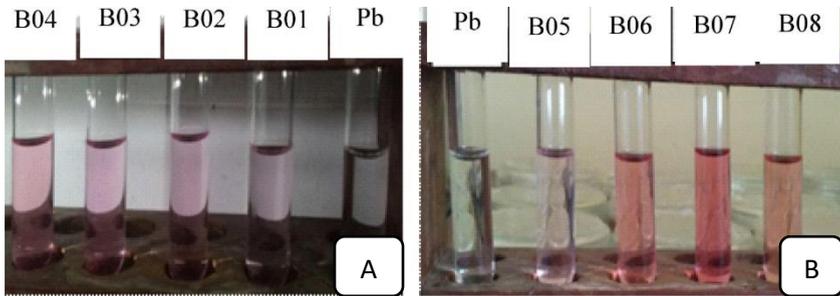
Tabel 5. Aktivitas produksi IAA secara kualitatif dan kuantitatif

Isolat	Kualitatif	Kuantitatif (ppm)
B01	+	67.74
B02	+	75.12
B03	+	57.65
B04	+	75.88
B05	+	66.63
B06	+	69.91
B07	+	79.33
B08	+	73.63

Keterangan: B01: isolat Karangwangkal 7, B02: isolat Karangwangkal 5, B03: isolat Karangwangkal 8, B04: isolat Sumbang 1: B05: isolat Sumbang 2, B06: isolat Serayu 5, B07: isolat Serayu 7, B08: isolat Somagede 1.

Hal ini disebabkan karena produksi IAA sebagai hormon pertumbuhan menyebabkan akar lebih cepat berkembang dan merangsang pembentukan akar serabut sehingga penyerapan nutrisi dapat meningkat dan diikuti oleh pembesaran sel. Peningkatan bobot akar segar dipengaruhi oleh peningkatan penyerapan air. Produksi IAA dihasilkan oleh bakteri yang kemudian dimanfaatkan oleh tanaman.

Aplikasi RREB (Bakteri endofit akar padi) berpengaruh pada panjang akar, bobot segar akar, volume akar, dan bobot kering akar. Isolat bakteri B04 dan B07 menunjukkan peningkatan panjang akar sebesar 39,96% dan 36,53%, volume akar 82,72%, bobot segar akar 79,37% dan bobot kering akar dengan kenaikan 52, 13%. Hal tersebut karena produksi IAA sebagai hormon pertumbuhan menyebabkan perkembangan akar lebih cepat dan permukaan akar yang lebih luas sehingga penyerapan nutrisi meningkat dan diikuti oleh pembesaran sel dan bobot segar akar akan meningkat. Peningkatan bobot segar akar berat terutama disebabkan oleh peningkatan penyerapan air. IAA yang dihasilkan oleh bakteri akan dimanfaatkan oleh tanaman dan akan mengikuti proses metabolisme pada tumbuhan sehingga membantu dalam proses penambahan tinggi, volume akar, akar panjang, dan bobot segar akar.



Gambar 13. Uji produksi IAA. (A) Kontrol (B) Perlakuan bakteri endofit B01-B08. Sumber (Prihatiningsih et al., 2020).

Peningkatan pertumbuhan terjadi karena aplikasi bakteri endofit, sehingga kebutuhan fotosintesis pada fase vegetatif nutrisi terpenuhi pada umur 4 dan 6 minggu setelah tanam sehingga dapat membentuk lebih banyak anakan. Jumlah anakan sangat dipengaruhi oleh ketersediaan nitrogen dan fosfor dalam tanah. Apabila di dalam tanah tersedia nitrogen dalam jumlah cukup maka tanaman dapat menghasilkan jumlah anakan yang banyak meskipun tidak semua anakan menghasilkan malai. Berdasarkan hasil penelitian, perlakuan B04 pada umur 2 minggu menghasilkan jumlah peningkatan anakan tertinggi dibanding kontrol. Perlakuan B07 merupakan perlakuan terbaik dalam meningkatkan tinggi tanaman. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara isolat bakteri endofit dan inang tidak hanya mampu merangsang pembentukan akar tetapi juga dapat merangsang tinggi tanaman padi. Pertumbuhan tanaman dapat ditingkatkan oleh penggunaan bakteri endofit pada fase vegetatif selama pembelahan sel karena dapat merangsang pertumbuhan tanaman dengan memperbesar ukuran daun. Isolat yang efektif dalam memperbesar ukuran daun yaitu isolat B04 dengan peningkatan ukuran total daun sebesar $1069,31 \text{ cm}^2$ atau $122,92\%$ (Prihatiningsih et al., 2020).

IAA yang dihasilkan oleh konsorsium bakteri endofit dapat meningkatkan variabel pertumbuhan tanaman pada beberapa dosis perlakuan. Variabel tersebut diantaranya tinggi tanaman, panjang akar dan bobot tanaman (Ramadhan et al., 2017). Pemberian IAA akan mempengaruhi proses fisiologi tanaman. IAA akan merangsang pembentukan perakaran terutama akar lateral dan akar adventif sehingga

akan mempengaruhi volume dan bobot akar. IAA menyebabkan bertambahnya kesediaan hara. Kesediaan hara akan berpengaruh terhadap proses fotosintesis, merangsang pemanjangan sel, pembelahan sel, sehingga pertumbuhan tanaman menjadi lebih baik.

B. Uji Konsorsium Bakteri Endofit sebagai Penginduksi Ketahanan Tanaman terhadap Patogen (Penghasil Metsek: Enzim, Antibiotik)

Penggunaan pestisida sintetis merupakan salah satu upaya pengendalian untuk menekan resistensi patogen. Penggunaan pestisida sintetis dapat digantikan dengan menginduksi ketahanan tanaman terhadap patogen. Induksi ketahanan tanaman dilakukan dengan aplikasi konsorsium bakteri endofit. Bakteri endofit memiliki mekanisme dalam menghasilkan metabolit sekunder yang dapat memberikan dampak positif bagi pertumbuhan tanaman.

Kemampuan konsorsium bakteri endofit dalam menghasilkan metabolit sekunder mampu meningkatkan resistensi terhadap penyakit yang timbul akibat patogen. Senyawa sebagai penginduksi ketahanan tersebut diantaranya, antibiotik, alkanoid, terpen, glikosida, β -1-3 glukukanase, lektin, arselin, visilin, sistein, dan enzim penghambat (Swain & Ray, 2009).

Induksi ketahanan diartikan sebagai kemampuan tanaman dalam meningkatkan respon dan rangsangan pertahanan terhadap faktor biotik dan abiotik (Ryals et al., 1996). Tanaman berusaha mengekspresikan ketahanan alami dalam menghadapi terhadap lingkungan yang tidak mendukung untuk perkembangan tanaman maupun dari serangan patogen. Ketahanan alami tanaman dapat muncul oleh agens pengimbas atau yang disebut *elisitor*. (Inayati, 2016). Elisitor dibedakan menjadi dua, yaitu elisitor yang bersifat khusus atau disebut *race specific elicitor*, dan elisitor yang memiliki sifat umum atau *general elicitors*.

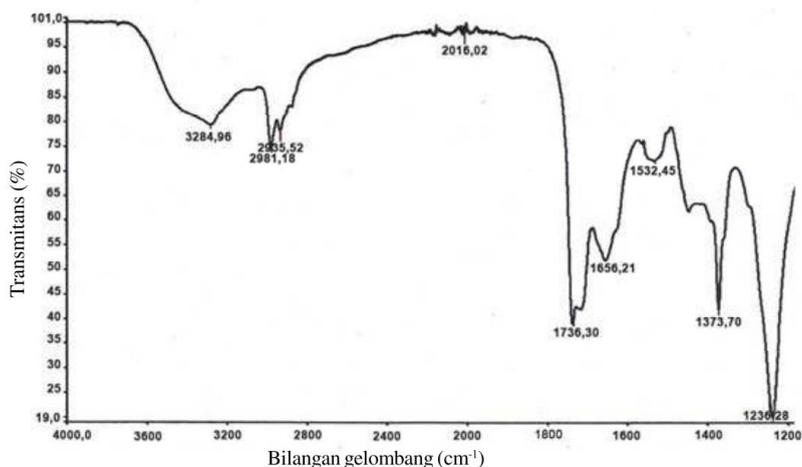
Elisitor salah satunya dapat berasal dari konsorsium bakteri endofit. Bahan-bahan yang dihasilkan elisitor disebut dengan metabolit sekunder. Konsorsium yang mengandung beberapa bakteri endofit akan menghasilkan metabolit sekunder yang sama maupun berbeda namun dapat memberikan dampak yang berbeda untuk tanaman.

Elisitor golongan bakteri yang dapat mengimbas ketahanan tanaman salah satunya *B. subtilis*. Agrios (2005), menyatakan infeksi patogen dan induksi ketahanan dari bakteri endofit mengakibatkan peningkatan metabolisme sehingga memicu peningkatan aktivitas *Phenylalanine Ammonia-Lyase* (PAL). Peningkatan aktivitas PAL memicu reaksi ketahanan tanaman sehingga terjadi akumulasi fenol. Hasil penelitian (Ngadze et al., 2012) menyatakan bahwa peningkatan PAL optimum pada perlakuan 8 jam pada semua varietas kentang. Ketahanan varietas tersebut terjadi akibat korelasi PPO, PAL, enzim dan fenol yang dihasilkan. Korelasi ini akan berdampak pada ketahanan terhadap infeksi busuk lunak.

Ketahanan tanaman terhadap patogen dapat berubah karena patogen mengalami perubahan fungsi genetik. Perubahan genetik patogen disebabkan karena mutasi, rekombinasi, cara budidaya yang tidak tepat, penggunaan bahan kimia berlebih. Selain itu perubahan iklim global juga memengaruhi perubahan keseimbangan dan berdampak pada epidemiologi penyakit.

Aplikasi konsorsium bakteri endofit yang terdiri dari atas *P. aeruginosa* dan *B. cereus* (P7) dapat menekan infeksi virus kuning melalui mekanisme ISR (*Induced Systemic Resistance*). Mekanisme ketahanan tersebut pada saat infeksi patogen menyerang tanaman akan meningkatkan ketahanan terhadap patogen melalui ISR atau disebut ketahanan terimbas. Bakteri endofit *P. aeruginosa* dan *B. cereus* (P7) dapat merangsang terbentuknya ketahanan terimbas dengan menghasilkan siderofor. Siderofor terbentuk pada kondisi ketersediaan Fe terbatas. Aplikasi konsorsium bakteri endofit mampu merangsang terbentuknya ketahanan tanaman sehingga dapat menekan kejadian penyakit virus kuning yang sifatnya sistemik (D. Lestari & Aini, 2021).

Ketahanan terimbas yang berintegrasi dengan pengelolaan dan pengendalian penyakit tanaman merupakan salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan keberhasilan pengendalian penyakit yang ramah lingkungan. Sebagai contoh *B. subtilis* B315 menghasilkan enzim amilase. Kemampuan *B. subtilis* (B46, B209, B211, B209, dan B315) dalam mengkelat Fe menunjukkan ketersediaan Fe dan P yang tinggi bagi tanaman sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan dan ketahanan tanaman (Prihatiningsih et al., 2017).



Gambar 14. Spektrum FTIR dari ekstrak *B. subtilis* B315. Sumber (Prihatiningsih & Djatmiko, 2016b).

Analisis ekstrak *B. subtilis* B315 menggunakan FTIR menunjukkan nilai gelombang dan nilai transmisi yang dapat dilihat pada Gambar 14. Hasil tersebut menunjukkan nilai daerah bilangan dengan gugus fungsi yang terdapat dalam kelompok senyawa. Senyawa tersebut teridentifikasi enzim amilase pada kelompok amida, amina, ester, asam karboksilat, keton, aldehyd, dan alkana.

Fungsi enzim amilase selain sebagai inhibitor juga dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap patogen. Tanaman selanjutnya menghasilkan senyawa pertahanan antara lain antibiotik, alkaloid, terpen, glikosida, β -1-3 glukonase, lektin, arseli, visilin, systeain, dan enzim penghambat.

Tabel 6. Nilai aktivitas enzim Amilase *B. subtilis* B315

Sampel	Nilai absorbans λ 660 nm	X (Nilai aktifitas amilase) Dari persamaan regresi ^{a)} (unit/ml)	X (Nilai aktifitas amilase) dari rumus (unit/ml): 0,18 ^{b)}	X (Nilai aktifitas amilase) ^{c)} : 30 x 2 (unit/ml)
1	0,703	2,8278	11,717	0,781
2	0,720	2,8875	12,048	0,803
3	0,734	2,9367	12,327	0,822
			Rata-rata	0,802

^{a)}Nilai X diperoleh dari persamaan regresi $Y = -0,1015 + 0,2845 X$; Dibagi 0,18 karena satu unit aktivitas enzim ^{b)} amilase didefinisikan sebanyak 0,18 mg gula pereduksi ($1 \mu\text{mol}$) yang dibebaskan per ml enzim pada kondisi percobaan; ^{c)}Nilai aktivitas amilase: 30 karena diinkubasi selama 30 menit, dikalikan 2 karena enzim yang dipakai 0,5 ml.
Sumber (Prihatiningsih & Djatmiko, 2016b).

VII. FORMULA CAIR KONSORSIUM BAKTERI ENDOFIT

A. Komposisi Formula Cair Konsorsium Bakteri Endofit

Formulasi memiliki peranan dalam meningkatkan kinerja konsorsium bakteri endofit, disimpan dalam jangka waktu lama, tidak menurunkan populasi mikroba konsorsium bakteri, serta tidak memengaruhi senyawa aktif yang diproduksi konsorsium bakteri endofit serta mempermudah saat diaplikasikan secara luas.

Aplikasi dan efektivitas pengendalian penyakit tanaman menggunakan Nanobiopestisida sebagai pengendali patogen *X. oryzae* pv. *oryzae* (Prihatiningsih et al., 2021). Nanobiopestisida adalah formulasi biopestisida dengan teknologi nano atau sangat kecil. Nanobiopestisida memiliki kelebihan sebagai biofungisida yang dapat memperbaiki daya simpan (*shelf-life*), dan dapat mengurangi toksisitas.

Tahapan yang dilakukan dalam pembuatan formulasi nanobiopestisida yaitu menyiapkan bahan penyusun nanobiopestisida (supernatan *B. subtilis* B315), larutan TPP 0,1%, larutan kitosan, medium NB, medium YPGA, dan medium pepton cair. Pembuatan nanosuspensi dengan memasukkan 0,5 mL supernatan *B.subtilis* B315 ke dalam tabung mikrosentrifuse yang sebelumnya telah diisi kitosan sebanyak 490 μ L. pH dalam nanosuspensi 4,0-5,0 selanjutnya digojog dengan vortex selama 20 detik. Nanosuspensi yang telah homogen selanjutnya ditambah dengan 10 μ L larutan TPP 0,1% dan digojog kembali. Perlakuan nanosuspensi dibandingkan dengan perlakuan formula cair suspensi yaitu dengan menumbuhkan *B.subtilis* B315 pada medium NB dan diinkubasi selama 48 jam.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perlakuan nanosuspensi menunjukkan indeks 0,41 (+) tergolong menghambat akan tetapi lemah sedangkan formula cair suspensi *B.subtilis* B315 menunjukkan

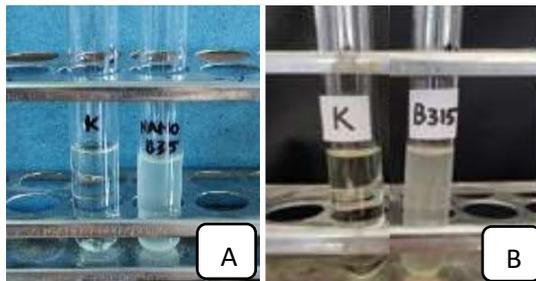
kemampuan menghambat lebih baik yang nampak pada indeks antibiosis sebesar 1,44 (++) tergolong kuat. Zona hambat nanosuspensi dan formula cair suspensi nampak pada Tabel 7.

Tabel 7. Penghambatan *Xoo* oleh *B.subtilis* B315 *in vitro*

Perlakuan <i>B. subtilis</i> B315	Zona hambat (mm)	Indeks antibiosis (%)	Mekanisme hambatan
Nanosuspensi	2,1 b	0,42 (+)	bakteriostatik
Formula cair suspensi	7,2 a	1,44 (++)	bakteriostatik

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut LDS 5%. Sumber (Prihatiningsih et al., 2021)

Mekanisme penghambatan *B.subtilis* B315 pada perlakuan nanosuspensi dan formula cair suspensi adalah bakteriostatik. Dari hasil pengamatan pada mekanisme penghambatan, perlakuan nanosuspensi menunjukkan lebih jernih akan tetapi penghambatannya lebih rendah. Kejernihan tersebut disebabkan karena jenis metabolit sekunder yang dihasilkan berbeda (Gambar 15).



Gambar 15. Mekanisme penghambatan bakteriostatik (A) Nanosuspensi (B) Formula cair suspensi. Sumber (Prihatiningsih et al., 2021)

Formula cair biobakterisida *Bacillus* spp. B46 dan *Streptomyces* spp S4 dengan medium pembawa kentang, gula dan terasi. Perbandingan komposisi medium pembawa yaitu 100g kentang: 5 g gula: 2 g terasi: 2 liter air. Dalam larutan tersebut kemudian ditambahkan 10 ml suspensi *Bacillus* spp B46 dan *Streptomyces* spp S4 dengan kerapatan 10^{10} cfu/ml. Formula cair biobakterisida berbasis *Bacillus* spp B46 dan *Streptomyces*

spp S4 disimpan dalam wadah tertutup dan dapat digunakan minimum 1 minggu sebelum. formula cair biobakterisida berbasis *Bacillus* spp B46 dan *Streptomyces* spp S4 telah dipatenkan dengan nomor paten IDP000041724 oleh Prihatiningsih dan Djatmiko.

Formula biobakterisida berbahan aktif *B. subtilis* B315 yang diekstrak menggunakan ethyl acetate paten telah didaftarkan oleh Prihatiningsih dan Djatmiko dengan nomor sertifikat paten IDS000003470 (Prihatiningsih, 2020). Senyawa yang dihasilkan merupakan mekanisme dari *B. subtilis* B315 sebagai pengendali *R. solanacearum* penyebab penyakit layu bakteri. Formula ini membantu petani dalam mengatasi penyakit layu bakteri yang disebabkan oleh *R. solanacearum*. Analisis ekstrak *B. subtilis* B315 sebagai faktor antagonis dilakukan menggunakan spektroskopi infra merah (FTIR) untuk mendapatkan gugus fungsi berdasarkan bilangan gelombang. Senyawa aktif dari *B. subtilis* B315 adalah alifatik alkena dengan gugus fungsi (C-H) pada bilangan gelombang 2983,22 cm^{-1} , senyawa karbonil dengan gugus fungsi (C=O) pada bilangan gelombang 1737,46 cm^{-1} , dan senyawa nitro simetris (NO₂) pada bilangan gelombang 1373,38 cm^{-1} serta senyawa ester dengan gugus fungsi (C-O) pada bilangan gelombang 1232,22 cm^{-1} .

Formula cair dibuat dengan komposisi air steril, CMC 1% dan manitol 1% dengan perbandingan 100:1:1 dengan penambahan *Bacillus* sp. hasil isolasi dari daun kentang sehat. Penambahan *Bacillus* sp. pada formula cair biopestisida sebanyak 1/4 v/v komposisi formula, dengan kepadatan 10^{10} cfu/ml. *Bacillus* sp. hasil isolasi dari daun kentang sehat yang digunakan umur 2 hari dalam medium YPGA dipanen dan disuspensikan dengan 100 ml air steril. Suspensi ini sebagai larutan induk atau starter. Selanjutnya ditambahkan pada formula yang dibuat, diaduk supaya merata, kemudian disimpan pada suhu kamar 27°C. Aplikasi formula biopestisida terbaik adalah 2 minggu setelah pencampuran. Aplikasinya dengan cara melarutkan satu sachet berisi 100 ml formula cair biopestisida ke dalam satu liter larutan semprot. Formula paten telah bersertifikat nomor IDP000043181 oleh (Prihatiningsih & Djatmiko, 2016).

Berbagai komposisi formula cair konsorsium bakteri endofit telah banyak diteliti, Harni & Samsudin. (2015) membuat formulasi dalam bentuk cair menggunakan bahan pembawa molase (tebu) yang ditambahkan dengan pepton yang memiliki fungsi sebagai protein. Molase yang berasal dari tebu dengan konsentrasi 5% disterilkan sebelum digunakan sebagai medium cair. Medium cair dari molase dibuat menggunakan metode fermentasi. Fermentasi dibuat perbandingan 1000ml larutan molase steril : 10 ml suspensi konsorsium bakteri endofit. Campuran larutan digojog dengan kecepatan 150rpm dan diinkubasi pada suhu kamar. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa formulasi cair dengan bahan pembawa molase memiliki hasil terbaik dalam mengendalikan populasi nematoda dibanding formulasi kompos dan talc. Hal tersebut dipengaruhi oleh kandungan bahan organik yang ada dalam molase. Bahan organik tersebut digunakan oleh bakteri endofit dalam pertumbuhannya. Bahan organik yang terkandung dalam medium pembawa molase diantaranya colin, asam nikotinat, tiamin, ribovlafin, piridoksin, inositol, asam folat, biotin. Selain sebagai medium pertumbuhan, molase juga berperan sebagai pengawet atau memperpanjang masa simpan, pengental, serta pelindung dari sinar matahari.

Medium perbanyak dengan bahan pembawa berbentuk cair harus menyimpan banyak bahan organik, Hanudin et al. (2010) menyatakan medium cair sebagai bahan pembawa konsorsium bakteri endofit dapat menggunakan bahan campuran kascing 10%, kentang rebus 30%. Bahan tersebut selanjutnya direbus dan disaring untuk diambil airnya. Selanjutnya air saringan ditambahkan 1,5% gula pasir atau molase 10%. Campuran medium difermentasi selama 3 minggu, dengan pH 7,4. Penentuan bahan pembawa memperhatikan daya simpan produk. Viabilitas bahan pembawa merupakan cara untuk dapat mengevaluasi masa kadaluarsa. Dengan viabilitas yang semakin lama, maka kadaluarsa biopestisida dari konsorsium bakteri endofit akan semakin panjang. Dari hasil penelitian, viabilitas dengan campuran medium kascing, kentang rebus, gula pasir atau molase setelah perlakuan fermentasi dapat meningkatkan populasi konsorsium bakteri endofit. Kascing merupakan kotoran bekas cacing yang memiliki berbagai nutrisi yang dapat dimanfaatkan oleh bakteri endofit. Ekstrak kentang merupakan bahan

pembawa sebagai sumber karbohidrat. Sedangkan molase memiliki peranan dalam menyediakan nutrisi bagi bakteri endofit. Kandungan utama molase adalah sukrosa yang dibutuhkan dalam pertumbuhan bakteri endofit.

Pembentukan formulasi dalam meningkatkan viabilitas dan kinerja bakteri endofit. Bahan pembawa yang digunakan Nawangsih & Kartika. (2013) yaitu medium NB (*Nutrient Broth*) 50%, xanthan gum, medium formulasi (MF). Dalam pembuatannya, medium NB 50%+ xanthan gum. Selanjutnya suspensi konsorsium bakteri endofit ditambahkan ke dalam 100 ml MF. Larutan selanjutnya digojog di suhu kamar. Hasil penelitian tersebut menyatakan, populasi bakteri endofit setelah 8 minggu masih tinggi yaitu 10^8 cfu/ml. formulasi agens biokontrol ini dapat menekan penyakit layu bakteri samoai dengan minggu ke-4 di rumah kaca.

Formulasi cair dengan bahan pembawa air kelapa dengan komposisi pada formula cair tersebut adalah 98 mL air kelapa + 1% minyak sawit+ 5% sukrosa. Bahan-bahan tersebut disterilisasi dan diinokulasi dengan konsorsium bakteri endofit pada kepadatan 10^8 sel/mL. selanjutnya larutan diinkubasi pada suhu ruang. Hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa formula cair memiliki viabilitas yang lebih baik dibandingkan dengan formula padat yang dengan pembawa gambut. Salah satu yang mempengaruhi viabilitas sel bakteri yaitu medium pembawa dan medium alternatif. Dalam uji penekanan terhadap penyakit pustul tanaman kedelai, formula cair dapat menghambat perkembangan penyakit dengan efektifitas penghambatan sampai dengan 69,49% (Habazar et al., 2015).

Konsorsium bakteri endofit dalam formula cair dengan medium pembawa kaldu keong mas dan air kelapa dapat menekan masa inkubasi patogen *X. oryzae*, keparahan penyakit, dan perkembangan penyakit. Bakteri dalam konsorsium dapat berkembang dengan baik pada formula cair dan bakteri konsorsium yang memiliki kemampuan yang berbeda dalam menekan perkembangan penyakit dapat bekerja sama sehingga dapat memiliki kemampuan ganda dalam menekan perkembangan penyakit dan keparahan penyakit (Ulfah & Sulyanti, 2021).

Aplikasi bakteri endofit yang memiliki peran penting dalam pengendalian hayati pada umumnya dalam bentuk suspensi sel. Bentuk

suspensi sel ini dapat menurunkan populasi konsorsium bakteri endofit dengan sangat cepat sehingga pada waktu diaplikasikan di lapang kurang efektif dalam mengendalikan patogen penyebab penyakit dan OPT lainnya. Oleh karena itu, bakteri endofit perlu dibuat formulasi untuk menjaga kepadatan dan viabilitasnya. Bahan pembawa yang dikembangkan oleh (Yulensri et al., 2020) dalam menjaga viabilitas konsorsium bakteri endofit adalah formula cair organik yang berasal dari air rendaman kedelai, air rebusan kedelai dan air kelapa. Hasil dari penelitian ini yaitu bahan pembawa memiliki hasil yang sama dalam efektivitas penekanan serangan OPT dibanding dengan perlakuan *Nutrient Broth* yang memiliki nilai ekonomi yang tinggi.

Beberapa komposisi formula cair bakteri endofit menurut (Pradana et al., 2022), diantaranya dengan medium pembawa ekstrak tauge, air kelapa, air beras, dan ekstrak ayam. Masing-masing medium pembawa tersebut diberi perlakuan dengan bakteri endofit tunggal maupun konsorsium bakteri endofit. Formula bakteri endofit dengan bahan pembawa ekstrak ayam memiliki viabilitas paling baik dengan masa penyimpanan 10 minggu. Medium tambahan dalam formula cair dengan pembawa ekstrak ayam yaitu, daging ayam 250 g, 5 g glukosa, 1 g urea, dan 10 g terasi. Seluruh bahan pembawa disterilkan dan selanjutnya diinokulasi dengan bakteri endofit tunggal maupun konsorsium bakteri endofit. Berdasarkan viabilitas yang tinggi maka konsorsium dengan formula cair dengan bahan pembawa ekstrak ayam dapat meningkatkan variabel pertumbuhan tanaman jagung.

B. *Shelf-life* Bakteri dalam Konsorsium

Daya tahan (*shelf-life*) merupakan kemampuan hidup mikroba setelah masa simpan. Deteksi *Shelf-life* dibuat nanosuspensi dengan menggunakan metode tetes atau *drop plate* (Herigstad et al., 2001). Sampel berlapis dihasilkan dari pengenceran yang dihasilkan. Setiap lapisan agar-agar dibagi menjadi 4 kuadran setiap kuadran disediakan untuk satu pengenceran dalam seri. Perlakuan ini dibuat rangkap. Larutan diambil 10 ml selanjutnya divortex kemudian dilakukan pengenceran dalam 100 ml larutan. 50 mikroliter dituangkan dalam lima tetes 10 ml yang ditempatkan secara merata ke kuadran yang ditunjuk dari cawan Petri. Sisa 50 ml sampel dibuang, proses ini diulang untuk setiap tabung

di seri pengenceran. Setelah tetes atau drop pada agar kering, cawan Petri dibalik dan diinkubasi pada suhu 35°C selama 17–20 jam.

Koloni dihitung menggunakan *Leica Darkfield Penghitung Koloni Quebec*. Perbesaran yang tepat dari tetes digunakan untuk memudahkan dalam penghitungan koloni. Pengenceran yang dapat dihitung adalah pengenceran yang memberikan 3 sampai 30 koloni per 10 ml tetes sampel yang ditinokulasi pada medium. Metode ini konsisten dengan metode SP yang satu hitungan pada pengenceran sampel yang mengandung 30 sampai 300 CFU. Jumlah total CFU sebanyak 10 tetes dicatat pada pengenceran yang dapat dihitung. Akhirnya, jumlah totalnya ditingkatkan dan jumlah sel yang layak dinyatakan sebagai CFU per volume.

VIII. PENUTUP

Bakteri endofit merupakan bakteri tersembunyi di dalam jaringan tanaman yang dapat diisolasi dan dimanfaatkan sebagai agens pengendali penyakit tanaman. Bakteri endofit ini tidak menimbulkan gejala pada tanaman meskipun hidupnya berasosiasi dengan tanaman. Potensi bakteri endofit dibuktikan dengan kemampuannya menghasilkan beberapa senyawa berguna sebagai antijamur dan antibakteri tanaman, sebagai pemacu pertumbuhan tanaman dan dapat pula mentrigger atau memacu ketahanan tanaman terhadap patogen.

Bakteri endofit secara tunggal menunjukkan potensinya sebagai agens biocontrol maupun biofertilizer. Apabila bakteri tersebut disusun dalam satu konsorsium dapat meningkatkan potensinya karena adanya kesesuaian metabolit yang dihasilkan. Oleh karena itu disusun buku ini yang berjudul “**Bakteri Endofit Penyusun Konsorsium, Membantu Tanaman Melawan Penyakit**”. Harapan penulis, dengan tersusunnya buku ini dapat membantu memecahkan masalah penyakit tanaman yang merupakan faktor pembatas produksi tanaman. Penyakit tanaman dapat menurunkan hasil baik secara kuantitatif maupun kualitatif.

Konsorsium bakteri endofit dapat dibuat dalam suatu bioformula biopestisida baik cair maupun padat dalam bentuk mikroenkapsulan ataupun nanopartikel. Formula ini akan membantu petani mengelola tanaman untuk melawan penyakit.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Hamid, M. S., Fouda, A., Abo El-Ela, H. K., El-Ghamry, A. A., & Hassan, S. E. D. (2021). Erratum: Plant Growth-Promoting Properties of Bacterial Endophytes Isolated From Roots of *Thymus vulgaris* L. and Investigate Their Role As Biofertilizers To Enhance The Essential Oil Contents (Biomolecular Concepts DOI: 10.1515/bmc-021-0019). *Biomolecular Concepts*, 12, 175–196. <https://doi.org/10.1515/bmc-2021-0025>
- Abo-Elyousr, K. A. M., Abdel-Rahim, I. R., Almasoudi, N. M., & Alghamdi, S. A. (2021). Native Endophytic *Pseudomonas putida* as a Biocontrol Agent Against Common Bean Rust Caused by *Uromyces Appendiculatus*. *Journal of Fungi*, 7, 1–13. <https://doi.org/10.3390/jof7090745>
- Afriyani, Maulidia, V., Alfizar, & Sriwati, R. (2020). Endophytic Bacteria (genus : *Pseudomonas* spp.) Isolated From Aceh Bamboo Root as Biological Agent Against Nematode *Meloidogyne* spp. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1–12. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/425/1/012074>
- Agustian, A., Nuriyani, N., Maira, L., & Emalinda, O. (2010). Rhizobakteria Penghasil Fitohormon IAA Pada Rhizosfir Tumbuhan Semak Karamunting, Titonia, Dan Tanaman Pangan. *Jurnal Solum*, 7(1), 49–60. <https://doi.org/10.25077/js.7.1.49-60.2010>
- Agustiyan, D. (2016). Penapisan Dan Karakterisasi Rhizobakteria Serta Uji Aktivitasnya Dalam Mendukung Perkecambahan Dan Pertumbuhan Benih Jagung (*Zea mays* L .) (screening and Characterization Of Rhizobacteria And Its Activities In Supporting Germination And Seedlings Growth. *Jurnal Biologi Indonesia*, 12(2), 241–248.
- Aji, O. R., & Lestari, I. D. (2020). Bakteri Endofit Tanaman Jeruk Nipis (*Citrus aurantifolia*) Penghasil Asam Indol Asetat (AIA). *Al-Kauniah: Jurnal Biologi*, 13(2), 179–191. <https://doi.org/10.15408/kauniah.v13i2.13044>

- Andriani, D., & Oktafiyanto, M. F. (2019). Potensi Bakteri Endofit Dari Tanaman Paitan *Titonia Deversifolia* Sebagai Biofertilizer Dan Biopestisida. *JUATIKA: Jurnal Agronomi Tanaman Tropika*, 1(2), 84–90.
- Arwiyanto, T. (1997). Pendalian Hayati Penyakit Layu Bakteri Tembakau: 1. Isolasi bakteri antagonis. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, 3(1), 54–60.
- Baharuddin, M., Patong, abd rauf, Ahmad, A., & Nafie, N. La. (2014). Pengaruh Suhu dan pH terhadap Hidrolisis CMC oleh Enzim Selulase Dari Isolat Bakteri Larva Kupu-Kupu *Cossus Cossus*. *Teknosains*, 8(3), 343–356. <http://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/teknosains/article/view/1837/1782>
- Barrera, C. M., Jakobs-Schoenwandt, D., Gómez, M. I., Serrato, J., Ruppel, S., & Patel, A. V. (2020). Formulating bacterial endophyte: Pre-conditioning of Cells and the Encapsulation in Amidated Pectin Beads. *Biotechnology Reports*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00463>
- Benhamou, N., Kloepper, J. W., & Tuzun, S. (1998). Induction of resistance Against *Fusarium Wilt* of Tomato by Combination of Chitosan with an endophytic Bacterial Strain: Ultrastructure and cytochemistry of the host response. *Planta*, 204(2), 153–168. <https://doi.org/10.1007/s004250050242>
- Berg, G., & Hallmann, J. (2007). Control of Plant Pathogenic Fungi with Bacterial Endophytes. *Microbial Root Endophytes*, 9, 53–69. https://doi.org/10.1007/3-540-33526-9_4
- Bolivar-Anillo, H. J., González-Rodríguez, V., Cantoral, J., García-Sánchez, D., Collado, I., & Garrido, C. (2021). Endophyt Bacteria *Bacillus subtilis*, Isolated from *Zea mays* as Potential Biocontrol Agent Against *Botrytis cinerea*. *Biology*, 10(492), 1–26.
- Bruisson, S., Zufferey, M., L'Haridon, F., Trutmann, E., Anand, A., Dutartre, A., De Vrieze, M., & Weisskopf, L. (2019). Endophytes and Epiphytes from the Grapevine Leaf Microbiome as Potential Biocontrol Agents Against Phytopathogens. *Frontiers in Microbiology*, 10, 1–17. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02726>
- Caulier, S., Gillis, A., Colau, G., Licciardi, F., Liépin, M., Desoignies, N., Modrie, P., Legrève, A., Mahillon, J., & Bragard, C. (2018). Versatile Antagonistic Activities of Soil-borne *Bacillus* spp. and *Pseudomonas* spp. against *Phytophthora infestans* and Other

- Potato Pathogens. *Frontiers in Microbiology*, 9(FEB), 1–15.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00143>
- Chen, B., Luo, S., Wu, Y., Ye, J., Wang, Q., Xu, X., Pan, F., Khan, K. Y., Feng, Y., & Yang, X. (2017). The Effects of the Endophytic Bacterium *Pseudomonas fluorescens* Sasm05 and IAA on the Plant Growth and Cadmium Uptake of Sedum Alfredii Hance. *Frontiers in Microbiology*, 8(DEC), 1–13.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02538>
- Chen, L., & Chen, W. (2010). ISolation and Characterization of a Novel Small Antifungal Peptide from *Bacillus megaterium* D4 Isolated from the Dung of Wild Plateau Yak in China. *Protein & Peptide Letters*, 17(4), 542–546.
<https://doi.org/10.2174/092986610790963627>
- Djatmiko, H. A., Kurniawan, D. W., & Prihatiningsih, N. (2022). Potential of *Bacillus subtilis* Potato Isolate as Biocontrol Agent of *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* and Candidate for Nanosuspension Formula. *Biodiversitas*, 23(7), 3313–3321.
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d230701>
- Fakhrudin, D. K., & Nurcahyanti, S. D. (2020). Viabilitas *Bacillus* sp. sebagai Agen Antagonis Patogen Tanaman dalam Formulasi Berbahan Dasar Tepung. *Jurnal Pengendalian Hayati*, 3(1), 29–37.
<https://doi.org/10.19184/jph.v3i1.17151>
- Fiko, D. S. A., & Widiyanti, F. (2019). Uji antagonisme Bakteri Endofit dengan *Cercospora oryzae* Miyake dan *Bipolaris oryzae* (Breda de Haan) Shoemaker. *Agrikultura*, 29(3), 131.
<https://doi.org/10.24198/agrikultura.v29i3.22719>
- Fitriasari, P. D., Amalia, N., & Farkhiyah, S. (2020). Isolasi dan Uji Kompatibilitas Bakteri Hidrolitik dari Tanah Tempat Pemrosesan Akhir Talangagung, Kabupaten Malang. *Ilmu-Ilmu Hayati*, 19(2), 151–156.
- Foeh, S. C., Temaja, I. G. R. M., & Khalimi, K. (2019). Potensi Bakteri Endofit dalam Menekan Pertumbuhan *Phytophthora palmivora* (butler) Secara in Vitro. *Jurnal Agroteknologi Tropika*, 8(4), 388–398.
- Gusmaini, Aziz, S. A., Munif, A., Sopandie, D., & Bermawie, N. (2013). Potensi Bakteri Endofit dalam Upaya Meningkatkan Pertumbuhan, Produksi, dan Kandungan Andrografolid pada Tanaman Sambiloto. *Jurnal Littri*, 19(4), 167–177.

- Habazar, T., Resti, Z., Yanti, Y., Sutoyo, & Imelda. (2015). Formulasi Bakteri Endofit Akar Kedelai untuk Pengendalian Pustul Bakteri. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 11(2), 51–58. <https://doi.org/10.14692/jfi.11.2.51>
- Hanudin, Nuryani, W., E.Silvia, Djatnika, I., & Marwoto, B. (2010). Formulasi Biopestisida Berbahan Aktif *Bacillus subtilis*, Nonpatogenik untuk Mengendalikan Penyakit Karat pada Krisan. *Jurnal Hortikultura*, 20(3), 247–261.
- Harni, R., & Samsudin. (2015). Pengaruh formula Bionematisida Bakteri Endofit *Bacillus* sp. terhadap Infeksi Nematoda *Meloidogyne* sp. pada Tanaman Kopi. *Jurnal Tanaman Industri Dan Penyegar*, 2(3), 143–149. <https://doi.org/10.21082/jtidp.v2n3.2015.p143-150>
- Hartanti, D. A. S. (2020). Isolasi dan Uji Sinergisme Bakteri Endofit Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.) untuk konsorsium biofertilizer. *Agroradix*, 3(2), 23–30.
- Hasan, N., Farzand, A., Heng, Z., Khan, I. U., Moosa, A., Zubair, M., Na, Y., Ying, S., & Canming, T. (2020). Antagonistic potential of Novel Endophytic *Bacillus* Strains And Mediation of Plant Defense Against *Verticillium* Wilt in Upland Cotton. *Plants*, 9(11), 1–16. <https://doi.org/10.3390/plants9111438>
- Herigstad, B., Hamilton, M., & Heersink, J. (2001). How to Optimize the Drop Plate Method for Enumerating Bacteria. *Journal of Microbiological Methods*, 44(2), 121–129. [https://doi.org/10.1016/S0167-7012\(00\)00241-4](https://doi.org/10.1016/S0167-7012(00)00241-4)
- 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. <https://doi.org/10.13057/cellbioldev/v010106>
- Inayati, A. (2016). Ketahanan Terimbas Tanaman Kacang-Kacangan Terhadap Penyakit. *Iptek Tanaman Pangan*, 11(2), 175–187.
- Irfanti, D. Y., Marsuni, Y., & Liestiany, E. (2021). Uji antagonis *Bacillus* sp. dan *Pseudomonas berfluorescens* dari Rhizosfer Bambu, Rumput Gajah Dan Putri Malu dalam Menekan Bakteri *Ralstonia solanacearum*. *Prosiding Seminar Nasional*, 5(1), 1051–1059. <https://doi.org/10.20527/jppt.v4i1.671>
- Kandel, S. L., Firrincieli, A., Joubert, P. M., Okubara, P. A., Leston, N. D., McGeorge, K. M., Mugnozza, G. S., Harfouche, A., Kim, S. H., & Doty, S. L. (2017). An in Vitro Study of Bio-Control and

Plant Growth Promotion Potential of *Salicaceae* Endophytes. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1–16. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00386>

- Khasanah, L. U., Anandhito, B. K., Rachmawaty, T., Utami, R., & Manuhara, G. J. (2015). Pengaruh Rasio Bahan Penyalut Maltodekstrin, Gum Arab, dan Susu Skim Terhadap Karakteristik Fisik Dan Kimia Mikrokapsul Oleoresin Daun Kayu Manis (*Cinnamomum burmannii*). *Agritech: Jurnal Fakultas Teknologi Pertanian UGM*, 35(4), 414–421.
- Kloepper, J. W., Ryu, C. M., & Zhang, S. (2004). Induced systemic Resistance and Promotion of Plant Growth by *Bacillus* spp. *Phytopathologi*, 94(11), 1259–1266. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2004.94.11.1259>
- Komalasari, I., Setiawati, R., & Hudaya, R. (2019). Aplikasi Pupuk Hayati Bakteri Endofitik pada Sistem Hidroponik Tanaman Tomat. *Jurnal Penelitian Saintek*, 23(1), 10–20.
- Kumar, K. K., & Dara, S. K. (2021). Fungal and Bacterial Endophytes as Microbial Control Agents for Plant-Parasitic Nematodes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18, 1–15. <https://doi.org/10.3390/ijerph18084269>
- Lestari, D., & Aini, L. Q. (2021). Pengujian Konsorsium Bakteri Antagonis untuk Mengendalikan Penyakit Bercak Daun *Cercospora* dan Virus Kuning pada Tanaman Cabai Merah Besar (*Capsicum annum* L.) di kecamatan Dampit Kabupaten Malang. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan*, 9(3), 107–114. <https://doi.org/10.21776/ub.jurnalhpt.2021.009.3.5>
- Lestari, P., Prihatiningsih, N., & Djatmiko, H. A. (2017). Partial Biochemical Characterization of Crude Extract Extracellular Chitinase Enzyme from *Bacillus subtilis* B 298. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 172, 012041. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/172/1/012041>
- Lestari, S. A., Kalsum, U., & Ramdan, E. P. (2021). Efikasi Beberapa Agens Hayati Terhadap Penekanan Pertumbuhan *Pyricularia grisea* secara in vitro. *Agrosains: Jurnal Penelitian Agronomi*, 23(1), 31–36. <https://doi.org/10.20961/agsjpa.v23i1.48174>
- Lopes, K. B. de A., Valéria, C.-P., Fira, D., Balatti, P. A., López, S. M. Y., Oro, T. H., Pagliosa, E. S. P., & Degrassi, G. (2018). Screening of Bacterial Endophytes as Potential Biocontrol Agents Against

- Soybean Diseases. *Journal of Applied Microbiology*, 125(5), 1466–1481. <https://doi.org/10.1111/jam.14041>
- Maciag, T., Krzyzanowska, D. M., Jafra, S., Siwinska, J., & Czajkowski, R. (2020). The Great Five—an Artificial Bacterial Consortium with Antagonistic Activity Towards *Pectobacterium* spp. and *Dickeya* spp.: Formulation, Shelf Life, and the Ability to Prevent Soft Rot of Potato in Storage. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(10), 4547–4561. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10550-x>
- Manguntungi, B., Asmawati, R. A. A. M. A. A., & Tegar Aprilian1, K. E. P. (2018). Indonesia (Endophyte for Indonesia): Biofertilizer Berbasis Mikroba Endofit Guna Meningkatkan Kualitas Pembibitan Budidaya Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis*) di indonesia. *Biota : Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*, 3(1), 44–52. <https://doi.org/10.24002/biota.v3i1.1892>
- Marsaoli, F., Matinahoru, J. M., & Leiwakabessy, C. (2019). Isolasi, Seleksi, dan Uji Antagonis Bakteri Endofit Diisolasi dari Salawaku (*Falcataria mollucana*) dalam Menekan Pertumbuhan Cendawan Patogen *Cercospora* spp. *Agrologia*, 8(2), 44–54. <https://doi.org/10.30598/a.v8i2.1009>
- Marten, T. W., Advinda, L., & Anhar, A. (2018). Pengaruh Sumber Mineral dan Jenis Isolat dari *Pseudomonas fluoresen* terhadap Produksi Siderofor. *Bio Sains*, 1(1), 67–74.
- Morikawa, M. (2006). Beneficial Biofilm Formation by Industrial Bacteria *Bacillus subtilis* and Related Species. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 101(1), 1–8. <https://doi.org/10.1263/jbb.101.1>
- Mukherjee, G., Saha, C., Naskar, N., Mukherjee, A., Mukherjee, A., Lahiri, S., Majumder, A. L., & Seal, A. (2018). An Endophytic Bacterial Consortium Modulates Multiple Strategies to Improve Arsenic Phytoremediation Efficacy in *Solanum Nigrum*. *Scientific Reports*, 8(6979), 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25306-x>
- Munif, A. (2003). Peranan Mikroba Endofit Sebagai Agens Hayati dalam Mendukung Pembangunan Pertanian Berkelanjutan. *Pengelolaan Dan Pemanfaatan Keanekaragaman Hayati Dalam Kerangka Pembangunan Berkelanjutan*, 1–28.

- Munif, A., Pradana, A. P., Soekarno, B. P. W., & Herliyana, E. N. (2014). Isolasi Dan Uji Potensi Konsorsium Bakteri Endofit Asal Tanaman Kehutanan Sebagai Agen Biokontrol dan Pemacu Pertumbuhan Tanaman Tomat. *Prosiding Seminar Nasional Perlindungan Tanaman II, November 2014*, 198–208. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4017.0320>
- Munif, A., Wiyono, S., & Suwarno. (2012). Pemanfaatan Bakteri Endofit untuk Meningkatkan Pertumbuhan dan Kesehatan Tanaman Padi Gogo. *Prosiding Seminar Hasil-Hasil Penelitian IPB*, 349–417.
- Mushtaq, S., Khan, F., Shafiq, M., Hussain, M., & Haider, M. S. (2017). Endophytic Bacteria: A Beneficial Organism. *International Journal of Biosciences (IJB)*, 10(06), 1–12. <https://doi.org/10.12692/ijb/10.6.1-12>
- Muthukumar, A., & Venkatesh, A. (2013). Plant Pathology & Microbiology Exploitation of Fungal and Endophytic Bacteria for the Management of Leaf Blight of Ribbon Plant. 4(10), 1–5. <https://doi.org/10.4172/2157-7471.1000209>
- Najmiyati, E., & Akhadi, D. H. (2012). Viabilitas dan Kinerja Konsorsium Mikroba Pendegradasi Hidrokarbon Setelah Penyimpanan dalam Pendingin dan Penyimpanan Beku. *Ecolab*, 6(1), 81–89.
- Nawangsih, A. A., & Kartika, J. G. (2013). Pengembangan Formulasi Biopestisida Berbahan Aktif Bakteri Endofit dan PGPR untuk mengendalikan penyakit layu bakteri oleh *Ralstonia solanacearum* pada tomat. *Laporan Akhir Penelitian Unggulan Strategis Nasional*.
- Ngadze, E., Icishahayo, D., Countinho, T. A., & Waals, J. E. Van Der. (2012). Role of Polyphenol Oxidase, Peroxidase, Phenylalanine Ammonia Lyase, Chlorogenic Acid, and Total Soluble Phenols in Resistance of Potatoes to Soft Rot. *Plant Disease*, 96(2), 186–192.
- Nurchayanti, S. D., & Ayu, D. L. W. N. (2020). The Exploration of *Bacillus* spp. As Antagonist Agents Against *Xanthomonas axonopodis* Pv. Glycines From the Weed Phyllosphere in Soybean Plantation. *Journal of Tropical Industrial Agriculture and Rural Development*, 1(1), 17–26. <https://doi.org/10.19184/jtiard.v1i1.16411>

- Oukala, N., Pastor, V., & Aissat, K. (2021). Bacterial Endophytes: the Hidden Actor in Plant Immune Responses Against Biotic Stress. *Plants*, 10(5), 1–24. <https://doi.org/10.20944/preprints202104.0186.v1>
- Pradana, A. P., Mardhiana, Suriana, Adiwena, M., & Yousif, A. I. A. (2022). Formula Bakteri Endofit untuk Meningkatkan Pertumbuhan Bibit Jagung Pada Tanah Masam Podsolik Merah-Kuning. *Jurnal Ilmiah Inovasi*, 22(1), 30–41. <https://doi.org/10.25047/jii.v22i1.3091>
- Pradana, A. P., Munif, A., & Supramana. (2016). Bakteri Endofit Asal Berbagai Akar Tanaman Sebagai Agens Pengendali Nematoda Puru Akar *Meloidogyne Incognita* pada Tomat. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 12(3), 75–82. <https://doi.org/10.14692/jfi.12.3.75>
- Prihatiningsih, N. (2020). Formula Biobakterisida *Bacillus subtilis* B315 sebagai Pengendali *Ralstonia Solanacearum*. <https://pdkiindonesia.dgip.go.id/detail/S00201707793?type=patent&keyword=FORMULA+MIKROENKAPSULAN+Bacillus+subtilis+B298+SEBAGAI+BIOKONTROL+PATOGEN+TANAMAN>
- Prihatiningsih, N., Adi Djatmiko, H., & Lestari, P. (2020). Screening of Competent Rice Root Endophytic Bacteria to Promote Rice Growth and Bacterial Leaf Blight Disease Control. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 20(1), 78–84. <https://doi.org/10.23960/j.hptt.12078-84>
- Prihatiningsih, N., Adi Djatmiko, H., & Lestari, P. (2022). Antagonistic Feature Displayed by Endophytic Bacteria Consortium for Control Rice Pathogens. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 22(2), 154–161. <https://doi.org/10.23960/jhptt.222154-161>
- Prihatiningsih, N., Arwiyanto, T., Hadisutrisno, B., & Widada, J. (2015). Mekanisme Antibiosis *Bacillus subtilis* B315 untuk Pengendalian Penyakit Layu Bakteri Kentang. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 15(1), 64–71. <https://doi.org/10.23960/j.hptt.11564-71>
- Prihatiningsih, N., Asnani, A., & Djatmiko, H. A. (2021). Extracellular Protease from *Bacillus subtilis* b315 with Antagonistic Activity Against Bacterial Wilt Pathogen (*Ralstonia solanacearum*) of Chili. *Biodiversitas*, 22(3), 1291–1295. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220327>

- Prihatiningsih, N., & Djatmiko, H. A. (2015). Formulasi Biopestisida Berbasis *Bacillus* sp. B298 sebagai Pengendali Penyakit Layu Bakteri pada Kentang. <https://pdki-indonesia.dgip.go.id/detail/P00200800463?type=patent&keyword=IDP000037663>
- Prihatiningsih, N., & Djatmiko, H. A. (2016a). Biopestisida Berbasis *Bacillus* sp. sebagai Pengendali Penyakit Hawar Daun Kentang. <https://pdkiindonesia.dgip.go.id/detail/P00201000089?type=patent&keyword=Biopestisida+Bacillus+sp.+sebagai+Pengendali+Penyakit+Hawar+Daun+Kentang>
- Prihatiningsih, N., & Djatmiko, H. A. (2016b). Enzim Amilase sebagai Komponen Antagonis *Bacillus subtilis* B315 terhadap *Ralstonia solanacearum* Kentang. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 16(1), 10–16. <https://doi.org/10.23960/j.hptt.11610-16>
- Prihatiningsih, N., Djatmiko, H. A., & Erminawati. (2020). Formula Biobakterisida *Bacillus subtilis* B315 sebagai pengendali *Ralstonia solanacearum*. <https://pdkiindonesia.dgip.go.id/detail/S00201707793?type=patent&keyword=FORMULA+MIKROENKAPSULAN+Bacillus+subtilis+B298+SEBAGAI+BIOKONTROL+PATOGEN+TANAMAN>
- Prihatiningsih, N., Djatmiko, H. A., & Erminawati. (2019). Bio-Management of Anthracnose Disease in Chilli With Microencapsulates Containing *Bacillus subtilis* B298. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 250(1), 1–7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/250/1/012041>
- Prihatiningsih, N., Djatmiko, H. A., & Lestari, P. (2017). Aktivitas Siderofor *Bacillus subtilis* Sebagai Pemacu Pertumbuhan dan Pengendali Patogen Tanaman Terung. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 17(2), 170–178. <https://doi.org/10.23960/j.hptt.217170-178>
- Prihatiningsih, N., Kurniawan, D. W., & Djatmiko, H. A. (2021). Nanobiopestisida *Bacillus subtilis* B315 sebagai Pengendali *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* in vitro. *Pengembangan Sumber Daya Perdesaan Dan Kearifan Lokal Berkelanjutan XI*, 175–182.
- Prihatiningsih, N., Triwidodo Arwiyanto, B. H., & Widada, J. (2020). Characterization of *Bacillus* spp. from the Rhizosphere of Potato Granola Varietiy as an Antibacterial Against *Ralstonia solanacearum*. *Biodiversitas*, 21(9), 4199–4204. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210934>

- Purnawati, A., Harjani, W., & Nirwanto, H. (2019). Selection and Formulation of Endophytic Bacteria as Plant Resistance Elicitor Against Wilt Disease of Tomato. *Agrotechnology Research Journal*, 3(2), 103–106. <https://doi.org/10.20961/agrotechresj.v3i2.33866>
- Puspita, F., Ali, M., & Supriyadi, S. (2020). Kompatibilitas dan Daya Hambat Konsorsium *Trichoderma* spp. Endofit terhadap Penyakit Busuk Buah Kakao *Phytophthora palmivora*. *Agrikultura*, 31(2), 126. <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v31i2.26063>
- Putri, D., Munif, A., & Mutaqin, K. H. (2016). Lama Penyimpanan, Karakterisasi Fisiologi dan Viabilitas Bakteri Endofit *Bacillus* sp. dalam Formula Tepung. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 12(1), 19–26. <https://doi.org/10.14692/jfi.12.1.19>
- Rahayu, T., Asih Purwestri, Y., Subandiyah, S., & Widiyanto, D. (2021). Potensi Bakteri Endofit Asal Tanaman Pisang Klutuk (*Musa balbisiana colla*) sebagai Pendukung Pertumbuhan Tanaman. *Al-Kauniyah*, 14(2), 313–324. <http://dx.doi.org/10.15408/kauniyah.v14i2.19140>
- Rahma, H., Zainal, A., Surahman, M., Sinaga, M. S., & Giyanto. (2014). Potensi Bakteri Endofit dalam Menekan Penyakit. *Jurnal HPT Tropika*, 14(2), 121–127. <http://jhpttropika.fp.unila.ac.id/index.php/jhpttropika/article/view/351>
- Ramadhan, A. R., Oedjijono, O., & Hastuti, R. D. (2017). Efektifitas Bakteri Endofit dan Penambahan *Indole Acetic Acid* (IAA) dalam Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Padi *Oryza sativa* L. *Scripta Biologica*, 4(3), 177–181. <https://doi.org/10.20884/1.sb.2017.4.3.542>
- Rambe, N. N. N., Khairul, U., & Rahma, H. (2020). Potensi Konsorsium Bakteri Endofit dalam Menekan Perkembangan Penyakit Layu Stewart oleh *Pantoea stewartii* Subsp. *Stewartii* pada Tanaman Jagung. *Prosiding Seminar Nasional Fakultas Pertanian UPN “Veteran” Yogyakarta 2020*, 65–73.
- Resti, Z., Sulyanti, E., & Reflin. (2018). Konsorsium Bakteri Endofit sebagai Pengendali Hayati *Ralstonia solanacearum* dan Pemacu Pertumbuhan Tanaman Cabai. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiv Indonesia*, 4(2), 208–214. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m040219>

- Rochmawati, Z. N., & Trimulyono, G. (2021). Uji Antagonis *Bacillus subtilis* dan *Bacillus megaterium* terhadap Pertumbuhan *Percospora* sp yang Diisolasi dari *Nepenthes* sp. *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*, 9(3), 204–210. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v9n3.p204-210>
- Ryals, J. A., Neuenschwander, U. H., Willits, M. G., Molina, A., Steiner, H. Y., & Hunt, M. D. (1996). Systemic Acquired Resistance. *Plant Cell*, 8(10), 1809–1819. <https://doi.org/10.1105/tpc.8.10.1809>
- Santoyo, G., Moreno-Hagelsieb, G., del Carmen Orozco-Mosqueda, M., & Glick, B. R. (2016). Plant Growth-Promoting Bacterial Endophytes. *Microbiological Research*, 183, 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.11.008>
- Saridewi, L. P., Prihatiningsih, N., & Djatmiko, H. A. (2020). Karakterisasi Biokimia Bakteri Endofit Akar Terung sebagai Pemacu Pertumbuhan Tanaman dan Pengendali Penyakit Layu Bakteri in Planta. *Jurnal Proteksi Tanaman Tropis*, 1(1), 1. <https://doi.org/10.19184/jptt.v1i1.15579>
- Sivasakthi, S., Usharani, G., & Saranraj, P. (2014). Biocontrol Potentiality of Plant Growth Promoting Bacteria (PGPR) - *Pseudomonas Fluorescens* and *Bacillus subtilis*: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 9(16), 1265–1277. <https://doi.org/10.5897/AJAR2013.7914>
- Su, X. Z., Tang, J. W., Hu, K., Li, X. N., Sun, H. D., & Puno, P. T. (2020). Arthrinins E–G, Three *Botryane sesquiterpenoids* from the Plant Endophytic Fungus *Arthrinium* sp. HS66. *Natural Products and Bioprospecting*, 10(4), 201–207. <https://doi.org/10.1007/s13659-020-00248-y>
- Swain, M. R., & Ray, R. C. (2009). Biocontrol and other Beneficial Activities of *Bacillus subtilis* Isolated from cowdung Microflora. *Microbiological Research*, 164(2), 121–130. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2006.10.009>
- Syafira, S., & Shovitri, M. (2021). Studi Literatur Tentang Teknik Liofilisasi untuk Preservasi Bakteri. *10(2)*, 18–22.
- Ulfah, N., & Sulyanti, E. (2021). Formulasi Konsorsium Bakteri Endofit untuk Pengendalian Penyakit Penyakit Hawar Daun Bakteri pada Tanaman Padi Formulation. *Prosiding Seminar Nasional Faperta Universitas Andalas "Sistem Usaha Tani Terpadu Untuk Ketahanan Pangan Mendukung Pertanian Berkelanjutan*, 266–275.

- Valentina, F., Yuliani, & Lisdiana, L. (2018). Potensi Konsorsium Dua Isolat Bakteri Endofit dari Akar Tanaman Ubi Jalar var. Papua Patippi dalam Menghasilkan Hormon Indole – 3 – Acetic – Acid (IAA). *LenteraBio*, 7(1), 20–21.
- Wahane, M., Meshram, N., More, S., & Khobragade, N. (2020). Biofertilizer and Their Role in Sustainable Agriculture-A review. *The Pharma Innovation Journal*, 9(7), 127–130.
- Wahyuni, W. S., & Iwan, A. (2005). Kemampuan *Pseudomonas putida* Pf-20 dan 24.7B untuk memperbaiki Sifat Kimia Media Tumbuh dan Ketahanan Terinduksi Tembakau H877 terhadap *Cucumber mosaic virus*. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, 11(2), 77–87.
- Wibawa, I. G. K. S., Ngurah, S. D., & Khalimi, K. (2019). Uji antagonis Bakteri Endofit terhadap *Colletotrichum scovillei* Penyebab Penyakit Antraksona pada Cabai Besar (*Capsicum annum L.*). *J. Agric. Sci. and Biotechnol*, 8(1), 31–41.
- Wijaya, V., & Advinda, L. (2021). The Effect of the Rizosphere Bacteria Consortium on as a Result of Bacterial Blood Disease (BDB) Causes Banana Plant Blood Disease (*Musa paradisiaca L.*).
- Woźniak, M., Gałazka, A., Tyśkiewicz, R., & Jaroszuk-ścisiel, J. (2019). Endophytic Bacteria Potentially Promote Plant Growth by Synthesizing Different Metabolites and Their Phenotypic/Physiological Profiles in the Biolog Gen iii microplate™ test. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(21). <https://doi.org/10.3390/ijms20215283>
- Wulandari, N., Irfan, M., & Saragih, R. (2019). Isolasi dan Karakterisasi Plant Growth Promoting Rhizobacteria dari Rizosfer Kebun Karet Rakyat. *Dinamika Pertanian*, 3, 57–64. [https://doi.org/10.25299/dp.2019.vol35\(3\).4565](https://doi.org/10.25299/dp.2019.vol35(3).4565)
- Wulansari, N. K., Windriyati, R. D. H., & Kurniawati, A. (2021). Pengaruh Formulasi Nutrisi terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tomat Ceri pada Sistem Hidroponik Tetes. *Agrin*, 25(1), 36–47. <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>
- Yulensri, Noveri, & Arneti. (2020). Efektifitas Formulasi Cair Konsorsium Bakteri sebagai Agens Hayati *Spodoptera Litura* F pada Padi Sawah. *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV) Ke-6*, 6(1), 1216–1223.

Buku Monograf Bakteri endofit penyusun konsorsium, membantu tanaman melawan penyakit merupakan buku sederhana yang membahas tentang kumpulan hasil penelitian yang telah dilakukan meliputi bakteri endofit. Bakteri endofit merupakan bakteri berguna yang tidak menimbulkan gejala pada tanaman jadi bukan patogen tanaman. Bakteri endofit dapat berpotensi bekerja secara tunggal maupun tersusun sebagai konsorsium yang terdiri atas gabungan beberapa bakteri endofit yang kompatibel dengan harapan potensinya bersinergi sehingga dapat mengendalikan patogen dan penyakit pada tanaman lebih optimal. Bakteri endofit diisolasi dari dalam jaringan tanaman, diuji kemampuan antagonisnya dan menguntungkan tanaman dengan memacu pertumbuhan tanaman, dan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap patogen. Buku ini menggunakan model logika dan analisis hasil penelitian untuk mengevaluasi potensi bakteri endofit dalam konsorsium sampai dengan aplikasi dan formulasinya. Contoh studi kasus yang ada dalam monograf ini diharapkan dapat memberikan gambaran proses eksplorasi dan evaluasi serta analisis potensi konsorsium bakteri endofit yang dapat dimanfaatkan sebagai bakteri antagonis, pemacu pertumbuhan dan menginduksi ketahanan tanaman terhadap penyakit.

Pembahasan di dalam buku ini dilakukan secara sistematis, aplikatif, dan berdasarkan sudut pandang peneliti tentang bakteri endofit sebagai penyusun konsorsium yang membantu tanaman melawan penyakit. Buku ini diharapkan mampu membantu para mahasiswa, praktisi, dan seluruh masyarakat pada umumnya yang berkepentingan terhadap proses eksplorasi bakteri endofit, pengujian potensinya dan penyusunan dalam suatu formula sebagai konsorsium yang membantu tanaman melawan penyakit, dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit. Susunan materi yang dibahas dalam buku ini meliputi: Bab 1. Pendahuluan, Bab 2. Metode Pemecahan Masalah, Bab 3. Bakteri Endofit, Bab 4. Konsorsium Bakteri Endofit, Bab 5. Pengujian Potensi Konsorsium Bakteri Endofit terhadap Patogen, Bab 6. Pengujian Potensi Konsorsium Bakteri Endofit terhadap Tanaman, Bab 7. Formulasi Cair Konsorsium bakteri Endofit dan Bab 8. Penutup.



UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
Gd. UNSOED Press
Jalan Prof. Dr. H.R. Boenyamin 708 Purwokerto
Kode Pos 53122 Kotak Pos 115
Telepon (0281) 626070
Email: unsoedpresspwt@gmail.com

ISBN 978-623-465-100-3

