

PENGENDALIAN HAYATI PATOGEN TANAMAN DENGAN MIKROORGANISME ANTAGONIS EDISI REVISI I



**Prof. Dr. Ir. Ahmad Muslim, M.Agr.
Prof. Dr. Ir. Suwandi, M.Agr**

**PENGENDALIAN HAYATI PATOGEN TANAMAN
DENGAN MIKROORGANISME ANTAGONIS
EDISI REVISI I**

**Sanksi pelanggaran Pasal 72
Undang-undang Nomor 19 Tahun 2002
Tentang Perubahan atas Undang-undang Nomor 12 Tahun 1997
Pasal 44 Tentang Hak Cipta**

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp. 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah)
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta atau hak terkait, sebagaimana dimaksud ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)

**PENGENDALIAN HAYATI PATOGEN TANAMAN
DENGAN MIKROORGANISME ANTAGONIS
EDISI REVISI I**

**Prof. Dr. Ir. Ahmad Muslim, M. Agr.
Prof. Dr. Ir. Suwandi, M.Agr.**



**PENGENDALIAN HAYATI PATOGEN TANAMAN
DENGAN MIKROORGANISME ANTAGONIS
EDISI REVISI I**

Prof. Dr. Ir. Ahmad Muslim, M. Agr.
Prof. Dr. Ir. Suwandi, M.Agr.

UPT.Penerbit dan Percetakan
Universitas Sriwijaya 2019
Kampus Unsri Palembang
Jalan Srijaya Negara, Bukit Besar Palembang 30139
Telp. 0711-360969
email : unsri.press@yahoo.com, penerbitunsri@gmail.com
website : www.unsri.unsripress.ac.id

Anggota APPTI No. 026/KTA/APPTI/X/2015
Anggota IKAPI No. 001/SMS/2009

Cetakan Pertama, Februari 2019
Edisi Revisi I, Februari 2023
230 halaman : 24 x 16 cm

Hak cipta dilindungi undang-undang.
Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
dalam bentuk apa pun, baik secara elektronik maupun
mekanik, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan
menggunakan system penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis
dari Penerbit.

Hak Terbit Pada Unsri Press

ISBN 978-623-399-109-4



KATA PENGANTAR

Studi tentang mikrobiologi pertanian terus berkembang, salah satu area yang sangat menarik adalah Pengendalian hayati patogen tanamandengan memanfaatkan mikroorganismen antagonis. Explorasi dan penelitian tentang pengendalian hayati terhadap patogen tanaman menjadi perhatian pemerintah dan industri pestisida sejak tingkat kesadaran masyarakat akan kesehatan dan bahaya residu pestisida meningkat, khususnya untuk komoditi pertanian yang bebas bahan beracun pestisida.

Penggunaan pestisida yang terus menerus dan intensif mengakibatkan banyak sekali efek samping yang membahayakan kesehatan manusia dan hewan. Para produsen juga dirugikan karena negara pengimporbiasanyaakan menolak produk-produk yang mengandung residu pestisida seperti komoditi teh dan sayuran. Penggunaan pestisida juga dapat menyebabkan kerusakan pada lingkungan, yang tidak hanya dapat menimbulkan polusi baik di udara, tanah dan air, tetapi penggunaan pestisida juga dapat membunuh mikroorganismen bukan sasaran khususnya mikroorganismen antagonis dan saprofit yang sangat berguna dalam menjaga keseimbangan populasi mikroorganime di alam.

Sehubungan dengan hal tersebut, ahli penyakit tanaman harus terus mengembangkan pengendalian yang aman, efektif dan kompetitif terhadap pengendalian pestisida tersebut, serta dapat mendukung pengendalian penyakit tanaman secara terpadu atau saat ini dikenal dengan pengelolaan tanaman sehat. Pengendalian hayati merupakan alternatif pengendalian yang potensial untuk tujuan tersebut. Karena pengendalian hayati aman terhadap kesehatan manusia dan ramah bagi lingkungan dan dapat mendukung pengelolaan penyakit tanaman secara berkelanjutan.

Pengendalian hayati juga merupakan kunci keberhasilan pengembangan system pertanian organik yang saat ini semakin dibutuhkan masyarakat modern. Ilmu Pengendalian hayati patogen tanaman sudah cukup lama berkembang, pertama kali aplikasi secara langsung agensia pengendalian hayati terhadap penyakit tanaman dilakukan pada sekitar tahun 1920an. Kemudian dilanjutkan dengan Simposium pertama yang berhubungan dengan pengendalian hayati yang dilakukan di *University of Californiadi Berkeley, USA* pada tanggal 7-13 April 1963 yang dihadiri oleh 24 negaradan 309 peserta, dengan mengeluarkan proceeding dengan judul *Ecology of Soil-Borne Plant pathogens, Prelude to Biological Control*, dimana Simposium ini menjadi inspirasi bagi perkembangan pengendalian hayati selanjutnya. Sampai tahun 1971 Pengendalian Hayati Patogen Tanaman masih dianggap sebagai *Mission Impossible*, hal ini dapat dilihat hasil pertemuan tahunan ke 63 di Amerika, yang dipublikasi Edisi khusus di *Jurnal Soil biology and Biochemistery* dengan judul *Biological Control of Soil-borne Pathogen-Mission Impossible ?*. Jurnal ini yang memicu ahli penyakit tanaman untuk terus melakukan riset yang berhubungan dengan pengendalian hayati patogen tanaman Selanjutnya setelah itu berbagai buku, symposium tentang Pengendalian hayati terus berkembang sampai saat ini, hampir setiap pertemuan ilmiah asosiasi penyakit tanaman di seluruh dunia, banyak ditemukan tulisan-tulisan yang berhubungan dengan pengendalian hayati.

Buku referensi ini merupakan edisi revisi 1 dari buku sebelumnya dengan judul yang sama dengan penambahan Bab 9, yaitu tentang Pengendalian Hayati Penyakit Pasca Panen. Topik ini sangat penting, mengingat pengendalian penyakit pascapanen biasa dilakukan dengan penyemprotan pestisida, sementara penggunaan pestisida terhadap buah-buahan dan sayuran yang biasanya dikonsumsi segar oleh manusia

mempunyai resiko yang sangat tinggi bagi kesehatan khususnya resiko penyakit kronis residu pestisida yang bersifat karsinogen yang dapat menyebabkan kanker dan tumor. Untuk itu, ahli penyakit tanaman harus memikirkan pengendalian yang aman terhadap penyakit pascapanen, sehingga topik Pengendalian hayati penyakit pascapanen menjadi sangat penting dan perlu dimasukkan dalam buku ini. Bab 9 ini ditulis dari hasil rivew publikasi para peneliti di seluruh dunia yang berhubungan dengan pengendalian hayati penyakit pascapanen yang berisi tentang pentingnya penyakit pascapanen, Secara umum Bab 9 ini membahas tentang pentingnya pengendalian hayati pascapanen, bagaimana faktor-faktor yang mempengaruhi dan interaksi patogen/antagonis/inang/mikroorganisme lain dalam pengendalian hayati penyakit pascapanen, antagonis potensial sebagai agen pengendalian hayati, bagaimana mekanismenya, kemudian aplikasi dan pengendalian terpadu pengendalian hayati penyakit pascapanen dan prospek pengendalian hayati penyakit pascapanen.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dan berpartisipasi dalam mewujudkan Buku Referensi ini. Kami sadari bahwa Buku Referensi ini masih belum sempurna, kami yakin masih banyak kekurangan dan kelemahan baik dari sisi isi, pembahasan, maupun bahasanya. Kami berharap buku ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua khususnya para peneliti, dosen, mahasiswa, praktisi pertanian, formulator pesitida, dan pihak- pihak lainnya.

Palembang, 10 Februari 2023

Penulis

DAFTAR ISI

	KATA PENGANTAR	iii
	DAFTAR ISI	v
BAB 1	PENDAHULUAN	1
	LatarBelakang	2
	Definisi	4
	Perbedaan pendekatan Pengendalian Hayati Pada Patogen Tanaman dan Serangga	6
	Perkembangan Sejarah Pengendalian Hayati Patogen Tanaman	8
	Mengapa Harus Pengendalian Hayati	11
	Keseimbangan Biologi	14
	Tipe Interaksi Biologi	15
	Faktor-faktor yang Terlibat Dalam Pengendalian Hayati	18
	1. Tanaman	18
	2. PatogenatauParasit	20
	3. Antagonis	21
	4. Lingkungan	22
	DaftarPustaka	23
BAB 2	MEKANISME PENGENDALIAN HAYATI ...	27
	Pendahuluan	28
	Bentuk Mekanisme Pengendalian Hayati Patogen Tanaman	29
	Mekanisme Antagonisme Diluar Inang atau Interaksi Secara Langsung dengan Patogen.....	31
	1. Antibiosis dan Lisis	31

2. Kompetisi dan Kolonisasi	33
3. Mikoparasit/Hiperparasit	36
Interaksi Agensia Pengendali Hayati di dalam Inang atau Interaksi Secara Tidak Langsung dengan Patogen	38
1. Induksi Resisten	38
2. Hipovirulen	42
DaftarPustaka	43
BAB 3 ISOLASI, EVALUASI DAN APLIKASI AGENSIA PENGENDALI HAYATI	49
Pendahuluan	50
Isolasi Antagonis	53
Evaluasi AgensiaPengendali Hayati	58
1. Uji <i>In Vitro</i>	58
2. Uji Secara <i>In Vivo</i>	63
3. Uji Kemampuan Induksi Resistensi Secara Sistemik.....	66
Formulasi Agensia Pengendali Hayati	72
Aplikasi Agensia Pengendali Hayati dan Komersialisasi	75
Daftar Pustaka	80
BAB 4 PENGENDALIAN HAYATI PATOGEN TULAR TANAH	84
Pendahuluan	85
Mikrobia Rizosfer dan Spermosfer	86
Management Budidaya Tanaman / Kultur Teknis	90
Tanah Supresif	91
Penambahan Bahan Organik dan Kompos.....	95
Bakteri Pemicu Pertumbuhan	98

	Komersialisasi Produk Pengendalian Hayati Patogen Tular Tanah	101
	Daftar Pustaka	107
BAB 5	PENGENDALIAN HAYATI PATOGEN TULAR UDARA	115
	Pendahuluan	116
	Ekologi Permukaan Daun	118
	Efek Fungisida	120
	Kolonisasi Daun oleh Mikroorganisme	122
	Mekanisme	123
	Komersialisasi Produk Pengendalian Hayati Patogen Tular Udara.....	126
	Daftar Pustaka	130
BAB 6	PENGENDALIAN HAYATI SEBAGAI PENDUKUNG PENGENDALIAN TERPADUDAN TEKNIK PENINGKATAN EFEKTIVITAS PENGENDALIAN HAYATI ..	135
	Pendahuluan	136
	Kombinasi Pengendalian Hayati dengan Pengendalian Lain atau Kombinasi antar Agen Hayati	136
	Kapan Pengendalian Hayati diaplikasikan	141
	Pemanfaatan Teknik Biologi Molekuler untuk Meningkatkan Efektivitas Agenia Pengendalian Hayati.....	144
	1. Perbaikan Genetik (<i>Genetic Improvement</i>) ...	144
	2. Penyatuan Protoplas (<i>Protoplast Fusion</i>)	145
	Daftar Pustaka	147
BAB 7	ISOLAT HIPOVIRULEN ATAU NON-PATOGEN SEBAGAI AGENIA HAYATI	

	PATOGEN TANAMAN	151
	Pendahuluan	152
	Mekanisme Pengendalian Hayati dengan Isolat Hipovirulen	153
	Pengendalian Hayati Patogen Tanaman Dengan Isolat Hipovirulen.....	165
	Daftar Pustaka	176
BAB 8	TRICHODERMA SEBAGAI AGENSIA POTENSIAL PENDENDALIAN HAYATI PATOGEN TANAMAN	184
	Pendahuluan	185
	Mekanisme Pengendalian Hayati dengan <i>Trichoderma</i>	186
	1. Pengendalian Hayati melalui persaingan untuk mendapat nutrisi dan ruang hidup ..	187
	2. Pengendali Hayati melalui Mikoparasitisme.....	188
	3. Peningkatan pertumbuhan tanaman oleh <i>Trichodermaspp</i>	190
	3. Induksi pertahanan tanaman oleh <i>Trichoderma spp.</i>	191
	4. Kolonisasi akar tanaman oleh <i>Trichoderma spp.</i>	193
	6. Produksi antibiotik dan senyawa sekunder oleh <i>Trichoderma spp.</i>	195
	7.Metabolisme Stimulan Perkecambahan.....	198
	8.Mekanisme Tambahan	199
	Pengendalian Hayati Patogen Tanaman oleh <i>Trichorderma</i>	200
	DaftarPustaka	206
	GLOSARIUM	216

BAB 9	PENGENDALIAN HAYATI PENYAKIT PASCA PANEN	216
	Pendahuluan	217
	Interaksi Patogen / Antagonis / Inang Mikroorganisme Lain dalam Pengendaliajn Hayati Penyakit Pascapanen	219
	Mikroorganisme Antagonis Sebagai Agen Pengendalian Hayati Penyakit Pascapanen....	221
	Mekanisme Pengendalian Hayati Penyakit Pascapanen	224
	Aplikasi dan Pengendalian Terpadu Pengendalian Hayati Penyakit Pascapanen	228
	Prospek Pengendalian Hayati Penyakit Pascapanen	234
	DaftarPustaka	235
	GLOSARIUM	243
	INDEKS	250

**PENGENDALIAN HAYATI PATOGEN TANAMAN
DENGAN MIKROORGANISME ANTAGONIS
EDISI REVISI I**

**Sanksi pelanggaran Pasal 72
Undang-undang Nomor 19 Tahun 2002
Tentang Perubahan atas Undang-undang Nomor 12 Tahun 1997
Pasal 44 Tentang Hak Cipta**

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp. 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah)
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta atau hak terkait, sebagaimana dimaksud ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)

**PENGENDALIAN HAYATI PATOGEN TANAMAN
DENGAN MIKROORGANISME ANTAGONIS
EDISI REVISI I**

**Prof. Dr. Ir. Ahmad Muslim, M. Agr.
Prof. Dr. Ir. Suwandi, M.Agr.**



**PENGENDALIAN HAYATI PATOGEN TANAMAN
DENGAN MIKROORGANISME ANTAGONIS
EDISI REVISI I**

Prof. Dr. Ir. Ahmad Muslim, M. Agr.
Prof. Dr. Ir. Suwandi, M.Agr.

UPT.Penerbit dan Percetakan
Universitas Sriwijaya 2019
Kampus Unsri Palembang
Jalan Srijaya Negara, Bukit Besar Palembang 30139
Telp. 0711-360969
email : unsri.press@yahoo.com, penerbitunsri@gmail.com
website : www.unsri.unsripress.ac.id

Anggota APPTI No. 026/KTA/APPTI/X/2015
Anggota IKAPI No. 001/SMS/2009

Cetakan Pertama, Februari 2019
Edisi Revisi I, Februari 2023
230 halaman : 24 x 16 cm

Hak cipta dilindungi undang-undang.
Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan menggunakan system penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penerbit.

Hak Terbit Pada Unsri Press

ISBN 978-623-399-109-4



KATA PENGANTAR

Studi tentang mikrobiologi pertanian terus berkembang, salah satu area yang sangat menarik adalah Pengendalian hayati patogen tanamandengan memanfaatkan mikroorganisme antagonis. Explorasi dan penelitian tentang pengendalian hayati terhadap patogen tanaman menjadi perhatian pemerintah dan industri pestisida sejak tingkat kesadaran masyarakat akan kesehatan dan bahaya residu pestisida meningkat, khususnya untuk komoditi pertanian yang bebas bahan beracun pestisida.

Penggunaan pestisida yang terus menerus dan intensif mengakibatkan banyak sekali efek samping yang membahayakan kesehatan manusia dan hewan. Para produsen juga dirugikan karena negara pengimporbiasanyaakan menolak produk-produk yang mengandung residu pesitida seperti komoditi teh dan sayuran. Penggunaan pestisida juga dapat menyebabkan kerusakan pada lingkungan, yang tidak hanya dapat menimbulkan polusi baik di udara, tanah dan air, tetapi penggunaan pestisida juga dapat membunuh mikroorganisme bukan sasaran khususnya mikroorganisme antagonis dan saprofit yang sangat berguna dalam menjaga keseimbangan populasi mikroorganime di alam.

Sehubungan dengan hal tersebut, ahli penyakit tanaman harus terus mengembangkan pengendalian yang aman, efektif dan kompetitif terhadap pengendalian pestisida tersebut, serta dapat mendukung pengendalian penyakit tanaman secara terpadu atau saat ini dikenal dengan pengelolaan tanaman sehat. Pengendalian hayati merupakan alternatif pengendalian yang potensial untuk tujuan tersebut. Karena pengendalian hayati aman terhadap kesehatan manusia dan ramah bagi lingkungan dan dapat mendukung pengelolaan penyakit tanaman secara berkelanjutan.

Pengendalian hayati juga merupakan kunci keberhasilan pengembangan system pertanian organik yang saat ini semakin dibutuhkan masyarakat modern. Ilmu Pengendalian hayati patogen tanaman sudah cukup lama berkembang, pertama kali aplikasi secara langsung agensia pengendalian hayati terhadap penyakit tanaman dilakukan pada sekitar tahun 1920an. Kemudian dilanjutkan dengan Simposium pertama yang berhubungan dengan pengendalian hayati yang dilakukan di *University of Californiadi Berkeley, USA* pada tanggal 7-13 April 1963 yang dihadiri oleh 24 negaradan 309 peserta, dengan mengeluarkan proceeding dengan judul *Ecology of Soil-Borne Plant pathogens, Prelude to Biological Control*, dimana Simposium ini menjadi inspirasi bagi perkembangan pengendalian hayati selanjutnya. Sampai tahun 1971 Pengendalian Hayati Patogen Tanaman masih dianggap sebagai *Mission Impossible*, hal ini dapat dilihat hasil pertemuan tahunan ke 63 di Amerika, yang dipublikasi Edisi khusus di *Jurnal Soil biology and Biochemistery* dengan judul *Biological Control of Soil-borne Pathogen-Mission Impossible ?*. Jurnal ini yang memicu ahli penyakit tanaman untuk terus melakukan riset yang berhubungan dengan pengendalian hayati patogen tanaman Selanjutnya setelah itu berbagai buku, symposium tentang Pengendalian hayati terus berkembang sampai saat ini, hampir setiap pertemuan ilmiah asosiasi penyakit tanaman di seluruh dunia, banyak ditemukan tulisan-tulisan yang berhubungan dengan pengendalian hayati.

Buku referensi ini merupakan edisi revisi 1 dari buku sebelumnya dengan judul yang sama dengan penambahan Bab 9, yaitu tentang Pengendalian Hayati Penyakit Pasca Panen. Topik ini sangat penting, mengingat pengendalian penyakit pascapanen biasa dilakukan dengan penyemprotan pestisida, sementara penggunaan pestisida terhadap buah-buahan dan sayuran yang biasanya dikonsumsi segar oleh manusia

mempunyai resiko yang sangat tinggi bagi kesehatan khususnya resiko penyakit kronis residu pestisida yang bersifat karsinogen yang dapat menyebabkan kanker dan tumor. Untuk itu, ahli penyakit tanaman harus memikirkan pengendalian yang aman terhadap penyakit pascapanen, sehingga topik Pengendalian hayati penyakit pascapanen menjadi sangat penting dan perlu dimasukkan dalam buku ini. Bab 9 ini ditulis dari hasil rivew publikasi para peneliti di seluruh dunia yang berhubungan dengan pengendalian hayati penyakit pascapanen yang berisi tentang pentingnya penyakit pascapanen, Secara umum Bab 9 ini membahas tentang pentingnya pengendalian hayati pascapanen, bagaimana faktor-faktor yang mempengaruhi dan interaksi patogen/antagonis/inang/mikroorganisme lain dalam pengendalian hayati penyakit pascapanen, antagonis potensial sebagai agen pengendalian hayati, bagaimana mekanismenya, kemudian aplikasi dan pengendalian terpadu pengendalian hayati penyakit pascapanen dan prospek pengendalian hayati penyakit pascapanen.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dan berpartisipasi dalam mewujudkan Buku Referensi ini. Kami sadari bahwa Buku Referensi ini masih belum sempurna, kami yakin masih banyak kekurangan dan kelemahan baik dari sisi isi, pembahasan, maupun bahasanya. Kami berharap buku ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua khususnya para peneliti, dosen, mahasiswa, praktisi pertanian, formulator pesitisda, dan pihak- pihak lainnya.

Palembang, 10 Februari 2023

Penulis

DAFTAR ISI

	KATA PENGANTAR	iii
	DAFTAR ISI	v
BAB 1	PENDAHULUAN	1
	LatarBelakang	2
	Definisi	4
	Perbedaan pendekatan Pengendalian Hayati Pada Patogen Tanaman dan Serangga	6
	Perkembangan Sejarah Pengendalian Hayati Patogen Tanaman	8
	Mengapa Harus Pengendalian Hayati	11
	Keseimbangan Biologi	14
	Tipe Interaksi Biologi	15
	Faktor-faktor yang Terlibat Dalam Pengendalian Hayati	18
	1. Tanaman	18
	2. PatogenatauParasit	20
	3. Antagonis	21
	4. Lingkungan	22
	DaftarPustaka	23
BAB 2	MEKANISME PENGENDALIAN HAYATI ...	27
	Pendahuluan	28
	Bentuk Mekanisme Pengendalian Hayati Patogen Tanaman	29
	Mekanisme Antagonisme Diluar Inang atau Interaksi Secara Langsung dengan Patogen.....	31
	1. Antibiosis dan Lisis	31

2. Kompetisi dan Kolonisasi	33
3. Mikoparasit/Hiperparasit	36
Interaksi Agensia Pengendali Hayati di dalam Inang atau Interaksi Secara Tidak Langsung dengan Patogen	38
1. Induksi Resisten	38
2. Hipovirulen	42
DaftarPustaka	43
BAB 3 ISOLASI, EVALUASI DAN APLIKASI AGENSIA PENGENDALI HAYATI	49
Pendahuluan	50
Isolasi Antagonis	53
Evaluasi AgensiaPengendali Hayati	58
1. Uji <i>In Vitro</i>	58
2. Uji Secara <i>In Vivo</i>	63
3. Uji Kemampuan Induksi Resistensi Secara Sistemik.....	66
Formulasi Agensia Pengendali Hayati	72
Aplikasi Agensia Pengendali Hayati dan Komersialisasi	75
Daftar Pustaka	80
BAB 4 PENGENDALIAN HAYATI PATOGEN TULAR TANAH	84
Pendahuluan	85
Mikrobia Rizosfer dan Spermosfer	86
Management Budidaya Tanaman / Kultur Teknis	90
Tanah Supresif	91
Penambahan Bahan Organik dan Kompos.....	95
Bakteri Pemicu Pertumbuhan	98

	Komersialisasi Produk Pengendalian Hayati Patogen Tular Tanah	101
	Daftar Pustaka	107
BAB 5	PENGENDALIAN HAYATI PATOGEN TULAR UDARA	115
	Pendahuluan	116
	Ekologi Permukaan Daun	118
	Efek Fungisida	120
	Kolonisasi Daun oleh Mikroorganisme	122
	Mekanisme	123
	Komersialisasi Produk Pengendalian Hayati Patogen Tular Udara.....	126
	Daftar Pustaka	130
BAB 6	PENGENDALIAN HAYATI SEBAGAI PENDUKUNG PENGENDALIAN TERPADUDAN TEKNIK PENINGKATAN EFEKTIVITAS PENGENDALIAN HAYATI ..	135
	Pendahuluan	136
	Kombinasi Pengendalian Hayati dengan Pengendalian Lain atau Kombinasi antar Agen Hayati	136
	Kapan Pengendalian Hayati diaplikasikan	141
	Pemanfaatan Teknik Biologi Molekuler untuk Meningkatkan Efektivitas Agenia Pengendalian Hayati.....	144
	1. Perbaikan Genetik (<i>Genetic Improvement</i>) ...	144
	2. Penyatuan Protoplas (<i>Protoplast Fusion</i>)	145
	Daftar Pustaka	147
BAB 7	ISOLAT HIPOVIRULEN ATAU NON-PATOGEN SEBAGAI AGENIA HAYATI	

	PATOGEN TANAMAN	151
	Pendahuluan	152
	Mekanisme Pengendalian Hayati dengan Isolat Hipovirulen	153
	Pengendalian Hayati Patogen Tanaman Dengan Isolat Hipovirulen.....	165
	Daftar Pustaka	176
BAB 8	TRICHODERMA SEBAGAI AGENSIA POTENSIAL PENDENDALIAN HAYATI PATOGEN TANAMAN	184
	Pendahuluan	185
	Mekanisme Pengendalian Hayati dengan <i>Trichoderma</i>	186
	1. Pengendalian Hayati melalui persaingan untuk mendapat nutrisi dan ruang hidup ..	187
	2. Pengendali Hayati melalui Mikoparasitisme.....	188
	3. Peningkatan pertumbuhan tanaman oleh <i>Trichodermaspp</i>	190
	3. Induksi pertahanan tanaman oleh <i>Trichoderma spp.</i>	191
	4. Kolonisasi akar tanaman oleh <i>Trichoderma spp.</i>	193
	6. Produksi antibiotik dan senyawa sekunder oleh <i>Trichoderma spp.</i>	195
	7.Metabolisme Stimulan Perkecambahan.....	198
	8.Mekanisme Tambahan	199
	Pengendalian Hayati Patogen Tanaman oleh <i>Trichorderma</i>	200
	DaftarPustaka	206
	GLOSARIUM	216

BAB 9	PENGENDALIAN HAYATI PENYAKIT PASCA PANEN	216
	Pendahuluan	217
	Interaksi Patogen / Antagonis / Inang Mikroorganisme Lain dalam Pengendaliajn Hayati Penyakit Pascapanen	219
	Mikroorganisme Antagonis Sebagai Agen Pengendalian Hayati Penyakit Pascapanen....	221
	Mekanisme Pengendalian Hayati Penyakit Pascapanen	224
	Aplikasi dan Pengendalian Terpadu Pengendalian Hayati Penyakit Pascapanen	228
	Prospek Pengendalian Hayati Penyakit Pascapanen	234
	DaftarPustaka	235
	GLOSARIUM	243
	INDEKS	250

BAB 1

PENDAHULUAN

LATAR BELAKANG

Studi tentang mikrobiologi pertanian terus berkembang, salah satu area yang sangat menarik adalah Pengendalian hayati patogen tanaman dengan memanfaatkan mikroorganisme antagonis. Explorasi dan penelitian tentang pengendalian hayati terhadap patogen tanaman menjadi perhatian pemerintah dan industri swasta sejak tingkat kesadaran masyarakat akan kesehatan meningkat, khususnya komoditi pertanian yang bebas bahan beracun pestisida (Nigam dan Mukerji, 1988).

Sejak orang mengenal pestisida pada sekitar tahun 1800-an; *lime sulphur* tahun 1802 dan *Bordeaux mixture* tahun 1882, dimana jenis pengendalian ini sangat efektif membunuh serangga hama dan patogen tanaman dan hasilnya dengan cepat dapat kita lihat, sehingga penggunaan pestisida dari tahun ke tahun semakin meningkat dan sangat intensif digunakan dalam spektrum yang sangat luas, akibatnya banyak sekali efek samping yang membahayakan dari penggunaan pestisida ini.

Penggunaan pestisida yang berlebihan akan meninggalkan residu di dalam tanaman/bagian tanaman. Residu pestisida dalam kadar tertentu berisiko buruk bagi kesehatan konsumennya, terutama produk-produk pertanian yang langsung dikonsumsi seperti sayuran dan buah-buahan. Juga merugikan produsen bila diekspor sebab komoditi yang mengandung residu yang dianggap berbahaya oleh negara pengimpor akan ditolak, ini sering dialami oleh negara Indonesia misalnya komoditi teh dan sayuran.

Penggunaan pestisida juga dapat menyebabkan kerusakan pada lingkungan, yang dapat menimbulkan polusi di udara, tanah dan air. Penggunaan pestisida juga dapat membunuh mikroorganisme bukan sasaran khususnya mikroorganisme

antagonis dan saprofit yang sangat berguna dalam menjaga keseimbangan populasi mikroorganisme di alam, khususnya populasi patogen yang berpotensi menimbulkan kerugian pada tanaman.

Sehubungan dengan hal tersebut, ahli penyakit tanaman harus terus mengembangkan pengendalian yang aman, efektif dan kompetitif terhadap pengendalian pestisida tersebut, serta dapat mendukung pengendalian penyakit tanaman secara terpadu atau saat ini dikenal dengan pengelolaan tanaman sehat. Pengendalian hayati merupakan alternatif pengendalian yang potensial untuk tujuan tersebut. Karena pengendalian hayati aman terhadap kesehatan manusia, ramah bagi lingkungan, dapat mendukung pengelolaan penyakit tanaman secara berkelanjutan, dan yang lebih penting lagi mendukung pengembangan pertanian organik.

Saat ini banyak sekali agensia pengendali hayati yang sudah ditemukan dari golongan seperti fungi (*Plant growth promoting fungi*: PGPF; *Fusarium oxysporum* non-patogen; *Pythium oligdanrum*, *Arbuscular mycorrhizal fungi*: AMF), bakteri (bakteri non-patogen: *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora*, *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* dengan nama dagang "Biokeeper" dan "Ecomate", dan *Agrobacterium radiobacter* dengan nama dagang "Bacterose"; *Bacillus*; *Pseudomonas*; *Burkholderia*, *Variovorax*, *Alcaligenes*, *Azospirillum*, *Brevundimonas*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Microbacterium*, *Serratia*, *Sphingomonas*, dan *Stenotrophomonas*), aktinomycetes (*Streptomyces* sp.), dan virus yang dilemahkan. Disamping banyaknya agensia hayati yang ditemukan, implementasi agensia hayati tersebut dalam mendukung strategi pengelolaan patogen tanaman secara terpadu juga meningkat (Hyakumachi dkk., 2014). Berbagai review tentang komersialisasi agensia pengendali hayati juga sudah banyak

dilaporkan baik di Indonesia (Prihastuti, 2016; Direktorat Pupuk dan Pestisida, Kementerian Pertanian Republik Indonesia, 2016) maupun di seluruh dunia (Mathre dkk., 1999; Fravel, 2005).

DEFINISI

Menurut Baker dan Cook (1974), Pengendalian hayati adalah pengurangan inokulum densiti atau aktivitas penyakit atau parasit tanaman pada kondisi aktif atau dorman oleh satu atau lebih organisme, secara alami atau melalui manipulasi lingkungan, inang, atau antagonis, atau dengan mengintroduksi satu atau lebih antagonis.

Selanjutnya Cook dan Baker (1983), mempersingkat definisi tersebut menjadi: Pengurangan inokulum atau aktivitas timbulnya penyakit oleh kegiatan patogen dengan satu atau lebih organisme selain manusia.

Aktivitas timbulnya penyakit meliputi: pertumbuhan, infeksi, agresivitas, virulensi, atau proses timbulnya penyakit seperti ditunjukkan dengan infeksi, perkembangan gejala, dan reproduksi patogen.

Organisme terdiri dari:

1. avirulen atau hipovirulen
2. tanaman yang dimanipulasi secara genetik, dengan kultur teknis, atau dengan perlakuan aplikasi mikroorganisme sehingga dapat meningkatkan resistensi tanaman terhadap penyakit.
3. Antagonis, yang didefinisikan sebagai mikroorganisme yang mengganggu kelangsungan hidup atau menimbulkan penyakit pada patogen, atau disebut musuh alami "natural enemies" dalam entomologi. Antagonis terdiri dari semua kelas organisme: fungi,

bakteri, nematoda, protozoa, virus, viroid, benih tanaman sebagai tanaman perangkap.

Campbell (1989) mendefinisikan Pengendalian hayati secara lebih luas yaitu; pengendalian hayati patogen tanaman adalah segala cara untuk mengendalikan penyakit atau mengurangi jumlah atau pengaruh patogen dengan mekanisme biologis atau organisme selain manusia.

Pengendalian hayati dapat terjadi bukan hanya melalui introduksi agensia hayati, tetapi juga dapat terjadi melalui kegiatan-kegiatan lain yang secara tidak langsung dapat meningkatkan jumlah antagonis atau aktivitas antagonis sehingga dapat menekan serangan patogen, sehingga kegiatan kultur teknis tertentu, pemuliaan tanaman, bahan kimia tertentu dapat dikatakan dan dimasukkan sebagai bagian dari pengendalian hayati, seperti :

1. Pengendalian kultur teknis seperti, pengelolaan habitat, pengolahan tanah, rotasi tanaman, pemberian bahan organik atau kompos, dan kegiatan lainnya, yang memungkinkan kegiatan tersebut dapat menciptakan lingkungan yang mendukung pertumbuhan dan perkembangan antagonis atau dapat menginduksi resistensi tanaman terhadap penyakit, sehingga penekanan penyakit yang terjadi bukan diakibatkan oleh kultur teknis tersebut tetapi karena pengaruh antagonis
2. penggunaan bahan kimia atau bahan tertentu seperti madu atau nutrisi tertentu, dimana aplikasi bahan tersebut dapat mengubah mikroflora di habitat tersebut khususnya peningkatan populasi dan aktivitas antagonis.

3. pemuliaan tanaman, dimana perubahan genom tanaman mungkin mempengaruhi tingkat resistensi tanaman terhadap penyakit, dan juga dapat mempengaruhi atau sesuai dengan aktivitas antagonis sehingga dapat menekan serangan penyakit tanaman.
4. Introduksi langsung mikrobia antagonis, non-patogen atau hipovirulent patogen, dan mikroorganisme bermanfaat lainnya .

Tujuan pengendalian hayati patogen tanaman adalah mengurangi terjadinya penyakit tanaman atau aktivitas terjadi penyakit tanaman dengan:

1. Menekan inokulum potensial dari patogen melalui aktivitas antagonis sehingga dapat menekan pertumbuhan dan perkembangan populasi inokulum patogen
2. Menekan terjadinya infeksi pada inang oleh patogen melalui aktivitas kolonisasi, kompetisi ruang infeksi dan induksi resistensi
3. Menekan intensitas serangan patogen pada inang, melalui aktivitas induksi resistensi baik yang bersifat lokal maupun sistemik melalui peningkatan zat anti fungi atau anti bakteri atau aktivitas lainnya.

PERBEDAAN PENDEKATAN PENGENDALIAN HAYATI PADA PATOGEN TANAMAN DAN SERANGGA

Pengendalian hayati pada serangga sebagian besar dengan predator dan parasit yang secara aktif bergerak, mencari mangsanya dan beroperasi dengan dasar satu predator atau parasit terhadap satu mangsanya, ataupun akhir-akhir ini

dengan entomopatogen yang dapat memparasit atau membunuh serangga, yang memungkinkan entomopatogen tersebut ikut bergerak pindah dari serangga yang terinfeksi ke serangga yang sehat.

Sementara itu pengendalian hayati pada patogen tanaman sebagian besar melalui antibiosis, kompetisi dan hiperparasit, atau melalui induksi resistensi tanaman terhadap penyakit. Sebagian besar antagonis bersifat pasif dan tidak bergerak, kontak dengan patogen secara tidak sengaja dan beroperasi didalam group yang tercampur lebih dari satu individu. Dengan perbedaan ini, konsep aplikasi pengendalian hayati patogen tanaman sangat dibatasi oleh faktor lingkungan.

Perbedaan-perbedaan tersebut juga membuat definisi mereka juga berbeda, kalau pada pengendalian hayati pada serangga "aktivitas parasit, predator, atau entomopatogen dalam menekan atau menjaga populasi organisme lain pada level lebih rendah sehingga tidak merusak tanaman", sementara pada patogen tanaman lebih menekankan tidak hanya menekan populasi inokulum patogen, tetapi juga melindungi permukaan tanaman dari serangan penyakit, dan mengendalikan atau mengurangi serangan penyakit di dalam tanaman, seperti yang dijelaskan di atas.

Para ahli entomologi dengan bebas mengintroduksi predator dan parasit asing ketika tidak tersedianya predator dan parasit yang efektif di daerah tersebut. Sementara itu ahli penyakit tanaman sangat tergantung dengan antagonis asli dan mencoba meningkatkan efektivitas mereka dengan memanipulasi lingkungan sehingga sesuai dengan kebutuhan antagonis.

Kedepan ahli penyakit tanaman disarankan:

- a. merubah pendekatan mereka dengan mencoba antagonis tanpa menunggu lengkapnya pengetahuan terhadap antagonis tersebut.
- b. Mencoba mengintroduksi mikroorganisme antagonis yang sudah diketahui ke tanah dimana mereka tidak biasanya muncul.
- c. Mencoba mentransfer secara massal semua mikroplora potensial ke dalam tanah.

Sampai sekarang, para ahli penyakit tanaman cukup berhasil mengembangkan pengendalian hayati dengan pengolahan tanah yang dapat memanipulasi lingkungan. Menggunakan benih yang bebas patogen, sanitasi, tanaman resisten terhadap patogen, sementara itu para ahli entomologi relatif sedikit menggunakan cara ini.

PERKEMBANGAN SEJARAH PENGENDALIAN HAYATI PATOGEN TANAMAN

Banyak kenyataan-kenyataan empirik untuk meningkatkan produksi tanaman telah ditemukan selama evolusi pertanian dalam ribuan tahun yang lalu, dan beberapa diantaranya mungkin termasuk pengendalian hayati penyakit tanaman. Di Cina sejak 5000 tahun yang lalu petani sudah menggunakan pupuk kandang terhadap tanaman mereka dan sejak 3000 tahun yang lalu sistem irigasi sudah digunakan.

Potter (1908) mendemonstrasikan bahwa aktivitas patogen tanaman dapat dihambat dengan akumulasi metabolit yang dihasilkannya sendiri. Beberapa penelitian mencoba mengikuti implikasi dari penemuan ini. Beberapa penelitian lain, ada juga yang mencoba mengabaikan pendapat tersebut, yang mengusulkan kemungkinan lain yaitu faktor mikrobiologi pada lingkungan tersebut yang berperan, dan penemuan ini

memberikan inspirasi dan dorongan kepada peneliti-peneliti lain untuk mengamati fenomena penurunan serangan penyakit di alam yang berhubungan dengan mikroorganisme antagonis.

Pertama kali aplikasi secara langsung agensia pengendalian hayati terhadap penyakit tanaman dilakukan pada sekitar tahun 1920an. Hartley (1921) menginokulasi tanah pembibitan dengan 13 cendawan antagonis untuk mengendalikan *damping-off* pada biji pinus. Millard dan Taylor (1927) sukses mengendalikan penyakit kudis pada kentang yang disebabkan oleh *Streptomyces scabies* dengan menambahkan potongan rumput-rumputan hijau dan antagonis *S. praecox*. Henry (1931) mencoba 8 biakan dari aktinomisetes, bakteri, dan fungi dari tanah yang diinokulasikan di tanah menghasilkan rendahnya serangan penyakit *foot rot* pada gandum. pada tahun 1932 dan 1936, Wendling group membuktikan kemampuan parasit *Trichoderma viride* terhadap *Rhizoctonia solani* penyebab penyakit *damping-off*.

Beberapa peneliti menemukan fenomena yang cukup menarik, tanah supresif (*Pathogen-Suppressive Soil*) yang didefenisikan sebagai tanah yang mana patogen tidak dapat menetap atau bertahan sehingga menyebabkan sedikit atau tidak ada kerusakan oleh patogen, dan kemudian menyebabkan penyakit menjadi tidak penting, meskipun patogen mungkin tetap bertahan di tanah. Sebagian besar tanah mempunyai kemampuan menekan penyakit tanaman pada berbagai tingkatan. Reinking dan Manns (1933) mempelajari tanah di Amerika tengah. Penyakit panama pada pisang disebabkan oleh *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* sangat merusak pada tanah berpasir tetapi sedikit merusak pada tanah liat. Walker dan Snyder (1933) juga menemukan tanah di

Wisconsin, penyakit layu kacang polong disebabkan oleh *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi* sangat merusak pada tanah lempung berpasir tetapi tidak merusak pada tanah liat merah.

Selanjutnya penemuan yang cukup spektakuler, dan penemuan ini merupakan langkah awal komersialisasi agensia pengendalian hayati penyakit bengkak akar *Agrobacterium*. Sejak tahun 1972an, Kerr dan koleganya berhasil mengendalikan penyakit bengkak leher akar disebabkan oleh *Agrobacterium tumefaciens* dengan *A. radiobacter* nonpatogen strain K.84. dengan menghasilkan agrocin 84.

Berbagai Symposium dan konferensi tentang pengendalian hayati sudah dilakukan. Baker dkk. (1965) melaporkan Simposium pertama yang berhubungan dengan pengendalian hayati telah dilakukan di Universitas Kalifornia di Berkeley pada tanggal 7-13 April 1963 yang dihadiri oleh 24 negara dan 309 peserta, dengan mengeluarkan proceeding dengan judul "Ecology of Soil-Borne Plant pathogens, Prelude to Biological Control". Simposium ini menjadi pemicu perkembangan pengendalian hayati selanjutnya. Dalam simposium ini dibahas 39 judul paper dengan berbagai topik yang berhubungan dengan mikroorganisme tanah dan hubungan dengan pengendalian hayati penyakit tular tanah seperti mikroorganisme tanah, pengaruh faktor-faktor lingkungan tanah terhadap organisme tanah, akar dan lingkungan sekitar akar (rizosfer), patogenesis dan resistensi, mekanisme antagonisme agensia hayati, inokulum tanah, dan interaksi antara tanah, mikroorganisme dan tanaman. Dalam simposium ini tergambar bahwa, efektivitas dan ketergantungan pengendalian hayati penyakit akar tanah meningkat ketika adanya integrasi dengan pengendalian lain seperti manipulasi kultur teknis, disinfestasi tanah, pergiliran tanaman (*crop sequences*), pemupukan, dan terlihat bahwa

sangat sedikit pengendalian tunggal yang berhasil dalam mengendalikan penyakit tanaman.

Sampai tahun 1971 Pengendalian Hayati Patogen Tanaman masih dianggap sebagai *Mission Impossible*, hal ini dapat dilihat dari hasil pertemuan tahunan ke 63 di Amerika yang dipublikasi dengan Edisi khusus di Jurnal *Soil biology and Biochemistry* dengan judul *Biological Control of Soil-borne Pathogen-Mission Impossible?*. Kemudian dilakukan International symposium “Biological Control of Plant Pathogen” di Australia tahun 1974. Dan dilanjutkan *National Science Foundation Warkshop on Biological Control in Plant pathology*, di Arizona, Desember 1981. Kemudian dilakukan juga *International symposia on “Biological Control of Soilborne Plant Pathogen”* dan “Biological Control of Pathogen of Ornamental Plant” pada pertemuan tahunan di Amerika tahun 1983.

Selanjutnya berbagai symposium tentang pengendalian hayati terus berkembang dilakukan sampai saat ini, hampir setiap pertemuan ilmiah asosiasi penyakit tanaman di seluruh dunia, banyak ditemukan tulisan karya ilmiah yang berhubungan dengan pengendalian hayati dan dipresentasikan pada seminar tersebut.

MENGAPA HARUS PENGENDALIAN HAYATI

Pengendalian hayati menjawab banyak persoalan pertanian modern dan merupakan komponen yang sangat penting dalam mengembangkan sistem pertanian berkelanjutan. Menurut Cook dan Baker (1983) pengendalian hayati patogen tanaman mempunyai banyak keuntungan, diantaranya adalah:

- a. Meningkatkan produksi tanaman dengan tanpa merubah atau sesedikit mungkin merubah sumber daya alam yang tersedia

b. Menghindari perkembangan patogen yang resisten terhadap pestisida dimana dalam tahun 1974 belum begitu umum ditemukan,

Sekarang merupakan masalah yang sangat besar:

- Penyakit yang resisten terhadap fungisida benomyl: *Venturia inaequalis* penyebab penyakit scab pada apel (Köller dan Wilcox, 2001), *Sclerotinia sclerotiorum* penyebab penyakit pada pembibitan canola (*Brassica napus*, *B. rapa*) dan alfalfa (*Medicago sativa*) (Gossen dkk., 2001) dan *Botrytis cinerea* penyebab penyakit bunch rot pada anggur (Northover dan Matteoni, 1986).
- Cendawan penyakit yang resisten terhadap metalaxyl : *Phytophthora infestans* penyebab penyakit Hawar daun pada kentang (Sobkowiak dkk., 2011); *Phytophthora parasitica* var. *nicotianae* penyebab penyakit *black shank* pada tembakau (Timmer dkk., 1998); *Peronospora tabacina* penyebab penyakit blue mold pada tembakau (Wiglesworth dkk., 1988).
- Cendawan penyakit yang resisten terhadap triadimefon; *Erysiphe graminis* penyebab penyakit embun tepung pada gandum (Al-Mughrabi dan Gray, 1996).

c. Pengendalian yang bebas resiko polusi

Pertanian modern menggunakan pestisida dalam jumlah yang sangat tinggi sehingga menyebabkan kerusakan pada lingkungan termasuk matinya antagonis yang bermanfaat, hal ini kadang-kadang menyebabkan serangan penyakit tambah parah. Pengendalian hayati dengan memanfaatkan antagonis yang bermanfaat dapat mengurangi penggunaan pestisida tersebut.

d. Kompatibel dengan sistem pertanian berkelanjutan.

e. Menjaga keseimbangan biologi di alam

Beberapa faktor dan kesalahan konsep, sehingga menyebabkan lambatnya perkembangan pengendalian hayati patogen tanaman diantaranya yaitu:

1. Penggunaan pengendalian secara kimia mudah diaplikasikan dibanding dengan metode nonkimia, yang membutuhkan pengetahuan yang spesifik dan sulit.
2. Hasil yang cepat dan spektakular dengan pengendalian secara kimia dibanding dengan secara biologi yang hasilnya tidak begitu kentara, lebih lambat, lebih mengarah ke skala kecil, sekalipun relatif lebih stabil dan pengaruhnya relatif lebih lama.
3. Pengendalian secara kimia secara aktif tersedia di pasaran dengan berbagai bentuk bahan aktif sehingga jika satu pestisida tidak efektif, maka dengan mudah dapat diganti dengan jenis lain.
4. Keuntungan uang yang dihasilkan dari penjualan pestisida sangat banyak karena sangat menguntungkan.
5. menurunnya perhatian terhadap kerusakan ekologi pada periode 1936-1960.
6. Secara umum pertimbangan penggunaan pengendalian yang diinginkan hanya berdasarkan perubahan yang besar dan terlihat dengan jelas.
7. Mikroorganisme antagonis sangat tergantung dengan lingkungannya, biasanya relatif lebih efektif pada lingkungan asli atau spesifik habitatnya. Sehingga antagonis yang efektif di suatu daerah atau negara belum tentu efektif jika diaplikasikan di daerah lain.
8. Banyak penelitian dibidang pengendalian hayati hanya sebatas pada skala medium agar tidak dilanjutkan sampai aplikasi di tanah.

9. Kurangnya penelitian dan dana penelitian untuk mempelajari keseimbangan biologi dan metodologi untuk memanipulasinya.

KESEIMBANGAN BIOLOGI

Ketika manusia mulai melakukan budidaya tanaman kira-kira 8000-9000 tahun yang lalu, sejak itu terjadi perubahan yang cepat dan drastik terhadap ekologi. Dengan intensifikasi pertanian, kehilangan terhadap penyakit tanaman terus meningkat khususnya pada saat bersamaan pengaruh pengendalian hayati berkurang.

Baker dan Cook (1974) menjelaskan tentang keseimbangan biologi dan interaksinya. Sampai saat ini, banyak catatan-catatan atau observasi tentang peristiwa alam penting yang terjadi dan belum mendapat perhatian yang cukup, seperti:

1. terdapat penyakit tetapi tidak penting atau merusak pada suatu daerah tetapi serius pada tempat lain dalam satu lokasi.
2. Patogen secara intensif diintroduksi di suatu area tetapi tetap tidak berkembang.
3. Tanah mengandung patogen, tetapi tidak menimbulkan penyakit.
4. Penyakit terus berkurang dengan sistem pertanian monokultur yang terus menerus.

Di alam dapat dikatakan bahwa penyakit tanaman muncul sebagai indikasi tidak tercapainya keseimbangan biologi. Bertambah tinggi ketidakseimbangan terjadi, semakin parah penyakit muncul.

Penyakit tanaman berkembang ketika satu atau lebih kondisi berikut ini terjadi :

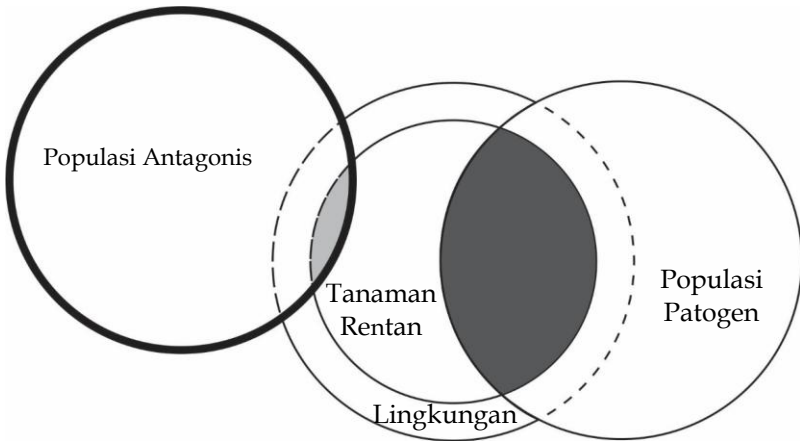
- a. Virulensi patogen sangat tinggi dan dalam kondisi tingkat inokulum yang tinggi pula, dipihak lain terjadi kondisi ketidakseimbangan pada antagonis.
- b. Lingkungan abiotik sangat cocok untuk perkembangan patogen, tetapi tidak cocok untuk inang tanaman atau antagonis atau keduanya.
- c. Inang tanaman sangat rentan, ditanam secara kontinu dan secara luas.
- d. Tidak adanya antagonis atau dalam populasi rendah, yang diakibatkan karena kurang atau tidak tersedianya makanan atau kondisi lingkungan yang tidak cocok untuk antagonis seperti terhambat oleh mikroorganisme lain karena produksi antibiotik dan sebagainya.

TIPE INTERAKSI BIOLOGI

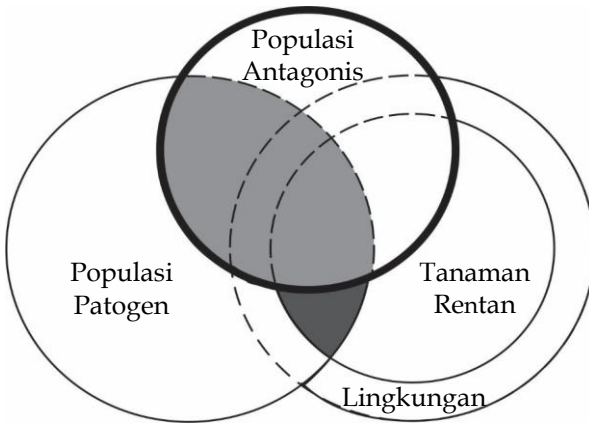
Baker dan Cook (1974) menggambarkan tipe-tipe interaksi biologi yang berhubungan penyakit tanaman (Gambar 1.1.) adalah sebagai berikut.

- A. Kerusakan parah oleh patogen tanaman;
Tanaman yang rentan beradaptasi baik dengan lingkungan; patogen beradaptasi baik; tetapi antagonis tidak beradaptasi dan tidak efektif; contohnya : penyakit layu fusarium pada tanah asam berpasir (*acid sandy soils*).
- B. Kerusakan ringan oleh patogen tanaman;
tanaman rentan beradaptasi baik dengan lingkungan; tetapi patogen agak rendah adaptasinya dengan lingkungan; sedangkan antagonis beradaptasi secara moderat dan cukup efektif; contohnya: Penyakit layu fusarium pada jenis tanah liat alkali (*alkaline clay soils*).
- C. Tidak ada kerusakan oleh patogen tanaman: "karena faktor pengendalian hayati";

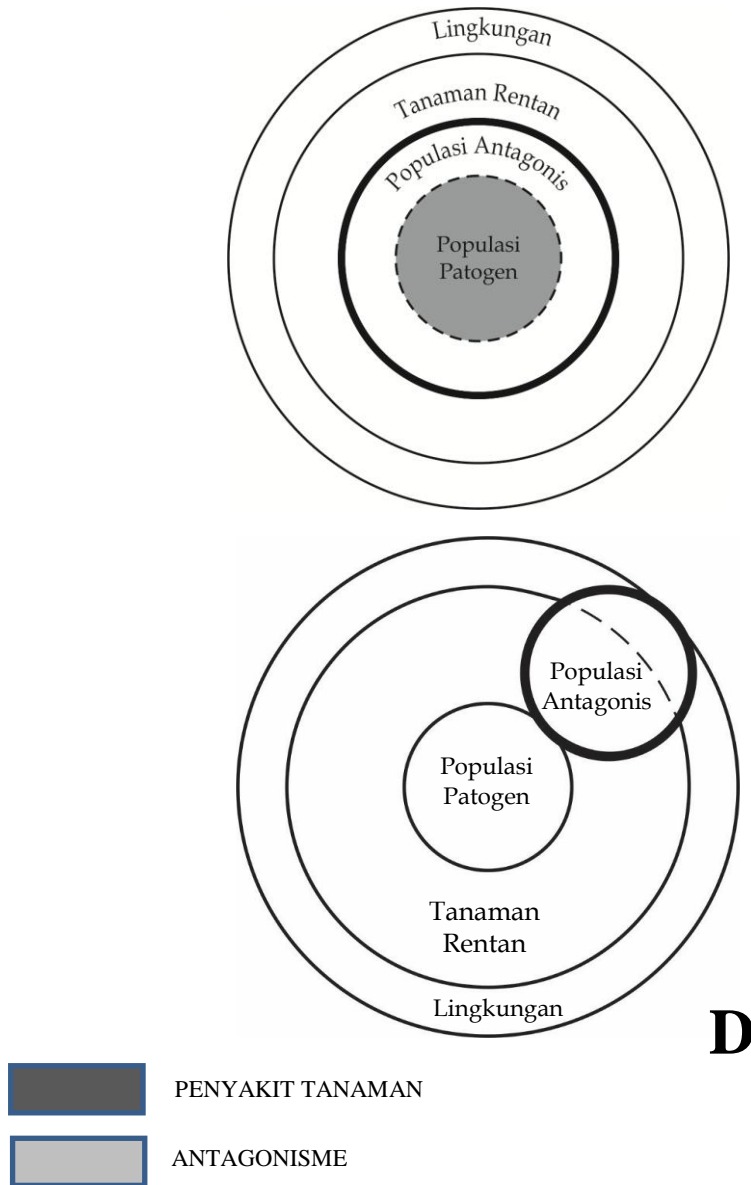
Tanaman rentan, antagonis dan patogen beradaptasi baik dengan lingkungan, tetapi antagonis mampu menekan populasi patogen.



A



B



D

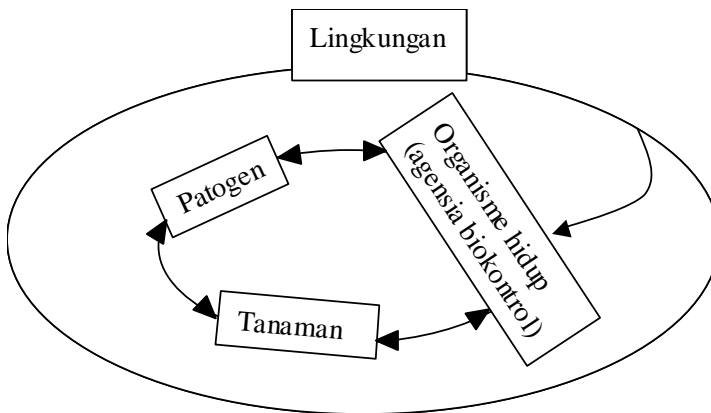
Gambar 1.1. Bentuk Interaksi biologi di alam dalam hubungannya dengan penyakit tanaman dan pengendalian hayati. A. Kerusakan parah oleh patogen tanaman; B. Kerusakan ringan oleh patogen; C. Tidak ada kerusakan karena faktor pengendalian hayati; D. Tidak ada kerusakan karena faktor tanaman resisten (Baker dan Cook, 1974).

D. Tidak ada kerusakan oleh patogen tanaman; “karena faktor tanaman resisten”.

Varietas resisten, antagonis, dan patogen beradaptasi baik dengan lingkungan. Inang resisten melindungi dari serangan penyakit. Contohnya layu fusarium pada setiap tanah ketika ditanami varietas pembawa sifat resisten dengan monogenic atau gen tunggal.

FAKTOR-FAKTOR YANG TERLIBAT DALAM PENGENDALIAN HAYATI

Baker dan Cook (1974) menjelaskan secara komprehensif bahwa ada 4 faktor yang terlibat dalam Pengendalian hayati, dimana 4 faktor tersebut saling mempengaruhi dan menentukan keberhasilan pengembangan pengendalian hayati (Gambar 1.2).



Gambar 1.2. Hubungan 4 faktor yang terlibat dalam pengendalian hayati

1. TANAMAN

Exudat akar merupakan stimulus dan sumber makanan bagi antagonis dan patogen sendiri. Dapat juga toksik terhadap patogen, sehingga beberapa tanaman inang

memproduksi toksin yang menghambat patogen, sehingga tidak hanya terhindar dari infeksi tetapi mengurangi populasi patogen di tanah.

Batang, akar atau daun pada tanaman dapat bertindak sebagai tempat hidupnya patogen, tetapi mereka juga dapat sebagai sumber energi untuk mikroorganisme saprofit yang membusukkan jaringan tanaman, kadang-kadang menghancurkan patogen dalam prosesnya.

Ada beberapa spesies tanaman yang mungkin bertindak sebagai tanaman perangkap untuk patogen, mereka membiarkan dirinya dimasuki patogen tapi patogen tidak berkembang, dan selanjutnya mengurangi populasi patogen. *Clotalaria spectabilis*, dimana *root-knot nematode* bisa menginfeksi tetapi mereka tidak bisa bereproduksi. Ada juga "inhibitory plant" seperti *Tagetes* spp. yang melepaskan *terthienyls toxic* terhadap nematoda dan beberapa fungi.

Berdasarkan ketahanan tanaman terhadap serangan patogen. Tanaman dibagi menjadi 3 kelompok, (1). Tanaman tahan (resisten), (2) Tanaman rentan, dan (3). Tanaman toleran. Jika tanaman adalah *sangat rentan* terhadap patogen, kerusakan berat oleh penyakit akan muncul, jika tidak berarti lingkungan sangat tidak mendukung atau antagonis menekan patogen dengan efektif, atau tidak stabilnya populasi patogen. Jika tanaman adalah tergolong resistensi tinggi, maka sedikit atau tidak ada kerusakan penyakit yang muncul, tidak peduli lingkungan yang mendukung, tidak efektifnya antagonis, dan stabilnya populasi patogen. Jika tanaman inang tergolong *toleran* terhadap patogen, maka tanaman tersebut akan memproduksi hasil yang bisa memuaskan meskipun ada serangan penyakit.

2. PATOGEN ATAU PARASIT

Patogen atau parasit adalah organisme yang dapat menimbulkan penyakit pada tanaman, hidup di dalam atau pada organisme hidup lain dan mengambil bahan organik sebagai makanan darinya. Organisme yang bertindak sebagai patogen atau parasit ini adalah dari golongan fungi, bakteri, algae, nematodes, virus dan mikoplasma.

Patogen bersifat epifit (pada permukaan tanaman) dan endofit (di dalam jaringan tanaman) atau keduanya. *Powdery mildew*, pertama membentuk miselia, dan konidia selanjutnya membentuk houstoria di dalam sel tanaman tetapi miseliana berada dipermukaan tanaman. Fungi penyebab layu jaringan vascular, berada dipermukaan tanaman dalam waktu yang sangat singkat terutama pada saat pra-penetrasi atau antara perkecambahan dan penetrasi akar. Selanjutnya berada sepenuhnya di dalam jaringan kortek dan vascular. Secara umum, semakin dalam dan lama keberadaan patogen di dalam tanaman, semakin kecil keberhasilan pengendalian hayati dengan antagonis.

Beberapa patogen bersifat patogen lemah yang menyerang pada waktu tertentu terutama pada saat tanaman lemah, stress seperti karena ketersediaan air potensial rendah, atau umur atau pada tingkat pertumbuhan tertentu seperti *Alternaria* dan *Cladosporium* yang menyerang terutama pada saat jaringan tanaman senescen. Pengendalian yang dapat dilakukan pada patogen jenis ini, dengan mengembangkan kultivar atau kultur teknis yang dapat menghindari atau melindungi inang dari stres.

Virulensi merupakan kemampuan patogen menimbulkan penyakit. Agresivitas patogen ditentukan oleh laju pertumbuhan, reproduksi dan kemampuan menimbulkan kerusakan pada jaringan tanaman atau produksi inokulum

untuk menginfeksi jaringan lainnya. Pengendalian hayati juga mampu menurunkan virulensi tanaman tersebut dengan menularkan virus dsRNA (yang menyebabkan patogen menjadi hipovirulen) yang terdapat pada strain non-patogen seperti *Endothia parasitica* (chestnut blight fungus).

Dalam suatu komunitas organisme patogen yang virulen ini, selalu dijumpai organisme sejenis yang bersifat a-virulen dalam jumlah yang cukup. Patogen juga bisa bertindak sebagai agensia pengendalian hayati bilamana diaplikasikan pada tanaman yang tidak kompatibel atau tidak menimbulkan penyakit atau disebut juga hipovirulen patogen. Patogen dapat menginfeksi tanaman tetapi tidak menimbulkan penyakit, tetapi malahan tanaman merespon infeksi hipovirulen patogen tersebut dengan meningkatkan zat pertahanan tanaman seperti *PR protein* (glukanase, peroksidase, dan kitinase).

Duffy dkk. (2003) meriview hal unik yang terjadi bagi patogen dalam proses merespon parasitasi agensia hayati, ternyata patogen tidak hanya berdiam diri atas serangan agensia hayati, tetapi merespon dengan sistem pertahanan diri. Respon tersebut diantaranya adalah detoksifikasi, represi terhadap biosintesis gen, aktif efflux antibiotik dan resisten terhadap antibiotik yang dihasilkan oleh agensia hayati.

3. ANTAGONIS

Antagonis adalah agensia biologi yang mempunyai potensi mengganggu proses pertumbuhan dan perkembangan patogen. Antagonis termasuk semua klas organisme: fungi, bakteri, nematode, protozoa, virus, viroid, dan benih tanaman sebagai tanaman perangkap. Antagonis ini bisa dikatakan sebagai musuh alami seperti pada entomologi (parasit, predator, dan patogen).

Sifat-sifat antagonis dicirikan dengan kemampuannya sebagai: antibiosis, kompetisi, dan mikroparasit/hiperparasit. Sifat-sifat ini yang menjadikan mereka dapat menekan inokulum potensial patogen baik yang aktif maupun dorman, melindungi permukaan tanaman dari serangan pathogen dan menekan intensitas serangan pathogen di dalam tanaman.

4. LINGKUNGAN

Faktor lingkungan khususnya faktor abiotik seperti temperature, air potensial, radiasi, pH, ion dan elemen lainnya, seperti karbon sangat mempengaruhi tidak saja tanaman, juga mempengaruhi patogen dan antagonis.

Pengendalian penyakit tanaman melalui pengaruh penghambatan dari faktor lingkungan terhadap patogen bukan merupakan pengendalian hayati, tetapi, ketika pengelolaan lingkungan meningkatkan agensia hayati dan menyebabkan tanaman menjadi resisten terhadap mikroorganisme patogen/parasit fakultatif, peristiwa ini dapat dikatakan pengendalian biologi.

Pengolahan tanah yang memodifikasi lingkungan sehingga membantu aktivitas antagonis merupakan bagian dari pengendalian hayati. Aerasi tanah adalah faktor yang sangat penting dalam parasitasi penyakit akar yang mempengaruhi:

a. Oksigen

Pada umumnya kekurangan suplai oksigen akan mengurangi pertumbuhan akar. Beberapa akar tanaman seperti padi, mempunyai jaringan khusus yang memungkinkan pertukaran gas di dalam tanaman dengan atmosfer melalui pucuk tanaman dan dapat tumbuh pada kondisi berair, tetapi sebagian besar tanaman tidak bisa. Fungi penyebab penyakit akar pada umumnya bersifat

aerobik, tetapi ada golongan fungi yang suka dengan air seperti *Pythium* dan *Phytophthora* yang mampu tumbuh pada kondisi tingkat oksigen yang merusak akar.

b. Karbon Dioksida

Karbon dioksida diudara berikisar 0.03% dan ditanah umumnya 0.5%, tetapi mungkin mencapai 5-10% setelah hujan. *Phymatotrichum omnivorum* toleran terhadap tingkat karbon dioksida yang tinggi, Sementara *Rhizoctonia solani* mungkin toleran terhadap tingkat karbon dioksida yang tinggi dan *Sclerotium rolfsii* tidak dapat toleran terhadap tingkat karbon dioksida yang cukup tinggi.

c. Bahan Volatil lain

Akhir-akhir ini telah didemonstrasikan bahwa bahan menguap seperti *acetaldehyde* dan lainnya yang diproduksi oleh proses pengomposan alfalfa di tanah memicu perkecambahan dan pertumbuhan sklerotia dari *Sclerotium rolfsii* dan *Verticillium dahliae*. Beberapa bakteri dan aktinomisetes serta sejumlah fungi lain juga terstimulasi. Pada konsentrasi tinggi, *Verticillium dahliae* rupanya terbunuh, ini kemungkinan karena peningkatan jumlah antagonis.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Mughrabi, K.I. and Gray, A.B. 1996. Build-up of resistance to triadimefon for isolates of *Erysiphe graminis* f. sp. *tritici* from Nova Scotia, Canada Can. Plant Dis. Surv. 76: 9-14.
- Baker, K.F. and R.J. Cook. 1974. Biological control of plant pathogen. W.H. Freeman and Company. San Fransisco.

- Baker, K.F., Snyder W.C., Baker, R.R., Menzies, J.D., Clark, F.E., Miller, L.I., Dimock, A.W., Patrick, Z.A., Kreutzer, W.A., Rubo M. 1965. Ecology of Soil-Borne Plant pathogens, Prelude to Biological Control. An International Symposium on Factors Determining the Behavior of plant pathogens in soil, Helad art The University of California, Berkeley, April 7-13, 1963. University of California Press, Barkeley, Los angeles. P. 571.
- Cook, R.J. and K.F Baker. 1983. The natural and practice of biological control of plant pathogens. Burgess Publishing Company, Minnesota. 539 p.
- Campbell, R. 1989. Biological control of microbial plant pathogens. Cambridge University Press. New York Port Chester. Melbourne Sydney. 218 p.
- Direktorat Pupuk dan Pestisida, Kementerian Pertanian Republik Indonesia. 2016. Pestisida terdaftar dan diizinkan untuk Pertanian dan Kehutanan. Direktorat Pupuk dan Pestisida, Direktorat Jenderal Prasarana dan Sarana Pertanian, Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Duffy B., Schouten, A., and Raaijmakers, J.M. 2003. Pathogen Self-Defense: Mechanisms to counteract Microbial antagonism. Annu. Rev. Phytopathol. 2003, 41:501-538. Doi: 10.1146/annurevphyto.41.052002.095606.
- Fravel, D.R. 2005. Commercialization and implementation of biocontrol. Ann. Rev. Phytopathol 43:337-359.
- Gossen, B.D., Rimmer, S.R., and Holley, J.D. 2001. First Report of resistance to Benomyl fungicide in *Sclerotinia sclerotiorum*. Plant Disease 85:1206. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2001.85.11.1206C>
- Hartley, C. 1921. Damping-off in forest nurseries. U.S. Dept. Agr. Dept. Bull. 934, p. 44.

- Hendry, A.W. 1931. The natural microflora of the soil in relation to the foot rot problem of wheat. *Can. Jour. Res., C.* 4:69-77.
- Hyakumachi, M., Takahashi, H., Matsubara, Y., Someya, N., Shimizu, M., Kobayashi, K., Nishiguchi, M. 2014. Recent studies on biological control of plant diseases in Japan. *J Gen Plant Pathol* 80: 287-302. DOI 10.1007/s10327-014-0524-4
- Kerr, A. 1972. Biological control of crown gall: Seed inoculation. *Jour. Appl. Bact.* 35:493-497.
- Kerr, A. 1974. Soil microbiological studies on *Agrobacterium radiobacter* and biological control of crown gall. *Soil Sci.* 118:168-172.
- Köller W and Wilcox WF. 2001. Evidence for the Predisposition of Fungicide-Resistant Isolates of *Venturia inaequalis* to a Preferential Selection for Resistance to Other Fungicides. *Phytopathology* 91(8):776-81. doi: 10.1094/PHYTO.2001.91.8.776.
- Mathre, D.E., Cook, R.J., and Callan, N.W. 1999. From Discovery to Use Traversing the World of Commercializing Biocontrol Agensiats for Plant Disease Control. *Plant Dis* 83: 972-983
- Millard, W.A. and C.B. Taylor. 1927. Antagonism of microorganisms as the controlling factor in the inhibition of scab by green manuring. *Ann. Appl. Biol* 14:202-215.
- Nigam, N. And Mukerji, K.G. 1988. Biological control-concepts and practices. Mukerji, K.G. and Garg, K.L. (eds). *Biocontrol of Plant Diseases. Volume I.* CRC Press. Inc. Boca Raton, Florida p. 1-13.
- Northover, J., and Matteoni, J. A. 1986. Resistance of *Botrytis cinerea* to benomyl and iprodione in vineyards and

- greenhouses after exposure to the fungicides alone or mixed with captan. *Plant Disease* 70:398-402.
- Prihastuti. 2016. Prospek komersialisasi produk mikrobial di bidang pertanian. *El-Hayah* 5: 159-167.
- Sobkowiak, S., Śliwka, J., Chmielarz, M., Lebecka, R., and Zimnoch-Guzowska, E. 2011. Resistance to metalaxyl of *Phytophthora infestans* isolates occurring in Poland in 2006–2010. *Phytopathologia* 61: 29–35.
- Timmer, L. W., Graham, J. H., and Zitko, S. E. 1998. Metalaxyl-resistant isolates of *Phytophthora nicotianae*: Occurrence, sensitivity, and competitive parasitic ability on citrus. *Plant Dis.* 82:254-261.
- Weindling, R. 1932. *Trichoderma lignorum* as a parasite of other soil fungi. *Phytopathology* 22: 837-845
- Weindling, R., and Emerson, O.H. 1936. The isolation of a toxic substance from the culture filtrate of *Trichoderma*. *Phytopathology* 26: 1068-1070.
- Wiglesworth, M.D., Reuveni, M., Nesmith, W.C., Siegel, M.R., Kuc, J., Juarez, J. 1988. Resistance of *Peronospora tabacina* to Metalaxyl in Texas and Mexico. *Plant Dis.* 72:964-967. DOI: 10.1094/PD-72-0964.

BAB 2

MEKANISME PENGENDALIAN HAYATI

PENDAHULUAN

Mekanisme pengendalian hayati patogen tanaman merupakan bagian yang sangat penting dalam Ilmu pengendalian hayati, karena dengan mengetahui dan mempelajari mekanisme pengendalian hayati, kita tidak hanya mengetahui fenomena bagaimana kemampuan agensia pengendali hayati menekan infeksi dan intensitas serangan patogen saja, tetapi kita dapat mengetahui misteri mengapa tanaman terhindar dari serangan patogen tanaman setelah diberi perlakuan dengan agensia pengendali hayati. Setiap agensia hayati mempunyai mekanisme yang mungkin dapat berbeda dengan agensia hayati yang lain. Kadang satu agensia hayati mempunyai mekanisme yang lebih dari satu mekanisme dalam menekan serangan petogen tanaman. Dengan mengetahui mekanisme pengendalian hayati ini, kita juga dapat menentukan kombinasi beberapa agensia hayati yang mempunyai mekanisme yang saling melengkapi untuk meningkatkan efektivitas pengendalian hayati patogen tanaman di lapangan.

Menurut Cook (1979), mengatakan bahwa, penelitian terhadap pengendalian hayati patogen tanaman, paling tidak terdapat 5 proses yang terjadi:

1. Penurunan inokulum densiti: hal ini merupakan pendekatan yang lebih klasik dengan tujuan untuk menekan jumlah inokulum patogen.
2. Memindahkan posisi patogen dengan saprofit. Pendekatan ini diaplikasi khususnya untuk patogen yang inangnya bekas sisa-sisa tanaman, dimana patogen merupakan organisme pertama pada sisa tanaman tersebut yang digantikan secara cepat oleh saprofit.
3. Penekanan perkecambahan dan pertumbuhan patogen atau pelilitan terhadap patogen tanaman: pendekatan ini

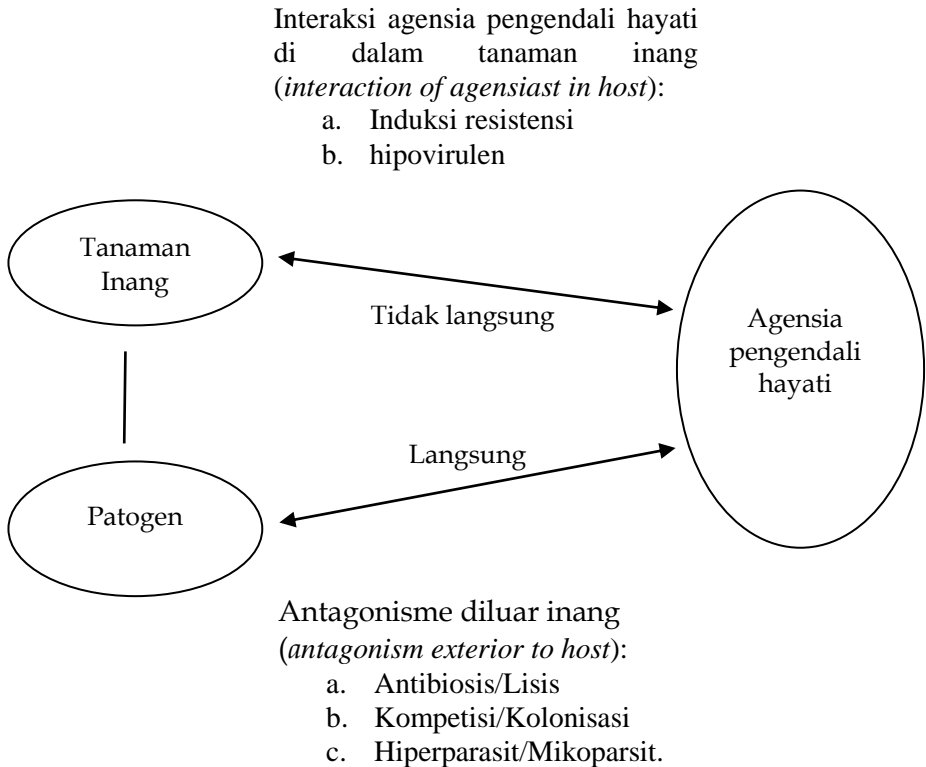
- termasuk, kompetisi, antibiosis, bakteriosin, mikovirus, atau cara lain yang menekan selama patogenesis
4. Proteksi tempat infeksi; pendekatan cara ini berhubungan dengan inokulasi awal pada permukaan bekas pelukaan dengan patogen lemah atau agensia non-patogen untuk melindungi dari kolonisasi selanjutnya oleh patogen yang lebih virulen.
 5. Induksi resistensi pada inang atau proteksi silang: Pendekatan ini berhubungan dengan inokulasi awal pada tanaman dengan hipovirulen atau a-virulen yang menghasilkan resistensi tanaman inang terhadap infeksi selanjutnya oleh patogen yang virulen dari genus yang sama.

BENTUK MEKANISME PENGENDALIAN HAYATI PATOGEN TANAMAN

Menurut Baker (1990), ada 2 macam bentuk mekanisme pengendalian hayati patogen tanaman yaitu:

1. Antagonisme diluar inang (*Antagonism exterior to host*), atau mekanisme secara langsung, dimana agensia pengendali hayati memparasit, menekan, dan mengganggu secara langsung patogen dengan sifat antagonismenya melalui antibiosis, mikoparasit/ hiperparasit, dan kompetisi.
2. Interaksi agensia pengendali hayati didalam inang (*Interaction of agent in host*), atau mekanisme secara tidak langsung melalui interaksi agensia pengendali hayati pada tanaman inang melalui kolonisasi dan pra-penetrasi yang memicu terjadinya respon pertahanan diri dari tanaman tersebut, respon tersebut dikenal dengan mekanisme induksi resistensi, sehingga tanaman dapat mempertahankan diri dari serangan patogen.

Kalau digambarkan diagram mekanisme pengendalian hayati patogen tanaman melalui interaksi agensia pengendali hayati di dalam inang atau dikatakan secara tidak langsung dan antagonisme diluar inang atau secara langsung adalah sebagai berikut (Baker, 1990) :



Gambar 2.1. Skema mekanisme pengendalian hayati patogen tanaman (Baker, 1990, dengan modifikasi).

MEKANISME ANTAGONISME DILUAR INANG ATAU INTERAKSI SECARA LANGSUNG DENGAN PATOGEN

Mekanisme ini terjadi, dimana agensia antagonis berinteraksi langsung dengan patogen, dimana agensia antagonis menyerang dan menekan pertumbuhan patogen melalui mekanisme antibiosis/lisis, kompetisi dan kolonisasi, dan mikoparasit/hiperparasit.

1. Antibiosis dan Lisis

Antibiosis merupakan penghambatan ataupun pengurangan serangan dan pertumbuhan suatu patogen tanaman oleh agensia antagonis melalui produksi antibiotik, dimana antibiotik ini adalah bahan organik dengan berat molekul rendah yang diproduksi mikrobial, pada konsentrasi rendah dapat menghambat pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme lain (Fravel, 1988).

Metabolit yang diproduksi mikroorganisme seperti antibiotik selain dapat menghambat, dapat juga menyebabkan kerusakan pada mikroorganisme lain. Metabolit tersebut mungkin masuk ke dalam sel dan menghambat aktivitasnya dengan daya racun kimianya (*chemical toxicity*). Kerusakan, kehancuran, peruraian, dan pembusukan bahan biologi tersebut disebut juga lisis. Ada 2 macam lisis yaitu :

- a. endolisis (autolisis) adalah perusakan sel sitoplasma oleh enzim yang dihasilkan oleh sel itu sendiri yang menyebabkan juga kematian sel yang mungkin disebabkan oleh kekurangan nutrisi atau oleh antibiotik atau toksin lainnya.
- b. eksolisis (heterolisis) yaitu pengrusakan dinding sel oleh enzim atau antibiotik yang dihasilkan oleh organisme lain.

Pusey dan Wilson (1984) melaporkan bahwa filtrat biakan *Bacillus subtilis* sangat efektif dalam menekan serangan penyakit busuk coklat pada buah stone, yang membuktikan bahwa mekanisme penghambatan oleh agensia tersebut adalah dengan memproduksi zat antifungi. Penelitian lain membuktikan bahwa antibiotik *pyrrolnitrin* yang diproduksi oleh *Pseudomonas cepacia* sangat efektif mengendalikan penyakit *gray mold* (*Botrytis cinerea*) dan *blue mold* (*Penicillium expansum*) pada buah apel dan pir (Janissiewicz *dkk.*, 1991) dan juga efektif mengendalikan infeksi oleh *Botrytis cinerea* pada bunga mawar potong (Hammer *dkk.*, 1993). Thomashow dan Wuler (1987) melaporkan bahwa *P. fluorescens* memproduksi antibiotik *phenazine* yang dapat menekan dan mengurangi penyakit *take-all* yang disebabkan oleh *Gaeumannomyces graminis var. tritici*. Menurut Howell (2002), *Trichoderma* menghasilkan zat volatil seperti gas kromatografi yang terdiri dari asetaldehid, *n*-propanol, propional, isobutanol, *n*-butyraldehid, etil asetat, isobutil asetat, aseton yang dapat menghambat pertumbuhan *Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporum*, *Pythium ultimum* dan patogen lainnya. *Aureobasidium pullulans*, *Sporobolomyces ruberrimus*, dan *Alternaria* memproduksi antibiotik yang efektif menekan penyakit tular udara (*air-borne diseases*).

Campbell (1989) menjelaskan bahwa, umumnya antibiotik akan diproduksi secara optimal, ketika organisme tersebut ditumbuhkan pada medium yang kaya nutrisi. Sementara itu, tanah dan mikrohabitat tempat tumbuhnya tanaman, biasanya kekurangan nutrisi karbon, dan mikroorganisme akan menjadi dorman pada kondisi lingkungan alami yang sering terjadi kekurangan karbon dan nitrogen. Sehingga kemungkinan mereka tidak bisa memproduksi antibiotik. Pemberian bahan organik di tanah yang dapat menyediakan sumber karbon ditambah eksudat

yang dihasilkan akar yang menyediakan cukup nutrisi untuk membantu mikroorganisme memproduksi antibiotik. Campbell juga menjelaskan bahwa, antibiotik yang terdeteksi di agar sangat bervariasi dan biasanya spesifik untuk target organisme tertentu. Beberapa target patogen seperti *Fusarium* dan *Pythium* lebih sensitif terhadap antibiotik yang dihasilkan oleh fungi dibanding antibiotik yang dihasilkan oleh bakteri. Antibiotik yang dihasilkan oleh mikroorganisme umumnya dapat menekan atau menghentikan pertumbuhan dan sporulasi mikroorganisme lain. Antibiotik ini juga dapat menekan perkecambahan spora dan juga menyebabkan distorsi hifa dan penyimpangan bentuk percabangan koloni.

2. Kompetisi dan Kolonisasi

Seperti halnya makhluk hidup lain, mikroorganisme juga memerlukan nutrisi dan ruang untuk segala aktivitasnya. Jika ada dua organisme memerlukan nutrisi dan ruang yang sama sementara nutrisi dan ruang tersebut tersedia dalam jumlah terbatas, maka akan terjadi kompetisi diantara mikroorganisme tersebut (Campbell, 1989).

Kompetisi adalah usaha keras dua atau lebih organisme untuk mendapatkan makanan ataupun ruang pada kondisi spesifik dimana hal tersebut tersedia dalam jumlah terbatas. Hal yang diperebutkan adalah nutrisi (khususnya karbohidrat dan juga nitrogen), dan beberapa faktor pertumbuhan. Kompetisi juga terhadap oksigen dan ruang tetapi tidak terhadap air potensial, temperatur, atau pH.

Sampai saat ini, sudah cukup banyak laporan studi tentang mekanisme kompetisi nutrisi dan ruang dalam menekan infeksi *Botrytis cinerea* yang dilakukan antagonis bakteri (Haidar dkk., 2016) seperti *Rahnella aquatilis* pada buah Apel (Calvo dkk., 2007), *Bacillus* sp.(isolate UYBC38) secara *in*

vitro/in situ pada anggur, peach, apel (Rabosto dkk., 2006), *Pantoea agglomerans* LRC 954 dan *Pseudomonas fluorescens* LRC 1788 pada pembibitan Lentil (Huang dan Erickson, 2005), *Paenibacillus polymyxa* pada Stroberi (Helbig, 2001). Ini terjadi karena *B. cinerea* sangat membutuhkan nutrisi eksternal untuk perkecambahan konidia (Elad, 1996), pertumbuhan tabung kecambah dan proses akhir suksesnya infeksi (Elad dan Steward, 2004). Sehingga kalau kondisi nutrisi tersedia dalam jumlah sangat terbatas, maka proses infeksi *Botrytis cinerea* akan terhambat. Selanjutnya Park dkk. (1999) melaporkan bahwa Bakteri antagonis *Pseudomonas putida* Cha94 dan *Bacillus amyloliquefaciens* BL3 sangat efektif mengendalikan infeksi *B. cinerea* pada tanaman cabai dengan kemampuan mengkolonisasi bunga dan permukaan daun. Ini terjadi karena dengan kemampuan mengkolonisasi permukaan daun secara efisien tersebut menyebabkan mereka menyerap nutrisi juga efisien sehingga menjadi kunci sifat antagonisme yang mereka lakukan yang menyebabkan ketersediaan nutrisi menjadi terbatas, yang akhirnya infeksi oleh patogen menjadi terhambat. Guetsky dkk. (2002) melaporkan bahwa Agensia pengendali hayati yeast *Pichia guillemontii* menekan dengan efektif serangan *Botrytis cinerea* pada daun stroberi melalui mekanisme kompetisi nutrisi glukosa, sukrosa, adenin, histidin, dan asam folik.

Pertumbuhan akar dan pucuk tanaman terjadi pada titik ujungnya sehingga bagian yang terus tumbuh tersebut pada dasarnya kurang lebih dalam kondisi steril. Pada Umumnya, mikrobia yang lebih awal tiba pada bagian yang steril tersebut umumnya dari golongan ruderal/asli yang biasanya akan tumbuh dan mengkolonisasi permukaan tanaman tersebut, kalau kondisi makanan dan lingkungan cocok untuk pertumbuhannya. Sehingga mikrobia yang menginokulasi

kemudian tidak punya tempat untuk tumbuh, karena sudah dikuasai oleh spesies ruderal tersebut, sehingga mereka harus berkompetisi. Jika patogen menginokulasi permukaan tanaman, dimana permukaan tersebut telah dikolonisasi mikrobial ruderal, maka proses infeksi bisa tidak terjadi atau sangat kecil terjadi. Muslim dkk. (2003) melaporkan bahwa kolonisasi antagonis merupakan salah satu kunci keberhasilan pengendalian hayati penyakit layu fusarium tanaman tomat dengan menggunakan hipovirulen Binucleate *Rhizoctonia* (HBNR), dimana dalam penelitian ini untuk aplikasi HBNR secara tunggal hanya diinokulasi di pot kecil, yang selanjutnya dipindahkan ke pot yang lebih besar dimana hanya patogen yang diinokulasikan, sementara HBNR tidak diinokulasi, menghasilkan kemampuan HBNR menghambat serangan layu fusarium yang kurang efektif. Selanjutnya pada penelitian lain, dimana HBNR diinokulasi di pot kecil, kemudian dipindahkan pada pot besar yang diinokulasi HBNR dan patogen, menghasilkan kemampuan HBNR menghambat serangan layu fusarium lebih efektif dan konsisten. Hasil ini mengindikasikan bahwa penekanan serangan layu fusarium dihasilkan karena adanya kolonisasi HBNR tersebut. Hasil yang sama dilakukan oleh Bull dkk. (1991); Poromarto dkk. (1998); Hwang dan Benson (2002), bahwa kolonisasi agensia pengendali hayati pada tempat infeksi merupakan pra-syarat untuk menekan serangan patogen.

Secara umum siderofor diproduksi oleh mikroorganisme baik yang bersifat aerob maupun anaerob fakultatif termasuk beberapa antagonis dengan kondisi stres rendah-besi (Ratledge dan Dover, 2000). Siderofor merupakan senyawa yang sangat penting sebagai pembawa ion besi, dimana siderofor ini dapat mengangkut besi (III) atau mengasingkannya sehingga membuat ion besi tersebut tidak tersedia bagi patogen.

Sementara itu patogen tanaman sangat rentan terhadap ion besi khususnya pada saat proses infeksi. de Boer dkk. (2003) melaporkan *Pseudomonas putida* WCS358 sangat efektif menekan serangan layu fusarium pada tanaman lobak melalui kompetisi ion besi dengan menghasilkan siderofor *pseudobactin*. Alabouvette (1999) melaporkan bahwa *Fusarium oxysporum* non-patogen, menghambat serangan layu *Fusarium* melalui kompetisi nutrisi karbon, sementara *Pseudomonas* spp. *fluorescent* dengan kompetisi besi.

Segarra dkk. (2010) melaporkan bahwa antagonis *Trichoderma asperellum* Strain T34 sangat efektif menekan serangan *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* pada tanaman tomat dengan kompetisi terhadap ion besi. Dutta dkk. (2006) melaporkan bahwa strain *Trichoderma* (*Trichoderma viride*, *Trichoderma harzianum*, dan *Trichoderma lignorum*) memproduksi siderofor lebih baik dari *Fusarium solani* and *F. oxysporum*. Anke dkk (1991) melaporkan bahwa karakteristik siderofor yang diproduksi oleh *Trichoderma* adalah coprogen, coprogen B, dan ferricrocin. Penelitian lain, Ghosh dkk (2017) melaporkan bahwa *T. harzianum* memproduksi siderofor dengan persentase yang maksimum (85.00%), dibanding dengan *T. viride* (65.50%), *T. asperellum* (60.27%), dan *T. longibrachiatum* (45.50%). *T. harzianum*, *T. viride*, *T. asperellum* dan *T. longibrachiatum* memproduksi siderofor *hydroxymate* and *carboxylate*, dimana produksi siderofor pada *T. harzianum* maksimum dibanding dengan spesies *Trichoderma* yang lain

3. Mikoparasit/Hiperparasit

Mikroorganisme yang mampu memparasit organisme lain disebut hiperparasit. Hiperparasit terjadi jika terjadi adanya kontak antara mikroorganisme yang bersifat hiperparasit dengan mikroorganisme lain yang menjadi

inangnya, dengan cara mempenetrasi langsung, terus berkembang dan memperbanyak diri di dalam mikroorganisme tersebut ataupun dengan cara melilit hifa dan mempenetrasinya. Hiperparasit umumnya tergolong kedalam cendawan terutama dari golongan *Trichoderma*, *Verticillium*, *Tuberculina maxima*. Tetapi ada juga dari golongan nematoda yang bertindak sebagai predator yang mampu memparasit nematoda lain dengan menginjektikan saliva melalui stiletnya dan kemudian mengeluarkan isi sehingga terurai.

Dari golongan virus juga ada yang bertindak sebagai parasit yaitu bakteriophage (*Phage*) yang menginfeksi bakteri dengan mempenetrasi dinding selnya, memperbanyak diri di dalam protoplas, kemudian memecah dinding sel tersebut, selanjutnya melepaskan virus yang baru. Penomena ini adalah bentuk dari endolisis.

Mikoparasit yang sangat terkenal dan sudah digunakan secara komersial dan luas adalah fungi *Trichoderma*, antagonis ini dapat mempenetrasi struktur istirahat sklerotia dan juga mempenetrasi hifa patogen, *Trichoderma* juga dapat tumbuh sepanjang hifa patogen dan kemudian melilitnya. Penetrasi dinding sel hifa patogen sering juga ditemukan.

Kranz (1981), menjelaskan bahwa ada 84 spesies yang dapat memparasit patogen penyebab karat daun dan powdery mildew. Dari jumlah tersebut, ada 4 spesies yang dipelajari secara detail, yaitu, *Darluca filum* yang memparasit uredia dan telia patogen penyebab karat. *Tuberculina vinosa* memparasit piknia dan aesia, *Verticillium lecanii* memparsit uredia. Sementara *Ampelomyces quisqualis* memparsit semua stadia patogen *powdery mildew*.

Mikroorganisme mikoparasit ini tersebar luas di alam, tetapi mereka akan bekerja optimum sebagai mikoparasit kalau kondisi temperatur dan kelembaban tinggi.

INTERAKSI AGENSIA PENGENDALI HAYATI DI DALAM INANG ATAU INTERAKSI SECARA TIDAK LANGSUNG DENGAN PATOGEN

1. Induksi resistensi

Induksi resistensi merupakan suatu fenomena dari tanaman inang untuk mempertahankan diri dari serangan patogen. Induksi resistensi ini dapat bersifat lokal atau sistemik, dan dapat diinduksi dengan infeksi patogen tertentu, hipovirulen/a-virulen patogen, agensia bakteri dan fungi non-patogen dan beberapa bahan kimia (Van Loon, 2000). Sampai saat ini berbagai penelitian telah dilaporkan bahwa, induksi sistemik resisten, dapat menjadi alternatif mekanisme untuk keberhasilan pengendalian hayati patogen tanaman.

Secara umum, induksi resistensi secara sistemik pada tanaman dapat diekspresikan dengan peningkatan respon pertahanan seperti, enzim penyebab lisis dinding sel seperti kitinase dan 1,3- β -glukanase (Lowton dan Lamb, 1987), sintesis fitoaleksin (Ebel, 1986), penguatan dinding sel melalui peningkatan aktivitas peroksidase (Hammerschmidt dan Kuc, 1982; Hammerschmidt dkk., 1982), dan akumulasi lignin, *callose*, dan *hydroxyproline-rich glycoprotein* (Hammerschmidt dan Kuc, 1982; Hammerschmidt dkk., 1984). Van Loon (2000) juga menjelaskan bahwa beberapa tipe respon pertahanan tanaman terhadap induksi resistensi oleh agensia pengendali hayati dapat melalui sintesis fitoaleksin, akumulasi *Patogenesis-related protein* (PRs), dan penguatan dinding sel.

Mekanisme induksi resistensi diekspresikan melalui akumulasi zat anti mikrobia yang bersifat molekuler rendah seperti fitoaleksin (Vann dkk., 1991; Stevenson dkk., 1997). Kuc (1982) meneliti bahwa infeksi secara lokal hipokotil kacang polong dengan a-virulen *Colletotrichum lagenarium* dapat

meningkatkan akumulasi fitoaleksin phaseollin pada tempat inokulasi dengan patogen *C. lindemuthianum*. Van Peer dkk. (1991) juga melaporkan bahwa perlakuan akar tanaman Anyelir cultivar Pallas dengan *Pseudomonas fluorescens* strains WCS417 dapat meningkatkan akumulasi fitoaleksin *methoxydianthramide* S setelah diberi tantangan inokulasi dengan patogen *Fusarium oxysporum* f.sp. *dianthi*.

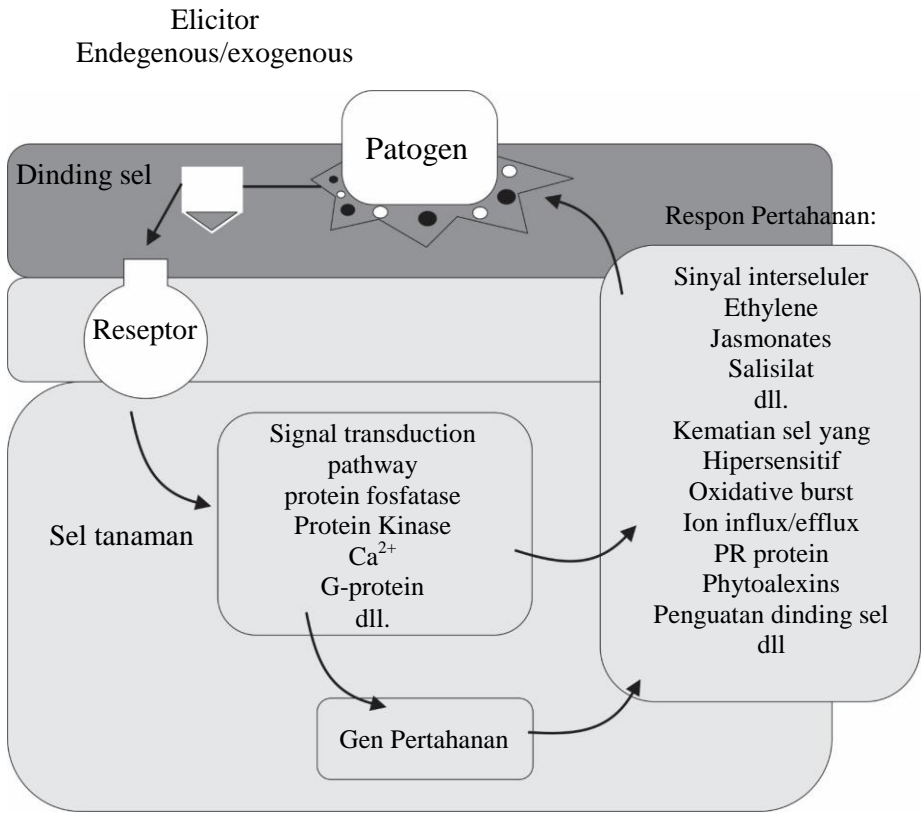
Fuchs dkk. (1997) melaporkan bahwa *Fusarium oxysporum* non-patogen strain Fo47 dapat mengendalikan insidensi layu fusarium pada tanaman tomat melalui peningkatan aktivitas kitinase, β -1,3-glukanase, dan β -1,4-glukosidase. Xue dkk. (1998), melaporkan bahwa inokulasi hipokotil kacang polong dengan hipovirulen Binucleate *Rhizoctonia* (HBNR) dapat menginduksi tanaman secara sistemik dengan peningkatan peroksidase, 1,3- β -glukanase, dan kitinase. Muslim dkk. (2019) juga melaporkan bahwa aplikasi HBNR ditanah dan di daun pertama dapat meningkatkan induksi resistensi tanaman mentimun terhadap serangan penyakit antraknose yang disebabkan oleh *Colletotrichum orbiculare* melalui peningkatan peroksidase dan aktivitas lignifikasi. Menurut Hammerschmidt dan Kuc (1982), bahwa peningkatan aktivitas peroksidase seringkali berasosiasi dengan fenomena induksi resistensi dengan peningkatan produksi lignin. Peneliti lain, Koike dkk. (2001) melaporkan bahwa empat isolat fungi yang tergolong pemicu pertumbuhan tanaman (*Plant Growth Promotion Fungi* = PGPF) (*Fusarium*, *Penicillium*, *Phoma* dan fungi steril) yang diaplikasikan dalam bentuk inokulum biji barley, inokulum miselia, dan filtrat biakan mempunyai kemampuan meningkatkan induksi resistensi tanaman mentimun terhadap penyakit antraknose (*C. orbiculare*), penyakit bakteri angular leaf spot (*Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans*) dan layu fusarium (*Fusarium*

oxysporum f. sp. *cucumerinum*), melalui peningkatan produksi lignin dan elicit aktivitas chemiluminescence (*superoxide generation*). Schneider dan Ullrich (1994) melaporkan bahwa perlakuan tanaman mentimun dan tembakau dengan ekstrak *Reynoutria sachalinensis*, silika (*Hornkiesel* P 501), aspirin dan biakan bakteri dan fungi dapat peningkatan aktivitas dari kitinase, β -1,3-glukanase, peroksidase, polyphenol oxidase, *phenylalanine ammonia lyase*.

Klopper dkk. (2004) mereview species *Bacillus* spp. khususnya *B. amyloliquefaciens*, *B. subtilis*, *B. pasteurii*, *B. cereus*, *B. pumilus*, *B. mycoides*, dan *B. sphaericus* sebagai Rizobakteria pemicu pertumbuhan tanaman (*Plant Growth Promotion Rhizobacteria* = PGPR) merupakan agensia hayati yang sangat efektif meningkatkan resistensi secara sistemik berbagai tanaman (tomat, bell pepper, muskmelon, semangka, beet gula, tembakau, *Arabidopsis* sp., mentimun, loblolly pine dan beberapa tanaman tropis lainnya) terhadap berbagai serangan penyakit bercak daun fungi dan bakteri patogen, virus, fungi patogen penyebab busuk leher akar, bintil akar nematoda, hawar batang yang disebabkan oleh fungi patogen, *damping-off*, *blue mold*, dan penyakit *late blight*. Mekanisme induksi resistensi secara sistemik oleh *Bacillus* spp. melalui perubahan ultrastruktural selama infeksi oleh patogen dan perubahan sitokimia. Pengamatan terhadap *signal transduction pathways*, *Bacillus* spp. pathways, sama seperti yang disebabkan oleh agensia hayati *Pseudomonas* spp., tidak tergantung dengan *salicylic acid* tetapi tergantung dengan *jasmonic acid*, *ethylene*, dan peran gen NPR1, atau Beberapa *Bacillus* spp. ada juga yang tergantung dengan *salicylic acid* dan tidak tergantung dengan *jasmonic acid* dan NPR1, tergantung dengan *Bacillus* spp. yang diaplikasikan.

Penguatan dinding sel dapat menyebabkan tanaman menjadi sulit dipenetrasi oleh patogen dan menekan penyebaran patogen intrasellular. Deposisi callose, bahan seperti lignin, dan suberin dapat juga muncul setelah terjadi pelukaan, tetapi selama terjadinya reaksi pertahanan terhadap serangan patogen, biasanya reaksinya meningkat terutama pada sekitar jaringan yang dipenetrasi oleh patogen. Shimamura (1979) melaporkan bahwa infeksi lokal oleh *Tobacco Mosaic Virus* (TMV) pada tanaman tembakau dapat meningkatkan deposisi callose yang dapat memblokir plasmodesmata sehingga menghambat pergerakan virus dari sel ke sel. Kovats dkk., (1991) meneliti bahwa, penetrasi *C. lagenarium* pada tanaman mentimun menyebabkan deposisi papillae yang mengandung callose sebagai komponen utama ketahanan secara struktural.

Secara umum skema induksi resistensi pada tanaman dengan elicitor khususnya dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Mekanisme respon sistem pertahanan pada sel tanaman terhadap infeksi patogen (Suzuki dan Shinshi, 1996).

2. Hipovirulen

Strain patogen yang bersifat Hipovirulen atau non-patogen pada spesies atau genera yang sama, biasanya mempunyai karakteristik yang hampir sama dengan strain yang virulen, sehingga kompetisi terhadap tempat infeksi atau kolonisasi tidak bisa dihindari. Disamping itu juga strain hipovirulen atau non-patogen juga sangat efektif dalam meningkatkan induksi resistensi pada tanaman terhadap penyakit tanaman baik yang disebabkan oleh patogen yang sama genusnya, seperti *Fusarium*

oxysporum non-patogen menginduksi tanaman tomat menjadi resisten terhadap penyakit layu *Fusarium* yang disebabkan oleh *Fusarium oxysporum* (Fuchs dkk., 1997), *Fusarium oxysporum* f.sp. *cucumerinum* atau hipovirulen/avirulent races *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum* dapat menginduksi resistensi tanaman semangka secara lokal dan sistemik terhadap layu *Fusarium* yang disebabkan oleh *F. oxysporum* f.sp. *niveum* (Biles dan Martyn, 1989) atau patogen yang sama sekali bukan satu genus, seperti, inokulasi awal dengan *F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum* pada tanaman mentimun dapat menginduksi resistensi secara sistemik terhadap penyakit antraknose yang disebabkan oleh *Colletotrichum lagenarium* (Ishiba dkk., 1981), Hipovirulen Binucleate *Rhizoctonia* dapat menginduksi resistensi secara sistemik tanaman mentimun terhadap serangan penyakit antraknose yang disebabkan oleh *Colletotrichum orbiculare* (Muslim dkk., 2019). Penjelasan lebih rinci tentang hipovirulen ini dapat dilihat pada Bab 7.

DAFTAR PUSTAKA

- Alabouvette, C. 1999. *Fusarium* wilt suppressive soils: an example of disease-suppressive soils. *Australasian Plant Pathol* 28: 57-64.
- Anke, H., Kinn, J., Bergquist, K.E., Sterner, O. 1991. Production of siderophores by strains of the genus *Trichoderma*— isolation and characterization of the new lipophilic coprogen derivative, palmitoylcoprogen. *Biol Met* 4:176-180
- Baker, R. 1990. An Overview of current and future strategies and model for biological control. In: D. Hornby . (eds) *Biological Control of Soil-borne Plant Patogen*. C.A.B

- International. Redwood Press Limited, Melksham, Wiltshire. Page. 375-388.
- Biles, C.L. and Martyn, R.D. 1989. Local and systemic resistance induced in watermelons by formae speciales of *Fusarium oxysporum*. *Phytopathology* 79: 856-860.
- Bull, C.T., Weller, D.M. and Thomashow, L.S. 1991. Relationship between root colonization and suppression of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* by *Pseudomonas fluorescens* strains 2-79. *Phytopathology* 81: 954-959.
- Calvo, J., Calvente, V., De Orellano, M.E., Benuzzi, D., and Sanz De Tosetti, M.I. 2007. Biological control of postharvest spoilage caused by *Penicillium expansum* and *Botrytis cinerea* in apple by using the bacterium *Rahnella aquatilis*. *International Journal of Food Microbiology* 113: 251-257.
- Cook, R.J. 1979. Antagonism and biological control: concluding remarks. In: Shippers, B. and Gams, W. [eds] *Soil-borne Plant Patogens*. pp. 653-657. Academic Press, London, New York, San Fransisco.
- de Boer, M., Bom, P., Kindt, F. Keurentjes, J.J.B., van der Sluis, I., van Loon, L.C., and Baker, P.A.H.M 2003. Control of *Fusarium* wilt of radish by combining *Pseudomonas putida* strain that have different disease suppressive mechanisms. *Phytopathology* 93: 626-632.
- Dutta, S., Kundu, A., Chakraborty, M., Ojha, S., Chakrabarti, J., Chatterjee, N. 2006. Production and optimization of Fe(III) specific ligand, the siderophore of soil inhabiting and wood rotting fungi as deterrent to plant pathogens. *Acta Phytopathol Entomol Hung* 41:237-248.
- Ghosh, S.Kr., Banerjee, S., and Sengupta, Ch. 2017. Bioassay, characterization and estimation of siderophores from

- some important antagonistic Fungi. *Journal of Biopesticides* 10: 105-112.
- Guetsky, R., Shtienberg, D., Elad, Y., Fischer, E., and Dinooor, A. 2002. Improving biological control by combining agents each with several mechanisms of disease suppression. *Phytopathology* 92: 976-985.
- Ebel, J. 1986. Phytoalexin synthesis: the biochemical analysis of the induction process. *Ann. Rev. Phytopathol.* 24: 235-264.
- Elad Y., 1996. Mechanisms involved in the biological control of *Botrytis cinerea* incited diseases. *European Journal of Plant Pathology* 102: 719-732.
- Elad Y. and Stewart, A. 2004. Microbial control of *Botrytis* spp. Pp. 223-241. In: Elad, Y., Williamson, B., Tudzynski, P., Delen, N. (eds.), *Botrytis: Biology, Pathology and Control.*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands,
- Fuchs, J.-G., Moenne-Loccoz, Y., and Defago, G. 1997. Nonpathogenic *Fusarium oxysporum* strain Fo47 induces resistance to *Fusarium* wilt in tomato. *Plant Dis.* 81: 492-496.
- Haidar, R., Fermaud, M., Calvo-Garrido, C., Roudet, J., and Deschamps, A. 2016. Modes of action for biological control of *Botrytis cinerea* by antagonistic bacteria. *Phytopathologia Mediterranea* 55 (3): 301-322. DOI: 10.14601/Phytopathol_Mediterr-18079.
- Hammerschmidt, R. and Kuc, J. 1982. Lignification as a mechanism for induced systemic response in cucumber. *Physiol. Plant Pathol.* 20: 61-71.
- Hammerschmidt, R., Lamport, D.T.A. and Muldon, E.P. 1984. Cell wall hydroxyproline enhancement and lignin deposition as an early event in the resistance of cucumber of *Cladosporium cucumerum*. *Physiol. Plant Pathol.* 20: 43-47.

- Hammerschmidt, R., Nuckles, E. and Kuc, J. 1982. Association of peroxidase activity with induced systemic resistance in cucumber to *Colletotrichum lagenarium*. *Physiol. Plant Pathol.* 20: 73-82.
- Helbig J., 2001. Biological control of *Botrytis cinerea* Pers.ex.Fr. in strawberry by *Paenibacillus polymyxa* (isolate 18191). *Journal of Phytopathology* 149: 265-273.
- Huang H. and Erickson, R.S. 2005. Control of lentil seedling blight caused by *Botrytis cinerea* using microbial seed treatments. *Plant Pathology Bulletin* 14: 35-40.
- Hwang, J. and Benson, D.M. 2002. Biocontrol of Rhizoctonia stem and root rot of poinsettia with *Burkholderia cepacia* and binucleate *Rhizoctonia*. *Plant Dis.* 86: 47-53.
- Ishiba, C., Tani, T. and Murata, M. 1981. Protection of cucumber against anthracnose by a hypovirulen strain of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum*. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 47: 352-359.
- Koike, N., Hyakumachi, M., Kageyama, K., Tsuyumu, S. and Doke, N. 2001. Induction of systemic resistance in cucumber against several diseases by plant growth-promoting fungi: lignification and superoxide generation. *Eur. J. Plant Pathol.* 107: 523-533.
- Kovats, K., Binder, A., and Hohl, H.R. 1991. Cytology of induced systemic resistance of cucumber to *Colletotrichum lagenarium*. *Planta* 183: 484-490.
- Kranz, J. 1981. Hyperparasitism of biotrophic fungi. Pp. 327-352. In: Blakeman (eds). *Microbial ecology of the phylloplane*, Academic Press, London.
- Kuc, J. 1982. Induced immunity to plant disease. *Bioscience* 32: 854-860.

- Lowton, M.A. and Lamb, C. 1987. Transcriptional activation of plant defense genes by fungal elicitors, wounding and infection. *Mol. Cell Bio.* 7: 335-341.
- Muslim, A, Hyakumachi, M., Kageyama, K., and Suwandi, S. 2019. Induction of systemic resistance in Cucumber by Hypovirulent Binucleate *Rhizoctonia* against anthracnose caused by *Colletotrichum orbiculare*. *Tropical Life Sciences Research*, 30: 109-122.
- Muslim, A., Horinouchi, H., and Hyakumachi, M. 2003. Biological control of Fusarium wilt of Tomato with hypovirulen binucleate *Rhizoctonia* in Greenhouse Conditions. *Mycoscience* 44: 77-84.
- Park S., D. Bae, J. Lee, S. Chung and Kim, H. 1999. Integration of biological and chemical methods for the control of pepper gray mold rot under commercial greenhouse conditions. *Plant Pathology Journal* 15: 162-167.
- Poromarto, S.H., Nelson, BD. and Freeman, T.P. 1998. Association of binucleate *Rhizoctonia* with soybean and mechanism of biocontrol of *Rhizoctonia solani*. *Phytopathology* 88: 1056-1067.
- Rabosto X., M. Garrau, A. Paz, E. Boido, E. Dellacassa and F. Carrau. 2006. Grapes and vineyard soils as source of microorganisms for biological control of *Botrytis cinerea*. *American Journal of Enology and viticulture* 57: 332-338.
- Ratledge, C. and Dover L G. 2000. Iron metabolism in pathogenic bacteria. *Annual Review of Microbiology*, 54: 881-941.
- Schneider, S. and Ullrich, W.R. 1994. Differential induction of resistance and enhanced enzyme activities in cucumber and tobacco caused by treatment with various abiotic and biotic inducers. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 45: 291-304.

- Shimomura, T. 1979. Stimulation of callose synthesis in the leaves of Samsun NN tobacco showing systemic acquired resistance to tobacco mosaic virus. *Ann. Phytopathol. Soc. Japan* 45: 299-304.
- Stevenson, P.C., Turner, H.C. and Haware, M.P. 1997. Phytoalexin accumulation in the roots of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seedlings associated with resistance to fusarium wilt (*Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceri*). *Physiol. Mol. Plant Pathol.* 50: 167-178.
- Suzuki, K. and Shinshi, H. 1996. Protein kinases in Elicitor signal Transduction in plant cell. *J. Plant Res.* 109: 253-263.
- Van Loon, L.C. 2000. Systemic induced resistance. pp. 521-574. In: Slusarenko, A., Fraser, R.S.S. and Van Loon, L.C. [eds] *Mechanisms of resistance to plant diseases*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.
- Vann, Peer, R., Niemann, G.J. and Schippers, B. 1991. Induced resistance and phytoalexin accumulation in biological control of Fusarium wilt of carnation by *Pseudomonas* sp. strains WCS417r. *Phytopathology* 81: 728-734.
- Xue, L., Charest, P.M. and Jabaji-Hare, S.H. 1998. Systemic induction of peroxidases, 1,3- β -glucanases, chitinases, and resistance in bean plants by binucleate *Rhizoctonia* species. *Phytopathology* 88: 359-365.

BAB 3
ISOLASI, EVALUASI DAN APLIKASI
AGENSIA PENGENDALI HAYATI

PENDAHULUAN

Langkah pertama yang sangat penting dalam explorasi mikroorganisme yang akan dijadikan kandidat agensia hayati adalah isolasi. Isolasi mikroorganisme tersebut dapat dilakukan pada seluruh bagian tanaman baik di area filoplane maupun area rizoplane. Isolasi juga dapat dilakukan pada tanah, baik tanah disekitar akar maupun pada tanah umumnya. Permukaan tanaman merupakan habitat bagi mikroorganisme baik yang bersifat saprofit maupun bersifat patogen.

Setiap mikroorganisme tanah mungkin saja dapat bersifat antagonis terhadap beberapa organisme lain pada kondisi lingkungan yang cocok. Setiap tanah pasti mengandung antagonis potensial terhadap beberapa mikroorganisme lain. Tetapi sekalipun demikian beberapa tempat merupakan area yang lebih baik untuk mendapatkan antagonis dibandingkan dengan tempat lain. Menemukan satu antagonis yang dapat mengendalikan patogen tertentu merupakan tujuan dari penelitian pengendalian hayati.

Biasanya antagonis akan ditemukan dimana suatu area yang diinokulasi patogen, tetapi penyakitnya tidak muncul, atau insidensi penyakit tanaman menurun, atau penyakit tidak dapat berkembang pada tanaman yang rentan, daripada area dimana penyakitnya muncul.

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk mendapatkan agensia antagonis yang potensial.

1. Pengambilan sampel pada musim yang sangat menguntungkan bagi antagonis dalam menekan patogen. Kalau antagonis bakteri dan aktinomisetes yang dicari, sampling yang paling baik dilakukan adalah pada saat tanah dalam kondisi lembab dan hangat, karena pada kondisi musim kering, organisme ini

mungkin dalam keadaan dorman dan jumlah yang sangat rendah.

2. Pengambilan sampel tanah pada kedalaman dimana antagonis sangat aktif. Biasanya pada lapisan tipis di permukaan tanah hutan. Pengambilan sampel harus dilakukan pada daerah perakaran yaitu pada kedalaman 5-15 cm. Populasi semua mikroflora cenderung menurun pada level lebih dalam lagi.
3. Pengambilan tanah akan lebih baik pada daerah rizosfer, di sekitar biji, kecambah, pangkal batang yang masih berada di bawah tanah daripada pada tanah biasa pada umumnya.
4. Pada miselia dan sklerotia dari patogen juga merupakan tempat yang baik untuk isolasi antagonis. Karena beberapa antagonis senang berada dan hidup pada propagul patogen tersebut.

Beberapa persyaratan agensia pengendali hayati yang akan dikembangkan menjadi agensia hayati unggul, harus memenuhi persyaratan-persyaratan, diantaranya adalah sebagai berikut :

- a. Tumbuh cepat dan dapat hidup pada kondisi nutrisi dan lingkungan yang tidak dikehendaki oleh organisme lain.
- b. Baik sekali dalam memanfaatkan sumberdaya primer dan mengkolonisasi bahan organik dan tanaman.
- c. Mampu beradaptasi pada lingkungan yang terganggu terutama di lahan budidaya pertanian.
- d. Mempunyai sifat khusus untuk bertahan hidup biasanya dalam bentuk spora atau sklerotia di tanah atau pada tanaman dekat inokulum patogen atau sumber infeksi.

Menurut Campbell (1989), langkah-langkah yang perlu diperhatikan dan dilakukan untuk menemukan antagonis yang potensial sampai antagonis tersebut dapat dikomersialkan (Gambar 3.1). Ada 3 hal yang perlu diperhatikan yaitu:

1. Perlu ditentukan penyakit yang akan menjadi target. Seberapa penting penyakit tersebut menimbulkan kerusakan pada tanaman, karena produk agensia hayati yang akan diproduksi harus digunakan dan dibeli oleh masyarakat. Sehingga secara komersial produk agensia hayati yang ditemukan menjadi kebutuhan petani.
2. Seberapa penting nilai ekonomi tanaman yang menjadi inang penyakit tersebut, dan seberapa intensif petani menanam tanaman tersebut. Jika tanaman tersebut menjadi sumber mata pencarian masyarakat, seperti tanaman sayur-sayuran (cabai, kentang, kubis, dan lain-lain), atau tanaman perkebunan seperti karet dan sawit, tanaman pangan seperti padi. Maka dengan ditemukannya alternatif pengendalian hayati yang efektif dan aman baik bagi kesehatan masyarakat maupun bagi lingkungan, maka produk agensia hayati tersebut akan dibeli dan digunakan.
3. Pengendalian hayati yang dikembangkan harus dapat berkompetisi dengan pengendalian yang sudah tersedia khususnya pengendalian dengan pestisida dan varietas resisten. Misalnya, untuk pengendalian penyakit bercak daun, dimana pestisida dan varietas resisten dalam mengendalikan penyakit ini sudah tersedia banyak dipasaran, maka kita harus mencari celah, bagaimana produk kita laku di pasaran, misalnya dengan menemukan agensia hayati yang fokus mengendalikan penyakit bercak daun pada sayuran yang dipanen sebagai *baby-vegetable*, atau produk sayuran yang

daunnya dimakan segar. Atau kita fokus pada penyakit tular tanah, dimana penyakit tular tanah ini, sulit dideteksi dan dikendalikan dengan pestisida, sehingga ketersediaan cara pengendalian yang efektif masih terbatas. Jika kita menemukan agensia hayati unggul yang efektif, maka akan menjadi pilihan yang menarik bagi masyarakat.

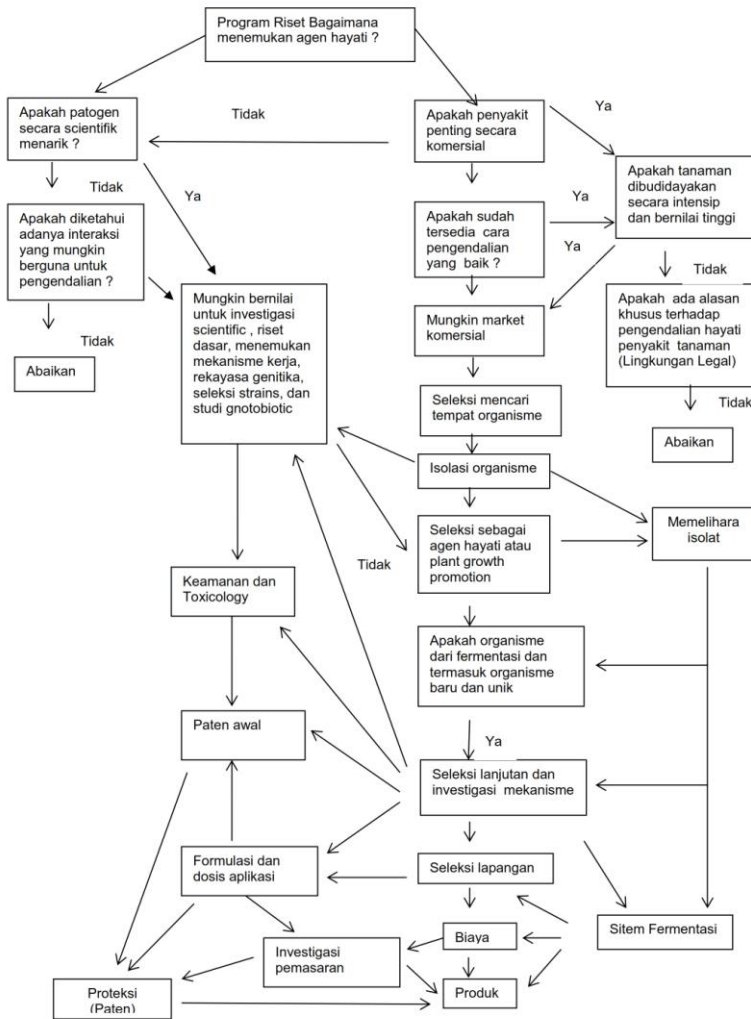
ISOLASI ANTAGONIS

Isolasi antagonis dapat dilakukan antara lain dengan cara:

1. Isolasi tanah dengan "*dilution plating technique*" dengan menggunakan medium selektif.
2. Isolasi dari akar tanaman atau daerah rizosfer dengan menggunakan medium selektif.
3. Isolasi dari permukaan daun atau filosfer.
4. Menggunakan patogen sebagai umpan. Misalnya dengan menumbuhkan patogen pada medium atau meletakkan propagul patogen pada medium, kemudian ditutupi dengan tanah sampel, setelah diinkubasikan beberapa hari, hifa atau propagul patogen diamati, pada bagian yang lisis atau rusak atau mati, diisolasi, biasanya pada tempat tersebut ditemukan antagonis. Patil dkk. (2010) melaporkan bahwa umpan patogen *Rhizoctonia solani* (kumpulan miselia yang ditumbuhkan pada medium cair) yang dibungkus dengan kain nilon dengan ukuran pori 50-mesh sangat efektif untuk mengisolasi aktinomisetes, dari 110 aktinomisetes yang terisolasi, 9 isolat sangat agresif menekan pertumbuhan dan serangan patogen.
5. Isolasi dengan *double-layer agar technique*: sampel tanah dicampur dengan medium agar tertentu yang telah dicampur dengan streptomycin, chloramphenicol,

sodium propionate untuk mengurangi pertumbuhan mikroorganisme tanah, kemudian diinkubasikan selama 4 hari, setelah itu dituangkan lapisan kedua yang tipis berupa campuran patogen dengan medium agar. Setelah dua hari akan ditemukan beberapa bakteri yang memproduksi antibiotik berupa zone penghambatan terhadap pertumbuhan patogen.

Secara umum isolasi dapat menggunakan medium *potato dextrose agar* (PDA) untuk fungi, Nutrient agar (NA) untuk bakteri. Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk mengisolasi mikroorganisme tertentu dengan medium selektif. Elad dkk. (1981), mengembangkan medium selektif untuk *Trichoderma* dengan nama *Trichoderma-selective* agar medium (TSM), medium ini terdiri dari; (g/l air destilasi): $MgSO_4 \cdot 7 H_2 O$, 0.2 g; $K_2 HPO_4$, 0.9 g; KCl, 0.15 g; $NH_4 NO_3$, 1.0 g; glucose, 3.0 g; chloramphenicol (Chloromycetin, Sigma Chemical Co., USA), 0.25 g; p-dimethylaminobenzenediazo sodium sulfonate (Dexon 60% w.p., Farbenfabrik Bayer A.G., Germany), 0.3 g; pentachloronitrobenzene (Terraclor 75 W.P., Olin Chemicals, USA), 0.2 g; rose-bengal (tetrachlorotetradiodofluorescein, BDH Chemicals Ltd., England), 0.15 g; agar (Difco Laboratories, USA), 20 g.



Gambar 3.1. Langkah-langkah evaluasi agensia Hayati Patogen Tanaman (Campbell, 1989).

Hayakawa dan Nonomura (1987) mengembangkan medium humic acid-vitamin B (HV Medium) untuk aktinomisetes yang sangat efektif mengisolasi dalam jumlah besar koloni aktinomisetes khususnya dari genus *Streptomyces*, *Micromonospora*, *Microbispora*, *Streptosporangium*, *Nocardia*,

Dactylosporangium, *Microtetraspora* dan *Thermomonospora*, medium HV terdiri dari ; 1 g humic acid; 0.5 g Na₂HPO₄; 1.7 g KCl; 0.5 g MgSO₄.7H₂O; 0.01 g FeSO₄.7H₂O; 0.02 g CaCO₃; 20 g agar in 1 liter air distilasi dan ditambahkan 500 µl of vitamin-B complex dari stok 0.5 mg ml⁻¹.

Komada (1975) mengembangkan medium selektif untuk mengisolasi *Fusarium oxysporum* dari tanah alami, Mediumnya terdiri dari 2 macam, Medium dasar yang terdiri dari: air distilasi 1000 ml; Na₂B₄O₇ . 10H₂O 1 g; K₂HPO₄ 1 g; KCl 0,5 g; MgSO₄ . 7H₂O 0,5 g; Fe-Na-EDTA 0,01 g; D-Galactose 20 g; L-Asparagine 2 g; Agar 15 g. Medium dasar dicampur dan dipanaskan untuk mencairkan agar, Sterilisasi dengan autoklaf tidak begitu penting, tetapi tidak merusak medium. Kemudian didinginkan ± 50-55 °C. Medium dasar tersebut ditambah bahan-bahan berikut : PCNB (*Pentachloronitrobenzene*) (Terraclor 75%) 1 g; Oxgall (Bile Bovine) 0,5 g; Streptomycin sulfate 0,3 g. Selanjutnya medium diturunkan pHnya menjadi 3.8-4.0 pH with 10% Phosphoric acid. Selanjutnya medium siap digunakan.

Nishimura (2007) juga mengembangkan formula baru, medium untuk *Fusarium oxysporum*, pada penelitian ini medium disiapkan dengan 6 variasi (Fo-G1; Fo-G2; Fo-W1; Fo-W2; Fo-N1; dan Fo-N2) khususnya untuk trace elemen, sumber nitrogen dan antifungal, dari hasil penelitian tersebut, Fo-G1 dan Fo-G2 merupakan medium yang sangat baik untuk mengisolasi *Fusarium* yang sudah terinfestasi secara alami di tanah: Untuk medium dasar (Fo-G1) terdiri dari : KH₂PO₄, 1 g; KCl, 0.5 g; MgSO₄.7H₂O, 0.5 g; ammonium citrate dibasic, 2 g; econazole nitrate, 5 mg (dilarutkan dengan 0.5 ml of dimethyl sulfoxide); H₃BO₃, 0.5 g; trace element solution, 0.2 ml; chloramphenicol, 0.25 g; and agar, 20 g per 1 l air distilasi. Setelah di autoclave selama 15 menit pada 121°C, L-sorbose, 20

g; 25% iminoctadine triacetate solution, 0.05 ml; and 50% tolclofos-methyl wettable powder, 1 mg (dicairkan didalam sedikit air distilasi) ditambahkan pada medium tersebut. Setelah agak dingin kira-kira 60 °C, pH medium diatur menjadi pH 3.7-3.9 dengan 10% H₃PO₄ menggunakan pH meter, selanjutnya 15 ml dari medium tersebut dituangkan pada petridish dengan diameter 9-cm, kemudian Petridish ditutup dan disimpan pada kondisi gelap selama 3-7 hari untuk mengeringkan permukaan medium. Larutan trace element yang berisi citric acid, 5 g; FeSO₄.7H₂O, 5 g; ZnSO₄.7H₂O, 1 g; CuSO₄.5H₂O, 0.5 g; MnSO₄.5H₂O, 0.5 g; Na₂MoO₄.2H₂O, 0.05 g per 95 ml air distilasi. Untuk Trace elemen yang lain sebagai alternatif ditampilkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Sejumlah sumber nitrogen, larutan trace element dan bahan antifungi pada setiap medium selektif.

Bahan-bahan ^a	Medium selektif					
	Fo-G1	Fo-G2	Fo-W1	Fo-W2	Fo-N1	Fo-N2
Ammonium citrate dibasic (g/l)	2	2	-	-	2	2
NaNO ₃ (g/l)	-	-	2	2	2	2
Econazole nitrate (mg/l)	5	10	5	10	5/2 ^b	10
Trace element solution (ml/l)	0,2	-	0,2	-	0,2	-
Potassium chlorate (g/l)	-	-	-	-	10	10
Iminoctadine triacetate 25% solution (ml/l)	0,05	0,4	0,05	0,4	0,05	0,4
Tolclofos-methyl 50% wettable powder (mg/l)	1	3	1	3	1	3

^a Bahan-bahan lain sama seperti dijelaskan text sebagai medium dasar (Fo-G1

^b 5 mg/l dari econazole nitrate untuk pengenceran tanah 100-fold, dan 2 mg/l untuk pengenceran tanah lebih dari 100-fold.

EVALUASI AGENSIA PENGENDALI HAYATI

Seleksi mikroorganisme sebagai agensia hayati potensial dalam mengendalikan penyakit tanaman dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu, Uji *in vitro* dan Uji *in vivo*:

1. Uji *in vitro*

Uji *in vitro* dilakukan di agar atau tidak menggunakan tanaman, biasanya digunakan untuk mengidentifikasi sifat antagonistik dan hiperparasit calon agensia hayati. Test di agar ini merupakan seleksi awal khususnya untuk melihat kemampuan mekanisme antibiosis dan parasitisme. Test di laboratorium ini tidak dapat melihat kemampuan kandidat agensia hayati dengan mekanisme kompetisi, hipovirulen atau non-patogen dan *cross protection* (Marriman dan Russell, 1990).

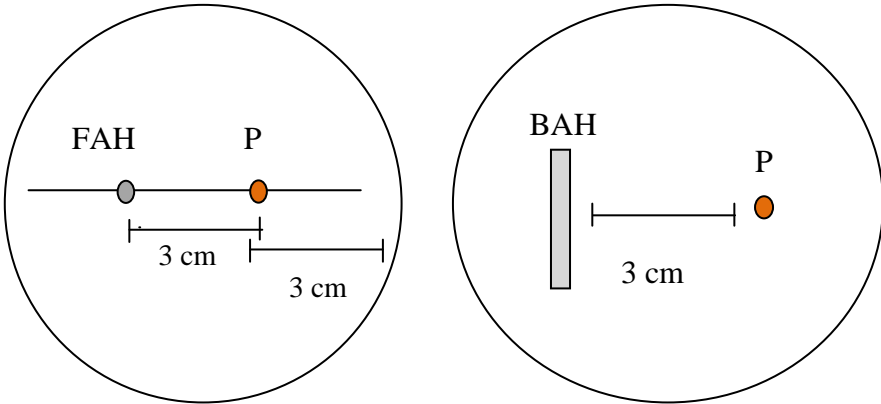
- a. Kemampuan menekan pertumbuhan koloni patogen. Pengamatan penghambatan pertumbuhan koloni dilakukan dengan metode biakan rangkap (*dual culture technique*) (Gambar 3.2 dan Gambar 3.3). Pengamatan besarnya penghambatan ini dapat dilakukan bersamaan dengan pengamatan pola interaksi koloni dengan mengukur jari-jari koloni patogen setelah di-oposisi dengan jamur antagonis.

Menurut Skidmore dan Dickinson (1976), penilaian persentase penghambatan menggunakan rumus :

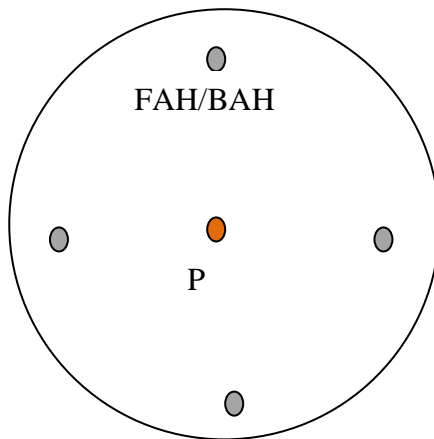
$$PP = \frac{r_1 - r_2}{r_1} \times 100 \%$$

Keterangan :

PP = Persentase penghambatan pertumbuhan; r_1 = Jari - jari koloni patogen pada perlakuan kontrol (cm); r_2 = Jari - jari koloni patogen setelah dioposisi dengan jamur kandidat antagonis (cm)



Gambar 3.2. Sketsa Dual culture technique, FAH adalah kandidat agensia hayati fungi, BAH adalah kandidat agensia hayati Bakteri atau Aktinomisetes. Sementara P adalah Patogen.



Gambar 3.3. Sketsa modifikasi Dual culture technique, biasa digunakan untuk menyeleksi isolat dalam jumlah besar. FAH adalah fungi kandidat agensia hayati, BAH adalah kandidat agensia hayati Bakteri atau Aktinomisetes. Sementara P adalah Patogen

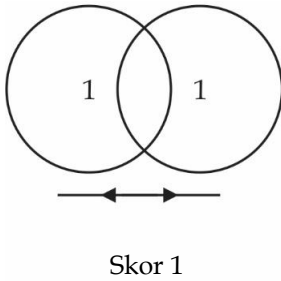
Porter (1924) dan Skidmore dan Dickinson (1976), menggambarkan ada 5 bentuk interaksi langsung antara calon antagonis dengan patogen di medium agar (Gambar 3.4). Lima bentuk interaksi koloni cendawan di media agar tersebut diformulasikan dengan skore 1-5, yaitu :

- Skor 1 : Pertumbuhan kedua jamur tidak saling mempengaruhi, secara makroskopis tidak terlihat adanya tanda interaksi.
- Skor 2 : Interaksi dimana jamur yang satu pertumbuhannya melewati jamur yang lainnya. Jamur tersebut tumbuh di atas atau di bawah atau di atas dan di bawah jamur yang dilewatinya tersebut, dengan pertumbuhan yang wajar.
- Skor 3 : Interaksi dimana jamur yang satu berhenti pertumbuhannya setelah terjadi kontak, jamur yang lain tumbuh melewati jamur yang berhenti tersebut.
- Skor 4 : Pertumbuhan koloni kedua jamur terhenti pada jarak tertentu, yaitu pada saat hampir terjadi kontak (dengan jarak yang sempit 1-2 mm) tapi sangat jelas zona penghambatan tersebut.
- Skor 5 : Pertumbuhan koloni kedua jamur terhenti pada jarak yang lebih lebar dari 2 mm

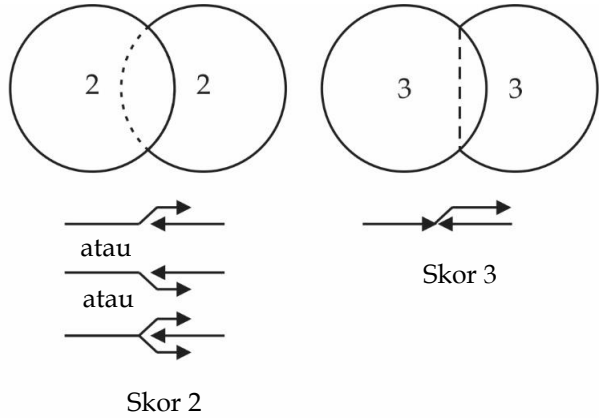
Pengamatan pola interaksi koloni meliputi pola interaksi yang terjadi antara kedua koloni, perubahan warna pada media dan atau daerah kontak, pola pertumbuhan koloni dan perubahan morfologi makroskopik.

Penilaian pola interaksi koloni didasarkan pada pedoman yang diberikan oleh Porter (1924) dan Dickinson dan Skidmore (1976) yang dimodifikasi sebagai berikut :

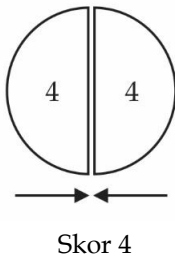
A. Pertumbuhan tidak saling mempengaruhi



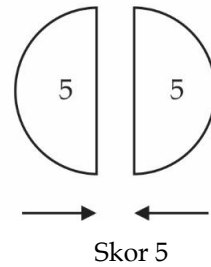
B. Pertumbuhan lebih cepat dari Antagonis



C. Penghambatan sedikit



D. Penghambatan lebih kuat



Gambar 3.4. Tipe interaksi antar mikroorganisme di medium agar (Modifikasi Porter (1924) dan Dickinson dan Skidmore, 1976).

b. Kemampuan menekan perkecambahan spora:

b.1. Mencampur suspensi konidia patogen dengan suspensi calon antagonis baik berupa konidia atau metabolit yang dihasilkan setelah ditumbuhkan pada medium cair. Selanjutnya dilihat perkembangan perkecambahan patogen. Jika persentasi perkecambahan patogen rendah, berarti calon antagonis dapat merusak atau menghambat pertumbuhan patogen tersebut.

- b.2. Letakkan 6 plug dengan diameter 10 mm, biakan calon antagonis (umur biakan \pm 7 hari) pada petridish steril, selanjutnya suspensi spora patogen dimasukkan pada petridish yang telah berisi plug biakan calon antagonis. Untuk kontrol plug biakan diganti dengan medium saja. Perlakuan diinkubasi selama 24 jam. Selanjutnya persentase penghambatan perkecambahan spora dan panjang perkecambahan diamati.
- c. Pengujian antibiosis
- Aktivitas penghasil antibiotik dilakukan dengan menguji metabolit yang dihasilkan antagonis dalam menghambat pertumbuhan dan perkembangan patogen. Mengikuti prosedur Talubnak dan Soyong (2010) yang dimodifikasi yaitu, tiap-tiap isolat antagonis (umur 3 hari) yang ditumbuhkan pada media *Potato Dextrose Agar* (PDA) (5 plug \varnothing 5 mm) dipindahkan pada erlenmeyer (250 ml) yang berisi 100 ml media *Potato Dextrose Broth* (PDB). Biakan diinkubasi selama 10 hari pada suhu ruangan dan kondisi statis. Kemudian biakan disaring dengan kertas saring (2 lembar) selanjutnya disentrifugasi dengan kecepatan 2500 rpm selama 15 menit. Supernatant yang diperoleh digunakan sebagai filtrat untuk uji selanjutnya.

Sebanyak 10 ml filtrat dicampur dengan 100 ml media PDA dalam erlenmeyer. Selanjutnya 5 x 5 mm potongan *R. solani* ditumbuhkan pada campuran media dan filtrat tersebut. Sebagai kontrol, filtrat diganti dengan air steril. Pengamatan penghambatan pertumbuhan *R. solani* dilakukan pada hari dimana pertumbuhan koloni pada perlakuan kontrol menutupi seluruh permukaan cawan Petri.

Pengujian antibiosis ini juga dapat dilakukan dengan metode “dual culture technique “ yang sudah dijelaskan diatas, dimana kalau ditemukan zone penghambat pada biakan tersebut, berarti antagonis tersebut menghasilkan antibiotik atau zat anti fungi.

d. Interaksi hifa

Pengamatan interaksi hifa antara antagonis dan *R. solani* dilakukan untuk melihat kemampuan antagonis dalam mengkolonisasi dan memarasit *R. solani*. Pengamatan dilakukan dengan menumbuhkan secara bersamaan isolat *R. solani* (umur 5 hari) dan antagonis (umur 3 hari) di atas kaca preparat steril. Media tumbuh untuk masing-masing dipisahkan 15 mm. Kemudian kaca preparat dimasukan ke dalam cawan Petri dan diinkubasikan pada suhu kamar. Selanjutnya diamati perubahan dan penyimpangan yang terjadi.

e. Pengujian kolonisasi antagonis terhadap patogen

Mengikuti metode Krauss *dkk.* (1999), kemampuan kolonisasi dilakukan dengan cara menempatkan potongan biakan antagonis (umur 3 hari) dengan ukuran 5 x 15 mm pada koloni patogen yang berumur 3 hari. Pada hari ke dua, miselia antagonis pada patogen dipotong sebanyak 15 potongan dengan ukuran 5 x 5 mm pada jarak 5 – 75 mm dari inokulum yang ditumbuhkan. Selanjutnya potongan tersebut dipindahkan pada cawan Petri dengan media *Water Agar* (WA) 2% dan diamati sejauh mana kecepatan kolonisasi antagonis terhadap patogen.

2. Uji secara *in vivo*

Pengujian secara *in vivo*, pengujian menggunakan tanaman hidup, dapat dilakukan di tingkat laboratorium,

rumah kaca dan di lapangan. Pengujian secara *in vivo* ini biasanya dilakukan dengan medium tanam tanah baik di pot maupun di tingkat lapangan. Pengujian secara *in vivo*, biasanya membutuhkan waktu, tempat, biaya yang lebih banyak dibanding dengan uji di agar. Pengalaman penulis melakukan seleksi terhadap kandidat agensia hayati, dimana agensia hayati yang sangat kuat menekan pertumbuhan patogen di agar, belum tentu mempunyai kemampuan yang juga sangat kuat dalam menekan infeksi dan serangan patogen secara *in vivo*. Menurut Rai dan Singh (1980), perbedaan kemampuan agensia hayati di *in vitro* dan di *in vivo* tersebut mungkin disebabkan oleh absorpsi bahan toksik yang dikeluarkan tanaman, evaporasi bahan volatil, netralisasi toksin oleh bahan kimia di permukaan daun, dan rendahnya nutrisi di permukaan tanaman.

Untuk uji di pot di rumah kaca, biasanya tanah yang akan digunakan untuk medium tanam disterilisasi terlebih dahulu sebelum digunakan, untuk menghindari pengaruh aktivitas mikroorganisme yang mungkin terjadi baik mikroorganisme patogen atau mikroorganisme antagonis yang mungkin terdapat sebagai mikroorganisme penghuni tanah tersebut, sehingga pengaruh antagonis agensia hayati yang diintroduksi menjadi optimal.

Untuk pengujian di lapangan, dimana perubahan iklim yang terjadi baik didalam tanah maupun di permukaan daun sangat sulit untuk dikendalikan, khususnya perubahan kondisi fisik, kimia dan biologi di lapangan seperti, perubahan temperatur, gas, kelembaban, pH, bahan-bahan organik, nutrisi, deversitas mikroorganisme, dan lain-lain. Kondisi yang penuh resiko ini, sering menyebabkan para peneliti menghindari uji ini, karena kalau performa kemampuan agensia hayati gagal menekan serangan penyakit tanaman,

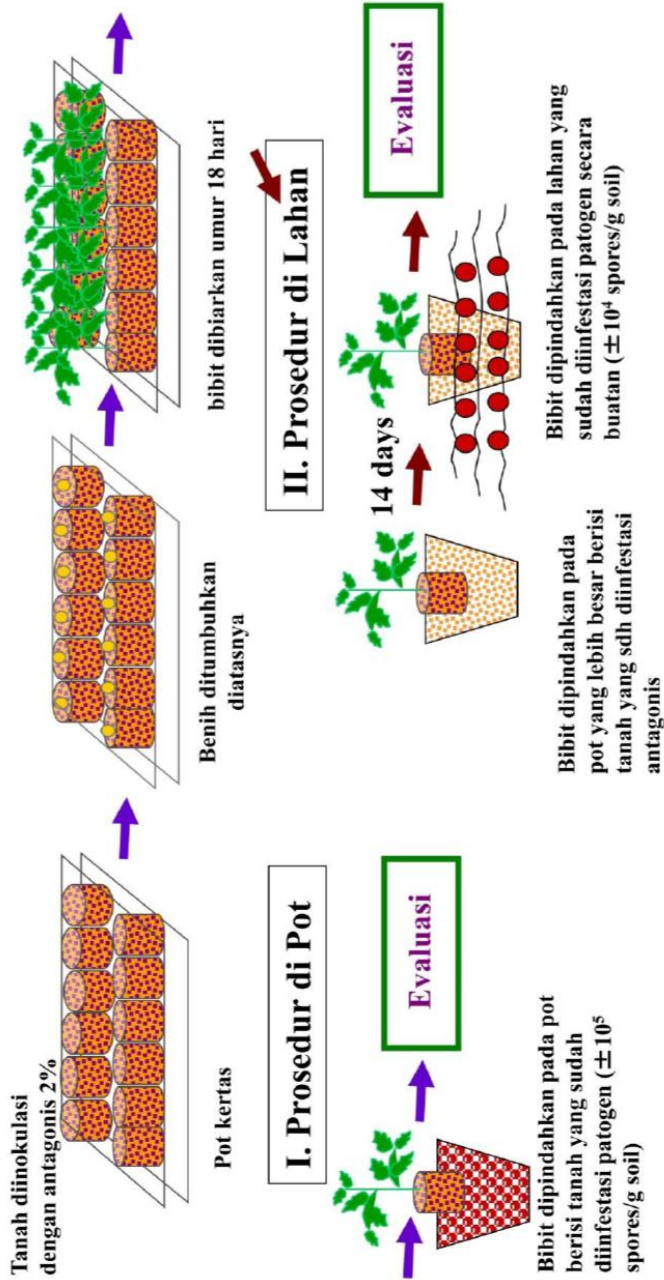
maka akan gagal juga untuk publikasi hasil penelitian tersebut (Merriman dan Rusell, 1990)

- a. Uji di tingkat laboratorium dapat dilakukan dengan menggunakan potongan helaian daun (*detached leaf test*), kemudian diletakkan di plastik boks yang dijaga kelembabannya, selanjutnya suspensi antagonis sebanyak $\pm 10 \mu\text{l}$ diinokulasikan pada permukaan daun kemudian pada tempat yang sama diinokulasi suspensi patogen. Untuk menghindari titisan suspensi antagonis dan patogen tersebar, maka diatasnya diletakkan disk kertas lensa dengan diameter 5-mm. Kemudian diamati perkembangan penyakitnya.
- b. Uji ditingkat rumah kaca, bibit tanaman diberi perlakuan terlebih dahulu dengan kandidat antagonis (spora/konidia, miselia, inokulum padat atau inokulum cair) selama beberapa hari pada pot kertas kecil, setelah itu bibit yang telah diberi perlakuan dipindahkan pada pot yang lebih besar yang diisi tanah yang telah diinfeksi dengan patogen. Setelah beberapa minggu, tanaman yang tumbuh diamati. Kalau tanaman tetap tumbuh sehat, berarti kandidat antagonis merupakan agensia hayati potensial untuk dikembangkan karena mampu melindungi tanaman dari serangan penyakit (Muslim dkk., 2003a) (Gambar 3.5).
- c. Uji di lapangan, Uji ini dilakukan mirip dengan uji di rumah kaca, tetapi perlakuan dilakukan 2 kali. bibit tanaman diberi perlakuan terlebih dahulu dengan kandidat antagonis (spora/konidia, miselia, inokulum padat atau inokulum cair) selama beberapa hari (± 14 hari) pada pot kertas kecil, setelah itu bibit yang telah diberi perlakuan dipindahkan pada pot yang lebih besar yang diisi tanah yang telah diinokulasi antagonis dan dibiarkan

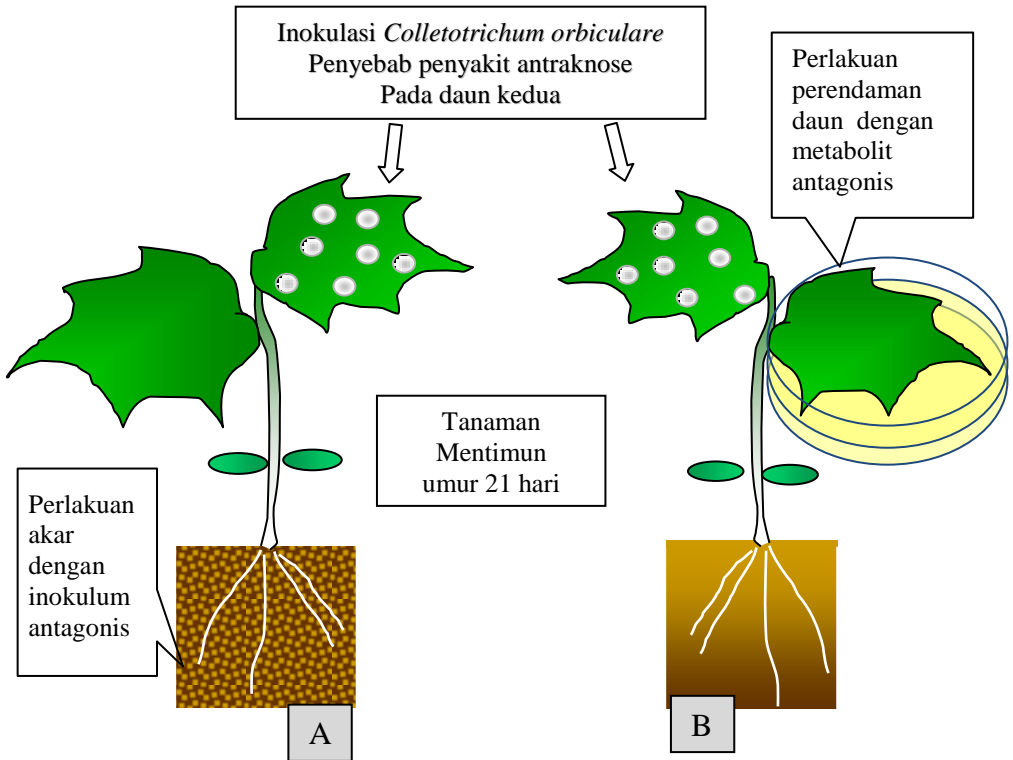
tumbuh beberapa hari (\pm 14 hari). Selanjutnya Tanaman dipindahkan ke lahan atau lapangan yang sudah diinfestasi dengan inokulum patogen dengan konsentrasi yang dapat menimbulkan penyakit tanaman. Setelah beberapa minggu, tanaman yang tumbuh diamati. Kalau tanaman tetap tumbuh sehat, berarti kandidat antagonis merupakan agensia hayati potensial untuk dikembangkan karena mampu melindungi tanaman dari serangan penyakit (Muslim dkk., 2003b) (Gambar 3.5).

3. Uji kemampuan Induksi resistensi secara sistemik

Induksi resistensi adalah fenomena dimana salah satu bagian tanaman distimulasi, maka akan meningkatkan resistensi pada bagian tanaman yang lain yang diinokulasi patogen. Resistensi dapat bersifat lokal atau sistemik yang dapat diinduksi dengan patogen yang hipovirulen/a-virulen, beberapa non-patogen bakteri, beberapa patogen tertentu, dan bahan kimia tertentu (Van Loon, 2000). Organisme atau bahan kimia dikatakan sebagai penginduksi resistensi pada tanaman, kalau posisi penginduksi tersebut betul-betul terpisah dengan posisi inokulasi patogen, sehingga tidak ada peluang terjadi kontak langsung antara agensia hayati penginduksi dan patogen. Evaluasi kemampuan agensia hayati menginduksi resistensi secara sistemik dengan menggunakan tanaman mentimun dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.5. Seleksi kandidat agensia hayati secara *in vitro* pada tanaman di *greenhouse* dan di lapangan atau di lahan.



Gambar 3.6. Evaluasi kemampuan agensia hayati menginduksi resistensi secara sistemik dengan sistem menggunakan tanaman mentimun. A. Perlakuan agensia hayati di tanah, dan B. Perlakuan agensia hayati di daun pertama, sementara patogen diinokulasi pada daun kedua yang biasanya sudah berkembang sempurna.

Fuchs dkk. (1997) mengembangkan 4 macam bioassay pengujian kemampuan *Fusarium oxysporum* non-patogen strain Fo47 sebagai agensia penginduksi resistensi tanaman tomat terhadap serangan penyakit layu fusarium (Gambar 3.7), yaitu:

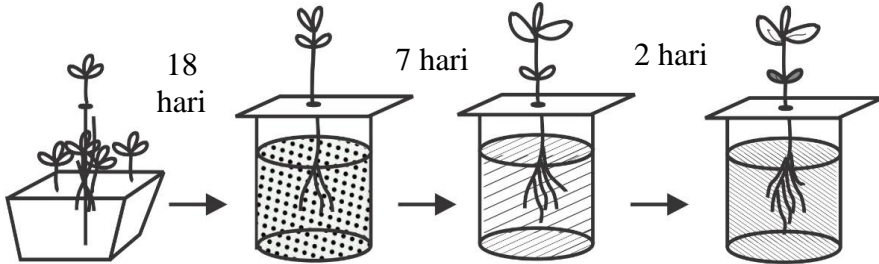
- 1) Bioassay sistem Benomyl (*Benomyl system bioassays*); bibit tanaman tomat umur 18 hari yang ditanam di pot, digali, selanjutnya akar bibit tomat tersebut dicuci dengan hati-

- hati dengan air ledeng. Akar tanaman tersebut diletakkan pada cairan *Knop nutrient* (konsentrasi 50%), dengan komposisi 1.00 g $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 0.25 g KCl; 0.25g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0.25 g KH_2PO_4 ; 20.0 mg FeEDDHA; 1 ml of Hoagland solution; dan 1 L of double-air destilasi (Keel dkk., 1989) yang sudah diinokulasi dengan *Fusarium* Fo47 non-patogen dan tanpa inokulasi selama 7 hari. Kemudian akar bibit tersebut dicuci dengan air destilasi, dan selanjutnya tanaman dipindahkan pada tabung 2 liter yang berisi 50% cairan *Knop Nutrient* dan *benomyl* (30 $\mu\text{g}/\text{ml}$). 2 hari kemudian, akar tanaman dipotong 2 cm dari dasar hypocotyl, dan selanjutnya diletakkan di dalam tabung yang berisi 50% cairan *Knop Nutrient* dan patogen *Fusarium oxysporum* Fo18. Kemudian perkembangan serangan penyakit layu fusarium diamati sampai 6 minggu.
- 2) Bioassay sistem akar-terbelah (*Split-root system bioassay*); bibit tanaman tomat umur 18 hari dipotong pada pangkal batang dan hipokotil dibelah dua memanjang ke atas dengan hati-hati dengan pisau tajam steril, dengan panjang kira-kira 3 cm. Setiap bagian hipokotil tersebut diletakkan pada tabung reaksi berisi 33% cairan *Knop Nutrient* untuk menumbuhkan akar selama 8 hari, setiap bagian hipokotil tersebut diletakkan di 100-ml erlenmeyer yang diisi dengan 50% cairan *Knop Nutrient*. Antagonist non-patogen Fo47 ditambahkan pada salah satu erlenmeyer. 10 hari kemudian, patogen *Fusarium oxysporum* Fo18 diinokulasi pada erlenmeyer yang satunya. Perkembangan serangan penyakit layu fusarium diamati sampai 4-6 minggu.
 - 3) Bioassay sistem Potong (*Cutting system bioassays*); bibit tanaman tomat umur 21 hari, yang ditumbuhkan pada

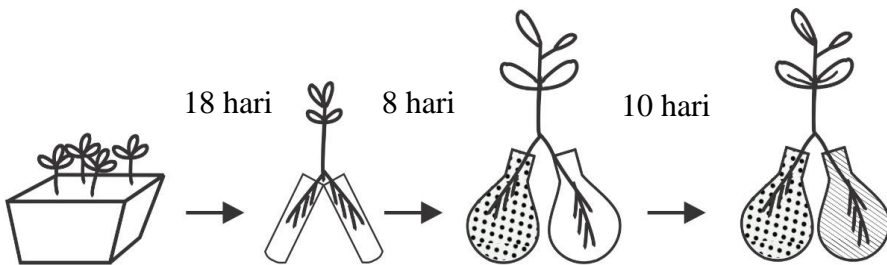
rockwool yang telah diinokulasi dengan non-patogen Fo47, dipotong kira-kira 0,5 cm dari rockwool, kemudian potongan pucuk tanaman tersebut dipindahkan pada pot plastik berisi tanah yang sudah diinfestasi patogen *Fusarium oxysporum* Fo18. Perkembangan serangan penyakit layu fusarium diamati sampai 6 minggu.

- 4) Bioassay sistem rebah (*Layering system bioassay*); Tanah yang akan digunakan disaring dengan saringan 8-mm sebelum di-autoklaf. Kemudian diinokulasi dengan *Fusarium* Fo47 non-patogen atau patogen *Fusarium* Fo18 dan dicampur. Kira-kira 350 cm³ tanah yang diinokulasi ditambah di atasnya dengan 100 cm³ campuran pasir kasar dan kerikil (dengan ukuran 1,8-2,2 mm). Bibit tomat umur 18 hari dipindahkan ke dalam tanah yang tidak diinokulasi (control) dan tanah yang diinokulasi strain Fo47 non-patogen, dan dibiarkan tumbuh selama 2 minggu. Batang pada setiap tanaman dipotong tipis dengan pisau cukur yang tajam dan ditarik atau dibengkokkan sampai kontak dengan tanah pada pot kedua. Batang bibit tersebut dibiarkan tersangkut pada pot kedua dan ditutupi dengan 1 cm tanah. Patogen *Fusarium oxysporum* Fo18 diinokulasikan pada tanah di pot kedua, 3 hari sebelum diletakkan batang tanaman tersebut. Perkembangan serangan penyakit layu fusarium diamati sampai 8 minggu.

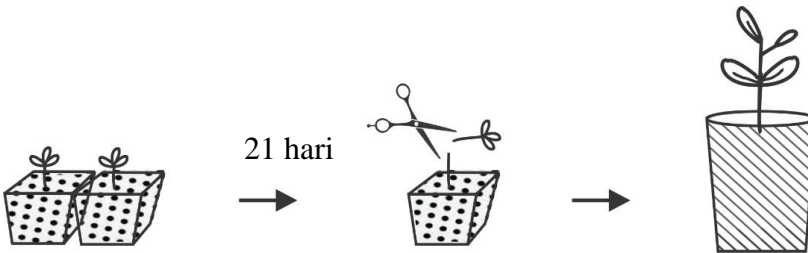
1. Bioassay sistem Benomyl (*Benomyl system bioassays*)



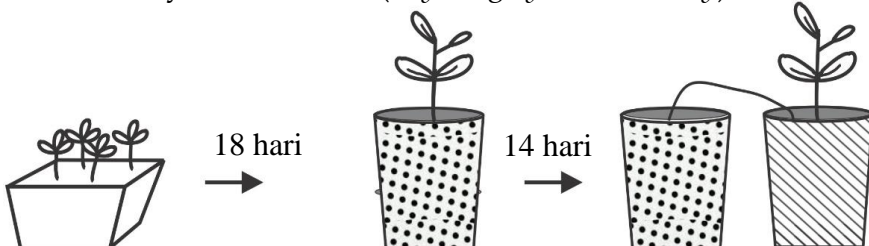
2. Bioassay sistem akar-terbelah (*Split-root system bioassay*)



3. Bioassay sistem Potong (*Cutting system bioassays*)



4. Bioassay sistem rebah (*Layering system bioassay*)



Gambar 3.7. Evaluasi kemampuan antagonis menginduksi resistensi tanaman tomat terhadap serangan layu fusarium (Fuchs dkk., 1997).

FORMULASI AGENSIA PENGENDALI HAYATI

Tujuan produksi massal agensia pengendalian hayati adalah bagaimana memproduksi produk tersebut dalam jumlah banyak dan dalam waktu singkat, efektif mengendalikan patogen tanaman. Faktor yang sangat penting diantaranya adalah sumber karbon, osmotik potential, temperatur, dan pH (Fravel, 2005). Fravel juga menjelaskan bahwa Untuk mengembangkan formulasi agensia pengendalian hayati, ada 3 parameter yang sangat penting yaitu: air, makanan, dan lingkungan.

Schisler dkk. (2004), berbagai penelitian tentang pengembangan formulasi yang sudah dilakukan untuk agensia hayati *Bacillus* spp. yang efektif menekan serangan patogen tanaman seperti; tanah liat, gambut dan kitin, *methylcellulose*, *Ca-alginate*, *alginate manucol* atau *carob*, *carboxymethylcellulose*, *vegetable oil*, and *polyvinyl pyrrolidone*, *peptone*, dan media nutrient. Tipe formulasi yang dikembangkan untuk *Bacillus* spp: produk kering seperti *Wettable Powder*, *dusts*, and *granules*, sementara produk cair adalah suspensi sel dalam air, minyak dan *emulsions*. Schisler dkk (2004) merangkum bahan pembawa untuk formulasi biomassa *Bacillus* spp. (Tabel 3.2).

Tabel 3.2. Tipe amendemen and contoh bahan untuk formulasi biomasa *Bacillus* spp. (Schnisler, 2004).

JENIS AMANDEMEMEN	BAHAN
Bahan Pembawa cairan	Minyak sayur
Bahan Pembawa mineral	Kaolinite clay, diatomaceous earth
Bahan Pembawa organik	Tepung gandum
Penstabil	Lactosa, sodium benzoat
Nutrisi	Molasses, Peptone

Bahan pengikat	Gum arabic, carboxymethylcellulose
Desiccants	Silica gel, anhydrous salts
Bahan pengental	Xanthan gum
surfaktan	Tween 80
dispersan	Microcrystalline cellulose
Poteksi UV	
• Tabir surya	Oxybenzone
• brighteners optik	Blankophor BBH
• Penghambat cahaya	Lignin (PC 1307)
Pelekat / Stickers	Pregelatinized corn flour

Jeyarajan (2006), merangkum aplikasi *Trichoderma* dengan berbagai formula, untuk aplikasi pada perlakuan benih, formulasi berbasis talek sangat efektif, efisien dan ekonomis. Aplikasi ditanah, formulasi *vermiculite-wheat bran*, *Trichoderma* diperbanyak dengan medium molases-yeast medium selama 10 hari, vermiculite (100g), biji gandum (3,3 g), Biakan air (14 ml), dan 0,05N HCl (17,5 ml), produk ini diaplikasikan di tanah 250 kg/ha sangat efektif menekan penyakit dan meningkatkan hasil tanaman. Formulasi berbasis biji sorgum, dengan cara menumbuhkan *Trichoderma* pada biji sorgum selama 7-13 hari dimana *Trichoderma* sudah mengkolonisasi sempurna biji sorgum tersebut, dan formulasi ini siap diaplikasikan. Formulasi berbasis sekam padi, sekam padi dididihkan dalam 10% cairan molases/gula hitam (1:2) selama 30 menit, kemudian dikering-anginkan dengan diletakkan dikarung goni. Selanjutnya ditambahkan 10 g CaCO₃ (20g/kg). Kemudian formula ini dimasukkan plastik yang bisa diautoklaf (200 g/kantong plastik) dan disterilisasi selama 45 menit. Selanjutnya masukkan plug PDA biakan *Trichoderma* umur 5 hari, dengan diameter 9 mm ke dalam kantong plastik yang

berisi bahan pembawa, dan ditumbuhkan selama 25 hari. Biakan ini dapat dijadikan sebagai inokulum utama untuk dicampur dengan bubuk sabut (1 kg/100 kg). Formulasi bekas media tumbuh mushroom, Jerami padi bekas pertumbuhan mushroom (10 kg) dicampur bubuk sabut kelapa (2,5 kg) dan diatur kelembabannya 50% dengan cairan gula hitam/molases (5 L), kemudian medium tumbuh ini dimasukkan kedalam plastik dapat diautoclave (400 g/kantong), kemudian di sterilisasi dengan autoclave dengan tekanan 15 lb selama 1 jam, selanjutnya medium tersebut diinokulasi dengan potongan biakan PDA *Trichoderma* dan diinkubasi selama 8-10 hari. Spora fungi mencapai 40×10^9 setelah 90 hari masa inkubasi. Kulit Kopi limbah industri kopi juga sangat baik untuk medium tumbuh *Trichoderma*. Material lain yang bisa dijadikan medium tumbuh dan sekaligus untuk aplikasi ditanah adalah pupuk kandang, dedak beras, kulit kacang tanah. Bubuk kulit tongkol jagung (1 kg) atau gypsum (1 kg) dapat dijadikan bahan pembawa dengan cara dicampur dengan 500 ml dari *Trichoderma* yang diperbanyak dengan fermentasi cair dan ditambah 5 g CMC sebagai sticker. Untuk aplikasi penyemprotan pada daun, dapat dilakukan dengan menyemprotkan spora *Trichoderma* yang diperbanyak medium cair dengan kondisi digoyang secara regular. Untuk formulasi yang akan disimpan lama, bahan pembawa yang bisa digunakan adalah, bubuk talek yang sangat efektif mempertahankan viabilitas *Trichoderma* sampai umur simpan 120 hari. Bahan pembawa lain yang cukup efektif adalah lignite (batu bara muda), peat (gambut), dan kaolin (tanah liat atau material lempung berwarna putih).

Purwanto dkk. (2017) melaporkan bahwa medium campuran tanah gambut 40%+ pupuk kotoran sapi 40%+arang 10%+nutrisi 10%, merupakan bahan pembawa yang cukup

efektif untuk menjaga viabilitas dan populasi *Trichoderma* tetap tinggi yaitu 7.98×10^6 cfu/g sampai umur simpan 24 minggu.

APLIKASI AGENSIA PENGENDALI HAYATI DAN KOMERSIALISASI

Stack dkk. (1988), menjelaskan aplikasi agensia hayati di alam untuk mengendalikan penyakit tanaman baik di lapangan, mikroplot, kebun buah, tanaman hias, di rumah kaca, atau tempat lainnya merupakan langkah yang sangat penting untuk menjamin bahwa agensia hayati dikembangkan dapat diterima petani. Stack merangkum berbagai cara untuk aplikasi agensia hayati di lapangan.

- a. Penyiraman (Drench): merupakan cara yang paling mudah dengan menyiramkan suspensi agensia hayati ke tanah, tetapi cara ini mempunyai kelemahan, dimana distribusi agensia hayati ditanah tidak tersebar merata, bertambah dalam bertambah sedikit keberadaan propogul agensia hayati.
- b. Penaburan bahan alami yang dikolonisasi agensia hayati. Cara ini sangat efektif bagi golongan *Trichoderma* yang disiapkan dengan medium biji gandum. Dengan cara mencampur tanah dengan biji gandum yang sudah dikolonisasi *Trichoderma* tersebut, sangat efektif menekan serangan *damping-off* yang disebabkan oleh *Rhizoctonia solani*, *Pythium aphanidermatum*, dan penyakit tular tanah lainnya.
- c. Penaburan bahan sintetik yang dikolonisasi agensia hayati. Cara ini dilakukan dengan mempersiapkan formula dalam bentuk pelet atau granular yang disiapkan dalam bahan pembawa sodium alginate, tanah liat, tanah diatom, batubara muda, yang langsung dapat ditaburkan ke dalam medium tumbuh misalnya di

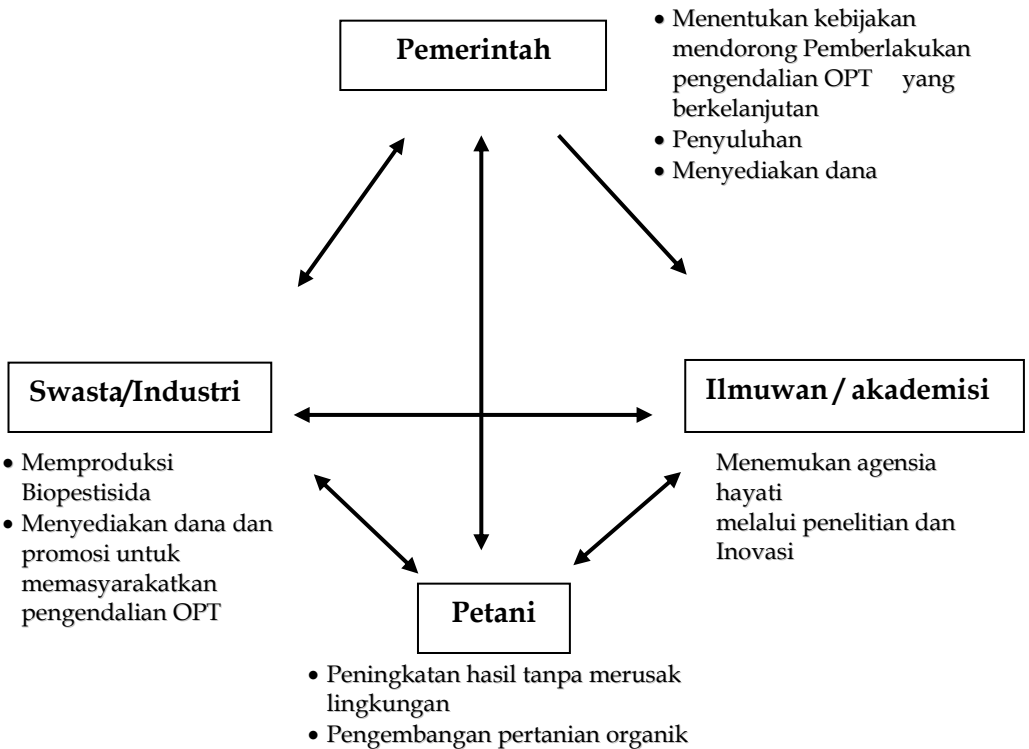
- tanah. Cara ini cukup efektif untuk agensia hayati *Gliocladium virens*, *Penicillium oxalicum*, *Talaromyces* dan *Trichoderma viride*.
- d. Penyemprotan di udara. Mengingat perubahan iklim mikro di atas permukaan tanah sangat fluktuatif, sehingga menyebabkan populasi agensia hayati yang disemprotkan cepat sekali menurun, sehingga diperlukan penyemprotan ulang setiap 1-2 minggu. Penyemprotan agensia hayati hanya dengan air distilasi menjadi kurang efektif, sehingga perlu ditambahkan nutrisi dan juga bahan pelekat.
 - e. Perlakuan benih: perlakuan benih dengan merendam benih dengan campuran suspensi spora *Trichoderma hamatum* dan sel *Pseudomonas aeruginosa* sangat efektif menekan serangan *damping-off* dan *collar rot* tanaman cabai yang disebabkan *Phytophthora capsici* (Chemeltorit dkk., 2017). Vidhyasekaran and Muthamilan (1999) melaporkan bahwa perlakuan benih dengan formulasi bubuk talek *Pseudomonas fluorescens* sangat efektif menekan penyakit *Rice Sheath blight* tanaman padi, efektifitas akan semakin tinggi dengan kombinasi perlakuan akar, perlakuan tanah dan penyemprotan.
 - f. Perlakuan pada bekas pemangkasan atau luka: Mutawila dkk. (2015) melaporkan bahwa perlakuan *Trichoderma* terhadap bekas luka pemangkasan pada tanaman anggur sangat efektif menekan serangan *Phaeomoniella chlamydospora*. Efektivitas akan menjadi sangat tinggi dengan perlakuan kombinasi benzimidazole resistant mutants yang digenerasi dengan radiasi gama (250Gy) dari tipe liar *Trichoderma* dengan fungisida carbendazim. Kotze dkk. (2011) melaporkan bahwa *Trichoderma atroviride* (produk komersialnya:

Biotricho®, Vinevax® and ECO 77®) sangat efektif melindungi bekas luka pemangkasan tanaman anggur dari serangan patogen penyebab penyakit grapevine trunk (*Neofusicoccum australe*, *N. parvum*, *Diplodia seriata*, *Lasiodiplodia theobromae*, *Eutypa lata*, *Phaeomoniella chlamydospora* atau *Phomopsis viticola*). Ogawa dan Komada (1984) pertama kali melaporkan bahwa perlakuan perendaman dengan suspensi *Fusarium* non-patogen pada bekas pemotongan bibit umbi rambat sangat efektif menekan secara *cross protection* layu fusarium tanaman ubi rambat yang disebabkan oleh *F. oxysporum* f.sp. *batatas* ditingkat penelitian dan lapangan.

Komersialisasi mikroorganisme yang digunakan sebagai agensia hayati dalam mengendalikan patogen tanaman semakin meningkat, walaupun persentasinya masih sangat rendah dibandingkan dengan produksi pestisida sintetik. Kondisi ini menyebabkan pengendalian hayati dengan menggunakan biopestisida masih belum menjadi komponen utama dalam manajemen pengelolaan penyakit di pertanian modern saat ini. Peningkatan penggunaan ini dipacu dengan semakin tingginya kesadaran masyarakat untuk mengkonsumsi bahan makanan pertanian segar yang bebas residu pestisida, yang mempunyai banyak efek samping tidak hanya bagi kesehatan manusia tapi juga bagi lingkungan.

Banyak Perusahaan ataupun petani yang mengembangkan pertanian organik yang berbasis dengan penggunaan agensia hayati (biopestisida) untuk melindungi tanaman mereka dari serangan patogen atau memanfaatkan biopertilizer untuk mengurangi penggunaan pupuk sintetik. Permasalahan timbul saat mereka memerlukan biopestisida atau biopertilizer di pasaran, seringkali mereka sulit

menemukannya karena tidak atau sangat sedikit tersedia di pasaran. Mengingat pengendalian hayati ini sangat penting dan masih kurang berkembang dibanding pestisida sintetik, maka untuk mempercepat produksi dan komersialisasi pengendalian hayati di masyarakat, semua stakeholder khususnya 4 institusi yaitu: Pemerintah, Swasta/Industri, Ilmuwan/Akademisi, dan Petani, harus bersinergi dan berbagi tugas (Gambar 3.8).



Gambar 3.8. Interaksi antara Ilmuwan/Akademisi, Pemerintah, Swasta, dan petani dalam pengembangan pengendalian penyakit tanaman berbasis pengendalian hayati.

Pemerintah sebagai institusi pemegang kebijakan peredaran pestisida di pasaran, harus mendorong para formulator untuk memproduksi biopestisida, mendukung pengendalian organisme pengganggu tanaman (OPT) yang berkelanjutan, melakukan sosialisasi dan penyuluhan dan menyiapkan anggaran untuk sosialisasi dan demplot produk-produk biopestisida.

Sementara pihak Industri biasanya memiliki peneliti dan ilmuwan yang terbatas, sehingga mereka dapat memanfaatkan hasil penelitian dari Ilmuwan dan akademisi di pusat-pusat penelitian dan Perguruan Tinggi melalui kolaborasi riset atau pemanfaatan paten yang sudah ditemukan oleh peneliti atau akademisi. Jadi tugas swasta/industri adalah memproduksi biopestisida, menjual dan memasyarakatkan produk-produk biopesidia tersebut.

Para Ilmuwan dan akademisi yang mempunyai kewajiban Tridharma, khususnya dharma Penelitian bertugas meneliti bagaimana menemukan agensia-agensia baru dan medium perbanyakannya yang efektif, murah, dan efisien serta dapat diaplikasikan pada berbagai lingkungan baik di tingkat laboratorium, rumah kaca, dan di lapangan. Para Ilmuwan dan peneliti biasanya dituntut mempublikasikan hasil penelitiannya dalam bentuk paper di jurnal-jurnal bereputasi atau dipresentasikan di seminar dan workshop untuk kredit point peningkatan karier mereka sebagai ilmuwan, peneliti, dan akademisi, atau dalam bentuk paten dan Hak atas Kekayaan Intelektual (HaKI) yang harus didaftarkan di Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia.

Sementara Petani sendiri perlu mendapat pelatihan melalui penyuluh lapangan, karena mereka biasanya mempunyai pengetahuan yang masih terbatas dan sulit menerapkan strategi pengendalian baru, apalagi pengendalian

hayati dengan biopestisida ini tidak seperti pengendalian pestisida yang dengan cepat dapat dilihat hasilnya, sementara pengendalian hayati perlu dilakukan secara berkesinambungan dan membutuhkan pengetahuan-pengetahuan dan teknologi baru yang mungkin belum familiar di tingkat petani.

Pengembangan produk biopestida agar dapat diterima oleh masyarakat, petani dan perusahaan pertanian dan perkebunan, Produk tersebut harus efektif, aman, ekonomis dan mempunyai kualitas tinggi, dan selalu tersedia di pasaran, sehingga bisa bersaing dengan produk pengendalian yang sudah ada, khususnya pestisida sintetik. Hal ini menjadi tantangan tersendiri bagi peneliti/akademisi, swasta/industri dan pemerintah untuk menyediakan produk-produk biopestida unggul di pasaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Baker, K.F. and R.J. Cook. 1974. Biological control of plant pathogen. W.H. Freeman and Company. San Fransisco.
- Baker, R. 1990. Screening strategies for Biological control. In: D. Hornby . (eds) Biological Control of Soil-borne Plant Pathogen. C.A.B International. Redwood Press Limited, Melksham, Wiltshire. Page. 427-435
- Cook, R.J. and K.F Baker. 1983. The natural and practice of biological control of plant pathogens. Burgess PublishingCompany, Minnesota. 247 p.
- Campbell, R. 1989. Biological control of microbial plant pathogens. Cambridge University Press. New York Port Chester. Melbourne Sydney. 218 p.
- Chemeltorit, P.P., Mutaqin, K.H.,Widodo, W. 2017. Combining *Trichoderma hamatum* THSW13 and *Pseudomonas aeruginosa* BJ10-86: a synergistic chili pepper seed

- treatment for *Phytophthora capsici* infested soil. Eur J Plant Pathol (2017) 147:157–166 DOI 10.1007/s10658-016-0988-5
- Elad Y, Chet I, Henis Y. A selective medium for improving quantitative isolation of *Trichoderma* spp. from soil. Phytoparasitica 1981;9:59-67.
- Fravel, D.R. 2005. Commercialization and implementation of biocontrol. Annu. Rev. Phytopathol 43:337-359. Doi: 10.1146/annurev.phyto.43.032904.092924.
- Hayakawa M, Nonomura H (1987) Humic acid vitamin agar, a new medium for the selective isolation of soil actinomycetes. J Ferment Tech 65:501–509
- Jeyarajan, R. 2006. Prospects of indigenous mass production and formulation of *Trichoderma*. In Ramanujam, B and Rabindra, R.J. (eds) . Current Status of Biological Control of Plant Disease using Antagonistic Organisms in India. ICAR. Project Directorat of Biological Control. Bangalore. P. 74-80.
- Keel, C., Voisard, C., Berling, C.H., Kahr, G., and Defago, G. 1989. Iron sufficiency, a pre-requisite for suppression of tobacco black root under by *Pseudomonas fluorescens* strain CHA0 under gnotobiotic conditions. Phytopathology 79:584-589.
- Komada, H. (1975). Development of a selective medium for quantitative isolation of *Fusarium oxysporum* from natural soil. Rev. Plant Prot. Res. (Tokyo) 8, 114-125.
- Kotze, C., Niekerk, J.V., Mostert, L., Halleen, F., and Fourie, P. 2011. Evaluation of biocontrol agensiats for grapevine pruning wound protection against trunk pathogen infection. *Phytopathol. Mediterr.* 50 (Supplement), S247–S263.
- Krauss U, Soberanis W, Matthew P. 1999. The Use of antagonist mixtures in Biocontrol. *in*. Krauss, U. and

- Hebber, P. (eds). Research Methodology for the Biological Control of Plant Disease with Special Reference to Perennial Disease. Workshop Manual, Costa Rica, 28 June - 4 July 1999.
- Mutawila, C., Halleen, F., Mostert, L. 2015. Development of benzimidazole resistant *Trichoderma* strains for the integration of chemical and biocontrol methods of grapevine pruning wound protection. *BioControl* 60:387-399. DOI 10.1007/s10526-014-9647-y
- Nishimura, N. 2007. Selective media for *Fusarium oxysporum*. *J Gen Plant Pathol* (2007) Cook, R.J. and K.F Baker. 1983. The natural and practice of biological control of plant pathogens. Burgess Publishing Company, Minnesota. 247 p.73:342-348; DOI 10.1007/s10327-007-0031-y
- Ogawa, K. and Komada, H. (1984). Biological control of *Fusarium* wilt of sweet potato by non-pathogenic *Fusarium oxysporum*. *Ann. Phytopath. Soc. Jpn* 50, 1-9.
- Patil, H.J., Srivastava, A.K., Kumar, S., Chaudhari, B.L., Arora, D.K. 2010. Selective isolation, evaluation and characterization of antagonistic actinomycetes against *Rhizoctonia solani*. *World J Microbiol Biotechnol* 26:2163-2170. DOI 10.1007/s11274-010-0400-0
- Purwanto, YuyunYuwariah AS, Sumadi, and Tualar Simarmata, (2017), "Viability of *Trichoderma harzianum* Grown on Different Carrier Formulation" in 2nd International Conference on Sustainable Agriculture and Food Security: A Comprehensive Approach, KnE Life Sciences, pages 95-101. DOI 10.18502/cls.v2i6.1024
- Skidmore, A.M. and C.H. Dickinson. 1976. Colony interaction and hyphal interference between *Septoria nodorum* and phylloplane fungi. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 66:57-64

- Stack, J.P., Kenerley, C.M., Pettit, R.E. 1988. Application of biological control agensiasts. Mukerji, K.G. and Garg, K.L. (eds). Biocontrol of Plant Diseases. Volume II. CRC Press. Inc. Boca Raton, Florida p. 43-51.
- Schisler, , D.A., Slininger, P.J., Behle, R.W., and Jackson, M.A. 2004. Formulation of *Bacillus* spp. for Biological control of plant diseases. *Phytopathology* 94:1267-1271.
- Talubnak C, Soyong K. 2010. Biological Control of Vanilla anthracnose using *Emericella nidulans*. *Journal of Agricultural Technology* 6: 47-55.
- Van Loon, L.C. (2000). Systemic induced resistance. In: Slusarenko, A., Fraser, R.S.S. and Van Loon, L.C. [eds] *Mechanisms of resistance to plant diseases*. pp. 521-574. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.
- Vidhyasekaran, P and Muthamilan, M. 1999. Evaluation of a powder formula of *Pseudomonas fluorescens* Pf1 for control of rice sheath blight. *Biocontrol Science and Technology* 9: 67-74.

BAB 4

PENGENDALIAN HAYATI PATOGEN TULAR TANAH

PENDAHULUAN

Penyakit tular tanah merupakan penyakit tanaman yang sangat penting, disebabkan oleh patogen yang berasal dari dalam tanah, sebagian atau seluruh siklus hidupnya berada di tanah. Patogen tular tanah menginfeksi tanaman melalui akar dan dapat bertahan hidup di dalam tanah pada kondisi lingkungan kurang menguntungkan. Patogen dapat bertahan dalam kondisi dorman yaitu dengan membentuk spora seksual atau aseksual seperti klamidospora atau sklerotia yang mampu bertahan pada kondisi lingkungan yang tidak stabil. Patogen mampu bertahan hidup pada sisa-sisa tanaman sebagai saprofit atau pada tanaman yang telah terinfeksi sebelumnya bahkan pada tanah yang miskin hara sekalipun. Serangan patogen tular tanah pada berbagai tanaman menjadi ancaman serius dalam budidaya tanaman, diantaranya, *Fusarium* spp., *Verticillium* dan beberapa bakteri seperti *Pseudomonas solanacearum* dan *Corynebacterium michiganensis* yang menyebabkan penyakit layu pada tanaman. *Rhizoctonia* spp., *Pythium* spp., dan *Verticillium* spp. patogen penyebab penyakit *damping-off* pada berbagai tanaman. *Pythium* spp., *Phytophthora* spp., dan *Fusarium* spp. patogen yang menyebabkan busuk akar yang kadang-kadang berasosiasi dengan sistem budidaya yang tidak optimal dan kelembaban tanah. *Streptomyces scabies* penyebab penyakit kudis (*scab*) pada tanaman kentang, dan masih banyak lagi patogen-patogen tular tanah lainnya

Pengendalian patogen tular tanah tergolong sulit dikendalikan karena penggunaan bahan kimia sering kali tidak efektif dan efisien. Misalnya penggunaan fumigan metil bromida yang kurang efektif karena aplikasinya harus dilakukan secara berulang-ulang. Pengendalian dengan kultivar yang toleran atau resisten dapat dijadikan solusi, tetapi resistensi tanaman biasanya bersifat sementara, sebab patogen

dengan cepat beradaptasi dengan genotip baru inang (Alabouvette 1999).

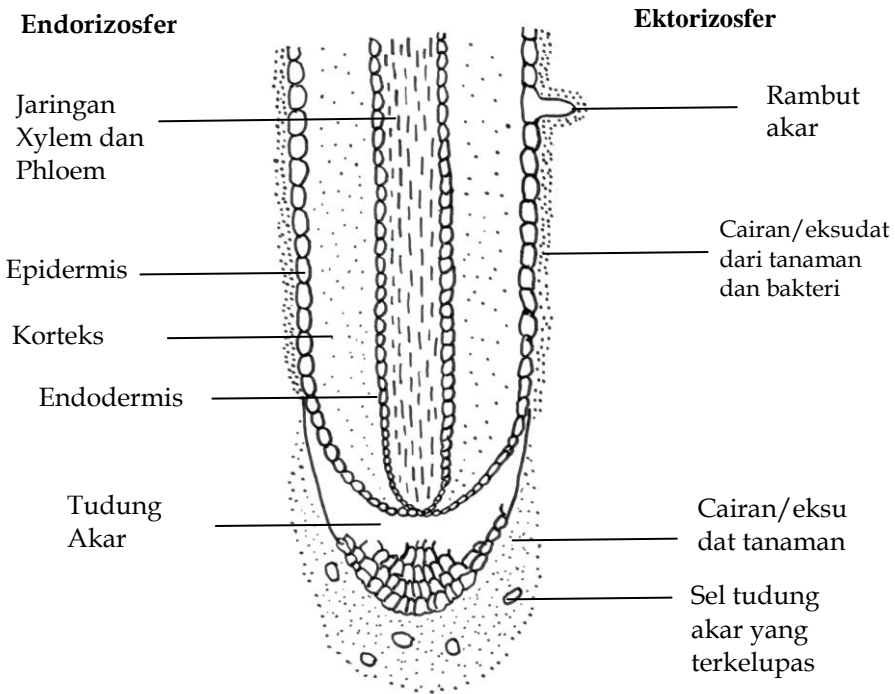
Pengendalian hayati patogen tular tanah dapat dilakukan dengan mengurangi jumlah inokulum patogen dengan kompetisi sumber daya (membuat patogen kekurangan nutrisi) atau dengan parasitasi oleh agensia antagonis. Agensia antagonis dapat menghasilkan antibiotik siderofor atau racun lainnya sehingga mampu menekan perkecambahan atau pertumbuhan patogen. Menurut Cook (1990) ada dua pendekatan tradisional yang berhubungan dengan pengendalian hayati penyakit tular tanah, 1). Rotasi tanaman, dimana cara ini memungkinkan terjadi kontaminasi tanah oleh antagonis penghuni tanah, dan membiarkan patogen tertentu mati dengan tidak tersedianya inangnya. 2). Penambahan bahan organik di tanah, untuk mendorong antagonis penghuni tanah muncul dan berkembang.

Banyak isolat antagonis yang efektif menekan patogen tular tanah. Isolat jamur dan bakteri yang diisolasi dari tanah seperti *Penicillium citrinum*, *Trichoderma harzianum* dan *T. viride* merupakan antagonis yang efektif terhadap *Ganoderma boninense*, penyebab penyakit busuk batang basal kelapa sawit. (Dharmaputra dan Tjitrosomo 1990). Perlakuan biji dengan Jamur *Gliocladium virens*, *Trichoderma viride* dan antagonis Bakteri *Burkholderia cepacia* sangat efektif menekan serangan *Damping-off* pada Jagung yang disebabkan *Pythium* dan *Fusarium* serta meningkatkan pertumbuhan bibit, tinggi tanaman dan berat segar (Mao dkk., 1997).

MIKROBIA RIZOSFER DAN SPERMOSFER

Rizosfer merupakan zona di sekitar perakaran tanaman yang berupa selapis tanah yang menempel pada permukaan akar (rhizoplane). Rizosfer adalah daerah yang banyak

dikolonisasi oleh mikrobia yang terdiri dari dua bagian yaitu endorizosfer dan ektorizosfer. Endorizosfer merupakan daerah-daerah komponen dari berbagai lapisan sel dari akar yang tersusun atas jaringan pengangkut, endodermis, korteks, epidermis dan tudung akar (Gambar 4.1.). Sedangkan ektorizosfer meliputi rambut-rambut akar, *mucigel* (tumbuhan dan bakteri), *mucilage* tumbuhan dan termasuk juga sel tudung akar yang terkelupas (Lynch, 1990).



Gambar 4.1. Bagian-bagian wilayah akar (Lynch, 1990).

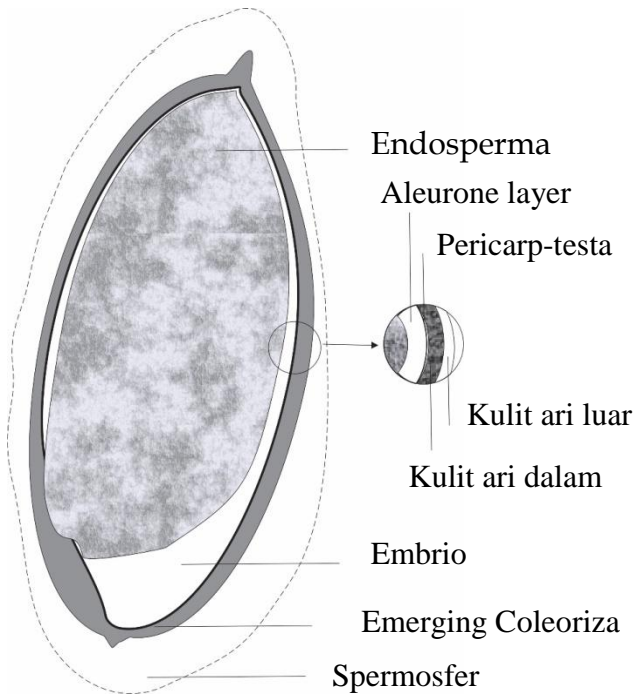
Ada begitu banyak variasi pada aktivitas dan jumlah mikrobial di tanah, ada jutaan bakteri atau ratusan atau ribuan fungi yang dapat diisolasi, tetapi banyak diantara mereka dalam kondisi tidak aktif di dalam tanah, dikarenakan keterbatasan lingkungan khususnya temperatur, ketersediaan air, aerasi, dan ketersediaan substrat untuk metabolisme dan pertumbuhan. Hampir semua tanah, dengan kondisi ketersediaan karbon terbatas untuk mikrobial heterotrof. Sekalipun tanah mengandung bahan organik, tetapi sering tidak tersedia karena keterbatasan ruang, sehingga organisme tidak dapat memanfaatkan senyawa tersebut atau karena mereka tidak memiliki enzim yang tepat untuk mendegradasi karbon tersebut sehingga tersedia dan dapat dimanfaatkan oleh mikrobial tersebut. Keterbatasan ini dapat dikurangi dengan adanya eksudat pada akar berupa gula sederhana, asam amino, dan senyawa lainnya yang tersedia bagi mikroorganisme. Disamping itu juga tersedia sel-sel mati dari korteks dan tudung akar yang bersama-sama dengan lendir yang dikeluarkan akar, tetapi ketersediaannya masih sangat kurang sebagai sumber nutrisi.

Beragam komunitas mikroorganisme ditemukan hidup di rizosfer, termasuk jamur mikoriza, bakteri Rhizobium, jamur dan bakteri yang dapat merangsang pertumbuhan tanaman (PGPR dan PGPF), dan nematoda yang saling berinteraksi. Interaksi tersebut dapat terjadi antar mikroorganisme, mikroorganisme dengan tanaman dan antara tanaman dan mikroorganisme (Venturi dan Keel, 2016). Interaksi antar mikroorganisme contohnya dapat dilihat dari sifat antagonis suatu mikrobial terhadap mikrobial lainnya. Interaksi antara mikroorganisme dengan tanaman dapat dilihat pada hubungan antara patogen dan kejadian penyakit pada tanaman. Sedangkan interaksi antara tanaman dengan mikroorganisme

contohnya dapat dilihat pada tanaman yang menghasilkan eksudat pada ujung akar sehingga dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai sumber nutrisi. Terdapat banyak kemungkinan terjadi interaksi antara patogen tular tanah dengan mikrobia agensia hayati, oleh karena itu sangat penting untuk memahami aktivitas mikrobia di wilayah tersebut, kalau kita ingin memanipulasi mereka untuk menekan dan mengendalikan penyakit tanaman.

Mikrobiota yang ada di daerah rizosfer berperan sangat penting dalam mengatur pertumbuhan tanaman dan kesehatan tanaman (Jiang dkk., 2017). Menurut Takenaka dkk. (2008) kolonisasi *Pythium oligandrum* pada rizosfer tomat mampu menekan penyakit layu bakteri dengan menginduksi resistensi tanaman sehingga ketahanan tanaman meningkat. Contoh lain dapat dilihat pada simbiosis antara *Rhizobacterium* yang ada pada rizosfer tanaman kacang-kacangan, bakteri tersebut mengkolonisasi akar dan memfiksasi nitrogen bebas di udara serta membuatnya tersedia bagi tanaman sehingga pertumbuhan tanaman menjadi lebih baik (Venturi and Keel 2016).

Spermosfer memiliki arti yang unik terhadap ekologi mikrobia benih dan menjadi habitat penting bagi mikro-ekosistem tanaman (Liu dkk., 2012). Spermosfer merupakan wilayah di sekitar benih yang berkecambah (Gambar 4.2). Spermosfer biasanya dikolonisasi oleh mikrobia pada bagian ujung embrio. Selama pembentukan benih, kolonisasi mikrobia oleh mikroorganisme di udara dapat terjadi bergantung pada jenis tanamannya (Lynch, 1990).



Gambar 4.2. Perkecambahan biji barley dan asosiasinya dengan spermosfer (Lynch, 1990).

MANAGEMENT BUDIDAYA TANAMAN/KULTUR TEKNIS

Pengelolaan sistem tanam merupakan salah satu upaya yang dilakukan untuk mengurangi serangan patogen. Pelaksanaan praktik pengelolaan yang meningkatkan populasi alami agensia hayati potensial dapat menjadi strategi yang berguna dalam mengendalikan penyakit yang disebabkan oleh patogen tanah (Vargas Gil dkk., 2008).

Mulsa dapat menjadi kontribusi dalam sistem pengelolaan tanaman terpadu di masa depan. Penggunaan

mulsa pada budidaya *fraser fir* di lapangan mampu menekan penyakit busuk akar *phytophthora* secara signifikan. Dalam budidaya alpukat, penggunaan mulsa disarankan untuk dikombinasikan dengan sistem praktek budidaya yang lainnya seperti persiapan lahan, pengaturan irigasi dan penggunaan kultivar tahan (Richter dkk., 2011). Kombinasi antara pengolahan lahan minimum (*minimum tillage*) dengan 3 tahun rotasi tanaman dapat mengurangi keparahan dan kejadian berbagai penyakit tular tanah pada kentang (Peters dkk., 2003).

Huber (1981) melaporkan bahwa penekan penyakit *Take-all* yang disebabkan *Gaeumannomyces graminis* (Sacc.) von Arx & Olivier var. *tritici* dapat dilakukan dengan penambahan amonium nitrogen, bukan dengan pupuk nitrate. Cook and Baker (1983) menjelaskan bahwa pemberian kapur pada tanah asam dapat meningkatkan insiden penyakit *take-all*. Menurut MacNish (1988), peningkatan insiden dengan pemberian kapur lebih disebabkan karena pH tanah meningkat, sesuai hasil penelitiannya bahwa terjadi korelasi peningkatan insiden penyakit *take-all* dengan peningkatan pH tanah.

Tumpang sari antara kacang tanah dan tanaman herbal *Atractylodes lancea* efektif mengurangi *Fusarium* spp. dan busuk akar kacang tanah, yang disebabkan, banyaknya zat antifungi seperti terpena, hidrokarbon aromatik, dan alkohol yang berasal dari rimpang *A. lancea*. Oleh sebab itu tumpangsari dengan *A. lancea* dapat dikembangkan dalam sistem budidaya berkelanjutan karena memiliki potensi yang tinggi dalam pengelolaan penyakit tular tanah (Li dkk., 2018).

TANAH SUPRESIF

Menurut Baker and Cook (1974), Tanah supresif adalah tanah yang dapat menyebabkan patogen tidak dapat berkembang (establis) atau mereka berkembang tetapi tidak

menimbulkan penyakit atau mereka dapat berkembang dan menimbulkan penyakit tetapi menurun setelah budidaya tanaman secara terus menerus. Artinya kejadian penyakit tertekan meskipun tanaman inangnya rentan dan kondisi iklim mendukung perkembangan patogen (Alabouvette 1999). Kemampuan tanah dalam menekan atau menahan perkembangan penyakit disebut dengan daya supresif tanah yang sering dihubungkan dengan keberadaan mikroorganisme tanah (Campos dkk., 2016).

Perubahan keadaan tanah secara umum dapat digambarkan dari keberadaan mikrobial di dalam tanah (Postma dkk., 2008). Menurut Campos dkk. (2016) struktur dan fungsi komunitas mikrobial di dalam tanah dipengaruhi oleh bahan organik yang terkandung di dalam tanah tersebut, dengan asumsi bahan organik dapat mengubah struktur tanah, kelembaban tanah dan ketersediaan nutrisi bagi mikroorganisme tanah sehingga mempengaruhi daya supresif tanah. Stirling (2011) mengemukakan bahwa populasi nematoda *Pratylenchus thornei* meningkat pada kondisi tanah yang disterilkan dan cenderung menurun pada kondisi tanah steril dicampur dengan 10% tanah dari lapangan (tanah yang ada mikrobial).

Agensia biologi yang terkandung di dalam tanah supresif memiliki potensi untuk mengendalikan penyakit tanaman. Beberapa bakteri dan jamur berperan penting pada tanah supresif dalam menekan perkembangan nematoda kista kedelai (Hu dkk., 2017). Menurut Postma dkk. (2010) persentase bakteri tertinggi terkandung pada tanah supresif yang ditanami kembang kol dengan tingkat penghambatan tinggi terhadap *Rhizoctonia solani* secara *in vitro*. Sekitar lebih kurang 56% bakteri antagonis dari genus *Lysobacter*, 23% *Streptomyces* dan 21% *Pseudomonas* spp. berhasil diisolasi dari tanah supresif

yang ditanami kembang kol dan genus *Lysobacter* merupakan populasi tertinggi ditemukan pada sampel tanah tersebut. Tanah supresif juga dapat menurunkan populasi nematoda *P. thornei* pada lahan gandum (Stirling, 2011) dan menekan penyakit layu fusarium pada pisang (Shen dkk., 2015).

Banyak penelitian yang telah dilakukan tentang tanah supresif atau dikenal juga dengan penurunan penyakit tanaman secara alami seperti *Potato Scab Decline*, *Take-all Decline*, *Fusarium Decline*, *Oat Cyst-Nematode Decline*, dan *Rhizoctonia solani Decline*.

Menzies (1959) mempelajari *Potato Scab Decline*, dimana dia mengamati serangan penyakit kudis (*scab*) tanaman kentang yang disebabkan oleh *Streptomyces scabies* pada tanah dengan sistem irigasi dengan membandingkan serangan pada 3 jenis tanah yang telah ditanami kentang beberapa tahun dan 9 jenis tanah yang original atau belum ditanami kentang. Pertama-tama, seluruh tanah ditanami dengan kentang yang sudah terinfeksi penyakit kudis, pada penanaman berikutnya tanah ditanami dengan bibit yang bebas penyakit kudis. Pada tahun pertama, terjadi sedikit perbedaan serangan penyakit kudis untuk setiap jenis tanah baik yang original maupun yang sudah ditanami. Pada tahun kedua, hasil penelitian menunjukkan bahwa, terjadi serangan yang ringan pada tanah yang sudah ditanami kentang beberapa tahun, tetapi pada tanah original terjadi serangan yang parah. Setelah lima kali penanaman, serangan ringan masih dijumpai pada tanah yang sudah ditanam beberapa tahun, dan serangan berat pada tanah original. Ketika tanah tersebut disterilisasi, ternyata efek supresif tanah tersebut hilang. Pada saat tanah steril tersebut kita tambahkan 10% tanah supresif, ternyata sifat supresif tanah tersebut muncul. Peristiwa munculnya sifat supresif pada tanah yang sudah ditanami beberapa tahun disebut juga tanah

supresif (*Pathogen-suppressive soil*). Menzies menyimpulkan bahwa sifat supresif tanah tersebut disebabkan faktor biologi, khususnya mikroorganisme antagonis, bukan faktor fisik, atau faktor kimia. Menurut Liu dkk. (1995), faktor biologi tersebut adalah mikroorganisme genus *Streptomyces* non-patogen yaitu *S. diastatochromogenes* dan *S. Scabies* non-patogen

Take-all Decline, merupakan peristiwa yang terjadi pada sistem penanaman monokultur tanaman gandum, dimana tanah supresif muncul setelah budidaya tanaman gandum dilakukan terus menerus, dan setelah terjadinya ledakan insiden penyakit *take-all* sekali atau lebih, barulah terjadi penurunan insiden penyakit *Take-all*. Menurut Andrade dkk. (1994) dan beberapa peneliti lain menyatakan bahwa ada beberapa jenis mikrobial yang berbeda group taxonominya yang berperan penting pada tanah supresif terhadap penyakit *take-all* pada tanaman gandum tersebut. Antagonisme dengan pengrusakan hifa oleh amoeba (Homma dkk. 1979), *cross protection* oleh *Gaeumannomyces graminis* var *graminis* atau *Phialophora graminicola* (Deacon, 1976); kerusakan yang menyebabkan lisisnya hifa oleh fungi merah steril dan antibiosis oleh aktinomisetes (Andrade dkk. 1994), *Trichoderma* spp. (Duffy dkk. 1996), *Bacillus* spp (Kim dkk. 1997), dan *Pseudomonas* spp (Barnett dkk. 1999).

Fusarium wilt Decline, penomena yang terjadi terhadap penyakit layu fusarium spesifik dan tidak efektif terhadap penyakit yang disebabkan non-vascular *Fusarium* seperti *F. roseum* dan *F. solani*, atau patogen tular tanah lainnya (Alabouvette, 1986; Deacon dan Berry, 1993). Peristiwa supresif terhadap *F. oxysporum* f.sp. *melonis* (Sneh dkk., 1987) dan *F. oxysporum* f.sp. *niveum* (Hopkins dkk., 1987; Larkin dkk., 1993), dapat diinduksi dengan penanaman melon dan semangka secara terus menerus. Menariknya induksi supresif ini

berasosiasi dengan kultivar resisten secara parsial. Sementara pada patogen tular tanah yang lain pada varietas rentan. Sifat supresif ini akan hilang kalau tanah supresif tersebut dipanaskan, diberi perlakuan methyl bromide, dan radiasi gamma dan dapat dikembalikan sifat supresifnya dengan mencampur tanah tersebut dengan tanah supresif. Hal ini menunjukkan bahwa faktor aktivitas mikrobia sebagai faktor yang menyebabkan supresif tersebut. Bakteri dan fungi yang berkontribusi terhadap fenomena fusarium wilt-suppressive soil adalah *Alcaligenes* sp. (Yuen dkk., 1986), *Bacillus*, *Trichoderma* (Sivan dan Chet, 1989), *Pseudomonas* spp. (Kloepper dkk., 1980), dan strain *F. oxysporum* non-patogen (Larkin dkk., 1996). Mekanisme peningkatan supresif soil ini adalah kompetisi terhadap iron melalui siderofor yang diproduksi oleh *Pseudomonas* dan kompetisi terhadap karbon untuk non-patogen *F. oxysporum* strain F047 (Lemanceau dkk., 1992; Lemanceau dkk., 1993), dan mekanisme melalui induksi resistensi secara sistemik (Fuchs dkk., 1997).

PENAMBAHAN BAHAN ORGANIK DAN KOMPOS

Sudah sejak lama pemanfaatan dan pengolahan produk sisa dari tanaman dan hewan dimanfaatkan sebagai pupuk, namun masih sangat sedikit kajian yang membahas tentang manfaat dan dampak bagi pengendalian penyakit tular tanah (Lazarovits dkk., 2001). Pemanfaatan pupuk kompos dapat menekan penyakit *damping-off* dan penyakit akar oleh golongan fungi (Briotn dkk., 1996). Selain itu bahan organik juga efektif dalam menekan berbagai penyakit yang disebabkan oleh patogen tular tanah, berbagai nematoda parasit tanaman dan gulma (Lazarovits dkk., 2001). Beberapa strain bakteri dan fungi yang diisolasi dari kompos mampu menghambat

pertumbuhan miselium dan perkecambahan konidia *Fusarium culmorum* (Boyd-Wilson dkk., 2000).

Aplikasi kompos limbah rumah tangga di tanah pertanian dapat secara langsung mengubah sifat fisikokimia tanah serta meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan meningkatkan biomassa mikrobial tanah (de Araújo dkk., 2010). Ntougias dkk. (2008) mengamati kompos dari limbah produk sampingan pembuatan minyak zaitun, anggur, dan agro-industri *Agaricus* mushroom yang dicampur dengan tanah gambut dengan perbandingan 1:3 w w⁻¹ sangat efektif menekan serangan patogen *Phytophthora nicotianae* tanaman tomat dan juga efektif menginduksi resistensi secara sistemik tanaman tomat terhadap patogen daun *Septoria lycopersici*.

Limbah rumah tangga yang menjadi potensi ancaman lingkungan karena adanya patogen dan polutan beracun dapat menjadi sumber nutrisi untuk tanaman dan sebagai pengkondisi tanah melalui proses pengomposan (de Araújo dkk., 2010). Amandemen tanah yang mengandung bahan organik dapat mematikan patogen tular tanah dengan diatur pH tanah, kandungan bahan organik tinggi, tingkat nitrifikasi, kandungan pasir dan kapasitas penyangga (Lazarovits dkk., 2001). Bahan baku dalam pengomposan sangat mempengaruhi sifat biologis, kimia dan fisik kompos yang sudah jadi, hal ini akan berdampak langsung pada khasiat dan manfaat dari kompos tersebut (Scheuerell, 2003).

Penelitian lain dilakukan Joshi dkk. (2015) bahwa, Vermikompos berbasis bahan cacing tanah merupakan pupuk organik yang ideal untuk mengendalikan berbagai penyakit tanaman dan sekaligus meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman. Aplikasi vermikompos dapat meningkatkan perkecambahan benih, tinggi batang, jumlah daun, area daun, berat kering daun, panjang dan jumlah akar, hasil panen,

jumlah buah per tanaman, klorofil tanaman, kompos ini meningkatkan kualitas buah dan benih. Wang dkk. (2013), melaporkan bahwa kombinasi *Bacillus amyloliquefaciens* yang diisolasi dari akar tanaman pisang sehat dengan pupuk organik, sangat efektif menekan penyakit layu fusarium tanaman pisang.

Noble (2011) mereview penelitian yang menggunakan kompos untuk mengendalikan penyakit tanaman dengan pemberian kompos pada tanah dengan konsentrasi $\geq 20\%$ v/v, dari 79 penelitian ternyata, 59 memperlihatkan efek supresif terhadap patogen, dan hanya 6 penelitian yang meningkatkan insidensi penyakit. Kemudian dilanjutkan dengan penelitian pemberian kompos di lapangan dengan dosis ≥ 15 t/ha, ternyata dari 59 penelitian, 45 penelitian membuktikan kompos sangat efektif menekan penyakit tanaman, dan hanya 1 penelitian yang meningkatkan insidensi penyakit tanaman. Sehingga hasil review tersebut menggambarkan bahwa, tidak semua kompos yang diberikan ke dalam tanah dapat menekan serangan patogen, ternyata beberapa walaupun dalam jumlah yang sangat kecil mempunyai resiko dapat meningkatkan serangan patogen.

Pemahaman tentang mekanisme cara kerja amandemen tanah sangat penting dalam meningkatkan keefektifan dan asimilasinya ke dalam peningkatan hasil produksi (Lazarovits dkk., 2001). Faktor biologi dengan keberadaan antagonis mikroorganisme dan induksi resistensi merupakan faktor utama terjadinya penekanan penyakit tanaman. Hal ini dibuktikan, jika kompos disterilisasi, maka kompos tersebut akan kehilangan sifat supresifnya terhadap patogen. Disamping itu juga, faktor abiotik seperti peningkatan pH tanah dan adanya zat volatil pada kompos juga merupakan

faktor yang penting terjadinya penekanan terhadap serangan patogen tanaman.

Pemberian kompos ditanah dapat meningkatkan kualitas tanah, sifat-sifat psikokimia tanah dan aktivitas serta fungsi mikrobial tanah sehingga menyebabkan peningkatan sifat supresif tanahnya, tanah lebih sehat dan dapat menekan serangan patogen penyebab penyakit (Bonilla dkk. 2012).

Perlakuan tanaman kentang dengan kompos kotoran sapi/ayam, sayuran kubis, dan sekam padi dapat menekan serangan penyakit layu bakteri yang disebabkan oleh *Ralstonia solanacearum* melalui mekanisme induksi resistensi dengan peningkatan ascorbate (ASC)-glutathione (GSH) redox cycle; peningkatan aktivitas ascorbate peroxidase (APX, EC 1.11.1.11), monodehydroascorbate reductase (MDHAR, EC1.6.5.4), dehydroascorbate reductase (DHAR, EC1.8.5.1) and glutathione reductase (GR, EC 1.6.4.2) (Youssef and Tartoura, 2013). Mekanisme lain yang sangat menarik adalah, aplikasi kompos dapat meningkatkan toleransi tanaman terhadap efek negatif salinitas tanah melalui peningkatan efisiensi sistem antioksidan dan enzim asimilasi kunci C, N, dan S, melalui peningkatan aktivitas carbonic anhydrase, ribulose biphosphate carboxylase, nitrate reductase and adenosine triphosphatesulfurylase (Tartoura dkk., 2014)

BAKTERI PEMICU PERTUMBUHAN

Tanah merupakan habitat dimana terjadinya interaksi antara akar tanaman dan mikroorganisme, salah satunya yaitu Plant growth-promoting bacteria (PGPR) (Felestrino dkk., 2017). PGPR dan rhizobia di bidang pertanian sangat mempengaruhi kapasitas pertumbuhan tanaman terkait dengan aktivitas fisiologis yang mungkin memiliki efek penting pada pertumbuhan dan atau kesehatan tanaman (Dardanelli

dkk., 2010). Plant growth-promoting bacteria di rhizo- dan endospher memainkan peran kunci dalam mendukung dan atau meningkatkan kesehatan dan pertumbuhan tanaman (Compant dkk., 2010). Bakteri ini sangat berguna dalam mendukung peningkatan penggunaan tanaman transgenik dan pertumbuhan tanaman khususnya pengembangan sistem pertanian berkelanjutan dan ramah lingkungan (Glick, 2012).

Rizosfer banyak mengandung mikroorganisme yang beraneka ragam yang berinteraksi dan bersaing satu sama lain dengan akar tanaman. Aktivitas ini mempengaruhi pertumbuhan dan fisiologi tanaman dan mikroorganisme lainnya, serta sifat fisik dan kimia tanah. Di antara semua interaksi ini, mereka menghasilkan fiksasi nitrogen simbiotik dan non-simbiosis yang sangat penting. Sehingga penggunaan bakteri (rizobacteria) mulai dimanfaatkan untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman (Dardanelli dkk., 2010). Pada tahap lanjut, mikrobial yang bermanfaat bagi tanaman akan dikembangkan untuk digunakan sebagai pupuk biologis (biofertilizer) dan umumnya lebih murah dibandingkan dengan pupuk kimia (Samuel dkk., 2017).

Agensia antagonis memiliki kemampuan menekan patogen sehingga akan memberikan aktivitas pertumbuhan tanaman yang sangat baik. Beberapa Actinobacteria diisolasi dari nodul akar menunjukkan aktivitas selulase, kitinase yang juga dapat melindungi tanaman dari serangan fungi patogen tanaman (Katsy, 2014). Pada tanah Iron Quadrangle (IQ) di Brazil yang kaya bijih besi diperoleh 81 isolat yang termasuk dalam filum Firmicutes dan Proteobacteria seperti *Bacillus*, *Lysinibacillus*, *Pseudomonas fluorescens*, *Serratia*, *Enterobacter*, *Lysinibacillus*, *Klebsiella*, *Rahnella*, *Paenibacillus*, *Citrobacter*, *Viridibacillus*. Memiliki kemampuan untuk memproduksi siderofor, asam hidrosianat (HCN), asam indole-3-asetat

(IAA), fiksasi nitrogen (N₂), sekresi enzim hidrolitic dan penghambatan enteropatogen serta fitopatogen (Felestrino dkk., 2017).

Plant Growth Promoting Rizobacteria telah dibentuk menjadi Bioformulasi untuk meningkatkan kesuburan tanah, mendukung pertumbuhan tanaman, dan penekanan fitopatogen yang ramah lingkungan sehingga dapat meningkatkan produksi (Dardanelli dkk., 2010). PGPR merangsang pertumbuhan tanaman secara langsung dengan memproduksi hormon pertumbuhan dan meningkatkan serapan hara atau secara tidak langsung dengan mengubah keseimbangan mikrobial yang menguntungkan dalam rizobakteri (Akhtar dan Siddiqui 2010). PGPR antagonis sangat menarik perhatian karena peran mereka dalam mengurangi penyakit tanaman, terutama strain genus *Bacillus*, *Pseudomonas*, dan *Burkholderia*, dan sekarang terjadi peningkatan jumlah PGPR yang dikomersilkan untuk tanaman (Quan dkk., 2010).

Singh (2018) mereview mekanisme PGPR secara komprehensif baik mereka sebagai pemicu pertumbuhan tanaman ataupun sebagai agensia hayati pengendalian patogen tanaman. PGPR secara langsung meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui produksi fitohormon (cytokinins, Indole Acetic Acid, Gibberellins), menyediakan nitrogen melalui bakteri simbiotik fiksasi nitrogen atau nonsimbiotik fiksasi nitrogen, pelarut fosfat dan pelarut mineral sehingga tersedia bagi tanaman. Selain itu PGPR secara tidak langsung meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui kemampuannya dalam menghambat pertumbuhan patogen melalui produksi antibiotik (*bacteriocins, lytic enzymes, and antibiotics*) dan produksi siderofor dan produksi enzim pendegradasi dinding sel patogen seperti enzim selulose, kitinase, β -1,4-N-acetylglucosamine, proteases, and β -1,3-glukanase.

PGPR juga dapat meningkatkan induksi resistensi secara sistemik bagi tanaman baik secara mekanik dan fisik maupun secara biokimia dan fisikokimia, seperti peningkatan aktivitas peroksidase, kitinase, dan lisis enzim (Singh, 2018). Ditambahkan oleh Katiyar dkk. (2018) bahwa PGPR mungkin juga menstimulasi peningkatan secara masif akumulasi fitoaleksin, bahan fenolik, aktivitas PR-protein, enzim pertahanan dan akumulasi lignin, sehingga PGPR efektif menekan serangan patogen baik yang disebabkan oleh fungi, bakteri dan virus.

Singh (2018) juga melaporkan bahwa PGPR juga dapat menurunkan efek buruk stres tanaman terhadap faktor abiotik seperti suhu dingin, pH, temperature, kekeringan, alkalinitas, salinitas, genangan air, dan lain-lain melalui proteksi denaturasi protein dalam proses abiotik stress dengan pembentukan isoenzim, ascorbate peroxidase (APX), L-proline, peroxidase (POX), catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD), and glutathione reductase (GR). Faktor stres unsur abiotik ini dapat menurunkan hasil tanaman sampai 30%.

KOMERSIALISASI PRODUK PENGENDALIAN HAYATI PATOGEN TULAR TANAH

Tidak seperti pengendalian hayati terhadap hama serangga, yang sudah sangat berkembang, pengendalian hayati penyakit tanaman relatif baru. Perkembangan komersialisasi produk pengendalian hayati penyakit tular tanah lebih maju dibandingkan dengan pengendalian hayati penyakit tular udara, mengingat fluktuasi perubahan ekologi di daun sangat tinggi dibanding dengan di tanah.

Paulitz dan Belanger (2001) melaporkan sejumlah agensia pengendalian hayati untuk penyakit tular tanah sudah dikembangkan secara komersial, khususnya; *Coniothyrium*

minitans; *Gliocladium virens* (= *Trichoderma virens*); *Trichoderma harzianum* Strains T-22; *Streptomyces griseoviridis* Strains K61; *Gliocladium catenulatum* Strains J1446; *Fusarium oxysporum* non-patogen strain Fo47; *Bacillus subtilis* var. *amyloliquefaciens* FZB24.

1. *Coniothyrium minitans*, agensia hayati ini sebagai Mikoparasit yang dapat merusak sklerotia *Sclerotinia sclerotiorum* dan *S. minor*, yang diregistrasi sebagai biopestisida di Jerman. Agensia ini dijual dalam formulasi granula "Contans® WG, diproduksi oleh Perusahaan, Prophyta Biologischer Pflanzenschutz GmbH, Malchow, Germany. Mikoparasit ini diproduksi dalam bentuk substrat padat seperti; biji barley, sekam padi-vermiculite, jawawut (millet), oat, tanah gambut-sekam padi, dan biji gandum. *C. minitans* juga diregistrasi di Switzerland dan dijual di Hungri dengan nama dagang Koni®.
2. *Gliocladium virens* (= *Trichoderma virens*), Produk ini dikembangkan oleh laboratorium penyakit tanaman USDA-ARS di Beltsville, MD. Agensia hayati ini dikembangkan untuk mengendalikan patogen, *Pythium ultimum* dan *Rhizoctonia solani*. *G. virens* isolat GL-21 diformulasi dalam bentuk alginat prill (GlioGard®) oleh W.R. Grace Co. Juga diproduksi dalam bentuk granular fluid (SoilGard®) oleh Thermo Triology Corp., Columbia, M.D. *G. virens* memproduksi dua macam senyawa toksik terhadap fungi yaitu Gliovire dan Gliotoxin.
3. *Trichoderma harzianum* strain T-22, Strain ini diproduksi tahun 1980an melalui rekayasa dengan *protolast fusion* antara strain T-95, strain *T. harzianum* dari rizosfer yang diisolasi dari Columbia dengan *T. harzianum* T-12 dari tanah di New York. Dipasarkan oleh Bioworks, Geneva, NY

dengan formulasi granular (RootShield®). Produk ini dapat diaplikasikan sebagai perlakuan benih, pemberian tanah di rumah kaca, dan disiram di guludan. Produk ini sangat efektif menekan serangan patogen *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis lycopersici*, *Rhizoctonia solani*, dan *Pythium*. Kemampuan produk dalam menekan serangan penyakit tanaman sama dengan fungisida. Aplikasi produk lebih ke arah preventif sebelum serangan penyakit. *T. harzianum* mempunyai banyak mekanisme dalam menekan penyakit tanaman seperti: mikoparasit, memproduksi enzim kitinase, β 1-3 glukukanase dan β 1-4 glukukanase, antibiosis, kompetisi, induksi resistensi, menginaktifkan enzim patogen pada saat proses infeksi, dan solubilisasi nutrisi makanan inorganik. Strain lain *T. harzianum* seperti strain T-35, dengan merek dagang Trichodex® dari Israel, Binab T® dari Swedia dan Supresivit® dari Republik Czech.

4. *Streptomyces griseoviridis* strain K61, agensia hayati ini dikembangkan secara komersial dengan merek dagang Mycostop® yang diproduksi oleh Kemira Agro Oy, Helsinki, Finlandia di Eropa dan di Amerika Serikat. Produk ini sangat efektif menekan serangan patogen *Pythium aphanidermatum*.
5. *Gliocladium catenulatum* strain J1446, isolat ini berasal dari tanah di Finlandia. Diproduksi dengan merek dagang Primastop® yang diproduksi Kemira Agro Oy, Helsinki, Finlandia. Produk ini diaplikasikan pada 55 jenis tanaman, tetapi hanya untuk di greenhouse dan di dalam ruangan. Produk ini sangat efektif menekan serangan *damping-off*, busuk benih, busuk akar, dan patogen penyebab layu. Produk dijual dalam bentuk *Wettable Powder* yang dapat diaplikasikan di tanah, akar, dan daun.

6. *Fusarium oxysporum* non-patogen strain Fo47, isolat asli berasal dari tanah supresif fusarium di Francis. Isolat ini diteliti selama 25 tahun oleh Laboratorium Claude Alabouvette, INRA, Dijon. Sangat efektif menekan layu fusarium tanaman carnation dan tomat, serta Fusarium crown and root rot pada tanaman tomat. Mekanisme penekanannya, kompetisi karbon dan induksi resistensi. Produk ini dipasarkan oleh Natural Plant Products, Nogueres, Francis. Produk juga dipasarkan di Jerman oleh Klassman-Deilmann GmbH, Westerholfsfelde.
7. *Bacillus subtilis* var. *amyloliquefaciens* FZB24, dikembangkan dalam bentuk endospora, yang dipasarkan dengan merek dagang Kodiak® oleh Gustafson, Inc. untuk perlakuan benih atau aplikasi di guludan pada tanaman kapas dan kacang.

Fravel (2005) melaporkan agensia antagonis yang sudah dikomersialkan dan teregistrasi di *U.S. Environmental Protection Agency* sebagai biopestisida terhadap penyakit tular tanah dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Mikroorganisme yang teregistrasi oleh *U.S. Environmental Protection Agency* sebagai Biopestisida terhadap penyakit tular tanah dan beberapa Biofungisida di Indonesia

No.	Agensia Hayati	Tahun registrasi	Merek dagang	Perusahaan	Target penyakit tanaman	Tanaman
1.	<i>Agrobacterium radiobacter</i> strain K84	1979	Galltrol	AgBioChem, USA	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	Tanaman hias, kacang, buah-buahan
2.	<i>Agrobacterium radiobacter</i>	1999	Nogall	Bio-Care Technology	<i>Agrobacterium</i>	Tanaman hias,

Pengendalian Hayati Patogen Tanaman Dengan Mikroorganisme Antagonis

	strain K1026			, Australia	<i>tumefaciens</i> dan <i>A. rhizogenes</i>	kacang, buah-buahan
3.	<i>Bacillus pumilus</i> GB 34	2002	GB34 Concentrate Biological Fungicide	Gustafson, USA	<i>Rhizoctonia</i> , <i>Fusarium</i>	Kacang kedelai
4.	<i>Bacillus subtilis</i> GB03	1992	Kodiak; Companion	Gustafson, USA; Growth Products, USA	<i>Rhizoctonia</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Aspergillus</i>	Benih tanaman: kapas, kacang tanah, kacang kedelai, gandum, baley, Peas, dan bean
5.	<i>Bacillus subtilis</i> MBI 600	1994	Subtilex; Histick N/T	Becker Underwood; Premier Horticulture, USA	<i>Fusarium</i> , <i>Rhizoctonia</i>	Kapas, beans, barley, gandum, jagung, peas, kacang tanah, kacang kedelai
6.	<i>Bacillus subtilis</i> var. <i>amyloliquefacien</i> strain FZB24	2000	Taegro	Earth BioSciences, USA	<i>Rhizoctonia</i> , <i>Fusarium</i>	Tanaman pelindung, pembibitan tanaman hutan, tanaman hias, semak
7.	<i>Coniothyrium minitans</i> CON/M/91-08	2001	Contans WG; Intercept	PROPHYTA, Biologische Pflanzenschutz GmbH, Germany;	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i> dan <i>Sclerotinia minor</i>	Tanah Pertanian

				Technology Sciences Group, USA		
8.	<i>Gliocladium catenulatum</i> Strain J1446	1998	Primastop	Kemira Agro OY, Finlandia; RegWest Co., USA	Patogen tular tanah	Sayuran, herbal, bumbu, rumput, tanaman hias, pohon, pembibitan
9.	<i>Gliocladium virens</i> GL-21	1990	Soilgard	Thermo Trilogy Corporation, USA	Patogen tular tanah	Tanaman hias, sayuran, kapas
10.	<i>Pseudomonas chlororaphis</i> Strain 63-28	2001	AtEze	EcoSoil system, USA	<i>Pythium</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Fusarium oxysporum</i>	Sayuran, tanaman hias di rumah kaca
11.	<i>Pseudomonas aureofaciens</i> strains Tx-1	1999	Bio-Ject Spot-Less	EcoSoil System, USA	<i>Sclerotinia homeocarpa</i> , <i>Pythium aphanadermatum</i> , <i>Microdochium nivale</i>	Rumput golf
12.	<i>Streptomyces griseoviridis</i> Strains K61	1993	Mycostop	Kemira Oy, Finlandia	Patogen tular tanah	Tanaman pangan, tanaman hias, pembibitan pohon
13.	<i>Trichoderma harzianum</i> T-22	1990	Root Shield; Plant Shield	Biowork, USA	Patogen tular tanah	Tanaman rumah kaca: pembibitan, rumput, kebun, tanah
14.	<i>Fusarium oxysporum</i>	2001	Bio-FOB EC dan	CV Meori Agro,	<i>Rigidoporus lignosus</i> , <i>Rhizoc-</i>	Vanili

	Non-patogen ; <i>Bacillus pantotkenticus</i> ; ; <i>Trichoderma lactae</i>		WP, (Biovaksin)	Indonesia; Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat	<i>tonia solani</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>F. solani</i> , <i>Pythium</i> , dan <i>Sclerotium rolfsii</i> .	
15	<i>Trichoderma harzianum</i>	-	TRICHO ZIA 1.0 WS	PT. Astina Megah Abadi	<i>Fusarium oxysporum</i>	Kentang
16.	<i>Trichoderma viride</i> ; <i>Bacillus subtilis</i> ; <i>Trichoderma harzianum</i> : <i>Pseudomonas fluorescens</i> :	-	TERMINA TOR GR	PT. Hidayah Nur Wahana	<i>Ganoderma boninense</i> ; <i>Fusarium oxysporum</i>	
	<i>Trichoderma koningi</i>		MARFU-P	PT. Bio Industri Nusantara	<i>Ganoderma boninense</i>	

DAFTAR PUSTAKA

- Akhtar, M. S. and Siddiqui, Z. A. 2010. Role of plant growth promoting rhizobacteria in biocontrol of plant diseases and sustainable agriculture. pp: 157-195. In : Maheshwari, D. K. (eds). Plant Growth and Health Promoting Bacteria. New York: Springer International Publishing.
- Alabouvette, C. 1999. Fusarium wilt suppressive soils: An example of disease-suppressive soils. Australasian Plant Pathology 28(1): 57-64.
- Alabouvette, C. 1986. Fusariumwilt-suppressive soil from the Chateaufrenard region: review of a 10-year study. Agronomie 6: 273-284.
- Andrade, O.A., Mathre, D.E., Sands, D.C. 1994. Natural suppression of take-all of wheat in Montana Soil. Plant Soil 164:9-18.

- Andrade, O.A., Mathre, D.E., Sands, D.C. 1994. Suppression of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* in Montana soils and its transferability between soils. *Soil Biol. Biochem.* 26:397-402.
- Baker, K.F. and R.J. Cook. 1974. Biological control of plant pathogen. W.H. Freeman and Company. San Fransisco. 433 p.
- Barnett, S.J. Singleton, I., Ryder, M. 1999. Spatial variation in population of *Pseudomonas corrugate* 2140 and pseudomonads on take-all diseased and healthy root system of wheat. *Soil Biol. Biochem.* 31:633-636.
- Boyd-Wilson, K. S. H., Magee, L. J., Hackett, J. K., and Walter, M. 2000. Testing bacterial and fungal isolates for biological control of *Fusarium culmorum*. *Organics and Biocontrol New Zealand Plant Protection* 53 :71–77.
- Briotn, W. F., Trankner, A. and Droffner, M. 1996. Investigations into liquid compost extracts. *BioCycle* 37(11): 68–70.
- Campos, S. B., Lisboa, B. B., Camargo, F. A. O., Bayer, C., Sczyrba, A., Dirksen, P., Albersmeier, A., Kalinowski, J., Beneduzi, A., Costa, P. B., Passaglia, L. M. P., Vargas, L. K., and Wendisch, V. F. 2016. Soil suppressiveness and its relations with the microbial community in a Brazilian subtropical agroecosystem under different management systems. *Soil Biology and Biochemistry* 96: 191–197.
- Compant, S., Clément, C. and Sessitsch, A. 2010. Plant growth-promoting bacteria in the rhizo- and endosphere of plants : Their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. *Soil Biology & Biochemistry* 42: 669–678.
- Cook, R.J. 1990. Twenty-five years of proress towards biological control. In Hornby, D (Eds). *Biological Control of Soil-borne Plant Pathogens*. Redwood Press Limited, Melksham, Wiltshire. P. 1-14.
- Cook, R.J. and K.F Baker. 1983. The natural and practice of biological control of plant pathogens. Burgess Publishing Company, Minnesota. 539 p.
- Dardanelli, M. S., Carletti, S.M., Paulucci, N.S., Medeot, D.B., Ca´ceres, E.A. R., Vita, F.A., Bueno, M., Fumero, M.V., and

- Garcia, M.B. 2010. Benefits of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria and Rhizobia in Agriculture. pp: 1-20. In : Maheshwari, D. K. (eds). Plant Growth and Health Promoting Bacteria. New York: Springer International Publishing.
- de Araújo, A. S. F., de Melo, W. J. and Singh, R. P. 2010. Municipal solid waste compost amendment in agricultural soil: Changes in soil microbial biomass. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 9(1): 41–49.
- Deacon, J.W. 1976. Biological control of the take-all fungus, *Gaeumannomyces graminis* by *Phialophora radicicola* and similar fungi. *Soil Biol. Biochem.* 8:275-283
- Deacon, J.W. and Berry, L.A. 1993. Biocontrol of soil-borne plant pathogen: concepts and their application. *Pestic. Sci.* 37: 417-426
- Dharmaputra, O. S. and Tjitrosomo, H. S. S. 1990. Antagonistic effect of four fungal isolates to *Ganoderma boninense*, the causal agent of basal stem rot of oil palm. *Biotropia* 3: 41–49.
- Duffy, B.K., Simon, A., Weller, D.M. 1996. Combinations of *Trichoderma koningii* with fluorescent pseudomonads for control take-all on wheat. *Phytopathology* 86:188-194.
- Paulitz, T.C. and Bélanger, R.R. 2001. Biological control in greenhouse system. *Annu. Rev. Phytopathol.* 39: 103-133.
- Felestrino, É. B., Santiago, I. F., Freitas, S., Rosa, L. H., Ribeiro, S. P., and Moreira, L. M. 2017. Plant growth promoting bacteria associated with *Langsdorffia hypogaea* rhizosphere-host biological interface: A neglected model of bacterial prospecting. *Frontiers in Microbiology* 8(February): 1–15.
- Fravel, D.R. 2005. Commercialization and implementation of biocontrol. *Annu. Rev. Phytopathol.* 43:337-359. Doi: 10.1146/annurev.phyto.43.032904.092824.
- Fuchs, J.-G., Moenne-Loccoz, Y. and Defago, G. (1997). Nonpathogenic *Fusarium oxysporum* strain Fo47 induces resistance to *Fusarium* wilt in tomato. *Plant Dis.* 81, 492-496.
- Glick, B. R. 2012. Plant growth-promoting bacteria : Mechanisms and applications. *Scientifica* 2012: 15.
- Homma, Y., Sitton, J.W., Cook, R.J. Old, K.M. 1979. Perforation and destruction of pigmented hyphae of *Gaeumannomyces graminis* by vampyrellid amoebae from Pacific Northwest wheat field soil. *Phytopathology* 69:1118-1122.
- Hopkins, D.L., Larkin, R.P., and Elmstrom, G.W. 1987. Cultivar-

- specific induction of soil-suppressiveness to *Fusarium* wilt of watermelon. *Phytopathology* 77: 607-611.
- Hu, W., Samac, D. A., Liu, X., and Chen, S. 2017. Microbial communities in the cysts of soybean cyst nematode affected by tillage and biocide in a suppressive soil. *Applied Soil Ecology* 119: 396-406.
- Huber, D.M. 1981. The role of nutrients and chemical. In: Asher, M.J.C. and Shipton, P.J. (eds), *Biology and Control of Take-all*. Academic Press, London, pp. 317-341.
- Jiang, Y., Li, S., Li, R., Zhang, J., Liu, Y., Lv, L., Zhu, H., Wu, W., and Li, W. 2017. Plant cultivars imprint the rhizosphere bacterial community composition and association networks. *Soil Biology and Biochemistry* 109: 145-155.
- Joshi, R., Singh, J., Vig, A.P. 2015. Vermicompost as an effective organic fertilizer and biocontrol agent: effect on growth, yield and quality of plants. *Rev Environ Sci Biotechnol* 14:137-159. DOI 10.1007/s11157-014-9347-1.
- Katiyar, D., Hemantaranjan, A., and Dwivedi, P. 2018. Plant Growth Promoting Rhizobacteria and their Roles as Fungal Biocontrol Agents: An Overview. *Jour Pl Sci Res* 34 (2) 127-136.
- Katsy, E. I. 2014. *Plasticity in Plant-Growth-Promoting and Phytopathogenic Bacteria*. New York: Springer International Publishing.
- Kim, D.-S., Cook, R.J., Weller, D.M. 1997. *Bacillus* sp. L324-92 for biological control of three root diseases of wheat grown with reduced tillage. *Phytopathology* 87: 551-558.
- Kloepper, J.W., Leong, J., Teintze, M., and Schroth, M.N. 1980. *Pseudomonas* siderophores: a mechanism explaining disease suppressive soil. *Curr. Microbiol* 4: 317-320.
- Larkin, R.P., Hopkins, D.L., and Martin, F.N. 1993. Effect of successive watermelon plantings on *Fusarium oxysporum* and other microorganisms in soil suppressive and conducive to fusarium-wilt of watermelon. *Phytopathology* 83:1097-1105.
- Larkin, R.P., Hopkins, D.L. and Martin, F.N. 1996. Suppression of *Fusarium* wilt of watermelon by nonpathogenic *Fusarium oxysporum* and other microorganisms recovered from a disease-suppressive soil. *Phytopathology* 86: 812-819.
- Lazarovits, G., Tenuta, M. and Conn, K. L. 2001. Organic

- amendments as a disease control strategy for soilborne diseases of high-value agricultural crops. *Australasian Plant Pathology* 30(2): 111–117.
- Lemanceau, P., Bakker, P.A.H.M., Dekogel, W.J., Alabouvette, C., and Schippers, B. 1992. Effect of pseudobactin 358 production by *Pseudomonas putida* WCS358 on suppression of fusarium wilt of carnation by nonpathogenic *Fusarium oxysporum* Fo47. *Appl. Environ. Microbiol.* 58: 2978-2982.
- Lemanceau, P., Bakker, P.A.H.M., Dekogel, W.J., Alabouvette, C., and Schippers, B. 1993. Antagonistic effect of nonpathogenic *Fusarium oxysporum* Fo47 and pseudobactin 358 upon pathogenic *Fusarium oxysporum* f.sp. *dianthi*. *Appl. Environ. Microbiol.* 59:74-82.
- Li, X., Boer, W. D., Zhang, Y., Ding, C., Zhang, T., and Wang, X. 2018. Suppression of soil-borne *Fusarium* pathogens of peanut by intercropping with the medicinal herb *Atractylodes lancea*. *Soil Biology and Biochemistry* 116: 120–130.
- Liu, D., Anderson, N.A., Kinkel, L.L. 1995. Biological control of potato scab in field with antagonistic *Streptomyces scabies*. *Phytopathology* 85:827-831.
- Liu, Y., Zuo, S., Zou, Y., Wang, J., and Song, W. 2012. Investigation on diversity and population succession dynamics of indigenous bacteria of the maize spermosphere. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 28(1): 391–396.
- Lynch, J.M. 1990. Introduction: some consequences of microbial rhizosphere competence for plant and soil. Lynch, J.M. [eds] *The Rhizosphere*. Pp. 1-10. John Wiley & Sons. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore.
- MacNish, G.C. 1988. Changes in take-all (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*), rhizoctonia root rot (*Rhizoctonia solani*) and soil pH in continuous wheat with annual applications of nitrogenous fertilizer in Western Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 28: 333-341.
- Mao, W., Lewis, J. A., Hebbbar, P. K., and Lumsden, R. D. 1997. Seed treatment with a fungal or a bacterial antagonist for reducing corn damping-off caused by species of *Pythium* and *Fusarium*. *Plant Disease* 81(5): 450–454.
- Menzies, J.D. 1959. Occurrence and transfer of a biological factor in soil that suppresses potato scab. *Phytopathology* 49:648-652.

- Noble, R. 2011. Risks and benefits of soil amendment with composts in relation to plant pathogens. *Australasian Plant Pathol.* (2011) 40:157–167. DOI 10.1007/s13313-010-0025-7.
- Ntougias, S., Papadopoulou, K. K., Zervakis, G. I., Kavroulakis, N., and Ehaliotis, C. 2008. Suppression of soil borne pathogen of tomato by composts derived from agro industrial wastes abundant in mediterranean regions. *Bio Fertil Soils* 44: 1081–1090.
- Peters, R. D., Sturz, A. V., Carter, M. R., and Sanderson, J. B. 2003. Developing disease-suppressive soils through crop rotation and tillage management practices. *Soil and Tillage Research* 72(2): 181–192.
- Postma, J., Schilder, M. T., Bloem, J., and Leeuwen-Haagsma, W. K. V. 2008. Soil suppressiveness and functional diversity of the soil microflora in organic farming systems. *Soil Biology and Biochemistry* 40(9): 2394–2406.
- Postma, J., Scheper, R. W. A. and Schilder, M. T. 2010. Effect of successive cauliflower plantings and *Rhizoctonia solani* AG 2-1 inoculations on disease suppressiveness of a suppressive and a conducive soil. *Soil Biology and Biochemistry* 42(5): 804–812.
- Quan, C. S., Wang, X. and Fan, S. D. 2010. Antifungal Compounds of Plant Growth Promoting Rhizobacteria and Its Action Mode. pp: 117-150. In : Maheshwari, D. K. (eds). *Plant Growth and Health Promoting Bacteria*. New York: Springer International Publishing.
- Richter, B. S., Benson, D. M. and Ivors, K. L. 2011. Microbial profiling of cultural systems for suppression of phytophthora root rot in Fraser fir. *Plant Disease* 95(5): 537–546.
- Samuel, O., Bernard, O., Olubukola, R. G., and Babalola, O. 2017. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 33: 197.
- Scheuerell, S. 2003. Understanding how compost tea can control disease. *BioCycle* 44(2): 20–25.
- Shen, Z., Ruan, Y., Xue, C., Zhong, S., Li, R., and Shen, Q. 2015. Soils naturally suppressive to banana Fusarium wilt disease harbor unique bacterial communities. *Plant and Soil* 393(1–2): 21–33.
- Singh, I. 2018. Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) and their various mechanisms for plant growth

- enhancement in stressful conditions: a review. *European Journal of Biological Research* 8 (4): 191-213.
- Sivan, A. and Chet, I. 1989. The possible role of competition between *Trichoderma harzianum* and *Fusarium oxysporum* on rhizosphere colonization. *Phytopathology* 79: 198-203.
- Sneh, B., Pozniak, D., Salomon, D. 1987. Soil suppressiveness to *Fusarium* wilt of melon induced by repeated croppings of resistant varieties of melon. *J. Phytopathol.* 120: 347-354.
- Stirling, G. R. 2011. Suppressive biological factors influence populations of root lesion nematode (*Pratylenchus thornei*) on wheat in vertosols from the northern grain-growing region of Australia. *Australasian Plant Pathology* 40(4): 416–429.
- Takenaka, S., Sekiguchi, H., Nakaho, K., Tojo, M., Masunaka, A., and Takahashi, H. 2008. Colonization of *Pythium oligandrum* in the tomato rhizosphere for biological control of bacterial wilt disease analyzed by real-time PCR and confocal laser-scanning microscopy. *Phytopathology* 98(2): 187–195.
- Tartoura, K.A.H., Youssef, S.A., Tartoura, El. A.A. 2014. Compost alleviates the negative effects of salinity via upregulation of antioxidants in *Solanum lycopersicum* L. plants. *Plant Growth Regul* (2014) 74:299–310. DOI 10.1007/s10725-014-9923-y.
- Vargas Gil, S., Haro, R., Oddino, C., Kearney, M., Zuza, M., Marinelli, A., and March, G. J. 2008. Crop management practices in the control of peanut diseases caused by soilborne fungi. *Crop Protection*, 27(1): 1–9.
- Venturi, V. and Keel, C. 2016. Signaling in the Rhizosphere', *Trends in Plant Science*. 21(3): 187–198.
- Wang, B. Yuan, J., Zhang, J., Shen, Z., Zhang, M., Li, R., Ruan, Y., Shen, Q. 2013. Effects of novel bioorganic fertilizer produced by *Bacillus amyloliquefaciens* W19 on antagonism of *Fusarium* wilt of banana. *Biol Fertil Soils* (2013) 49:435–446. DOI 10.1007/s00374-012-0739-5.
- Youssef, S.A. and Tartoura, K.A.H. 2013. Compost enhances plant resistance against the bacterial wilt pathogen *Ralstonia solanacearum* via up-regulation of ascorbate-glutathione redox cycle. *Eur J Plant Pathol* 137:821–834. DOI 10.1007/s10658-013-0291-7.

Yuen, G.Y., Schroth, M.N., and McCain, A.H. 1986. Inhibition of *Fusarium oxysporum* f.sp. *dianthi* by iron competition with an *Alcaligines* sp. *Phytopathology* 76: 171-176

BAB 5
PENGENDALIAN HAYATI PATOGEN
TULAR UDARA

PENDAHULUAN

Pengendalian hayati patogen tular udara dengan aplikasi mikroorganisme antagonis pada tanaman sangat potensial (Blakeman dan Fokkema, 1982). Area ini sudah banyak dipelajari, didiskusikan dan direview pada berbagai tulisan di berbagai jurnal. Tiga strain bakteri *Bacillus*, *Pseudomonas*, dan *Paenibacillus* yang diisolasi dari rizosfer tanaman bit gula secara konsisten efektif menekan pertumbuhan dan serangan fungi patogen *Cercospora beticola* Sacc. secara *in vitro* dan *in vivo*. Khan dkk. (2012) menggunakan *Paenibacillus lentimorbus* sangat efektif menekan penyakit *early blight* yang disebabkan oleh *Alternaria solani* pada tomato. Yeast *Pseudozyma churashimaensis* strain RGJ1 sangat efektif tidak hanya terhadap patogen *Xanthomonas axonopodis* tetapi juga terhadap virus, *Cucumber mosaic virus*, *Pepper mottle virus*, *Pepper mild mottle virus*, and *Broad bean wilt virus* under kondisi lapangan (Lee dkk., 2017). Fungi *Trichoderma atroviride* sangat efektif menekan perkembangan bercak *Botrytis cinerea* dan sporulasi (Card dkk., 2009; You dkk., 2016).

Hammami dkk. (2013) menemukan strain *Pseudomonas fluorescens* tidak hanya dapat menekan penyakit tular tanah seperti *damping-off* dan busuk akar, tetapi juga penyakit tular udara seperti stem canker dan leaf blight pada tanaman tomat.

Pada kondisi normal, biasanya spora patogen yang jatuh di permukaan daun akan terjadi kontak dengan mikrobia antagonis (Blakeman, 1988). Mikroorganisme antagonis, yang bisa saja dari golongan bakteri, yeast atau fungi, tumbuh pada permukaan daun pada kondisi spesifik menguntungkan untuk pertumbuhannya, yang mana kondisi ini juga menguntungkan bagi spora patogen, sehingga interaksi kedua mikroorganisme tersebut tidak terhindarkan. Beberapa peneliti sudah membuktikan bahwa, beberapa mikroorganisme mempunyai

kemampuan menekan pertumbuhan patogen (Fokkema dan Lorbeer, 1974; Skidmore dan Dickinson, 1976; Dickinson dan Skidmore, 1976; Rai dan Singh, 1980; Blakeman 1988).

Madrigal dkk. (1994) melaporkan bahwa *Epicoccum nigrum* sangat efektif menekan serangan penyakit peach twig blight yang disebabkan oleh *Monilia laxa* dan agensia hayati tersebut terbukti sama efektifnya dengan perlakuan fungisida Captan. Hodges dkk. (1994) membuktikan bahwa penyakit *dollar spot* dan *leaf spot* yang disebabkan oleh *Sclerotinia homoeocarpa* dan *Bipolaris sorokiniana* pada tanaman rumput biru Kentucky (*Poa protensis*) dapat dikendalikan dengan *Pseudomonas fluorescens*. Redmond dkk. (1987) mendemonstrasikan bahwa yeast, *Exophiala jeauselmei* dapat menekan perkembangan dan jumlah bercak yang disebabkan patogen tular udara *Botrytis cinerea* pada tanaman mawar sampai 63 persen. Peneliti lain, Belanger (1994) juga melaporkan bahwa yeast, *Sporothrix flocculosa* ternyata sangat efektif mengendalikan penyakit *powdery mildew* tanaman mawar untuk skala komersial.

Antagonis bakteri *Enterobacter cowanii* strain B-6-1 mempunyai aktifitas antifungi terhadap *Fusarium verticillioides*, *Alternaria tenuissima*, dan *Botrytis cinerea* dengan persentase penghambatan masing-masing 46,31%, 67,48%, dan 75,67%. *E. cowanii* juga sangat efektif menekan kerusakan dan keberadaan *B. cinerea* pada buah tomat sampai 95,24% (Shi dan Sun 2017).

Menurut Blakeman (1985), bahwa kunci keberhasilan pengendalian hayati terhadap penyakit tular udara adalah dengan mengetahui informasi dasar tentang hubungan secara alami antara inang, patogen, dan mikroflora. Hubungan ini sangat dipengaruhi oleh faktor eksternal khususnya iklim mikro di permukaan daun dan perubahan musim yang menyebabkan mikrohabitat permukaan daun berfluktuasi

sangat tinggi, sehingga pengaruh faktor eksternal ini menjadi sangat penting.

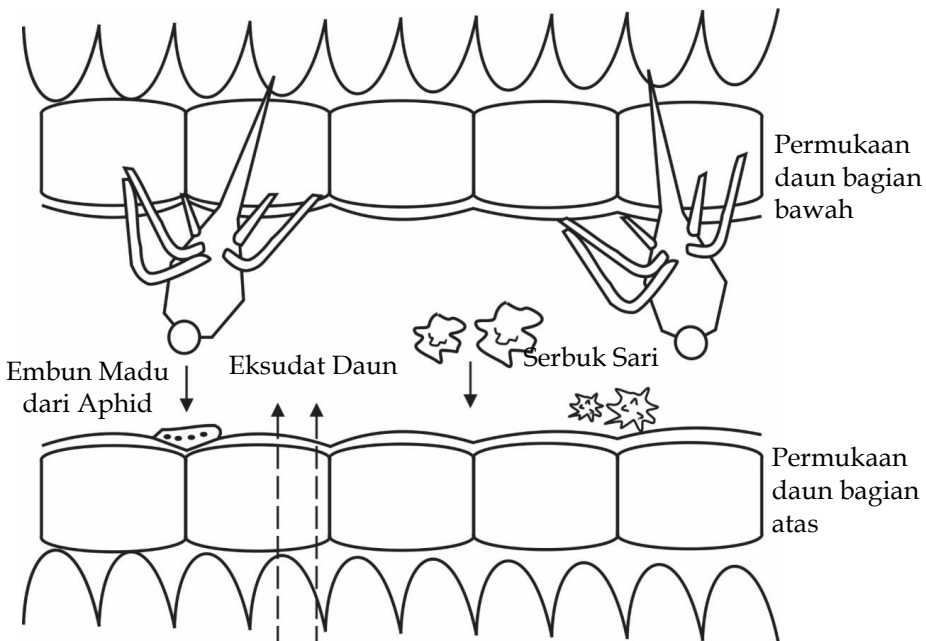
EKOLOGI PERMUKAAN DAUN

Permukaan daun biasanya bersifat hidrofobik yang disebabkan adanya lapisan kutin dan lilin yang menutupi permukaan daun tersebut dengan kuantitas yang beragam tergantung dengan varietas dan kondisi lingkungan. Kondisi permukaan daun seperti ini menyebabkan tidak saja dapat menekan kehilangan air, tetapi juga eksudat yang dikeluarkan daun juga sangat terbatas, sehingga nutrisi yang tersedia di permukaan daun menjadi sangat terbatas, tidak seperti di akar, dimana eksudat yang dikeluarkannya cukup banyak.

Menurut Blakeman (1985) Sumber nutrisi di permukaan daun biasanya berasal dari senyawa atau mineral yang dikeluarkan oleh sel atau jaringan berupa senyawa-senyawa karbon dan nitrogen, hormon pertumbuhan tanaman, ataupun senyawa fenol atau terpenoid yang dapat menghambat pertumbuhan mikrobia, selain itu adalah debu bahan organik, embun madu dari kutu daun dan polen yang jatuh pada permukaan tersebut (Gambar 5.1). Permukaan daun biasanya tidak rata yang dipenuhi oleh rambut-rambut yang sangat halus. Kondisi topografi seperti ini sangat membantu penyediaan air dan nutrisi serta melindungi mikrohabitat yang ada dipermukaan daun tersebut dari radiasi sinar ultra-violet.

Pada kondisi normal, implikasi kondisi permukaan daun tersebut menyebabkan pertumbuhan mikroorganisme sangat dibatasi oleh faktor lingkungan, sehingga setiap kondisi ekologi yang menguntungkan menjadi sangat penting bagi pertumbuhan mikroorganisme. Di daerah tropis kering, air sangat terbatas, dan biasanya pertumbuhan mungkin hanya banyak terjadi saat musim hujan atau saat adanya embun,

dimana kondisi ini menyediakan air bebas dan kondisi kelembaban tinggi. Menurut Blakeman (1985) Perubahan iklim mikro pada masa yang sangat pendek yang tidak dapat diprediksi khususnya adalah lamanya masa kebasahan perubahan temperatur permukaan daun. Pengaturan jarak tanam dan penggunaan varietas tahan dapat mempengaruhi perkembangan penyakit misalnya penerapan jarak tanam yang sempit dan penggunaan varietas Rosa Linda dapat mengurangi penyakit busuk buah *Botrytis* pada musim pertama dan meningkatkan hasil panen (Legard dkk. 2000).



Gambar 5.1. Sumber nutrisi untuk mikroorganisme phylloplane (Blakeman, 1985).

Faktor yang sangat penting untuk mendukung pertumbuhan sebagian besar mikroorganisme adalah permukaan daun harus lembab atau kelembaban diatas 95%. Kondisi ini terjadi pada saat turun hujan atau ketika terjadi

pengembunan di permukaan daun pada malam hari sebagai hasil dari pendinginan radiasi dari daun pada saat kelembaban mendekati jenuh.

EFEK FUNGISIDA

Fungisida yang disemprotkan ke permukaan daun untuk mengendalikan penyakit tanaman tidak hanya mematikan patogen penyebab penyakit yang menjadi target, tetapi juga memberikan efek negatif bagi fungi saproba yang hidup di sekitar permukaan tanaman tersebut. Beberapa fungisida yang sejak dulu banyak digunakan sangat toksik dan mempunyai aktivitas yang sangat luas seperti golongan fungisida dengan formulasi *mercury*, *copper* dan *sulphur*. Beberapa fungisida dari golongan *Tridemorph* atau *ethirimol* yang banyak digunakan untuk mengendalikan penyakit cereal mildew (*Erysiphe*), mempunyai pengaruh yang kecil terhadap fungi lain.

Sementara fungisida golongan benzimidazoles seperti benomyl dengan efek spektrum yang luas dengan mempengaruhi produksi protein dan tubulin, yang dapat mematikan fungi saprofit yang bukan menjadi target pengendalian. Fungisida benomyl ini juga menyebabkan mudahnya muncul fungi patogen resistensi terhadap fungisida tersebut, khususnya dari golongan *Botrytis*. Kondisi ini dapat menyebabkan terjadi ketidak seimbangan biologi khususnya musnahnya fungi saprofit yang bersifat antagonis sehingga menyebabkan hilangnya kompetitor terdapat patogen dan menyebabkan serangan penyakit menjadi lebih parah.

Sebagian besar fungisida seperti Captapol, Captan, Mancozeb, Maneb, Benomyl, Carbendazim, Tridemorph, Thiram, Thiophanate-methyl, Prochloraz, Triadimefon, Triforine, Ethirimol, Oxycarboxin, dan Sulphur dapat menekan pertumbuhan jenis-jenis yeast dan fungi yang banyak dijumpai

di permukaan daun, *Sporobolomyces roseus*, *Cryptococcus laurentii* var. *flavesces*, *Aureobasidium pullulans* dan *Cladosporium cladosporioides* secara *in vitro* pada medium *potato-dextrose agar* dengan konsentrasi 10% dari konsentrasi yang direkomendasi untuk penyemprotan (Fokkema dan de Nooij, 1981). Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa penyemprotan fungisida dapat menurunkan yeast dan fungi saprofit yang sangat bermanfaat sebagai kompetitor dan antogonis bagi patogen.

Fokkema dan de Nooij (1981) juga melaporkan bahwa semakin sering dan semakin banyak kombinasi fungisida yang digunakan akan menyebabkan semakin rendah populasi yeast dan fungi saprofit dipermukaan daun. Hasil wawancara pribadi terhadap petani sayur-sayuran di Sumatera Selatan, biasanya mereka melakukan penyemprotan pestisida dengan cara mengkombinasikan berbagai jenis pestisida baik fungisida maupun insektisida sekaligus, kadang beberapa jenis fungisida yang kandungan bahan aktif yang sama dicampur dan digunakan untuk pengendalian hama dan penyakit tumbuhan, sehingga tanaman betul-betul bebas serangan hama dan penyakit, dan pengendalian hama dan penyakit seperti ini sangat berbahaya tidak saja baik kesehatan manusia karena residu pestisidanya tinggi, tetapi juga dapat merusak lingkungan dengan matinya atau menurunnya populasi fungi non target khususnya golongan saprofit.

Kemampuan saprofit mikroflora pada petal bunga tomat dalam mengendalikan infeksi *Botrytis cinerea* akan menurun dengan dilakukan penyemprotan fungisida dichlone, ferbam, dan thiram (Newhook, 1957). Hal ini didukung oleh penemuan Bhatt and Vaughan (1963), bahwa penyemprotan captan pada Petal strowberry ternyata dapat menekan populasi antagonis secara alami, yang mempengaruhi pengendalian *B. cinerea*.

KOLONISASI DAUN OLEH MIKROORGANISME

Mikrobia yang mengkolonisasi permukaan daun umumnya berasal dari 4 sumber utama yaitu dari benih, tanah, air, dan untuk tanaman tahunan khususnya di negara 4 musim, berasal dari inokula yang melewati musim dingin dipucuk dan di dalam tunas tanaman. Jenis Bakteri mengkolonisasi pucuk dari semua sumber tersebut, sementara jenis yeast berasal dari percikan air atau spora tular udara. Spora fungi berada di permukaan daun berasal dari udara dimana mereka mungkin masih bersifat dorman untuk beberapa waktu sampai kondisi sesuai untuk perkecambahannya.

Aktivitas pengendalian hayati sebenarnya terjadi secara alami dipermukaan daun, dimana aktivitas antagonistik dari saprofit mikroflora secara alami dapat menekan patogen. Hal ini dibuktikan dengan berkurangnya populasi mikrobia antagonis akibat perlakuan pestisida menyebabkan terjadinya peningkatan insidensi penyakit tanaman. Penggunaan fungisida copper seperti benzimidazole secara luas dapat meningkatkan serangan penyakit coffee berry yang disebabkan oleh *Colletotrichum coffeanum* dan penyakit dieback tanaman apricot yang disebabkan oleh *Eutypa armeniacae*, yang disebabkan menurunnya populasi *Fusarium lateritium* yang merupakan antagonis terhadap patogen tersebut (Griffiths, 1981 dan Carter dan Price, 1974).

Blakeman (1985) menggambarkan bahwa sumber inokulum tersedia sepanjang tahun, tetapi dominasi setiap jenis mikroflora berbeda-beda pada setiap bulannya, pada bulan April, Mei, dan Juni jenis bakteri yang lebih dominan, pada bulan Juli, Agustus, jenis yeast yang dominan, sementara bulan September dan Oktober yang dominan adalah jenis yeast dan fungi.

MEKANISME

Mekanisme pengendalian hayati patogen tanaman yang bersifat tular udara, dapat terjadi melalui kompetisi ruang dan makanan, antibiosis, mikoparasit, dan induksi resistensi serta *cross-protection*.

Card dkk. (2009) melaporkan bahwa pengendalian hayati terhadap serangan *Botrytis cinerea* pada stroberi dengan *Trichoderma atroviride* LU132 melalui kombinasi kompetisi terhadap gula dan produksi senyawa yang tidak menguap yang bersifat antibiosis dan juga mikoparasit. Riset yang dilakukan Guetsky dkk. (2002), memperlihatkan bahwa agensia hayati yeast, *Pichia guilhermondii* dan bakteri *Bacillus mycooides* dapat menekan perkecambahan *Botrytis cinerea* pada permukaan daun stroberi, dengan mekanisme yang berbeda dimana *P. guilhermondii* menekan perkecambahan patogen melalui kompetisi terhadap glukosa, sukrosa, adenine, histidine, dan asam folic. Sementara bakteri *B. mycooides* menekan patogen dengan senyawa penghambat fungsi baik yang bersifat menguap maupun tidak menguap sehingga terjadi kerusakan pada konidia. Peneliti lain dari Korea, Lee dkk. (2017), melakukan penelitian terhadap yeast sebagai agensia hayati, dari 838 isolat yeast yang diamati, yeast *Pseudozyma churashimaensis* strains RGJ1 tidak hanya efektif menekan penyakit bercak bakteri yang disebabkan oleh *Xanthomonas axonopodis*, tetapi juga menekan patogen lain yang disebabkan oleh virus, *Cucumber mosaic virus*, *Pepper mottle virus*, *Pepper mild mottle virus*, and *Broad bean wilt virus* pada kondisi di lapangan dengan mekanisme induksi resistensi yang efektifitasnya sama dengan aplikasi petisida 0.5 mM benzothiadiazole.

Berbagai jenis bakteri saprofit, *Xanthomonas maltophilia*, *Bacillus pumilus*, *Lactobacillus* sp. dan *Pseudomonas* sp. sangat

efektif melindungi tanaman kacang polong dan tomat dari serangan *Botrytis cinerea* dan juga sporulasi patogen tersebut (Elad dkk., 1994). Haidar dkk. (2016) mereview lebih komprehensif tentang pengendalian hayati penyakit grey mold yang disebabkan oleh *B. cinerea* dan mekanismenya dengan berbagai jenis antagonis bakteri pada berbagai jenis tanaman dan menyimpulkan bahwa *Pantoea agglomerans*, *Bacillus* sp., *Pseudomonas syringae* dan *Streptomyces* spp. sangat efektif mengendalikan penyakit gray mold dengan 3 bentuk mekanisme yaitu: i) sintesis metabolit anti-fungi seperti antibiotik, enzim pendegradasi dinding sel, senyawa organik yang mudah menguap; ii) kompetisi terhadap makanan dan tempat infeksi (niche). Kompetisi muncul kalau kedua organisme antagonis dan patogen membutuhkan sumber makanan atau tempat yang sama, sementara kedua hal tersebut tersedia terbatas. Kemampuan kompetisi ini berhubungan dengan kemampuan mengkolonisasi dan memanfaatkan sumber daya terbatas tersebut, dan iii) induksi resistensi pada tanaman.

Peneliti lain, Rahman (2014) melaporkan agensia hayati bakteri *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42, bakteri bermanfaat bagi tanaman *Rhizobacterium*, and metabolitnya surfactin, lipopeptid cyclic dapat menekan penyakit gray leaf spot yang disebabkan oleh *Magnaporthe Oryza* pada tanaman ryegrass melalui peningkatan aktivitas pertahanan tanaman secara sistemik dengan peningkatan kemampuan sel memproduksi H_2O_2 baik pada saat respon sebelum dan sesudah serangan penyakit. Kilic-Ekici dan Yuen (2003) memperlihatkan bahwa bakteri *Lysobacter enzymogenes* dapat menginduksi resistensi baik secara lokal maupun secara sistemik pada tanaman *Festuca arundinacea* terhadap serangan *Bipolaris sorokiniana* penyebab penyakit bercak daun melalui peningkatan aktivitas peroksidase.

Kloepper dkk. (2004) menginvestigasi induksi resistensi secara sistemik oleh *Bacillus* spp. terhadap serangan berbagai penyakit tanaman, yang berasosiasi dengan perubahan ultrastruktural pada tanaman selama serangan patogen dan perubahan cytokimia, baik yang berhubungan salicylic acid, jasmonic acid, ethylene, dan peran gene NPR1, tergantung dengan species *Bacillus* spp.

Proteksi silang (*Cross-protection*) pertama kali digunakan untuk istilah pengendalian hayati pada virus, kemudian berkembang ke fungi. Proteksi silang adalah penghambatan penyakit tanaman yang dihasilkan dari pra-inokulasi dengan genus yang sama atau sangat erat hubungan dengan patogen yang diinokulasikan secara simultan setelah inokulasi genus yang pertama tersebut. Proteksi mungkin terjadi melalui kompetisi dan induksi resistensi (Campbell, 1989). Biasanya untuk virus pertama yang digunakan adalah virus yang sudah dilemahkan, sementara pada fungi biasanya menggunakan fungi berifat a-virulen. Fenomena ini pertama kali dilaporkan dengan menggunakan *Tobacco mosaic virus* (TMV) (Pennazio dkk. 2001; Natsuaki, 2011). Isolat *Bean yellow mosaic virus* (BYMV) (termasuk golongan Genus Potyvirus), yang telah dilemahkan dapat menekan serangan virus yang sama yaitu isolate BYMV yang virulen, dengan mekanisme *cross-protection* yang diperlihatkan dengan *transcription-polymerase chain reaction* (RT-PCR) (Nakazono-Nagaoka dkk., 2004).

Pada fungi, fenomena proteksi silang juga banyak dilaporkan. Tanaman cucurbitace (mentimun, semangka, muskmelon) yang diinokulasi awal dengan *C. lagenarium* pada daun pertama (kotiledon), sangat efektif menekan serangan *Colletotrichum lagenarium* yang diinokulasi pada daun kedua (Caruso dan Kuć, 1977; Kuć dkk., 1975). Selanjutnya tanaman mentimun yang diinokulasi awal dengan *C. lindemuthianum*

(yang bersifat non-patogen pada mentimun) pada daun pertama, sangat efektif menekan serangan *C. cucumerinum* dan *C. lagenarium* yang diinokulasi pada daun kedua (Campbell, 1989).

KOMERSIALISASI PRODUK PENGENDALIAN HAYATI PATOGEN TULAR UDARA

Berbagai agensia hayati sudah ditemukan dan sudah dikomersialisasikan untuk pengendalian patogen tular udara. Paulitz dan Belanger (2001) melaporkan beberapa agensia hayati sangat efektif melindungi tanaman dari serangan patogen:

1. *Ampelomyces quisqualis* sebagai hiperparasit yang efektif dalam menekan penyakit powdery mildew dan juga sebagai antagonis pada berbagai species dari ordo Erysiphales, Mucorales, dan Perisporiales. Agensia ini dikembangkan oleh Ecogen, Inc dengan formulasi AQ-10® yang dijual dengan formulasi granula yang bisa terdispersi dengan air.
2. *Trichoderma harzianum* juga sudah dikembangkan oleh Volcani Center, Makhteshin Ltd dengan merek dagang TRICHODEX, 20P untuk mengendalikan *Botrytis cinerea* pada tanaman anggur atau tanaman lainnya baik di rumah bayang maupun di lapangan, dengan mekanisme kompetisi terhadap makanan dan kerusakan dengan produksi enzim penyebab lisis sel, dan menyebabkan penurunan perkecambahan patogen dan melindungi dari infeksi.
3. *Bacillus subtilis* strain QST713, telah diproduksi secara komersial oleh AgraQuest Inc dengan merek dagang Serenade® dengan formulasi wetttable powder, dan merek dagang Rhapsody® dengan formulasi aqueous suspension,

sangat efektif mengendalikan berbagai penyakit tanaman seperti gray mold (*B. Cinerea*), powdery mildew, dan damping-off, dengan mekanisme kompetisi, parasitisme, antibiosis, dan induksi resistensi secara sistemik.

4. *Ulocladium atrum*, merupakan antagonis yang sangat efektif menekan serangan *B. Cinerea* dengan mekanisme kompetisi dan kolonisasi permukaan daun.

Fravel (2005) membuat daftar agensia antagonis yang sudah dikomersialkan teregistrasi di U.S. Environmental Protection Agency sebagai biopestisida terhadap patogen tular udara yaitu :

Tabel 5.1. Agensia antagonis komersial teregistrasi di US Environmental Protection Agency

No.	Agensia Hayati	Merek dagang	Perusahaan	Target penyakit tanaman	Tanaman
1.	<i>Ampelomyces quisqualis</i> isolat M-10	AQ10 Biofungisida	Ecogen, USA	Powdery mildew	Buah-buahan, sayuran, dan tanaman hias
2.	<i>Aspergillus flavus</i> strain AF36	<i>Aspergillus flavus</i> AF36	Arizona Cotton Research and Protection Council, USA	<i>Aspergillus flavus</i>	kapas
3.	<i>Aspergillus flavus</i> NRRL21,882	Afla-guard	Circle One Global, USA	<i>Aspergillus flavus</i>	Kacang tanah

4.	<i>Bacillus licheniformis</i> strains SB3086	Ecoguard	Novozymes Biologicals, USA	Foliar pathogen dan blights	Tanaman bunga-bunga
5.	<i>Pseudomonas aureofaciens</i> strains Tx-1	Bio-Ject Spot-Less	EcoSoil System, USA	<i>Colletotrichum graminicola</i> , <i>Microdochium nivale</i> ,	Rumput golf
6.	<i>Pseudomonas fluorescens</i> A506	BligBan A506; Frostban	Frost Technology Corporation, USA; Plant Health Technologies, USA	Fire blight, bunch rot, kerusakan pembekuan	Tanaman buah, kacang almond, kentang dan tomat.
7.	<i>Pseudozyma flocculosa</i> strains PF-A22 UL	Sporodex L	Plant Products Co., Canada; Tenchology Science Group, USA	Poedery mildew	Bunga mawar dan timun di greenhouse
	<i>Trichoderma harzianum</i> ATCC 20,476	Binab T	BINAB, Bio-Innovation AB, Sweden	Patogen di tempat pelukaan tanaman	Pelukaan pada tanaman bunga-bunga, tanaman pelindung dan tanaman hutan

Haidar dkk. (2016) mereview lebih komprehensif tentang pengendalian hayati penyakit gray mold yang disebabkan oleh *B. cinerea* dengan berbagai jenis antagonis

bakteri pada berbagai jenis tanaman, yang sudah dikembangkan secara komersial :

Tabel 5.2. Bakteri antagonis komersial untuk mengendalikan *Botrytis cinerea*.

No.	Bakteri antagonis	Nama Dagang	Perusahaan/Negara
1	<i>Pantoea agglomerans</i>	Pantovital®	IRTA (Spain)
2	<i>Bacillus subtilis</i>	Serenade Max®	Bayer, formerly BASF (Germany)
3	<i>Pseudomonas syringae</i>	Bio-save®	Jet harvest solutions (USA)
4	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Amylo-X®	Biogard CBC (Italy)
5	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Double Nickel 55WDG/LC™	Certis (USA)
6	<i>Bacillus subtilis</i> GB03	Companion®	Growth products (USA)
7	<i>Bacillus subtilis</i> IK-1080	Botokira Wettable Powder®	(Idemitsu Kosan Inc., Japan)
8	<i>Bacillus megaterium</i>	Bio Arc®	Sphere Bio-Arc PVTLtd (India)
9	<i>Streptomyces griseoviridis</i>	Mycostop®	Strain K61 Verdera Oy (Finland)
10	<i>Streptomyces lydicus</i> WYEC 108	Actinovate®	Novozymes (Denmark)

DAFTAR PUSTAKA

- Arzanlou, M., Mousavi, S., Bakhshi, M., Khakvar, R., Ali Bandehagh, A. 2016 Inhibitory effects of antagonistic bacteria inhabiting the rhizosphere of the sugarbeet plants, on *Cercospora beticola* Sacc., the causal agent of Cercospora leaf spot disease on Sugarbeet. Journal of Plant Protection Research, 56:6-14. DOI: 10.1515/jppr-2016-0002.
- Bhatt, D.D. and Vaughan, E.K. 1963. Interrelationships among fungi associated with strawberries in Oregon. Phytopathology 53: 217-220.
- Blakeman, J.P. 1985. Biological succession of leaf surface microorganisms in relation to Biological control. In Biological Control on the Phylloplane, Edited by Windel, C.E. and Lindow, S.E. page. 6-30.
- Blakeman, J.P. 1988. Competitive antagonism of air-borne fungal pathogen. P. 141-160. In Burge, M.N. Fungi in Biological Control System. Manchester University Press.
- Blakeman, J.P. and Fokkema, N.J. 1982. Potential for biological control of plant diseases on the phylloplane. Ann. Rev. Phytopathology 20: 167-192
- Campbell, R. 1985. Biological control of microbial plant pathogen. Cambridge University Press. Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney. Hal. 218.
- Card, S.D., Walter, M., Jaspers, M. V., Szejnberg, A., and Stewart, A. 2009. Targeted selection of antagonistic microorganisms for control of *Botrytis cinerea* of strawberry in New Zealand. *Australasian Plant Pathology*, 2009, **38**, 183-192.
- Carter, M.V., and Price, T.V. 1974. Biological control of *Eutypa armeniacae*. II. Studies on the interaction between *E. Armeniacae* and *Fusarium lateritium* and their relative

- sensitivities to benzimidazole chemicals. *Aust. J. Agric. Res.*, 25:105-119.
- Caruso, F.L. and Kuć, J. 1977. Protection of watermelon and muskmelon against *Colletotrichum lagenarium* by *Colletotrichum lagenarium*. *Phytopathology* 67:1285-1289.
- Dickinson, C.H. and Skidmore, A.M. 1976. Interaction between germination spore of *Septoria nodorum* and phylloplane fungi. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 66:45-56.
- Elad Y., 1996. Mechanisms involved in the biological control of *Botrytis cinerea* incited diseases. *European Journal of Plant Pathology* 102, 719-732.
- Elad Y., J. Kohl and N.J. Fokkema, 1994. Control of infection and sporulation of *Botrytis cinerea* on bean and tomato by saprophytic yeasts. *European journal of plant pathology* 100:315-336.
- Fokkema, N.J. and Lorbeer, J.W. 1974. Interaction between *Alternaria porri* and the saprophytic microflora of onion leaves. *Phytopathology* 64: 1128-1133.
- Fokkema, N.J. and de Nooij, M.P. 1981. The effect of fungicides on the microbial balance in the phyllosphere. *EPPO Bull.* 11:303-310.
- Fravel, D.R. 2005. Commercialization and implementation of biocontrol. *Ann. Rev. Phytopathol* 43:337-359.
- Lee, G., Lee, S-H., Kim, K.M., Ryu, Ch-M. 2017. Foliar application of the leafcolonizing yeast *Pseudozyma churashimaensis* elicits systemic defense of pepper against bacterial and viral pathogen. *Scientific Reports* 7:39432: 1-13. DOI: 10.1038/srep39432.
- Griffiths, E. 1981. Iatrogenic plant diseases. *Ann. Rev. Phytopathol.* 19:69-82
- Guetsky, R., Shtienberg, D., Elad, Y., Fischer, E., Dinoor, A. 2002. Improving biological control by combining

- biocontrol agensiats each with several mechanism of disease suppression. *Phytopathology* 92:976-985.
- Haidar, R., Fermaud, M., Caivo-Garrido, C., Roudet, J. and Deschamps, A. 2016. Modes of action for biological control of *Botrytis cinerea* by antagonistic bacteria. *Phytopathologia Mediterranea* (2016) 55, 3,301–322. DOI: 10.14601/Phytopathol_Mediterr-18079
- Hammami I, Hsouna AB, Hamdi N, Gdoura R, Triki MA (2013) Isolation and characterization of rhizosphere bacteria for the biocontrol of the damping-off disease of tomatoes in Tunisia. *C R Biol* 336(11–12):557–564.
- Hodges, C.F., Campbell, D.A., and Christians, N. 1994. Potential biocontrol of *Sclerotinia homoeocarpa* and *Bipolaris sorokiniana* on the phylloplane of *Poa pratensis* with strains of *Pseudomonas* spp. *Plant Pathology* 43: 500-506.
- Khan, N., Mishra, A., Nautiyal, C.S. 2012. *Paenibacillus lentimorbus* B-30488r controls early blight disease in tomato by inducing host resistance associated gene expression and inhibiting *Alternaria solani*. *Biol Cont* 62:65–74.
- Kilic-Ekici, O and Yuen, G.Y. 2003. Induced resistance as a mechanism of biological control by *Lysobacter enzymogenes* strains C3. *Phytopathology* 93: 1103-1110.
- Kloepper, J.W., Ryu, C.-M., and Zhang, S. 2004. Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus* spp. *Phytopathology* 94:1259-1266.
- Kuč, J., Shockley, G., and Kearney, K. 1975. Protection of cucumber against *Colletotrichum lagenarium* by *Colletotrichum lagenarium*. *Physiol. PlantPathol* 7: 195-199.
- Lee, G., Lee, S-H, Kyung Mo Kim, K.M., Ryu, C-M. 2017. Foliar application of the leafcolonizing yeast *Pseudozymaichurashimaensis* elicits systemic defense of

- pepper against bacterial and viral pathogens. Scientific Reports. 7:39432. 1-13. DOI: 10.1038/srep39432
- Legard, D. E., Xiao, C. L., Mertely, J. C., and Chandler, C. K. 2000. Effects of Plant Spacing and Cultivar on Incidence of Botrytis Fruit Rot in Annual Strawberry. Plant Disease 84(5): 531-38. //000086512600008.
- Madrigal, C., Pascual, S., Melgarejo, P. 1994. Biological control of peach twig blight (*Monilinia laxa*) with *Epicoccum nigrum*. Plant Pathology 43: 554-561.
- Nakazono-Nagaoka, E., Sato, C., Kosaka, Y., Natsuaki, T. 2004. Evaluation of cross-protection with an attenuated isolate of Bean yellow mosaic virus by differential detection of virus isolates using RT-PCRJ. Gen Plant Pathol 70:359-362. DOI 10.1007/s10327-004-0138-3.
- Natsuaki, T. 2011. Studies on molecular mechanisms of viral attenuation and cross protection. Gen Plant Pathol 77: 354-357. DOI 10.1007/s10327-011-0344-8
- Newhook, F.J. 1957. The relationship of saprophytic antagonism to control of *Botrytis cinerea* Pers. On tomatoes. N.Z. J. Sci. Technol. A. 38:473-481.
- Paulitz, T.C. and Bélanger, R.R. 2001. Biological control in greemhouse systems. Ann. Rev. Phytopathol. 39:103-133.
- Pennazio, S., Roggero, P., Conti, M. 2001. A history of plant virology: cross protection. New Microbiol 24: 99-114.
- Rahman, A. 2014. Evaluation and Characterization of Systemic Defense Responses Against *Magnaporthe Oryzae* In Perennial Ryegrass Using Chemical and Biological Elicitors Of Plant Defense. Doctor Desertation. The Pennsylvania State University, The Graduate School College of Agricultural Sciences. UMI Number: 3647497.

- Rai, B.. and Singh, D.B. 1980. Antagonistic activity of some leaf surface microfungi against *Alternaria brassicae* and *Drechslera graminea*. Trans. Br. Mycol. Soc. 75: 363-369.
- Redmond, J.C., Marois, J.J., and MacDonald, J.D. 1987. Biological control of *Botrytis cinerea* on rose with epiphytic microorganisms. Plant Disease 71: 799-802.
- Shi, J. F. and Sun, C. Q. 2017. Isolation, identification, and biocontrol of antagonistic bacterium against *Botrytis cinerea* after tomato harvest. Brazilian Journal of Microbiology 48(4): 706-714.
- Skidmore, A.M. and C.H. Dickinson. 1976. Colony interaction and hyphal interference between *Septoria nodorum* and phylloplane fungi. Trans. Br. Mycol. Soc. 66:57-64.
- You J, Zhang J, Wu M, Yang L, Chen W, Li G. 2016. Multiple criteria-based screening of *Trichoderma* isolates for biological control of *Botrytis cinerea* on tomato. Biol Control 101:31-38.

BAB 6

PENGENDALIAN HAYATI SEBAGAI PENDUKUNG PENGENDALIAN TERPADU DAN TEKNIK PENINGKATAN EFEKTIVITAS

PENDAHULUAN

Dalam aplikasinya, pengendalian hayati dapat dikombinasikan dengan pengendalian secara kimia atau secara kultur teknis sehingga dapat mendukung program pengendalian penyakit tanaman secara terpadu. Menurut Chet (1990) ada dua cara dasar dalam mengaplikasikan *Trichoderma* sebagai agensia pengendalian hayati yang dikombinasikan dengan pengendalian lain; (1) Aplikasi strain resisten terhadap bahan kimia secara simultan dengan aplikasi bahan kimia itu sendiri, sehingga memberikan keuntungan dengan mengaplikasikan bahan kimia dengan dosis minimum (*sublethal*); (2) Agensia pengendalian hayati diaplikasikan setelah fumigasi tanah atau solarisasi tanah yang dapat memperpanjang pengaruh perlakuan tanah tersebut.

Dengan berkembangnya biologi molekuler, agensia pengendalian hayati dapat direkayasa sesuai dengan kebutuhan dengan manipulasi genetik seperti peningkatan genetik dengan kloning atau dengan penyisipan gen yang dapat meningkatkan mekanisme pengendalian hayati atau dengan *protoplast fusion*.

KOMBINASI PENGENDALIAN HAYATI DENGAN PENGENDALIAN LAIN ATAU KOMBINASI ANTAR AGENSIA HAYATI

Trichoderma sp. merupakan agensia hayati yang sensitif terhadap fungisida benomyl (Davet dkk., 1981), sehingga sangat tidak mungkin kalau kita mengkombinasikan pengendalian hayati menggunakan *Trichoderma* sp. dengan fungisida benomyl. Tetapi sejak Ahmad dan Baker (1987) menemukan mutan *T. harzianum* yang resisten terhadap benomyl. Selanjutnya Braun dkk. (2009), memproduksi mutan

Trichoderma viride yang resisten terhadap benomyl dengan cara konidia antagonis *T. viride* yang diinkubasi pada medium *Potato Dextrose Agar* yang mengandung 0; 1,0; 5,0; and 10 μgmL^{-1} benomyl dipapar dengan sinar radiasi ultraviolet selama 2 menit dan radiasi microwave selama 8 detik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konidia yang dipapar dengan radiasi sinar ultraviolet menghasilkan 8 mutan resisten *T. viride* terhadap 5 μgmL^{-1} benomyl. Sementara radiasi terhadap microwave tidak menghasilkan mutan yang resisten terhadap benomyl. Penemuan ini memberikan dampak yang sangat luar biasa dalam pengembangan agensia pengendalian hayati untuk dapat dikombinasikan dengan pengendalian kimia.

Hadar dkk. (1979), melaporkan bahwa kombinasi fungisida PCNB dengan dosis minimum (sublethal) dan *T. Harzianum* menurunkan insiden penyakit busuk akar tanaman terong yang disebabkan oleh *R. solani* dari 40% (tanpa perlakuan) menjadi 13%, sementara perlakuan tunggal *T. Harzianum* menurunkan insidensi penyakit 26%. Grintein dkk. (1979) mengaplikasikan *T. harzianum* ke lapangan dengan kondisi tanah yang sudah terinfestasi secara alami dikombinasikan dengan herbisida (dinitramine) dapat meningkatkan efektivitas perlakuan tunggal *T. harzianum* dalam menekan penyakit *southern blight* yang disebabkan oleh *Sclerotium rolfsii* Sacc. dari persentase penekanan 38,2% menjadi 57,3%.

Elad dkk. (1982) melaporkan bahwa ketika *T. harzianum* diaplikasikan di tanah segera setelah fumigasi tanah dengan methyl bromide (500 kg/ha) menghasilkan pengendalian yang lebih efektif terhadap penyakit hawar dan busuk akar pada tanaman tomat dan kacang tanah yang disebabkan oleh *Rhizoctonia solani* dan *Sclerotium rolfsii* dibandingkan dengan hanya menggunakan methyl bromide saja. Elad dkk. (1980)

juga melaporkan bahwa solarisasi tanah yang dikombinasikan dengan aplikasi *T. harzianum* dapat meningkatkan efektivitas pengendalian terhadap penyakit hawar dan busuk akar dibandingkan dengan pengendalian hanya dengan solarisasi tanah atau hanya dengan *T. harzianum*.

Sebagian besar aplikasi agensia pengendalian hayati terhadap patogen tanaman biasanya dilakukan sebelum pemanenan. Aplikasi setelah pemanenan belum begitu banyak dilakukan. Untuk aplikasi pasca panen, kita perlu mempelajari prosedur selama proses pengangkutan atau pengepakan untuk mencari kesempatan dalam mengaplikasikan agensia pengendali hayati, agar diterima di masyarakat, khususnya bagaimana pengendalian tersebut harus dapat dikombinasikan dengan pengendalian yang sudah ada. Wilson dan Pusey (1985) melaporkan, pelapisan buah peach dengan lilin pada pengepakan secara komersial dapat dikombinasikan dengan mencampur bakteri antagonis dalam formulasi lilin tersebut tanpa merusak prosedur proses secara normal.

Banyak zat-zat kimia terutama pestisida dan antioksidan digunakan selama proses pasca panen. Pengendalian hayati juga harus bisa dikombinasikan dengan pengendalian secara kimia ini, dengan cara menciptakan mutan yang resisten terhadap pestisida, sehingga pengendalian hayati lebih efektif dan dominan, hal ini akan memberikan keuntungan dengan mengaplikasikan bahan kimia dengan dosis minimum (*sublethal*). Usaha ini mungkin juga dapat menurunkan jumlah penggunaan pestisida yang sangat berbahaya terutama untuk buah-buahan ataupun sayur-sayuran segar. Pusey dkk. (1986) membuktikan bahwa aplikasi *Bacillus subtilis* B-3 yang dikombinasikan dengan dicloran dapat menghasilkan penurunan serangan penyakit busuk coklat pada buah peach yang jauh lebih efektif, bila dibandingkan aplikasi mereka

sendiri-sendiri atau tanpa kombinasi. Qin dan Tian (2004) mengkombinasikan silicon (Si) konsentrasi 1% dengan antagonis yeast *Cryptococcus laurentii* menghasilkan pengendalian yang sinergis dalam menekan serangan *Penicillium expansum* dan *Monilinia fructicola* pada buah Ceri manis pada suhu 20°C. Dengan perlakuan kombinasi ini, populasi *C. laurentii* meningkat tajam, sementara silicon menghambat sangat kuat perkecambah spora dan pemanjangan tabung kecambah kedua patogen tersebut *P. expansum* dan *M. fructicola*. Perlakuan silicon juga menginduksi sangat signifikan peningkatan aktivitas enzim pertahanan, phenyllalanine ammonia-lyase, polyphenoloxidase dan peroksidase pada tanaman Ceri manis.

Permasalahan produk pasca panen adalah, buah dan sayur-sayuran tersebut mudah busuk selama penyimpanan, sehingga membuat pedagang atau pengepul mengalami kerugian yang cukup besar, apalagi kalau sistem pengepakan kurang baik, sehingga dapat menyebabkan busuk lebih cepat lagi. Pengendalian hayati menjadi sangat penting kalau dapat memperpanjang umur simpan, apalagi jika agensia pengendalian hayati tersebut dapat diaplikasikan pada produk pertanian ditingkat grosir, dimana perlakuan agensia pengendali hayati dapat memperpanjang masa segar produk tersebut. Pusey dkk. (1986) melaporkan bahwa aplikasi *B. subtilis* B-3 dapat melindungi kebusukan setelah 7 dan 14 hari penyimpanan dan mengurangi jumlah kebusukan buah setelah 21 hari masa penyimpanan.

Peningkatan pengendalian hayati juga dapat dilakukan dengan mengkombinasikan agensia pengendalian hayati tertentu dengan agensia hayati lainnya yang sinergis, yang mempunyai mekanisme yang berbeda sehingga diharapkan dapat menekan berbagai patogen.

Duffy dkk. (1996) melaporkan bahwa *Trichoderma koningii* yang digabungkan dengan perlakuan beberapa jenis agensia hayati bakteri seperti *Pseudomonas chlororaphis* 30-84, *P. fluorescens* Q2-87, dan gabungan 4 strain bakteri, menghasilkan penekanan yang lebih tinggi terhadap penyakit *take-all* yang disebabkan *Gaeumannomyces graminis* var *tritici*, dibanding dengan pengendalian tunggal diantara agensia hayati tersebut. Pada penelitian tersebut, semua kombinasi *Trichoderma koningii* dan *Pseudomonas flourescens* adalah kompatibel atau cocok.

Guetsky dkk. (2002) melaporkan bahwa kombinasi agensia pengendali hayati yeast *Pichia guilermundii* yang mempunyai kemampuan kompetisi terhadap nutrisi glukosa, sukrosa, adenine, histidin, dan asam folic dan antagonis bakteri *Bacillus mycoides* yang mempunyai kemampuan mekanisme antibiosis dengan menghasilkan senyawa penghambat yang bersifat mudah menguap dan tidak menguap dapat menekan serangan *Botrytis cinerea* pada daun strowberrry dan merusak serta menghancurkan konidia patogen dengan lebih efektif.

de Boer dkk. (2003) juga melaporkan bahwa kombinasi strain *Pseudomonas putida* WCS358 yang mempunyai penekanan patogen melalui kompetisi ion besi dengan menghasilkan siderofor pseudobactin dan *Pseudomonas putida* RE8 yang mempunyai mekanisme induksi resistensi, sangat efektif menekan serangan layu *Fusarium* pada tanaman lobak sebesar 50% dibanding perlakuan tunggal dengan penekanan 30%. Duijff dkk. (1999) melaporkan bahwa kombinasi dua antagonis, *Pseudomonas putida* WCS358 dan *Fusarium oxysporum* Fo47 non-patogen dapat meningkatkan kemampuannya menekan serangan layu *Fusarium*. Sehingga kombinasi berbagai agensia pengendali hayati ini disamping dapat meningkatkan kemampuan menekan serangan patogen tertentu, juga dapat menekan serangan beberapa patogen.

Sharma dan Singh (2006) melaporkan bahwa, ada 3 area yang sangat menarik untuk dikembangkan dalam rangka meningkatkan efektivitas antagonis, yaitu: 1) manipulasi atau rekayasa lingkungan bagi antagonis; 2) mengembangkan gabungan antagonis yang sinergis dan saling melengkapi dengan kombinasi berbagai mekanisme; 3) manipulasi atau rekayasa antagonis untuk meningkatkan kemampuan hidup dengan ekologi yang tepat dan meningkatkan fungsi pengendalian hayatnya.

KAPAN PENGENDALIAN HAYATI DIAPLIKASIKAN

Setelah ditemukan agensia pengendalian hayati yang efektif, muncul pertanyaan. Kapan dan dimana pengendalian hayati terhadap patogen tanaman dapat berdayaguna didalam lingkup pengendalian hama serangga/patogen secara terpadu. McSpadden Gardener dan Fravel (2002) membuat model piramida (Gambar 6.1) yang dapat digunakan oleh pekebun dalam merancang program pengendalian hama serangga/patogen. Model ini dibuat berdasarkan sistem pengelolaan patogen pada tanaman tahunan. Pertama-tama yang merupakan dasar piramid adalah program kultur teknis yang merancang kondisi pertanian supaya tanaman tumbuh sehat, diantaranya; rotasi tanaman untuk mengurangi tersedianya inang untuk hidup patogen, sehingga perkembangan patogen terbatas. Pengolahan tanah yang bijaksana sehingga dapat mengacaukan siklus hidup patogen dan mematikan propagul patogen di tanah, menghilangkan rumput pengganggu, menyiapkan tempat persemaian dengan kelembaban yang optimal. Pemupukan yang tepat sesuai dengan kebutuhan tanaman sehingga tanaman tumbuh optimal. Manajemen pemupukan yang tepat dengan

kelembaban optimal dapat juga mengurangi serangan penyakit tanaman dengan mengurangi stres pada tanaman.

Lapisan kedua adalah Pengelolaan plasma nutfah, seperti: penggunaan tanaman yang tahan, cara ini sangat penting bagi tanaman keras atau hutan, karena tindakan penyulaman kadang tidak efektif khususnya kalau serangan patogen terjadi pada saat tanaman berumur diatas 2 tahun, sementara penyakit tular tanah seperti penyakit jamur akar putih pada tanaman karet (*Rigidoporus microporus*) atau Penyakit Busuk Pangkal batang pada tanaman kelapa sawit (*Ganoderma boninense*) biasanya menyerang tanaman yang sudah besar, dimana kalau dilakukan penyulaman, tanamn sulit untuk tumbuh karena tajuk sudah mulai berkembang dan menutupi tanah, sehingga seluruh investasi selama 2 tahun tersebut akan hilang. Cara lain adalah dengan berkembangnya ilmu biologi molekular seperti rekayasa genetika dengan menyisipkan gen pada genome tanaman sesuai dengan keinginan, misalnya untuk menghasilkan tanaman yang tahan terhadap penyakit tertentu. Perlakuan benih dan pencucian benih sehingga menghasilkan benih yang bebas penyakit.

Lapisan ketiga adalah dengan memberikan input secara biologi, misalnya dengan menerapkan pestisida mikrobial/agensia pengendali hayati dan perangkap pheromone yang dapat mengganggu aktivitas pengganggu tanaman. Ketika organisme bermanfaat diintroduksi ke tanah, tindakan ini mungkin akan menambah populasi organisme yang bermanfaat secara alami dan selanjutnya akan mengurangi kerusakan yang disebabkan oleh patogen.

Yang terakhir dan merupakan cara yang tidak bisa dihindari adalah penggunaan bahan kimia sintetik beracun seperti pestisida. Cara ini baru diizinkan kalau ketiga level dibawahnya sudah dilaksanakan. Sehingga cara ini diharapkan

akan dilaksanakan kalau kondisi sangat memaksa khususnya untuk menjaga agar lingkungan tetap aman dan tanaman tetap menghasilkan produksi yang baik.



Gambar 6.1. Model umum, kapan pengendalian hayati di aplikasikan dalam sistem pengendalian terpadu (McSpadden Gardener dan Fravel, 2002).

Di negara maju, hasil tanaman pertanian yang tidak menggunakan bahan kimia sintetik atau dikenal dengan *organic farming* sangat disukai oleh masyarakat sekalipun harganya lebih tinggi dari hasil pertanian biasa. Mengingat kesadaran masyarakat akan bahaya bahan residu pestisida bagi kesehatan, selain menjadi ancaman bagi lingkungan di sekitar kita, kesemuanya ini memberikan prospek yang sangat cerah dalam pengembangan pengendalian hayati terhadap penyakit tanaman. Sekalipun sudah cukup banyak mikrobial pestisida yang sudah dipasarkan, tetapi kalau dibandingkan dengan dengan bahan kimia sintetik, jumlahnya masih sangat kecil. Oleh karena itu perkembangan pengendalian hayati secara

komersial dipasaran sangat tergantung dengan penemuan jenis-jenis agensia yang lebih bervariasi dari para ahli, peraturan yang mendukung, menejemen bisnis dan pemasaran serta yang tak kalah pentingnya adalah mampu bersaing secara ekonomi dan tingkat keefektivannya dengan pengendalian secara kimia.

PEMANFAATAN TEKNIK BIOLOGI MOLEKULAR UNTUK MENINGKATKAN EFEKTIVITAS AGENSIA PENGENDALIAN HAYATI

1. Perbaikan Genetik (*Genetic Improvement*)

Perbaikan genetik agensia pengendali hayati adalah hal yang sangat penting pada pengendalian hayati patogen tanaman melalui manipulasi genetik dengan menghasilkan strain yang super dan unggul sesuai dengan kebutuhan. Penelitian tentang perbaikan genetik terhadap agensia pengendali hayati sudah banyak dilakukan khususnya *Pseudomonas fluorescens*, laporan pertama tentang *cloning gene* antibiotik dilakukan oleh Gutterson dkk. (1986). Ekspresi gen *afu E* merupakan salah satu gen yang bertanggung jawab untuk produksi antibiotik oomycin A pada bakteri *Pseudomonas fluorescens*. Gen ini dapat ditingkatkan dengan mengkloningnya dari *tac* promoter dan menghasilkan manipulasi genetik strain yang menghasilkan peningkatan produksi antibiotik oomycin A (Gutterson, 1990).

Antibiotik 2,4-diacetylphloroglucinol (DAPG) merupakan antibiotik yang diproduksi oleh banyak strain *Pseudomonas fluorescens* yang mempunyai aktivitas menekan serangan patogen tular tanah. Gen yang dibutuhkan untuk mensintesis DAPG oleh *Pseudomonas fluorescens* Q2-87 adalah disandikan oleh 6,5-kb fragmen dari genomic DNA yang dapat ditransfer

ke strain penerima *Pseudomonas fluorescens* yang tidak dapat memproduksi DAPG, sehingga menghasilkan strain yang dapat memproduksi DAPG. Cloning 6,5-kb genomik DNA fragmen dari strain *Pseudomonas fluorescens* Q2-87 penghasil DAPG ke strain tidak menghasilkan DAPG, akan menghasilkan strain *Pseudomonas* yang menghasilkan DAPG (Bangera dan Thomashow, 1999).

2. Penyatuan Protoplas (*Protoplast Fusion*)

Interaksi agensia pengendali hayati dengan patogen sangat kompleks seperti mikoparasit, antibiosis, dan kompetisi. Sifat-sifat dan kemampuan tersebut dibawah kendali sejumlah gen. oleh karena itu rekombinasi genom dibutuhkan untuk menghasilkan generasi strain baru yang superior. Teknik rekombinasi genetik adalah teknik yang baik untuk mengembangkan strain agensia pengendali hayati yang efektif. Penyatuan protoplas merupakan cara untuk promosi rekombinasi semua genom, bahkan diantara strain yang tidak kompatibel (Summeet dan Mukerji, 1999).

Agbessi dkk. (2003) melaporkan bahwa, penyatuan protoplas intraspesifik dari *Streptomyces melanosporofaciens* EF-76, agensia pengendali hayati yang memproduksi geldanamycin, menghasilkan dua rekombinan strain (FP-54 dan FP-60) yang mempunyai kemampuan antagonistic yang berbeda dalam menghambat serangan patogen *Bacillus cereus* ATCC 14579, *Streptomyces scabies* EF-35 and *Phytophthora fragariae* var. *rubi* 390, dimana rekombinan strain FP-54 memproduksi antibiotik geldanamycin dan mempunyai kemampuan antagonis yang sama dengan strain induknya EF-76 dengan menghambat ketiga serangan patogen diatas. Yang menarik adalah strain FP-54 menghasilkan 2 macam bahan anti mikrobial yang tidak diproduksi strain induknya EF-76.

Sementara rekombinan strain FP-60 tidak memproduksi antibiotik geldanamycin dan tidak mampu menekan serangan penyakit kudis pada umumnya bahkan kemampuannya lebih buruk dibanding perlakuan kontrol.

Lee dkk. (2011) melaporkan bahwa, penyatuan protoplas dapat mentransmit double-stranded RNA (dsRNA) viruses (FgV1-DK21 virus) yang berasosiasi dengan hipovirulen pada *Fusarium boothii* (awalnya dengan nama *F. graminearum* strain DK21) ke *F. graminearum*, *F. asiaticum*, *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*, dan *Cryphonectria parasitica*, dimana hasilnya semua fungi penerima menjadi hipovirulen. Penelitian ini menjadi hal yang sangat penting untuk menghasilkan hipovirulen strain yang efektif dalam menekan serangan patogen melalui kompetisi dan induksi resistensi.

Penelitian tentang mikroorganisme yang sudah berhasil diisolasi protoplasnya sudah banyak dilaporkan dan direview diantaranya: *Alternaria* spp., *Candida* spp., *Claviceps purpurea*, *Cochliobolus versicolor*, *Gliocladium*, *Penicillium*, *Rhizoctonia solani*, *Trichoderma* spp. dan lain-lain (Summeet dan Mukerji, 1999). Mereka juga melaporkan bahwa, protoplas dapat dikeluarkan dari dinding sel dengan cara perusakan secara enzimatik. Protoplas dapat dikeluarkan melalui lobang kecil dekat ujung hifa atau dari spora, biasanya protoplas yang dihasilkan dari spora lebih homogen dibanding dari hifa dan bersifat uninukleat.

Sejumlah faktor yang mempengaruhi isolasi protoplas adalah: *lyctic enzym*, stabilisasi osmotik, pH, buffer, temperatur, dan waktu. Enzim yang dapat merusak dinding sel secara alami banyak tersedia di pasaran atau diperoleh dari mikroorganisme. Komponen utama enzim tersebut adalah : kitinase, α - & β -glukanase dan protease. Biasanya kerja enzim akan lebih baik kalau digabung dua atau lebih dibanding

dengan menggunakan 1 enzim saja. Penyatuan Protoplas dapat dilakukan dengan cara :

1. Secara kimia dengan *polyethylene glycol* (PEG)

Secara kimia ini sudah cukup banyak laporan yang telah didemonstrasikan, dengan cara ini dapat dilakukan penyatuan protoplas berbagai stain:

- a. Antara strain yang sama (*Intraspecific protoplast fusion*)
- b. Antara genus tapi berlainan species (*Interspecific protoplast fusion*)
- c. Antar genus yang berlainan (*intergeneric protoplast fusion*)

protoplas dapat terjadi dengan PEG pada pH lebih rendah dari 7 dengan keberadaan 0,01 M CaCl₂ tetapi pada pH tinggi (pH 9) dengan 0,6 M CaCl₂. Keberadaan Ca²⁺ sangat penting

2. Secara fisik dengan menggunakan *electrofusion*

Lynch dkk (1989) melaporkan bahwa protoplast fusion fungi *Aspergillus nidulan* dapat dilakukan dengan *electrofusion*. Teknik ini dilakukan dengan cara, Protoplas dari sumber asal (orang tua) dicampur dan diberikan elektrik dengan frekwensi tinggi yang menyebabkan peledakan diantara protoplas tersebut dan membentuk rantai butiran protoplas,

DAFTAR PUSTAKA

- Agbessi, S., Beauséjour, J., Déry, C., Beaulieu, C. 2003. Antagonistic properties of two recombinant strains of *Streptomyces melanosporofaciens* obtained by intraspecific protoplast fusion. Appl Microbiol Biotechnol 62:233–238. DOI 10.1007/s00253-003-1256-0

- Ahmad, J. S. and Baker, R. 1987. Competitive saprophytic ability and cellulolytic activity of rhizosphere-competent mutant of *Trichoderma harzianum*. *Phytopathology* 77:358-362.
- Bangera, G.M. and Thomashow, L.S. 1999. Identification and characterization of a gene cluster for synthesis of the polyketide antibiotic 2,4-diacetylphloroglucinol from *Pseudomonas fluorescens* Q2-87. *J. Bacteriol* 181:3155-3163.
- Braun, N., dos Santos, L.C., Tedesco, S.B., Paranhos, J.T., da Silva, A.C.F. 2009. Ultraviolet and microwave radiation in *Trichoderma viride* isolates. *Ciência e Natura*, UFSM, 31: 83 - 94.
- Chet, I. 1990. Biological control of soil-borne Plant pathogen with fungal antagonist in combination with soil treatment. In: D. Hornby . (eds) *Biological Control of Soil-borne Plant Pathogen*. C.A.B International. Redwood Press Limited, Melksham, Wiltshire. Page. 15-25.
- de Boer, M., Bom, P., Kindt, F. Keurentjes, J.J.B., van der Sluis, I., van Loon, L.C., and Baker, P.A.H.M. 2003. Control of Fusarium wilt of radish by combining *Pseudomonas putida* strain that have different disease suppressive mechanisms. *Phytopathology* 93: 626-632.
- Duffy, B.K., Simon, A., and Weller, D.M. 1996. Combination of *Trichoderma koningii* with Fluorescent Pseudomonads for control of take-all on wheat. *Phytopathology* 86: 188-194.
- Duijff, B.J., Recorbet, G., Bakker, P.A.H.M., Loper, J.E., and Lemanceau, P. 1999. Microbial antagonism at the root level is involved in the suppression of fusarium wilt by combination of nonpathogenic *Fusarium oxysporum* Fo47 and *Pseudomonas putida* WCS358. *Phytopathology* 89: 1073-1079.

- Elad, Y., Katan, J. and Chet, I. 1980. Physical, biological and chemical control integrated for soilborne diseases in potatoes. *Phytopathology* 70:4, 18-422
- Elad, Y., Hadar, Y., Chet, I. and Henis, Y. 1982. Prevention, with *Trichoderma harzianum* Rifai aggr., of reinfestation by *Sclerotium rolfii* Sacc, and *Rhizoctonia solani* Kühn of soil fumigated with methyl bromide, and improvement of disease control in tomatoes and peanuts. *Crop Prot.* 1,199-211.
- Grinstein, A., Elad, Y., Katan, J., Chet, I. 1979. Control of *Sclerotium rolfii* by means of a herbicide and *Trichoderma harzianum*. *Plant Dis. Repr.* 63:823-826.
- Guetsky, R., Shtienberg, D., Elad, Y., Fischer, E., and Dinooor, A. 2002. Improving biological control by combining biocontrol agents each with several mechanisms of disease suppression. *Phytopathology* 92: 976-985.
- Gutterson, N. 1990. Microbial fungicides: recent approaches to elucidating mechanisms. *Crit. Rev. Biotechnol* 10: 69-91.
- Gutterson, N.L. Layton, T.J. and Warren, G.J. 1986. Molecular cloning of genetic determinants for inhibition of fungal growth by a fluorescent pseudomonad. *J. Bacteriol* 165: 696-703
- Hadar, Y., Chet, I., and Henis, Y. 1979. Biological control of *Rhizoctonia solani* damping-off with wheat bran culture of *Trichoderma harzianum*. *Phytopathology* 70:1167-1172.
- Lee, K-M., Yu, J., Son, M., Lee, Y-W, K-Y. 2011. Transmission of *Fusarium boothii* mycovirus via protoplast fusion o., Kim n causes hypovirulence in other phytopathogenic fungi. *PLoS ONE* 6 (6):1-9
- Lynch, P.T. Issac, S., and Collin, .H.A. 1989. Electrofusion of protoplast from *Aspergillus nidulans*, *FEMS Microbiol. Lett.* 59: 225-228.

- McSpadden Gardener, B., and Fravel, D. 2002. Biological control of plant pathogens: Research commercialization, and application in the USA. Online. Plant Health Progress. doi:10.1094/PHP-2002-0510-01-RV.
- Pusey, P.L., Wilson, C.L., Hotchkiss, M.W., Franklin, J.D. 1986. Compatibility of *Bacillus subtilis* for postharvest control of peach brown rot with commercial fruit waxes, dicloran, and cold-storage conditions. Plant Dis. 70:587-590.
- Qin, G.Z. and Tian, S.P. 2005. Enhancement of biocontrol activity of *Criptomococcus laurentii* by silicon and the possible mechanisms involved. Phytopathology 95: 69-75.
- Sharma, P. and Singh, A. 2006. Strategies for integrating antagonistic organisms in the crop disease management programmes in India. In Ramanujam, B and Rabindra, R.J. (eds) . Current Status of Biological Control of Plant Disease using Antagonistic Organisms in India. ICAR. Project Directorat of Biological Control. Bangalore. P. 144-152.
- Sumeet and Mukerji, K.G. 1999. Protoplast fusion in Disease control. Pp. 177-196. In: Mukerji, K.G., Chamola, B.P., and Upadhyay, R.K. [eds.], Biotechnological Approaches in Biocontrol of Plant Pathogens. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow.
- Wilson, C. and Pusey, P.L. 1985. Potential for biological control of postharvest plant diseases. Plant dis. 69:375-378

BAB 7

ISOLAT HIPOVIRULEN ATAU NON-PATOGEN SEBAGAI AGENSIA HAYATI PATOGEN TANAMAN

PENDAHULUAN

Kemampuan patogenisitas dan virulensi patogen tanaman menginfeksi dan menimbulkan penyakit pada tanaman berbeda-beda. Beberapa patogen tertentu berdasarkan kemampuan virulensinya, terdiri dari 2 golongan, yaitu:

- 1). Virulensi sangat tinggi sampai tidak virulen, dan
- 2). Tidak virulen sampai virulensi rendah digolongkan hipovirulen atau non-patogen (Van Alfen, 1982 dan Sneh 1998).

Biakan *Rhizoctonia* non-patogen biasanya hialin (Villajuan-Abgona dkk., 1996a), sementara patogen yang virulen berwarna kecoklatan atau keabu-abuan (Sneh dkk., 1991) yang disebabkan endapan melanin pada dinding sel hifanya. Keberadaan melanin sangat penting untuk melihat sifat patogenisitasnya. Sintesis melanin pada apresoria sangat penting untuk menjaga kekerasan secara fisik pada paku penetrasi pada saat terjadinya infeksi terhadap epidermis inang oleh *Pyricularia oryzae*, *Colletotrichum lagenarium*, dan *C. lindemuthianum* (Bell dan Wheeler, 1986).

Secara alami, keberadaan mikroorganisme saprofit atau golongan organisme non-patogen di lapangan selalu ditemukan dengan proporsi persentasi yang beragam. Proporsi keberadaan isolat hipovirulen *Rhizoctonia* di berbagai tanah berkisar antara 10-30% dari total populasi *Rhizoctonia* spp (Cubeta dkk., 1995; Ichielevich-Auster dkk., 1985a; Villajuan-Abgona dkk., 1996a). Keberadaan dan distribusi *Rhizoctonia* non-patogen mungkin disebabkan oleh kondisi lingkungan, termasuk sejarah keberadaan tanaman, makanan, dan cuaca khususnya temperatur dan kelembaban. Frekwensi terisolasinya mereka dari tanah juga sangat tergantung dengan metode isolasi yang digunakan. Menurut Villajuan-Abgona dkk. (1996a), Metode isolasi partikel seresah dari sisa-sisa

tanaman, memungkinkan keterisolasian yang tinggi terhadap hipovirulen *Rhizoctonia*. Secara aktual peran signifikan *Rhizoctonia* non-patogen di alam belum diamati dengan detail. Tetapi dengan kelaziman keberadaan mereka di tanah mengesankan bahwa, mereka mempunyai peranan yang sangat penting dalam menekan perkembangan penyakit tanaman.

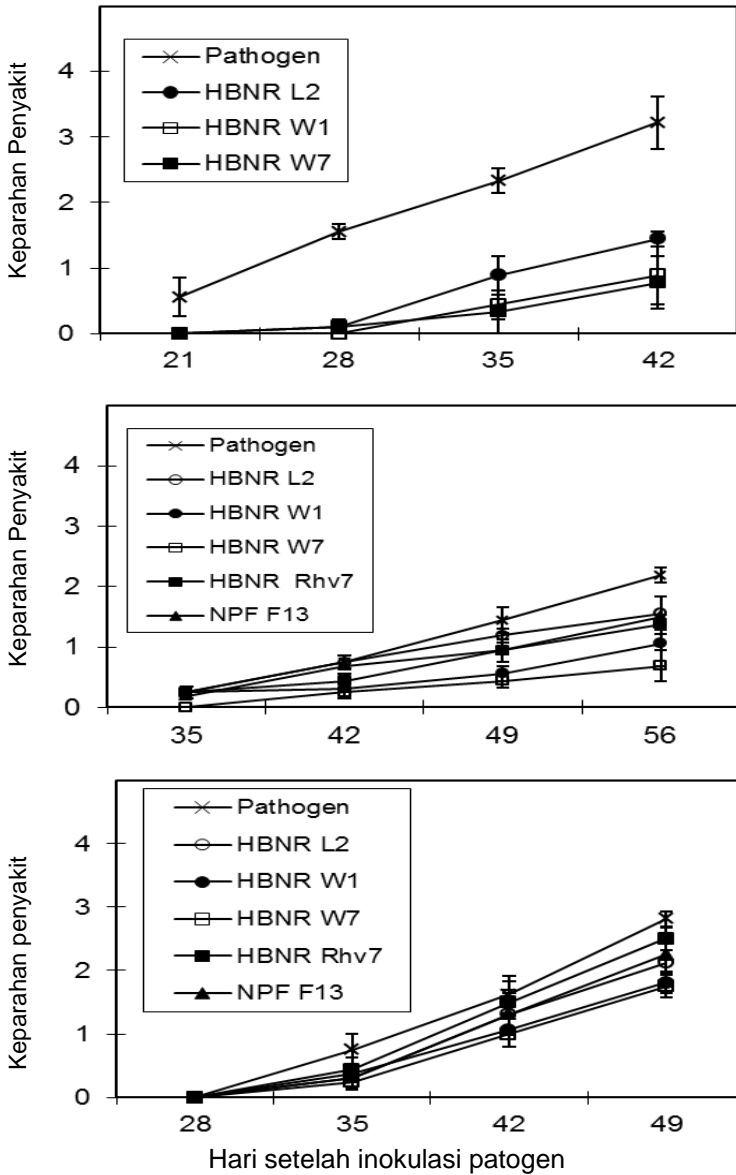
Pemanfaatan isolat hipovirulen dan non-patogen sebagai agensia hayati dalam melindungi tanaman dari serangan patogen tanaman sangat potensial dilakukan, berbagai isolat hipovirulen dan non-patogen seperti *Rhizoctonia* (Burpee dan Goultly, 1984; Ichievich-Auster dkk., 1985b), hipovirulen binukleat *Rhizoctoni* (Muslim dkk, 2003a; Muslim dkk, 2003b; Muslim dkk, 2003c; Escande dan Echandi, 1991), *Gaeumannomyces graminis* (Lapierra dkk., 1970); *Cryphonectria parasitica* (Van Alfen, 1982), *Fusarium oxysporum* (Ogawa dan Komada, 1986; Louter dan Edgington, 1990); *Alternaria* spp. (Spur, 1977).

MEKANISME PENGENDALIAN HAYATI DENGAN ISOLAT HIPOVIRULEN

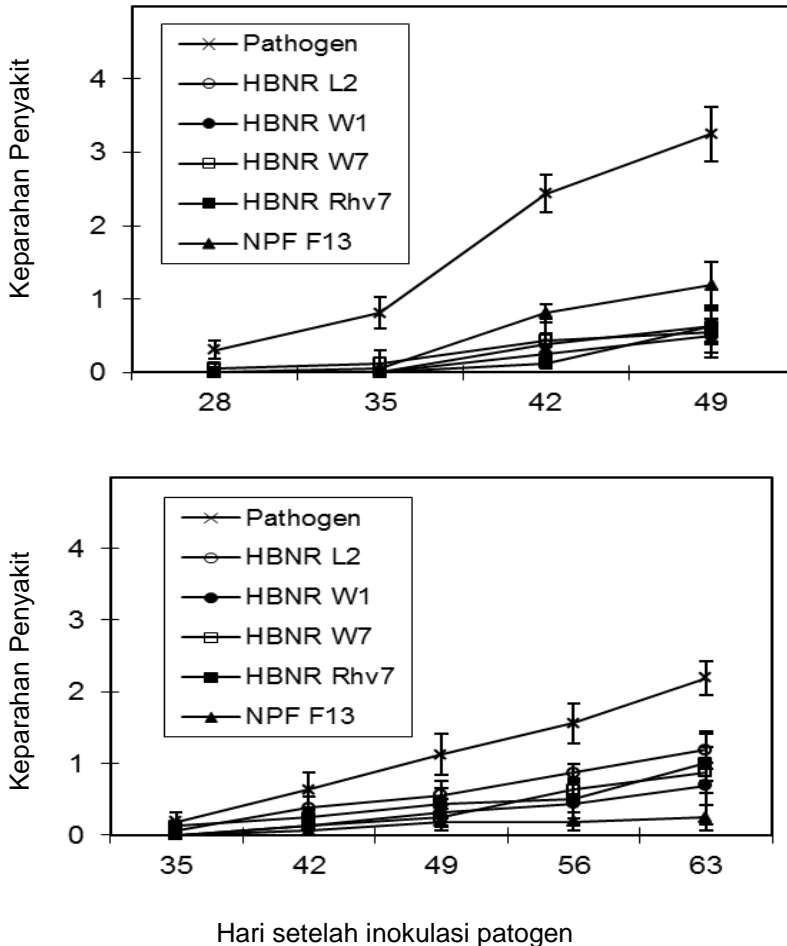
Strain hipovirulen atau non-patogen pada spesies atau genera yang sama, biasanya mempunyai karakteristik yang hampir sama dengan strain yang virulen, sehingga kompetisi terhadap tempat infeksi atau kolonisasi tidak bisa dihindari. Kemampuan tersebut menyebabkan beberapa dari mereka yang hipovirulen berpotensi berhasil menguasai kompetisi tersebut, sehingga dapat menekan serangan penyakit (Sneh, 1996). Graham dkk (2012) melaporkan bahwa *Phytophthora nicotianae* hipovirulen efektif menekan serangan *Phytophthora palmivora* penyebab penyakit phytophthora busuk akar pada

jeruk, tidak dengan mekanisme induksi resistensi, tetapi dengan mekanisme kompetisi.

Efektifitas kemampuan kolonisasi akar juga menjadi salah satu kelebihan dari isolat hipovirulen Binucleate *Rhizoctonia* (HBNR) dalam menekan serangan penyakit layu fusarium pada tanaman tomat (Muslim dkk., 2003b). Muslim dkk. (2003b) melakukan penelitian dengan 2 jenis aplikasi HBNR: 1). aplikasi HBNR tunggal (hanya sekali pada pot kecil saat pembenihan), kemudian tanaman ditransfer pada pot besar dimana hanya patogen yang diinokulasi pada pot besar tersebut, dan 2). aplikasi ganda (dua kali: aplikasi HBNR pada pot kecil (saat pembenihan) dan aplikasi HBNR dilakukan juga pada pot besar, dimana patogen juga diaplikasikan bersama-sama dengan HBNR pada pot besar tersebut). Penelitian ini memperlihatkan hasil, bahwa aplikasi HBNR tunggal memperlihatkan kemampuan HBNR menghambat serangan layu fusarium tomat yang tidak konsisten, dari 4 isolat HBNR yang diuji hanya 1 isolat HBNR W7 secara konsisten menghambat serangan penyakit layu fusarium tanaman tomat dengan persentase penghambatan 31-70% (Gambar 7.1). Sementara pada aplikasi ganda, semua perlakuan HBNR Rhv7, L2, W1, dan W7 menekan serangan penyakit layu fusarium secara konsisten dengan persentase penekanan yang jauh lebih tinggi dibanding aplikasi tunggal, masing-masing sebesar 81%-100%, 81%-100%, 85%-100%, dan 81%- 83%, selama penelitian (Gambar 7.2).



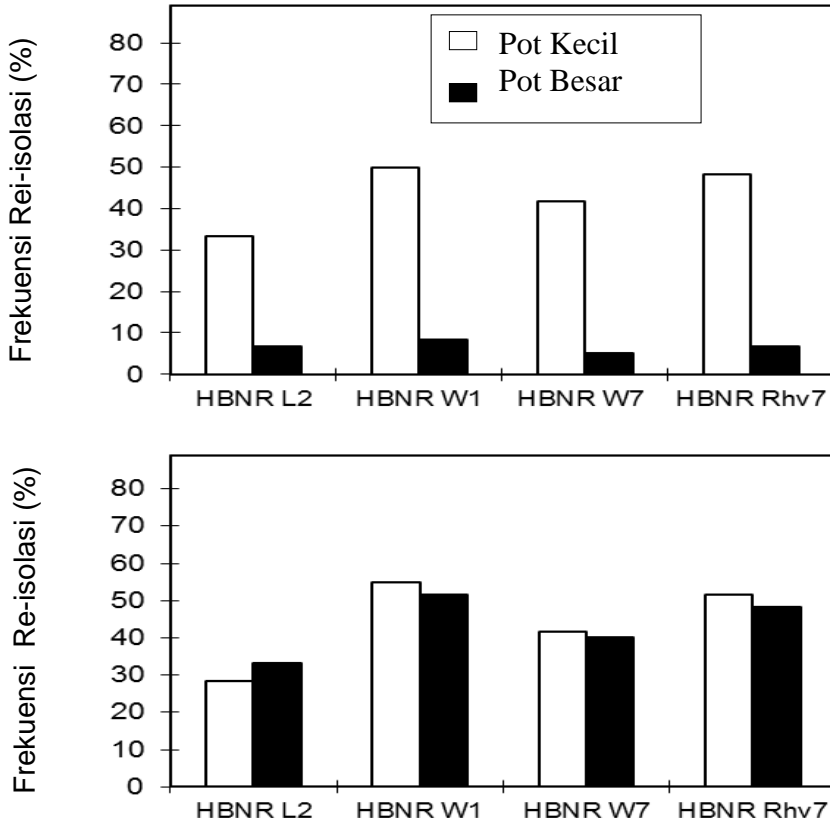
Gambar 7.1. Pengaruh Perlakuan aplikasi tunggal (hanya pada pot kecil saat pembibitan) dengan Hipovirulen Binucleate *Rhizoctonia* (HBNR) terhadap serangan penyakit layu fusarium tanaman tomat yang disebabkan oleh *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* pada eksperimen 1 (A), 2 (B), dan 3 (C). Keparahan penyakit dihitung dengan skore 0-4; 0= tanaman sehat; 1 = daun kuning; 2; layu ringan; 3 = layu berat; 4 = tanaman mati (Muslim dkk., 2003b).



Gambar 7.2. Pengaruh Perlakuan aplikasi ganda (aplikasi dilakukan pada pot kecil saat pembibitan dan pot besar saat bersamaan dengan tantangan patogen) dengan Hipovirulen binucleate *Rhizoctonia* (HBNR) terhadap serangan penyakit layu fusarium tanaman tomat yang disebabkan oleh *Fusarium oxysporum* f.sp.*lycopersici* pada eksperimen 1 (A), eksperimen 2 (B). Keparahan penyakit dihitung dengan skore 0-4; 0= tanaman sehat; 1 = daun kuning; 2; layu ringan; 3 = layu berat; 4 = tanaman mati (Muslim dkk., 2003b).

Menurut Muslim dkk. (2003b), pada aplikasi tunggal, re-isolasi HBNR sangat baik hanya pada pot kecil dimana HBNR diinokulasi, sementara pada pot besar, dimana hanya patogen yang diinokulasi, re-isolasi HBNR sangat kecil dan terbatas (Gambar 7.3). Pada aplikasi ganda, re-isolasi HBNR sangat baik tidak hanya pada pot kecil tapi juga pada pot besar dimana HBNR diinokulasi pada kedua pot tersebut baik di pot kecil maupun di pot besar (Gambar 7.3). Hasil ini menunjukkan bahwa mekanisme pengendalian hayati yang bekerja pada HBNR adalah kompetisi khususnya tempat infeksi melalui kolonisasi, karena pada aplikasi ganda memperlihatkan tingkat re-isolasi HBNR sangat tinggi pada pot besar, dimana HBNR dan patogen diinokulasi semua (bersama-sama), sehingga menghasilkan persentase penghambatan serangan patogen sangat konsisten dan lebih tinggi dibanding dengan perlakuan tunggal.

Sesan dkk (1993) melaporkan bahwa isolat *Fusarium lateritium* Nees non-patogen [*Gibberella baccata* (Wallr.) Sacc.] mempunyai kemampuan memparasit dan menekan pertumbuhan *F. oxysporum* dan *F. graminearum* dan memproduksi bahan penghambat antifungi.



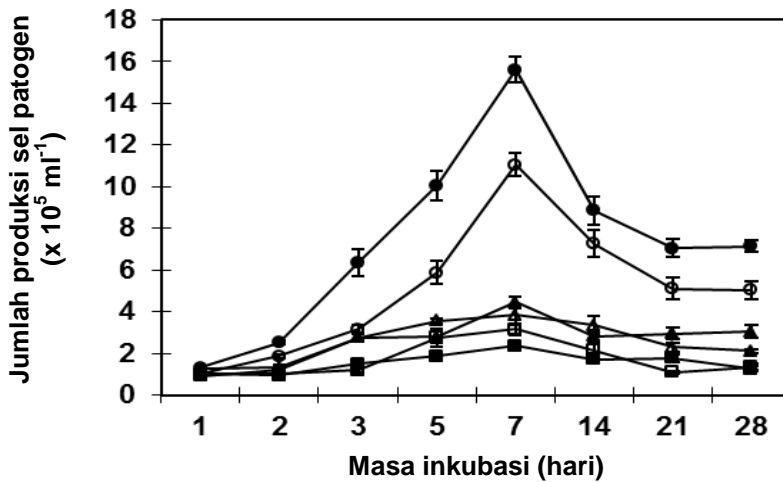
Gambar 7.3. Re-isolasi Hipovirulen binukleat *Rhizoctonia* (HBNR) pada penelitian aplikasi HBNR tunggal (hanya pada pot kecil saat pembibitan) (A) dan aplikasi HBNR ganda (aplikasi dilakukan pada pot kecil saat pembibitan dan pot besar saat bersamaan dengan tantangan patogen) (B) (Muslim dkk, 2003b).

Mekanisme lain hipovirulen patogen dalam menekan serangan penyakit tanaman adalah melalui induksi resistensi, seperti isolat *Fusarium oxysporum* non-patogen terhadap penyakit layu fusarium tanaman ubi rambat (Ogawa dan Komada, 1986). Muslim dkk (2003a dan 200c) melaporkan

penomena kemungkinan terjadinya induksi resistensi oleh HBNR terhadap penyakit fusarium. HBNR yang diintroduksi di dalam pot kertas kecil pada perlakuan benih tanaman tomat dan bayam, dapat memicu reaksi pertahanan pada benih tersebut sebelum dipindahkan ke pot besar yang sudah diinfestasi patogen. Reaksi pertahanan ini kemudian ditransfer ke seluruh akar, petiole atau daun sehingga dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangan patogen serta tingkat serangan penyakit busuk leher akar dan busuk akar fusarium tanaman tomat dan layu fusarium tanaman bayam.

Pada penelitian ini, dimana inokulasi HBNR dan patogen dilakukan pada tempat terpisah, re-isolasi HBNR sangat baik pada tempat dimana HBNR diinokulasikan, sementara re-isolasi sangat rendah pada bagian di luar pot kecil, yaitu di pot besar yang tidak diinokulasi HBNR, tapi hanya diinokulasi patogen saja. HBNR tidak terisolasi pada batang, yang mengindikasikan bahwa hifa HBNR tidak bergerak dari akar ke batang. Hasil ini mengindikasikan bahwa penelitian pada sistem ini, penekanan serangan penyakit tanaman oleh HBNR mungkin dengan mekanisme induksi resistensi, mengingat kompetisi antara HBNR dan patogen sangat kecil terjadi atau mungkin tidak terjadi, karena inokulasi HBNR dan patogen pada tempat terpisah. Pada pengamatan laboratorium dengan teknik *dual-culture*, ternyata HBNR tidak mempunyai mekanisme hiperparasit dan atau antibiosis terhadap *F. oxysporum* f.sp. *radicis lycopersici* dan *F. oxysporum* f.sp. *spinaciae*. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan (Cardoso dan Echandi 1987b; Sneh dkk. 1989), dimana HBNR tidak dapat menghambat pertumbuhan dan memparasit patogen *R. solani*, sehingga mekanisme lain seperti induksi resistensi merupakan mekanisme yang terjadi pada pengendalian hayati dengan HBNR.

Muslim dkk. (2003a) mengamati pengaruh ekstrak kasar tanaman yang diberi perlakuan HBNR dan diberi tantangan patogen, hasil penelitian menunjukkan bahwa, ekstrak batang pada tanaman yang diberi perlakuan HBNR dan diberi tantangan patogen *F. oxysporum* f.sp. *radicis lycopersici* tidak berkorelasi dengan skore tingkat keparahan penyakit (perubahan atau kerusakan jaringan vascular) terhadap perkecambahan spora dan panjang kecambah. Persentase penekanan perkecambahan spora dan panjang kecambah pada tanaman diberi perlakuan HBNR, masing-masing berkisar 49-79% dan 54-73%. Sementara pada ekstrak tanaman kontrol positif yang hanya diinokulasi patogen tidak berbeda nyata dibanding dengan tanaman control negatif yang hanya diberi air distilasi steril saja. Sementara pada uji ekstrak batang terhadap perkembangan pembentukan budding sel patogen *F. oxysporum* f.sp. *radicis lycopersici* memperlihatkan bahwa terjadi peningkatan yang cepat pada 7 hari pertama masa inkubasi, kemudian turun pada ekstrak kontrol positif dan control negatif, sementara pada ekstrak tanaman yang diberi perlakuan HBNR memperlihatkan adanya penekanan pembentukan budding sel selama penelitian (Gambar 7.4), hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada ekstrak tanaman yang diberi perlakuan HBNR terjadi peningkatan zat anti fungi yang dapat menghambat perkembangan dan produksi sel patogen.



Gambar 7.4. Pengaruh ekstrak batang tanaman diberi perlakuan Effect of stem extracts on the production of budding cells of *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (FORL). Ekstrak batang diambil 91 hari setelah inokulasi patogen. Ekstrak tanaman pada kontrol negatif (○ — ○), control positif (FORL) (●—●), HBNR W1 (□ — □), HBNR W1 (■—■), HBNR Rhv7 (△—△) and HBNR Rhv7 (▲—▲) yang berasal dari tanaman dengan masing skor keparahan penyakit skor 0, skor 3, skor 0, skor 2, skor 0 dan skor 3 (Muslim dkk, 2003a).

Akhir-akhir ini, Muslim dkk. (2019) membuktikan bahwa perlakuan hipovirulen Binucleate *Rhizoctonia* pada akar dan daun pertama tanaman timun, dan inokulasi patogen *Colletotrichum orbiculare* pada daun kedua, sehingga posisi inokulasi HBNR dan patogen pada tempat yang terpisah, hasilnya memperlihatkan bahwa HBNR dapat menginduksi

resistensi tanaman timun secara sistemik terhadap penyakit antraknose yang disebabkan oleh *Colletotrichum orbiculare*, melalui peningkatan akumulasi lignin dan peroxidase.

Ishiba dkk. (1981) mendemonstrasikan bahwa inokulasi awal dengan isolat *F. oxysporum* f. sp. *Cucumerinum* non-patogen dapat melindungi tanaman timun terhadap serangan penyakit *Colletotrichum lagenarium*. Biles dan Martyn (1989) melaporkan bahwa inokulasi awal akar tanaman semangka dengan isolat *F. oxysporum* f.sp. *niveum* non-virulen dapat menginduksi tanaman menjadi resisten baik secara lokal maupun sistemik terhadap serangan penyakit layu fusarium dan antraknose. Investigasi HBNR sebagai agensia penginduksi resistensi secara sistemik yang efektif pada kacang buncis terhadap serangan penyakit busuk akar yang disebabkan *Rhizoctonia solani* atau antraknose oleh *C. lindermuthianum* (Xue dkk., 1998).

Secara umum, induksi resistensi secara sistemik pada tanaman diekspresikan sejumlah respon sistem pertahanan dengan produksi enzim perusak dinding sel seperti kitinase dan 1,3- β -glukanase (Lowton dan Lamb, 1987), sintesis fitoaleksin (Ebel, 1986), penguatan dinding sel melalui peningkatan aktivitas peroksidase (Hammerschmidt dan Kuc, 1982; Hammerschmidt dkk., 1982) dan peningkatan akumulasi lignin, callose, dan hydroxyproline-rich glycoprotein (Hammerchmidt dkk., 1984; Hammerchmidt dan Kuc, 1982).

Villajuan-Abgona dkk. (1996b), mengamati bahwa perlindungan oleh binukleat non-patogen *Rhizoctonia* (isolat W7) dengan mendegradasi lapisan kutikula pada permukaan epidermis tanaman timun. Permukaan epidermis menjadi tertutup oleh lapisan tipis dari bahan kental yang bereaksi positif dengan pewarnaan phenyl thionin yang termasuk zat pectic. Lapisan bahan kental tersebut terbentuk dari degradasi

produk pektin dinding sel tanaman oleh isolat non-patogen. Pektin oligomer terlepas oleh aktivitas enzim pectolytic dari isolat *Rhizoctonia* non-patogen yang memicu reaksi pertahanan tanaman. Pada lapisan bahan kental tersebut terlihat bahwa hifa kedua isolate *Rhizoctonia* baik yang non-patogen maupun patogen menjadi lisis. Lisis pada hifa ini disebabkan oleh enzim lytic dinding sel tanaman yang diinduksi oleh isolat non-patogen dan atau oleh enzim lytic yang dikeluarkan fungi. Kondisi ini menyebabkan kedua isolat non-patogen dan patogen tidak dapat memfenetrasi epidermis sel. Interaksi isolat non-patogen *Rhizoctonia* pada hipokotil menyebabkan menurunnya kemampuan patogen *R. solani* membentuk struktur infeksi seperti apresorium dan tabung infeksi.

Mekanisme lain yang cukup menarik dari pengendalian hayati dengan menggunakan hipovirulen atau a-virulen/non-patogen adalah dengan adanya transmisi dsRNA mikovirus yang membawa sifat hipovirulen. Penomena ini sangat menarik dan unik, Van Alfen (1982) mengamati tanaman *chestnut*, dimana terjadi penurunan secara alami serangan penyakit *chestnut blight* (*Cryphonectria parasitica*) yang disebabkan adanya transmisi dsRNA mikovirus sehingga menyebabkan virulensi patogen *Cryphonectria parasitica* menjadi hipovirulen (Van Alfen, 1982).

Lee dkk (2011) juga menemukan adanya transmisi dsRNA mikrovirus (FgV1-DK21 dsRNA) dari *Fusarium boothii* (awalnya *F. graminearum* strain DK21) yang bersifat hipovirulen ke strain penerima fungi patogen yang bersifat virulen *F. graminearum*, *F. asiaticum*, *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*, dan *Cryphonectria parasitica*, melalui penyatuan protoplas (*protoplast fusion*), menghasilkan fungi patogen yang semula bersifat virulen *Fusarium* spp. dan *C. parasitica* menjadi berkurang virulensinya (hipovirulen), fungi yang hipovirulen ini memiliki

karakteristik pertumbuhannya kurang dan warna figmentasi isolatnya berubah kurang terang.

Hipovirus, dsRNA mikovirus, dapat ditransmisi dari strain yang bersifat hipovirulen ke strain yang bersifat virulen melalui penyatuan hifa kedua fungi tersebut (anastomosis) yang biasanya terjadi pada strain yang secara vegetatif kompatibel, banyaknya strain yang tidak kompatibel secara vegetatif di ekosistem alam, menyebabkan tantangan dan penghambat dalam menggunakan hipovirus sebagai agensia pengendali hayati (Leslie, 1993; Chen dkk., 1996).

Jadi kalau dikelompokkan isolat hipovirulen dibagi 2 kelompok berdasarkan mekanismenya, golongan pertama karena adanya tranmisi dsRNA mikovirus (penyebab terjadinya sifat hipovirulen pada patogen), dimana fungi yang hipovirulen yang mengandung dsRNA mikovirus memindahkan dsRNA mikrovirusnya ke fungi patogen yang virulen melalui peleburan (fusion) diantara fungi tersebut. Sementara golongan yang kedua tidak melalui transmisi dsRNA tetapi melalui mekanisme kompetisi dan induksi resistensi.

Isolat hipovirulen dapat dibagi menjadi 2 golongan yaitu;

- 1) Isolat hipovirulen karena transmisi dengan dsRNA; *Ustilago maidis* (Koltin dan Day, 1976), *Rhizoctonia solani* (Castanho dkk., 1978), *Cryphonectria parasitica* (Van Alfen, 1982), *Ceratocystis ulmi* (Pusey and Wilson, 1982), *Leucostoma persoonii* (Hammer dkk., 1989); *Fusarium boothii* (awalnya *F. graminearum* strain DK21) (Lee dkk., 2011).
- 2). Isolat hipovirulen bukan karena transmisi dsRNA; *Rhizoctonia* spp. (Burpee dan Goulty, 1984), *Fusarium oxysporum* (Ogawa dan Komada, 1986), *Pythium* spp. (Deacon dan Henry, 1978), *Alternaria* sp

(Spurr, 1977), *Penicillium funiculosum* (Lim dan Roberbach, 1980), *Erysiphe graminis* (Martinelli, 1990), *Colletotrichum magna* (Freeman dan Rodriguez, 1993), *Phytophthora parasitica* (Holmes dan Benson, 1994), *Aspergillus flavus* (Cotty, 1994), *Septoria tritici* (Steindk. 1994), and *Gaeumannomyces graminis* (Duffy dan Weller, 1995).

PENGENDALIAN HAYATI PATOGEN TANAMAN DENGAN ISOLAT HIPOVIRULEN

Banyak penelitian yang sudah dilakukan dalam mengeksplorasi hipovirulen patogen sebagai agensia hayati, isolat non-patogen sebagai agensia yang sangat efektif sebagai agensia pengendali hayati patogen tanaman. Isolat *Fusarium oxysporum* non-patogen sangat efektif untuk mengendalikan penyakit layu fusarium tanaman tomat serta layu verticillium tanaman terong (Yamaguchi dkk., 1992), dan penyakit layu verticillium pada tanaman tomat (Amemiya dkk., 1989). Ishiba dkk. (1981), menemukan bahwa inokulasi awal dengan isolat *Fusarium oxysporum* f.sp. *cucumerinum* non-patogen dapat melindungi tanaman timun dari serangan penyakit antraknose yang disebabkan oleh *Colletotrichum lagenarium*.

Penemuan hipovirulen *Cryphonectria parasitica* yang mengandung mikrovirus dapat ditransmisi ke patogen virulen *Cryphonectria parasitica* melalui anastomosis hifa atau peleburan hifa keduanya antara hipovirulen *Cryphonectria parasitica* dan virulen *Cryphonectria parasitica*. Peristiwa ini sangat unik, pengamatan ini dimulai, pada tahun 1904, tanaman *Chestnut* (*Castanea dentata*) di Amerika Utara biasa sering terjadi kerusakan karena epidemik serangan penyakit *chestnut blight*. Selanjutnya pada sekitar tahun 1930an, penyakit *Chestnut blight* dengan gejala yang sama terjadi epidemik dan merusak

tanaman *Chestnut* di Eropa, tetapi setelah 15 tahun, terjadi peristiwa yang unik, tanaman *Chestnut* yang terserang chestnut blight tersebut terjadi penyembuhan secara alami, khususnya ditemukan pada tanaman *Chesnut* di Italia. Kemudian pada tahun 1960an, ahli mikologi Francis mengisolasi *C. parasitica* pada tanaman *Chestnut* yang sembuh secara alami tersebut, yang ternyata mempunyai sifat fenotif hipovirulen.

Sifat hipovirulen tersebut dapat ditransmisi ke *C. parasitica* yang virulen melalui anastomosis hifa (peleburan hifa) sehingga *C. parasitica* yang virulen tersebut menjadi hipovirulen. Sehingga penemuan ini membuat ahli penyakit tanaman mendesign aplikasi hipovirulen *C. parasitica* tersebut sebagai agensia pengendali hayati dalam menekan dan menurunkan epidimik penyakit *Chestnut blight* (Van Alfen, 1982). Day dkk. (1977) menemukan bahwa isolat hipovirulen *C. parasitica* mengandung *double stranded* (ds) RNA) yang membawa sifat hipovirulen fungi tersebut. Seiring dengan waktu, banyak penelitian yang dilakukan sehubungan dengan sifat hipovirulen *C. parasitica*, ternyata hasilnya memperlihatkan adanya variasi yang beragam baik dari jumlah, ukuran maupun konsentrasi fungi hipovirulen *C. parasitica* yang berasosiasi dengan dsRNA mikrovirus. Kondisi ini menjadikan ilmu molecular biologi sangat penting dalam mengaplikasikan hipovirulen *C. parasitica* sebagai agensia hayati.

Isolat *Rhizoctonia* hipovirulen atau non-patogen dan Binucleate *Rhizoctonia* sangat efektif dalam menekan serangan penyakit *damping-off Rhizoctonia* pada tanaman kapas, lobak, gandum, mentimun (Honeycutt dan Benson., 2001; Ichielevich-Auster dkk., 1985b; Villajuan-Abgona, 1995), dan penyakit *Rhizoctonia* yang lain seperti brown patch of creeping bentgrass, busuk akar pada snap bean, banded leaf dan sheath blight pada

jagung (Burpee dan Goulty, 1984; Cardoso dan Echandi, 1987a; Pascual dkk., 2000).

Ichielevich-Auster dkk. (1985b) melaporkan bahwa, isolat non-patogen *Rhizoctonia* hanya dapat melindungi serangan penyakit *Rhizoctonia*. Tetapi Beberapa penelitian melaporkan bahwa, isolat *Rhizoctonia* non-patogen tidak hanya mampu menekan penyakit yang disebabkan patogen *Rhizoctonia*, tetapi juga penyakit dari genus lain, isolat *Rhizoctonia* non-patogen sangat efektif menekan serangan *damping-off* pada tanaman cabai dan celosia yang disebabkan oleh *Pythium ultimum* (Harris dkk., 1993), black-shank pada tanaman tembakau yang disebabkan oleh *Phytophthora parasitica* var. *nicotianae* (Cartwright dan Spurr, 1998).

Selanjutnya Muslim dan group risetnya melaporkan bahwa hipovirulen binucleat *Rhizocotnia* sangat efektif menekan penyakit fusarium tanaman tomat dan bayam dengan mekanisme kolonisasi ruang infeksi dan induksi resistensi. Muslim dkk. (2003a) dalam penelitiannya menemukan bahwa isolat hipovirulent binucleate *Rhizoctonia* (HBNR) sangat efektif menekan serangan penyakit fusarium *crown and root rot* (FCRR) pada tanaman tomat yang disebabkan *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (FORL) baik pada sistem pertanian dengan tanah maupun dengan sistem hidroponik dengan *rock wool* sistem. Pada penelitian di rumah kaca, 3 penelitian dilakukan, HBNR isolates L2, W1, W7 and Rhv7, menekan serangan atau kerusakan jaringan pembuluh oleh penyakit fusarium *crown and root rot* (FCRR) pada tanaman tomat dengan persentase penekanan 89-93%, 94-100%, 89-100%, dan 89-100% (Tabel 7.1). HBNR juga menekan kerusakan pada akar dengan persentase penekanan masing-masing 62-77%, 71-77%, 72-77%, dan 78-781%. Pada penelitian yang dilakukan di lapangan seperti sistem pertanian yang dilakukan petani dengan infestasi

patogen pada tanah, HBNR isolat W1 masih dapat menekan kerusakan pada jaringan vascular/cortex/xylem sampai 133 hari setelah inokulasi patogen dengan persentase penekan 60% dan juga meningkatkan jumlah produksi tomat yang dapat dipasarkan (Tabel 7.2).

Pada penelitian dengan sistem hidroponik dengan menggunakan *rock wool* sistem, HBNR isolat juga sangat efektif menekan serangan FCRR (Gambar 7.5). Pada penelitian 1, HBNR L2, W1, W7, dan Rhv7 sangat signifikan menekan serangan FCRR dengan persentase penekanan masing-masing berkisar 44-90%, 85-100%, 85-100%, dan 77-100% (Gambar 7.5.A). Pada penelitian 2, aplikasi HBNR W1 dan Rhv7 menghasilkan penekanan serangan FCRR. Penekanan yang tertinggi terjadi pada 83-110 hari setelah inokulasi patogen, setelah itu persentase penekanan menurun dengan semakin tuanya umur tanaman. Persentase penekanan HBNR W1 dan Rhv7 masing-masing berkisar 41-100% dan 47-100% (Gambar 7.5.B). Pada penelitian 3 dan 4, aplikasi HBNR W1 dan Rhv7 menekan serangan FCRR sangat sempurna 100% (Gambar 7.5.C dan 7.5.D). Dalam penelitian dengan sistem hidroponik, aplikasi HBNR juga meningkatkan produksi buah yang dapat dipasarkan dan total hasil tanaman tomat masing-masing sebanyak 70 dan 73%.

Table 7.1. Pengaruh hipovirulent binucleate *Rhizoctonia* (HBNR) terhadap keparahan penyakit Fusarium crown and root rot tanaman tomat yang disebabkan *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (FORL) pada kerusakan jaringan pembuluh di greenhouse (Muslim dkk., 2003a).

Perlakuan	Discoloration severity		
	Experimen 1	Experimen 2	Experimen 3
Kontrol	0.0 a ^a	0.0 a	0.0 a
Pathogen	35.4 b	29.9 b	43.8 b
HBNR L2	2.1 a	1.1 a	4.2 a
HBNR W1	0.0 a	0.0 a	2.1 a
HBNR W7	0.0 a	0.0 a	4.2 a
HBNR Rhv7	0.0 a	0.0 a	4.2 a

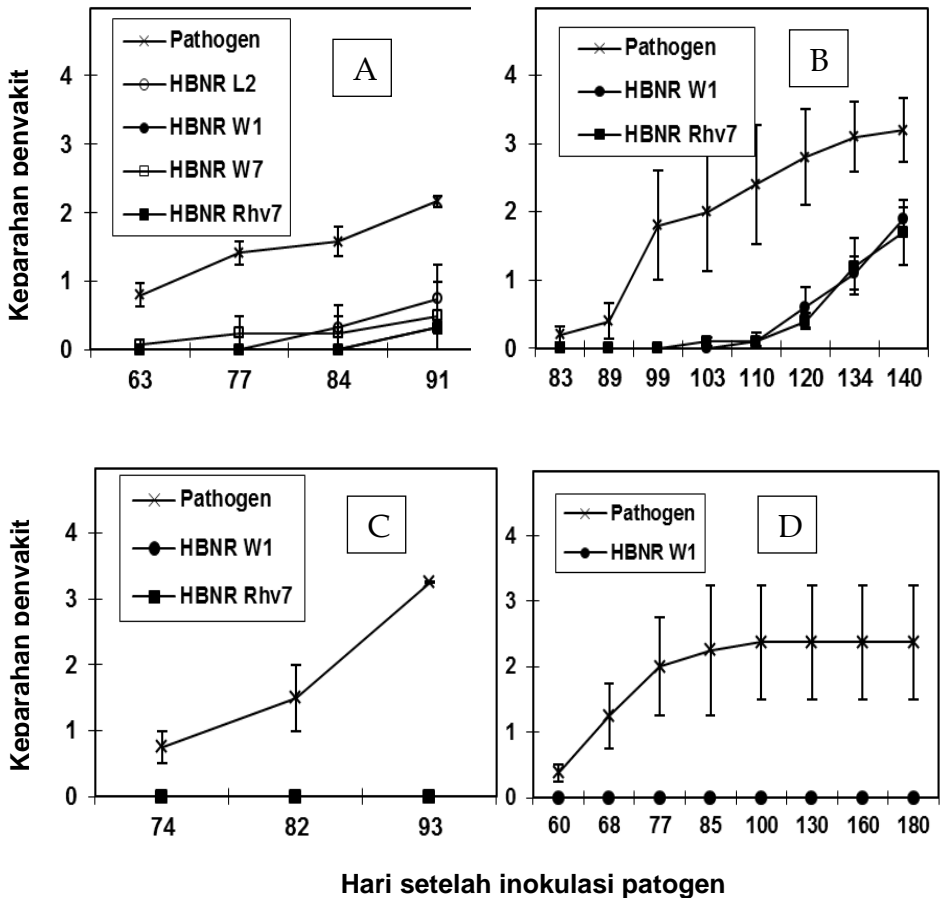
^a Nilai yang diikuti oleh huruf yang sama berarti tidak berbeda nyata ($P = 0.01$) berdasarkan uji Duncan's multiple range test.

Table 7.2. Pengaruh hipovirulent binucleate *Rhizoctonia* (HBNR) terhadap keparahan penyakit Fusarium crown and root rot tanaman tomat yang disebabkan *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (FORL) terhadap kerusakan jaringan pembuluh pada pengujian di lapangan yang budidaya yang dilakukan petani^a (Muslim dkk, 2003a).

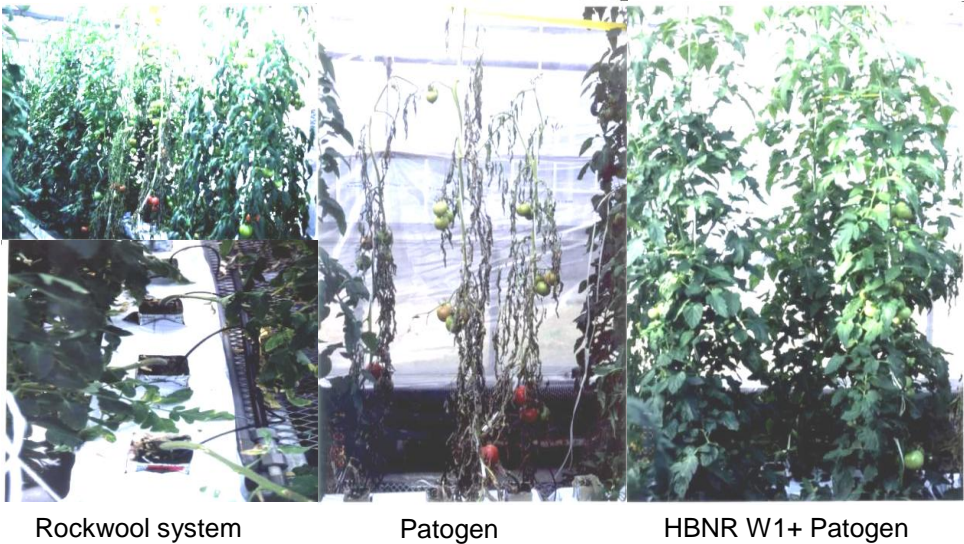
Perlakuan	Discoloration Severity	Marketable yield plant ⁻¹		Total yield plant ⁻¹	
		Jumlah	Berat (g)	Jumlah	berat (g)
Control	6.2 a ^b	8.3 a	746 a	45.3 a	8790 a
Pathogen	31.4 b	9.7 a	1783 a	36.3 a	5366 a
HBNR W1	9.2 a	12.4 b	2129 a	40.5 a	7531 a

^a Benih yang telah diberi perlakuan (umur 35 hari) dipindahkan pada lahan yang telah diinfestasi patogen FORL. Data diambil 133 hari setelah inokulasi FORL. Isolat HBNR diaplikasikan dalam bentuk inokulasi biji barley.

^b Nilai yang diikuti oleh huruf yang sama berarti tidak berbeda nyata ($P = 0.01$) berdasarkan uji Duncan's multiple range test.

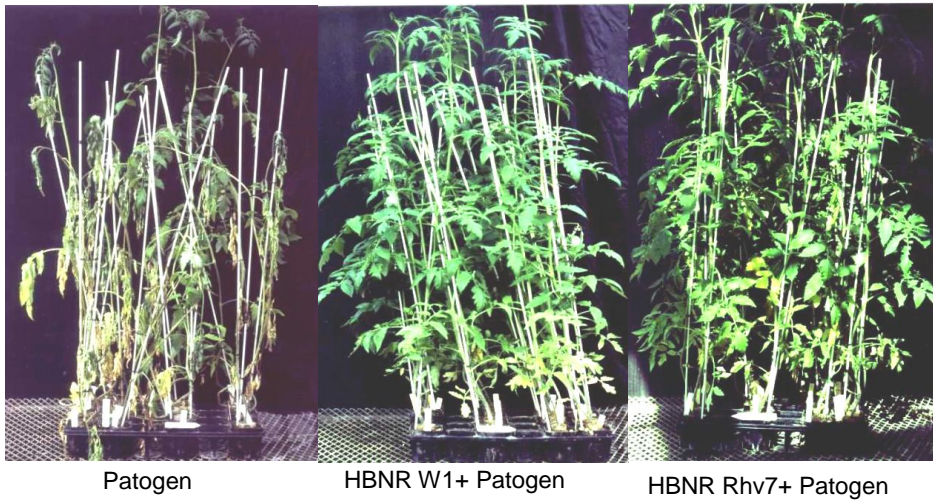


Gambar 7.5. Pengaruh hipovirulent binucleate *Rhizoctonia* (HBNR) terhadap keparahan penyakit *Fusarium* crown and root rot tanaman tomat (Gejala layu) yang disebabkan *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (FORL) pada sistem pertanian hidroponik dengan menggunakan rockwool, pada eksperimen 1 (A), eksperimen 2 (B), eksperimen 3 (C), dan eksperimen 4 (D). Keparahan penyakit dihitung dengan skor 0-4; 0= tanaman sehat; 1 = daun kuning; 2; layu ringan; 3 = layu berat; 4 = tanaman mati (Muslim dkk, 2003a).



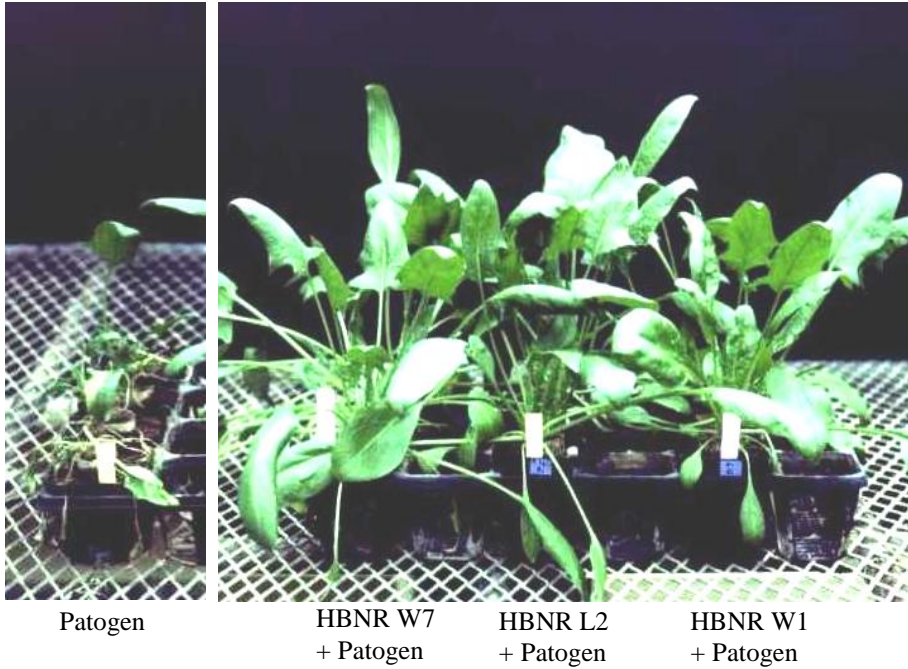
Gambar 7.6. Pengaruh hipovirulent binucleate *Rhizoctonia* dalam menekan serangan penyakit fusarium crown and root rot tanaman tomat yang disebabkan oleh *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* pada pertanian hydroponik dengan rockwool system.

Pada penelitian lain Muslim dkk (2003b) melaporkan bahwa, aplikasi tunggal HBNR pada pot kecil saat pembibitan, tidak semua HBNR mampu secara signifikan menekan serangan layu fusarium tanaman tomat, dari 3 kali penelitian, hanya HBNR W7 sangat signifikan menekan keparahan penyakit. Pada aplikasi ganda, aplikasi HBNR pada saat pembibitan dan aplikasi HBNR di pot besar bersama-sama dengan inokulasi patogen, menunjukkan bahwa semua isolate HBNR yang diuji, secara konsisten menekan serangan keparahan penyakit selama penelitian (Gambar 7.7).

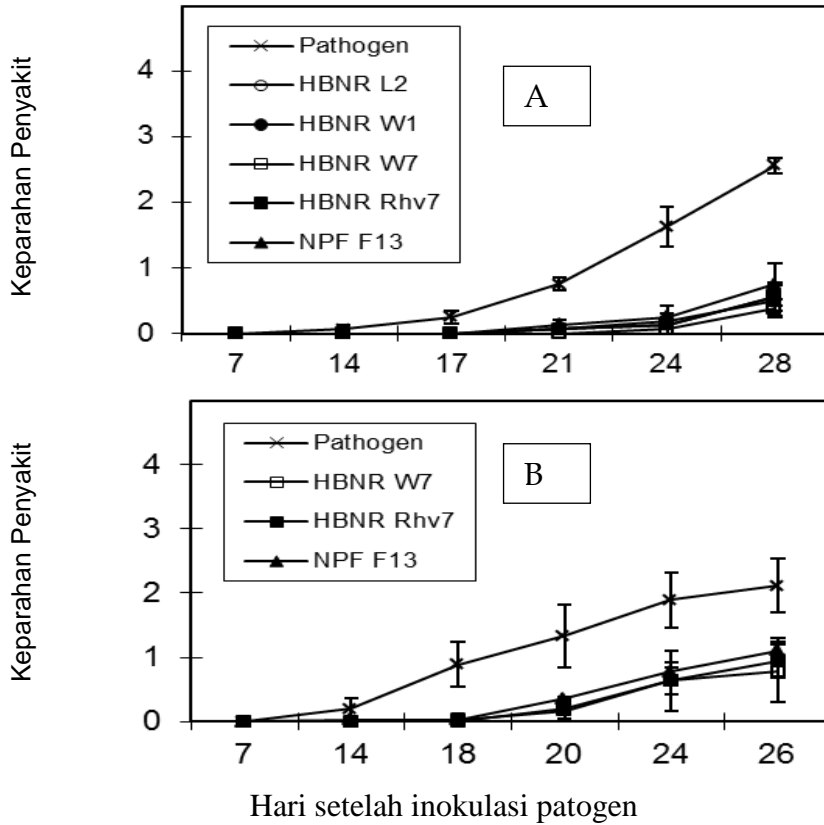


Gambar 7.7. Pengaruh hipovirulent binucleate *Rhizoctonia* dalam menekan serangan penyakit fusarium wilt tanaman tomat yang disebabkan oleh *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*.

Muslim dkk. (2003c) juga melaporkan bahwa aplikasi HBNR juga sangat efektif menekan serangan penyakit layu fusarium tanaman bayam (Gambar 7.8). Pada penelitian 1, aplikasi HBNR L2, W1, W7, dan Rhv7 menekan serangan keparahan penyakit masing-masing berkisar 78-100%, 81-100%, 85-100%, dan 78-100% (Gambar 7.9). Maksimal penekanan diamati pada hari ke 24 setelah inokulasi patogen, setelah itu penekanan penyakit menurun dengan meningkatnya umur tanaman. Pada penelitian 2, aplikasi HBNR W7 dan Rhv7 sangat signifikan menekan serangan penyakit layu fusarium tanaman bayam, masing-masing berkisar antara 63-100% dan 56-100% (Gambar 7.9), dan maksimal penekanan pada hari ke 20 setelah inokulasi patogen, selanjutnya menurun dengan meningkatnya umur tanaman.



Gambar 7.8. Pengaruh hipovirulent binucleate *Rhizoctonia* dalam menekan serangan penyakit fusarium wilt tanaman bayam yang disebabkan oleh *Fusarium oxysporum* f. sp. *spinaciae*.



Gambar 7.9. Pengaruh perlakuan hipovirulent binucleate *Rhizoctonia* (HBNR) terhadap keparahan penyakit layu *Fusarium* tanaman bayam yang disebabkan *Fusarium oxysporum* f. sp. *spinaciae* pada penelitian rumah kaca (A) dan penelitian di rumah plastik modifikasi seperti yang dilakukan petani (B). Keparahannya penyakit dihitung dengan skor 0-4; 0= tanaman sehat; 1 = daun kuning; 2; layu ringan; 3 = layu berat; 4 = tanaman mati (Muslim dkk., 2003c).

Penghambat terbesar aplikasi agensia hayati di lapangan adalah jumlah target patogen yang dapat dikendalikan sangat terbatas. Tetapi dari hasil laporan penelitian-penelitian yang sudah dilakukan diatas, ternyata isolat HBNR tidak hanya dapat mengendalikan penyakit yang sama genus yaitu patogen *Rhizoctonia* tetapi juga dapat mengendalikan patogen lain yang tidak sejenis seperti: *F. oxysporum* f. sp. *lycopescici* (Muslim dkk., 2003b), *F. oxysporum* f. sp. *radicis-lycopescici* (Muslim dkk., 2003a), *P. ultimum* var. *sporangiiiferum* (Harris dkk. 1993) and *Phytophthora parasitica* var. *nicotianae* (Cartwright and Spurr 1998). Hasil penelitian tersebut menjanjikan potensi yang sangat besar sebagai agensia hayati potensial dalam mengendalikan berbagai penyakit. Selanjutnya isolat HBNR dapat dijumpai dan diisolasi dimana-mana, bersifat non-patogen secara alami, kemampuan kolonisasi pada akar dan tanah sangat agresif, dan toleran terhadap kondisi lingkungan kurang baik (Martin dkk. 1983, Burpee dan Goultly 1984, Cardoso dan Echandi 1987b, Cubeta dkk. 1991).

DAFTAR PUSTAKA

- Amemiya Y., Koike M. and Hirano K. 1989. Suppression of Verticillium wilt in tomato by non-pathogenic isolates of *Fusarium oxysporum*. Soil Microorganisms 33, 27-34.
- Burpee, L.L. and Goultly, L.G. 1984. Suppression of brown patch disease of creeping bentgrass by isolates of nonpathogenic *Rhizoctonia* spp. Phytopathology 74, 692-694.
- Bell, A.A. and Wheeler, MH. 1986. Biosynthesis and fungsions of melanin. Annu. Rev. Phytopathol. 24:411-451.
- Biles, C.L. and Martyn, R.D. 1989. Local and systemic resistance induced in watermelons by formae speciales of *Fusarium oxysporum*. Phytopathology, 79, 856-860.

- Burpee, L.L. and Goultly, L.G. 1984. Suppression of brown patch disease of creeping bentgrass by isolates of nonpathogenic *Rhizoctonia* spp. *Phytopathology* 74: 692-694.
- Cardoso, J.E. and Echandi, E. 1987a. Biological control of *Rhizoctonia* root rot of snap bean with binucleate *Rhizoctonia*-like fungi. *Plant Dis.* 71, 167-170.
- Cardoso, J.E. and Echandi, E. 1987b. Nature of protection of bean seedlings from *Rhizoctonia* root rot by a binucleate *Rhizoctonia*-like fungus. *Phytopathology* 77: 1548-1551.
- Cartwright, D.K. and Spurr, H.W.Jr. 1998. Biological control of *Phytophthora parasitica* var. *nicotianae* on tobacco seedlings with non-pathogenic binucleate *Rhizoctonia* fungi. *Soil Biol. Biochem.* 30, 1879-1884.
- Castanho, B. Butler, E.E. and Shepperd, R.S. 1978. The association of ds-RNA with *Rhizoctonia* decline. *Phytopathology*, 68: 1511-1519.
- Chen B, Chen C-H, Bowman BH, Nuss DL 1996. Phenotypic changes associated with wild-type and mutant hypovirus RNA transfection of plant pathogenic fungi phylogenetically related to *Cryphonectria parasitica*. *Phytopathology* 86: 301-310.
- Cotty, P.J. 1994. Influence of field application of an atoxigenic strain of *Aspergillus flavus* on the populations of *A. flavus* infecting cotton balls and on the aflatoxin content of cottonseed. *Phytopathology*, 84: 1270-1277.
- Cubeta, M.A., Echandi, E. and Gumpertz, M.L. 1991. Survival of binucleate *Rhizoctonia* species, biological control agensiats, in soil and plant debris under field conditions. *Biol. Control* 1, 218-226.
- Cubeta, M.A. Echandi, E. and Sun, M.L. 1995. Biological control of *Rhizoctonia* diseases with binucleates *Rhizoctonia* spp.

- International Symposium on *Rhizoctonia*, Facts and challenges in Pathology, Taxonomy, Ecology and Disease Control. June 27-30, Abstr. No. P-8- 16. Noordwijkerhout, The Netherlands.
- Day, P.R. Dodds, J.A., Elliston, J.E., Jaynes, R.A., and Anagnostakis, S.L. 1977. Double-stranded RNA in *Endothia parasitica*. *Phytopathology* 67:1393-1396.
- Deacon, J.W. and Henry, C.M. 1978. Mycoparasitism by *Pythium oligandrum* and *P. achanticum*. *Soil Biol. Biochem.* 10: 409-415.
- Duffy, B.K. and Weller, D.M. 1995. Use of *Geaumannomyces graminis* var. *tritici* alone and in combination with *Fluorescent Pseudomonas* spp. to suppress take-all of wheat. *Plant Dis.* 79: 907-901.
- Escande, A.R. and Echandi, E. 1991. Protection of potato from *Rhizoctonia* canker with binucleate *Rhizoctonia* fungi. *Plant pathol* 40: 197-202.
- Freeman, S. and Rodriguez, R 1993. Genetic conversion of fungal plant pathogen to nonpathogenic, epiphytic mutualist. *Science*, 260: 75-78.
- Graham, J.H., Colburn, G.C., Chung, K, -R., and Cubero, J. 2012. Protection of citrus roots against infection by *Phytophthora* spp. by hypovirulent *P. nicotianae* is not related to induction of systemic acquired resistance. *Plant Soil* 358:39-49 DOI 10.1007/s11104-011-1119-x
- Hammerschmidt, R. and Kuc, J. 1982. Lignification as a mechanism for induced systemic response in cucumber. *Physiol. Plant Pathol.* 20, 61-71.
- Hammerschmidt, R., Nuckles, E. and Kuc, J. 1982. Association of peroxidase activity with induced systemic resistance in cucumber to *Colletotrichum lagenarium*. *Physiol. Plant Pathol.* 20, 73-82.

- Hammerschmidt, R., Lamport, D.T.A. and Muldon, E.P. 1984. Cell wall hydroxyproline enhancement and lignin deposition as an early event in the resistance of cucumber of *Cladosporium cucumerum*. *Physiol. Plant Pathol.* 20, 43-47.
- Hammer, S. Fulbright, D.W. and Adams, G. 1989. Association of double stranded RNA with low pathogenicity of *Leucostoma personii*. *Phytopathology*, 79: 568-572.
- Harris, A.R., Schisler, D.A. and Ryder, M.H. 1993). Binucleate *Rhizoctonia* isolates control damping-off caused by *Pythium ultimum* var. *sporangiferum*, and promote growth in *Capsicum* and *Celosia* seedlings in pasteurized potting medium. *Soil Biol. Biochem.* 25, 909-914.
- Holmes, K.A. and Benson, D.M. 1994. Evaluation of *Phytophthora parasitica* var. *nicotianae* for biocontrol of *Phytophthora parasitica* on *Catharanthus roseus*. *Plant Dis.*, 78: 193-199.
- Honeycutt, E.W. and Benson, D.M. .2001. Formulation of binucleate *Rhizoctonia* spp. and biocontrol of *Rhizoctonia solani* on impatiens. *Plant Dis.* 85, 1241-1248.
- Ichielevich-Auster, M., Sneh, B., Koltin, Y. and Barash, I. 1985a. Pathogenicity, host specificity and anastomosis groups of *Rhizoctonia* spp. isolated from soils in Israel. *Phytoparasitica* 13, 103-112.
- Ichielevich-Auster, M., Sneh, B., Koltin, Y. and Barash, I. 1985b. Suppression of damping-off caused by *Rhizoctonia* species by a non-pathogenic isolate of *R. solani*. *Phytopathology* 75, 1080-1084.
- Ishiba, C., Tani, T. and Murata, M. 1981. Protection of cucumber against anthracnose by a hypovirulent strain of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum*. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 47, 352-359.

- Koltin, Y. and Day, P. 1976. Inheritance of killer phenotype and double stranded RNA in *Ustilago maidis*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 73: 594-598.
- Lee, K-M., Yu, J., Son, M., Lee, Y-W, Kim, K-H. 2011. Transmission of *Fusarium boothiimycovirus* via protoplast fusion causes hypovirulence in other phytopathogenic fungi. PLoS ONE 6 (6):1-9
- Leslie, J.F. 1993. Fungal vegetative compatibility. Annu Rev Phytopathol 31: 127-150.
- Lim, T-K. and Rohrbach, K.G. 1980. Role of *Penicillium funiculosum* strains in the development of pineapple fruit diseases. Phytopathology, 70: 663-665.
- Louter, J.H. and Edgington, L.V. 1990. Indication of cross-protection against fusarium crown and root rot of tomato. Can. J. Plant Pathol. 12, 283-288.
- Lowton, M.A. and Lamb, C. 1987. Transcriptional activation of plant defense genes by fungal elicitors, wounding and infection. Mol. Cell Bio. 7, 335-341.
- Martin, S.B., Campbell, C.L. and Lucas, L.T. 1983. Horizontal distribution and characterization of *Rhizoctonia* spp. in tall fescue turf. Phytopathology 68, 145-148.
- Martinelli, J.A. 1990. Induced resistance of barley (*Hordeum vulgare* L.) to powdery mildew (*Erysiphe graminis* DC: FR. f. sp. *hordei*) and its potential for crop protection. PhD Thesis Univ. of Cambridge
- Muslim, A., Hyakumachi, M., KAGEYAMA, K., Suwandi, S. 2019. Induction of systemic resistance in cucumber by hypovirulent binucleate *Rhizoctonia* against anthracnose caused by *Colletotrichum orbiculare*. Tropical Life Sciences Research 30: 109-122.
- Muslim, A., Horinouchi, H., Hyakumachi, M. 2003a Control of *Fusarium* crown and root rot of tomato with hypovirulent

- binucleate *Rhizoctonia* in soil and rock wool systems. *Plant Disease* (87):739-747.
- Muslim, A., Horinouchi, H., Hyakumachi, M. 2003b. Biological Control of Fusarium Wilt of Tomato with Hipovirulent binucleate *Rhizoctonia* in Greenhouse Conditions. *Mycoscience* 44: 77-84.
- Muslim, A., Horinouchi, H., Hyakumachi, M. 2003c. Suppression of Fusarium Wilt of Spinach with Hipovirulent Binucleate *Rhizoctonia*. *Journal of General Plant Pathology* 69: 143-150.
- Ogawa, K dan Komada, H. 1986. Induction of systemic resistance against Fusarium wilt of sweet potato with non-pathogenic *Fusarium oxysporum*. *Ann. Phytopathol Soc. Jpn.* 50:1-9.
- Pascual, C.B., Raymundo, A.D. and Hyakumachi, M. 2000. Efficacy of hipovirulent binucleate *Rhizoctonia* sp. to control banded leaf and sheath blight in corn. *J. Gen. Plant Pathol.* 66: 95-102.
- Pusey, P.L. and Wilson, C.L. 1982. Detection of double stranded RNA in *Ceratocystus ulmi*. *Phytopathology* 72: 423-428.
- Sesan, T. Oprea, M. and Baicu, T. 1993. Studies on the mycoparasitic fungus *Fusarium lateritium* Nees [Gibberella baccata (Wallr.) Sacc.]: Biological control agensiat to be used against plant pathogenic fungi. *Stud. Cerac. Biol. Vegetal.* 44: 85-192.
- Sneh, B., Burpee, L.L., and Ogosi, A. 1991. Identification of *Rhizoctonia* species. APS Press. St. Paul Minnesota. pp. 133.
- Sneh, B., Ichievich-Auster, M. and Shomer, I. 1989. Comparative anatomy of colonization of cotton hypocotyls and roots by virulent and hypovirulent isolates of *Rhizoctonia solani*. *Can. J. Bot.* 67, 2142-2149.
- Sneh, B. 1996. Non pathogenic isolates of *Rhizoctonia* spp. (np-

- R) and their role in biological control. In: Sneh, B., Jabaji-Hare, S., Neate, S. and Dijst, G. [eds] *Rhizoctonia* species: Taxonomy, Ecology, Pathology and Disease Control. pp. 473-483. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.
- Sneh, B. (1998). Use of non-pathogenic or hipovirulent fungal strains to protect plants against closely related fungal pathogens. *Biotechnology Advances* 16, 1-32.
- Spurr, W.H. 1977. Protective application of non- pathogenic *Alternaria* sp. isolates for control of tobacco brown spot disease. *Phytopathology*, 67, 128-132.
- Stein, T. Schuster, S. Zilberstein, A. Pnini-Cohen, S. Eyal, Z. 1994. The suppression of Pycnidial production on wheat following challenge inoculation by *Septoria tritici* isolates. (Abstr.) *Phytopathology*, 84: 1100.
- Van Alfen NK. 1982. Biology and potential for disease control with hipovirulence *Endothia parasitica*. *Annu. riview phytopathology* 20:349-362.
- Villajuan-Abgona, R. (1995). Application of hypovirulent *Rhizoctonia* spp. for biological control of *Rhizoctonia* damping-off disease of cucumber and its associated mechanism. PhD. Thesis. The United Graduate School of Agricultural Science, Science of Biological Environment, Gifu University, Japan.
- Villajuan-Abgona, R., Katsuno, N., Kageyama, K. and Hyakumachi, M. 1996a. Isolation and identification of hipovirulent *Rhizoctonia* spp. from soil. *Plant Pathol.* 45, 896-904.
- Villajuan-Abgona, R., Kageyama, K. and Hyakumachi, M. 1996b. Biocontrol of *Rhizoctonia* damping-off of cucumber by non-pathogenic binucleate *Rhizoctonia*. *Eur. J. Plant Pathol.* 102: 227-235.

- Xue, L., Charest, P.M. and Jabaji-Hare, S.H. 1998. Systemic induction of peroxidases, 1,3- β -glucanases, chitinases, and resistance in bean plants by binucleate *Rhizoctonia* species. *Phytopathology* 88, 359-365.
- Yamaguchi, K., Sano, T., Arita, M. and Takahashi, M. (1992). Biocontrol of fusarium wilt of tomato and verticillium wilt of eggplant by non-pathogenic *Fusarium oxysporum* MT0062. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 58, 188-194

BAB 8
TRICHODERMA SEBAGAI AGENSIA
PENGENDALIAN HAYATI

PENDAHULUAN

Trichoderma spp. adalah jamur anaerobik, fakultatif dan sangat umum yang dapat ditemukan dalam jumlah besar di tanah pertanian dan di substrat lain seperti kayu yang membusuk (Irina & Christian, 2004). *Trichoderma* termasuk kedalam sub divisi Deuteromycetes, jamur yang tidak memiliki perkembangbiakan seksual yang karena sebagian besar strain disesuaikan dengan siklus hidup aseksual (Harman, 2004a).

Ketika fase seksualnya ditemukan, *Trichoderma* diklasifikasi dalam kelas Ascomycetes dengan genus *Hypocrea*. Koloni cendawan tumbuh cepat pada media agar dekstrosa kentang dengan permukaan putih sampai hijau dan anyaman miselium menyebar. Pada koloni terbentuk zona cincin, pada koloni yang lebih tua zona tersebut kurang nampak akibat adanya konidiofor baru pada bagian luar daerah pembentukan konidia. Hifa hialin berdiameter 1.5 μm -12 μm , sepatat ber dinding halus dan bercabang-cabang. Konidiofor bercabang banyak dan membentuk daerah seperti cincin pada media biakan (Rifai, 1969).

Rifai (1969) melaporkan ada 9 species *Trichoderma*, yaitu: 1). *Trichoderma piluliferum*, Webster and Rifai, 2). *T. polysporum* (Link ex Pers) Rifai, 3). *T. hamatum* (Bon.)Bain., 4). *T. koningii* Oud., 5). *T. aureoviride* Rifai, 6). *T. harzianum* Rifai, 7). *T. longibrachiatum* Rifai, 8). *T. pseudokoningii* Rifai, and 9). *T. viride* Pers. Ex S. F. Gray. Selanjutnya Bisset (1984) memasukkan dua spesies baru yaitu: *T. citrinoviride* Bisset dan *T. atroviride* Bissett. Konsep ini direvisi oleh Bissett (1991) *Trichoderma* yang sebelumnya diletakkan dalam *Gliocladium* dan *Verticillium*, dibagi ke dalam 5 seksi spesies biologi, yaitu Seksi *Trichoderma* Bissett, seksi *Longibrachiatum* Bissett, seksi *Saturnisporum* Doi

dkk., seksi *Pachybasium* (Sacc.) Bissett dan seksi *Hypocreanum* Bissett.

Pemanfaatan *Trichoderma* dibidang pertanian sangat luas, pertama kali *Trichoderma lignorum* dilaporkan sangat efektif memparasit *Rhizoctonia solani*, *R. bataticola* dan *Armillaria mellea* (Weindling, 1934). Peran *Trichoderma* spp. tidak hanya untuk mengendalikan pertumbuhan mikrobia patogen, tetapi ada berbagai kegunaan lain seperti, i) merangsang kolonisasi rizosfer, (ii) merangsang pertumbuhan tanaman, pertumbuhan akar, dan (iii) meningkatkan respon pertahanan tanaman (Vinale dkk. 2008; Harman dkk., 2004a).

Trichoderma spp. adalah agensia hayati yang efektif melawan fungi patogen tanaman. *Trichoderma* dapat bertindak secara tidak langsung, dengan cara bersaing untuk mendapatkan nutrisi dan ruang, memodifikasi kondisi lingkungan, atau meningkatkan pertumbuhan tanaman dan mekanisme pertahanan tanaman dan antibiosis, atau secara langsung melalui mekanisme seperti mikoparasit (Papavizas, 1985; Howell, 2003; Vinale dkk., 2008). Telah terbukti dalam berbagai penelitian bahwa *Trichoderma* spp. adalah agensia pengendali hayati yang efektif untuk mengendalikan penyakit tanaman, dan saat ini produk komersial *Trichoderma* tersedia sebagai biopestisida atau sebagai pemicu pertumbuhan tanaman (Harman dkk., 2004a; Vinale dkk., 2008).

MEKANISME PENGENDALIAN HAYATI DENGAN TRICHODERMA

Informasi tentang mekanisme agensia hayati dalam mengendalikan patogen tanaman merupakan aspek yang sangat penting dalam ilmu pengendalian hayati patogen tanaman. Untuk menjamin aplikasi agensia hayati efektif dalam mengendalikan penyakit tanaman, kita harus memahami

bagaimana mekanisme agensia hayati tersebut bekerja dan apa keterbatasannya. Kita kemudian dapat mengembangkan cara-cara efektif untuk membiakkan, menyimpan, mengaplikasikan, dan memanfaatkan agensia pengendali hayati sehingga kita memanfaatkan upaya terbaik mereka dalam pengendalian penyakit.

Trichoderma adalah fungi yang hidup bebas yang sangat umum ditemukan di tanah atau di ekosistem akar. *Trichoderma*, disamping sebagai mikoparasit patogen tanaman, akhir-akhir ini mereka juga dilaporkan sebagai fungi simbiosis tanaman yang bersifat a-virulen. Beberapa strain kuat dan mengkolonisasi sepanjang permukaan akar terus mempenetrasi ke dalam epidermis atau sedikit lebih dalam lagi. Mereka memproduksi beberapa bahan yang dapat menginduksi resistensi pada tanaman baik secara lokal maupun sistemik. Kolonisasi *Trichoderma* spp. seringkali dapat meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan akar, produktivitas tanaman, resistensi terhadap stress yang disebabkan faktor biotik, dan meningkatkan efektivitas tanaman memanfaatkan dan menggunakan nutrisi (Harman dkk., 2004b)

1. Pengendalian Hayati melalui persaingan untuk mendapat nutrisi dan ruang hidup

Mekanisme kompetisi khususnya kompetisi dalam kemampuan menguasai rizosfer menjadi hal sangat penting dalam pengendalian penyakit dengan agensia hayati. Ini dikarenakan agensia hayati tidak dapat berkompetisi terhadap ruang atau nutrisi kalau mereka tidak dapat tumbuh di daerah rizosfer. *Trichoderma* dapat tumbuh sepanjang perkembangan akar baik diaplikasikan di tanah atau aplikasi dalam bentuk perlakuan benih (Harman, 2000; Howell dkk., 2000; Ahmad dan Baker, 1987).

Trichoderma spp. merupakan fungi yang tumbuh dengan cepat yang memiliki konidia persisten dan spektrum luas dalam pemanfaatan substrat. *Trichoderma* berperan sebagai kompetitor yang sangat aktif dalam mendapatkan nutrisi dan ruang hidup (Hjeljord dkk., 2000). Selain itu, *Trichoderma* spp., secara alami tahan terhadap banyak senyawa beracun, termasuk herbisida, fungisida, dan senyawa fenolik. Oleh karena itu, mereka dapat tumbuh dengan cepat dan menyerang patogen dengan cara menghasilkan senyawa metabolik yang menghambat perkecambahan spora (fungistasis), membunuh sel (antibiosis), atau memodifikasi rizosfer (misalnya dengan mengasamkan tanah sehingga patogen tidak dapat tumbuh) (Benitez dkk., 2004).

Inang merupakan faktor penting bagi patogen dalam perkembangbiakannya sehingga adanya kelaparan menyebabkan kematian bagi mikroorganisme, oleh karena itu, persaingan untuk nutrisi yang terbatas sangat penting dalam pengendalian hayati patogen tanaman. Serapan besi sangat penting untuk jamur berfilamen yang sedang dalam kelaparan besi; jamur mengeluarkan besi organik khusus yang memiliki berat molekul rendah yang disebut siderofor. *Trichoderma* spp. Menghasilkan siderofor yang sangat efisien dimana besi organik yang dapat menghentikan pertumbuhan jamur lainnya (Benitez dkk., 2004).

2. Pengendali Hayati melalui Mikoparasitisme

Seperti disebutkan sebelumnya, Weindling (1934) merupakan yang pertama mengetahui bahwa *Trichoderma* spp., merupakan mikoparasit beberapa patogen tanaman. Hubungan antara 2 fungi yang hidup bersama-sama, tetapi hanya menguntungkan salah satu pihak, dimana salah satu fungi mengambil makanan terhadap sel-sel organisme fungi lainnya.

Hubungan tidak saling menguntungkan ini disebut mikoparasitisme. Mikoparasitisme ini merupakan mekanisme kompleks yang umumnya melibatkan produksi enzim lytic dinding sel. Chet dkk. (1998) menggambarkan bahwa proses Mikoparasitisme melibatkan empat langkah berurutan: 1) pengenalan dan respon; 2) penempelan dan pelilitan; 3) penetrasi dinding sel; dan 4) pencernaan sel inang. Strain *Trichoderma* mendeteksi jamur lain, tumbuh lurus ke arah mereka, dan secara berurutan menghasilkan enzim hidrolitic pengurai dinding sel. *Trichoderma* menempel pada inang, dan melilitkan hifa di sekitar inang, membentuk apresoria pada permukaan inang, menembus sel inang, dan meruntuhkan hifa inang (Steyaert dkk., 2003). Satu parameter yang sangat penting berhasil tidaknya *Trichoderma* memparasit patogen adalah efisiensi proses pelilitan hifa atau konidia patogen.

Almeida dkk. (2007) meneliti interaksi proses pelilitan hifa oleh 15 isolat *Trichoderma harzianum* pada patogen tular tanah, *Rhizoctonia solani* dengan mikroskop cahaya dan *transmission electron microscopy* (TEM), dimana semua isolat *Trichoderma* dapat melilit hifa *R. solani*. Pertumbuhan patogen akan terhambat segera setelah terjadinya kontak antara *T. harzianum* dengan *R. solani*. Dari pengamatan ternyata tidak ada korelasi antara frekwensi pelilitan hifa patogen dan produksi enzim pendegradasi dinding sel seperti; kitinase, N-acetyl- β -D-glucosaminidase dan β -1,3-glukanase.

Pada proses hiperparasit ini, enzim pendegradasi dinding sel yang memegang peran. Lytic enzim yang mengandung kitin dan glukan polisakarida yang diproduksi oleh *Trichoderma* mempunyai kemampuan mendegredasi hidrolisis dinding sel patogen. Spesies *Trichoderma* dapat memproduksi enzim pendegradasi dinding sel seperti selulosa, xylanase, pektinase, glukanase, lipase, amylase, arabinose dan protease (Strakowska

dkk., 2014), zat metabolit yang mudah menguap, seperti 6-n-pentyl-2H--pyran-2-one (6-PAP) (Jeleń dkk., 2013). Disamping itu juga kitinase merupakan enzim yang mempunyai peran kunci dalam degradasi dinding sel patogen dalam proses hiperparasit. Spesies *Trichoderma* (*T. harzianum*, *T. atroviride* P. Karst. dan *T. asperellum* Samuels, Lieckf. & Nirenberg) memproduksi enzim chitinolytic seperti β -Nacetylglucosamidase, endochitinase, dan chitobiosidase (Haran dkk., 1996). Enzim lain yang diproduksi *Trichoderma* yang dapat merusak fungi patogen seperti *Phytophthora* sp. dan *Pythium* sp. adalah β -1,3- and β -1,6-glukanase (Lorito dkk., 1994; Thrane dkk., 1997).

Induksi molekuler mekanisme mikoparasitisme pertama kali dilaporkan pada tahun 1994 (Carsolio dkk., 1999), berdasarkan studi regulasi gen endochitinase-encoding (ech42). Ech42 diekspresikan selama interaksi mikoparasitik antara *T. harzianum* dan *Rhizoctonia solani*. Produksi dan regulasi enzim 'lytic seperti kitinase, glukanase, dan protease oleh *Trichoderma* spp. juga memainkan peran kunci dalam proses mikoparasitisme dalam pengendalian hayati (Mukherjee dkk., 2008).

3. Peningkatan pertumbuhan tanaman oleh *Trichoderma* spp

Trichoderma spp. tidak hanya mengendalikan patogen, mereka juga meningkatkan pertumbuhan tanaman dan perkembangan akar (biofertilizer) dan merangsang mekanisme pertahanan tanaman (Harman dkk., 2004a). Beberapa strain *Trichoderma* telah terbukti menembus epidermis dan membentuk kolonisasi permukaan akar yang kuat dan tahan lama (Harman dkk., 2004a).

Trichoderma dapat memproduksi zeaxanthin dan gibberellin sebagai bahan pemicu perkecambahan benih.

Banyak strain *Trichoderma* memproduksi asam seperti asam gluconik, citrik, dan coumaric, menyebabkan pelepasan ion fosfor dan mikroelemen, sehingga menjadi tersedia bagi tanaman (Harman dkk., 2004). Aplikasi *T. harzianum* pada mentimun, dapat meningkatkan jumlah masa akar dan bagian atas tanaman serta kandungan mikroelemen tanaman juga meningkat (Yedidia dkk., 2001)

Trichoderma spp. telah terbukti meningkatkan pertumbuhan tanaman selada, tomat dan lada (Vinale dkk., 2006). Dalam sebuah penelitian pada tanaman jagung, beberapa bulan setelah aplikasi dengan *Trichoderma harzianum* strain T-22, akar tanaman dua kali lebih panjang jika dibandingkan dengan tanaman yang tidak diaplikasi (Harman dkk., 2004a). Cutler dkk. (1986, 1989) menunjukkan bahwa metabolit sekunder yang dihasilkan oleh *Trichoderma koningii* (koninginin A) dan *Trichoderma harzianum* (6-pentylalpha pryone) berperan sebagai pengatur pertumbuhan tanaman. *Trichoderma* spp. juga menghasilkan asam glukonat dan sitrat, menurunkan pH tanah, dan meningkatkan solubilisasi fosfat, mikronutrisi, dan komponen mineral seperti besi, magnesium, dan mangan (Benitez dkk., 2004; Harman dkk., 2004c; Vinale dkk., 2008).

4. Induksi pertahanan tanaman oleh *Trichoderma* spp.

Harman dkk. (2004a) menunjukkan bahwa pra-perlakuan tanaman dengan *Trichoderma* spp. dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan patogen. Selanjutnya peneliti lain telah mendokumentasikan bahwa, mikrobia antagonis *Trichoderma* spp. menginduksi ekspresi gen protein untuk mekanisme pertahanan pada tumbuhan seperti kitinase, glukonase, dan peroksidase (Yedidia dkk., 2000; Hanson dkk., 2004; Harman dkk., 2004c).

Trichoderma spp. merupakan penyerang oportunistik, yang tumbuh dengan cepat dan menghasilkan spora yang banyak. Mereka mengandung enzim pengurai dinding sel (misalnya selulosa, kitinase, dan glukonase) dan menghasilkan antibiotik (Vinale dkk., 2008). Selain itu, kehadiran *Trichoderma* spp. dapat merangsang induksi respon hipersensitif dan induksi resistensi secara sistemik pada tanaman (Benitez dkk., 2004; Vinale dkk., 2008). Sebagai contoh, tanaman tomat yang dikolonisasi oleh *T. hamatum* secara aktif mengubah fisiologi tanaman dan menginduksi ketahanan tanaman terhadap penyakit (Alfano dkk., 2007). Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa *Trichoderma* spp. dapat secara tidak langsung berkontribusi terhadap resistensi sistemik (Ahmed dkk., 2000; Lo dkk., 2000).

Induksi ketahanan lokal atau sistemik merupakan komponen penting untuk pengendalian penyakit tanaman oleh *Trichoderma* spp. (Harman dkk., 2004a). Dengan demikian, pengendalian penyakit oleh *Trichoderma* spp. melibatkan interaksi yang kompleks antara tanaman inang, patogen, agensia pengendali hayati dan beberapa faktor lingkungan (Harman dkk, 2004a; Alfano dkk., 2007).

Yedidia dkk. (1999), menunjukkan bahwa inokulasi akar bibit mentimun yang berumur 7 hari dalam sistem hidroponik dengan spora *T. harzianum* (T-203) dengan konsentrasi 10^5 per ml telah menginisiasi respons pertahanan tanaman pada akar dan daun tanaman. Hasil penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa hifa dari agensia hayati tersebut mampu menembus epidermis dan korteks atas dari akar mentimun. Respon tanaman ditandai dengan peningkatan aktivitas peroksidase (sering dikaitkan dengan produksi senyawa fungitoksik), peningkatan aktivitas kitinase, dan pengendapan callose pada

permukaan bagian dalam dinding sel. Peningkatan aktivitas enzim diamati pada kedua akar dan daun.

Dalam penelitian lain, Howell dkk. (2000) menunjukkan bahwa perlakuan benih kapas dengan biokontrol *T. virens* (G-6, G-11, G6-5) atau aplikasi filtrat kultur *T. virens* ke radikula bibit kapas dapat menginduksi sintesis terpenoid desoxyhemigossypol (dHG), hemigossypol (HG), dan gossypol (G) pada akar dengan konsentrasi yang lebih tinggi dibanding kontrol yang tidak diberi perlakuan. Gossypol adalah racun hanya pada tingkat konsentrasi tinggi, tetapi pada jalur antara dHG dan HG, ternyata sangat menghambat patogen *R. solani* pada bibit kapas, pada kondisi tingkat konsentrasi yang lebih rendah. Spesies *Trichoderma* jauh lebih tahan terhadap terpenoid kapas daripada patogen penyebab penyakit pada bibit. Aktivitas biokontrol terhadap *R. solani* sangat berkorelasi dengan induksi sintesis terpenoid pada akar kapas oleh *Trichoderma*. Selain sintesis terpenoid, perlakuan akar kapas dengan *T. virens* juga dapat menginduksi secara signifikan aktivitas peroksidase lebih tinggi daripada yang perlakuan kontrol.

Penelitian lain melaporkan bahwa, Xylanase dan peptaibol (peptaibiotic dengan kandungan asam alfa amino isobutirik) seperti alamethicin dan trichovirin yang diproduksi *Trichoderma* spp. sangat efektif memicu respon resistensi pada tanaman (Leitgeb dkk., 2007; Viterbo dkk., 2007; Luo dkk., 2010)

5. Kolonisasi akar tanaman oleh *Trichoderma* spp.

Beberapa studi melaporkan bahwa kolonisasi akar oleh *Trichoderma* spp. akan meningkatkan enzim yang berhubungan respon pertahanan tanaman seperti induksi peroksidase, kitinase, β -1, 3 glukukanase, selulosa, dan lipoxygenase-pathway

hydroperoxide lyase (Howell dkk., 2000; Yedidia dkk., 2003; Harman dkk., 2004a;). Yedidia dkk. (1999) mengamati interaksi fisik antara *T. harzianum* T-203 dan tanaman mentimun di bawah mikroskop elektron dan menemukan bahwa jamur menembus akar dan tumbuh di epidermis dan korteks luar, yang merangsang peningkatan peroksidase dan kitinase. Oleh karena itu, interaksi tersebut menjadi hubungan simbiosis di mana *Trichoderma* tinggal di relung yang kaya nutrisi yang disediakan oleh tanaman, dan tanaman tersebut terlindung dari penyakit.

Trichoderma spp. dapat mengkolonisasi akar baik secara external maupun internal (Mukherjee dkk., 2012). Seperti interaksi biologi lainnya, daya penarik *Trichoderma* terhadap akar tanaman sepertinya hasil dari saling mempengaruhi signal kimia kedua organisme tersebut. *Trichoderma* spp. memproduksi dan mengatur sinyal hormon untuk terjadinya kolonisasi pada akar. *Trichoderma* memproduksi auksin yang memicu pertumbuhan akar, yang selanjutnya akan memfasilitasi kolonisasi dengan meningkatnya area permukaan yang tersedia (Contreras-Cornejo dkk., 2009). Viterbo dkk. (2010) melaporkan peran enzim 1-Aminocyclopropane-1-Carboxylate Deaminase (ACCD) dalam peningkatan pertumbuhan akar Canola oleh *T. asperellum*. *Trichoderma* menyebarkan sekresi cysteine-rich hydrophobin-seperti protein untuk memfasilitasi berlabuhnya atau merapatnya *Trichoderma* ke akar, TasHyd1 dari *T. asperellum* dan Qid74 dari *T. harzianum* (Viterbo dan Chet, 2006; Samolski dkk., 2012). *Trichoderma* mensekresi expansin-seperti protein dengan modul yang mengikat selulosa dan endopolygalacturonase yang memfasilitasi penetrasi akar (Brotman dkk., 2008; Mora'n-Diez dkk., 2009).

Trichoderma spp. bersifat oportunistik, simbion tanaman, a-virulen, serta parasit jamur lainnya. Setidaknya beberapa strain membentuk kolonisasi permukaan akar yang kuat dan tahan lama dan menembus ke epidermis dan beberapa sel akar. Mereka menghasilkan atau melepaskan berbagai senyawa yang memberikan respon induksi resistensi lokal atau sistemik. Kolonisasi akar oleh *Trichoderma* spp. juga sering meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan akar, produktivitas tanaman, ketahanan terhadap cekaman abiotik dan penyerapan dan penggunaan nutrisi.

6. Produksi antibiotik dan senyawa sekunder oleh *Trichoderma* spp.

Trichoderma merupakan agensia hayati yang sudah dikenal memproduksi metabolit sekunder yang berperan penting dalam aktivitas pengendalian hayati sudah banyak dilakukan dan dilaporkan oleh para peneliti. Pertama kali Wendling (1934) melaporkan bahan-bahan yang mematikan yang berasal dari metabolit *Trichoderma lignorum* terhadap *Rhizoctonia solani* dan fungi tanah lainnya selama proses parasitasi patogen. Selanjutnya Weindling dan Emerson (1936) dapat mengisolasi bahan toksik dari biakan *Trichoderma lignorum* yang dapat mematikan patogen tersebut, bahan tersebut mengandung karbon, hidrogen, nitrogen, sulfur, dan oksigen dan diduga adalah $C_{14}H_{16}N_2S_2O_4$. Dennis and Webster (1971a,b) adalah yang pertama menggambarkan sifat antagonis dari *Trichoderma* yang memproduksi antibiotik. *Trichoderma* dapat memproduksi senyawa yang dapat menguap (volatile) atau tidak menguap (non-volatile) yang dapat menghambat pertumbuhan miselia berbagai fungi, yang mana bahan antifungi yang diproduksi bervariasi tergantung isolatnya. Dalam penelitian ini Denis dan Webster (1971b) mencatat

bahwa isolat yang aktif memproduksi senyawa antifungi adalah semua isolat yang mempunyai bau seperti bau daging buah kelapa (*coconut smell*) yang kuat.

Batasan istilah metabolit sekunder adalah golongan bahan kimia alami yang bersifat heterogen dengan berat molekul : < 3000 daltons, yang berhubungan dengan fungsi bertahan hidup seperti kompetisi terhadap makro- atau mikroorganisme lain (Demain dan Fang, 2000), termasuk didalam group ini adalah antibiotik yang merupakan produk alami yang mempunyai kemampuan menghambat atau membunuh mikrobia kompetitornya (Chiang dkk., 2009).

Ghisalberti dan Sivasithamparam (1991) membagi metabolit sekunder yang diproduksi oleh *Trichoderma* spp. kedalam 3 kategori : i) antibiotik yang mudah menguap (*volatile antibiotics*) seperti : *6-pentyl- a-pyrone* (6PP) dan sebagian besar turunan *isocyanide*; ii) senyawa yang dapat larut dalam air seperti *heptelidic acid* atau *koningic acid*; iii) *peptaibols*, yang berhubungan *oligopeptides* dari 12-22 *amino acids rich* dalam *α-aminoisobutyric acid*, *N-acetylated* pada *N-terminus* dan mengandung *amino alcohol* (*Pheol* atau *Trpol*) pada *C-terminus*. Ghisalberti dan Sivasithamparam (1991) merivew *Trichoderma* yang menghasilkan antibiotik adalah: *Trichoderma harzianum*, *T. koningii*, *T. hamatum*, *T. viride*, *T. longibrachiatum*.

Pada tahun 1983, Howell and Stipanovic (1983) mengisolasi dan menggambarkan antibiotik baru, gliovirin, dari *Gliocladium* (*Trichoderma*) *virens* (GV-P) yang sangat kuat menekan *Pythium ultimum* dan *Phytophthora* spp., tetapi tidak terhadap *R. solani*, *Thielaviopsis basicola*, *Phymatotrichum omnivorum*, *Rhizopus arrhizus*, atau *Verticillium dahliae*. Gliovirin juga tidak dapat menekan bakteri *Bacillus thuringiensis* dan *Pseudomonas fluorescens*.

Lifshitz dkk. (1986) memperlihatkan pengendalian patogen *Pythium* spp. pada tanaman kacang polong dengan *T. harzianum* (T-12) dan *T. koningii* (T-8) bukan karena mekanisme mikoparasit, tetapi oleh produksi bahan beracun di area spermosfer yang dapat menghambat pertumbuhan patogen. Selanjutnya Lumsden dkk. (1992) menemukan bahwa aktivitas penekanan oleh *T. virens* (GL-21) terhadap penyakit *damping-off* pada tanaman *zinnias* yang disebabkan oleh *R. solani* dan *P. ultimum*, berhubungan dengan produksi antibiotik gliotoxin.

Metabolit sekunder lain adalah golongan enzim pendegradasi dinding sel. *Trichoderma* spp. menghasilkan enzim ekstraseluler β -(1,3)-glukanase, kitinase, lipase, dan protease ketika mereka tumbuh di dinding sel fungi patogen. Selain itu, beberapa bukti telah menunjukkan bahwa produksi beberapa enzim lytic diinduksi selama interaksi parasit antara *Trichoderma* spp. dan beberapa jamur patogen (Haran dkk., 1996). Sistem chitinolytic dari *T. harzianum* terdiri dari lima hingga tujuh enzim yang berbeda, tergantung pada strain (Haran dkk., 1995).

Mekanisme yang mungkin terlibat dalam pengendalian biologis oleh *Trichoderma* spp. telah menyebabkan beberapa penjelasan alternatif untuk keberhasilan pengendalian hayati. Satu gagasan yang telah dikemukakan adalah bahwa enzim seperti kitinase atau glukanase yang diproduksi oleh agensia biokontrol bertanggung jawab untuk menekan patogen tanaman. Enzim ini berfungsi dengan memecah polisakarida, kitin, dan glukan yang bertanggung jawab untuk kekakuan dinding sel fungi, sehingga merusak keutuhan dinding sel.

Enzim dari spesies *Trichoderma* yang mendegradasi dinding sel fungi memiliki peranan penting dalam aksi mikoparasit terhadap patogen tanaman. Mikoparasit *T. harzianum* menghasilkan setidaknya dua ekstraseluler β -1,6-

glukanase, di antara hidrolase lainnya, ketika ditumbuhkan pada kitin sebagai sumber karbon tunggal. Karakterisasi lebih lanjut menunjukkan bahwa enzim dengan sendirinya melepaskan gula terlarut dan menghasilkan *thalli hidrolitic* pada dinding sel ragi. Ketika dikombinasikan dengan enzim penghancur dinding sel *T. harzianum* lainnya seperti β -1,3-glukanase dan kitinase, enzim tersebut menghidrolisis dinding sel jamur yang berfilamen. Enzim bertindak secara kooperatif dengan enzim yang terakhir, menghambat pertumbuhan jamur yang diuji. Antibodi terhadap protein yang dimurnikan juga menunjukkan bahwa β -1,6-glukanase yang diidentifikasi tidak terkait secara imunologi dan mungkin dikodekan oleh dua gen yang berbeda. Sebuah proteinase serine tipe-subtilisin yang diinduksi oleh kitin telah dijelaskan dalam strain mikoparasit *T. harzianum* (Geremia dkk., 1993). Juga, β -1,6-glukanase (EC3.2.1.75) telah ditunjukkan untuk melisiskan dinding sel ragi dan fungi dalam fungi berfilamen dan bakteri (Rombouts dkk., 1976). Enzim kitinase dan β -1,3-glukanase juga telah dilaporkan sebagai patogenesis terkait protein pada tumbuhan dan diusulkan untuk memiliki peran utama dalam reaksi pertahanan terhadap patogen (Broglie dkk., 1991).

7. Metabolisme Stimulan Perkecambahan

Satu mekanisme unik pengendalian hayati oleh spesies *Trichoderma* baru-baru ini ditemukan oleh Howel (2002), dalam sebuah studi tentang mekanisme pengendalian hayati *pre-emergence damping-off* pada bibit kapas yang disebabkan oleh *Pythium ultimum* dan *Rhizopus oryzae* melalui metabolisme stimulan perkecambahan.

Howell (2002) mengamati bahwa efektivitas pengendalian hayati oleh strain *Trichoderma* spp. yang sudah mengalami defisiensi sifat aktivitas antibiosis dan mikoparasit

(*T. virens* strain G6, G6-5) atau isolat hasil protoplas fusant *T. virens*/*T. longibrachiatum* (Tvl-30, Tvl-35) dengan defisiensi sifat aktivitas antibiosis terhadap penyakit *damping-off* tanaman kapas diindikasikan melalui mekanisme selain mekanisme antibiosis dan mikoparasit.

Howel (2002) melaporkan bahwa senyawa-senyawa eksudat nutrisi yang dihasilkan oleh varietas rentan biji kapas yang berkecambah, sangat penting dalam menginduksi perkecambahan propagul *Pythium ultimum* dan *Rhizopus oryzae*, yang menjadi faktor kunci proses terjadinya infeksi oleh patogen tersebut. Pada penelitian lain dibuktikan bahwa strain *Trichoderma* dan fungisida metalaxyl akan kehilangan efektivitasnya, kalau tanaman tersebut diberi perlakuan dengan eksudat biji kapas varietas rentan dan ekstrak dedak gandum yang merupakan senyawa penting untuk perkecambahan propagul patogen *P. ultimum* dan *R. oryzae*, sementara itu, kondisi ini tidak terjadi pada varietas biji kapas yang resistan.

Howel (2002) menyimpulkan bahwa pengendalian hayati *T. virens* (strain G6, G6-5) dan *T. virens*/*T. longibrachiatum* (strain Tvl-30, Tvl-35) terhadap *damping-off* oleh *P. ultimum* dan *R. oryzae* melalui mekanisme metabolisme senyawa nutrisi yang dihasilkan dari perkecambahan biji kapas oleh agensia hayati tersebut, sehingga menyebabkan senyawa-senyawa tersebut tidak tersedia bagi patogen. Kondisi ini dapat menghambat proses perkecambahan patogen, sehingga menyebabkan proses infeksi oleh patogen juga terganggu.

8. Mekanisme Tambahan

Meskipun mungkin bukan yang terpenting sebagai mekanisme dalam pengendalian biologis, *Trichoderma* menunjukkan karakteristik lain selama interaksi dengan tanaman inang yang dapat berkontribusi terhadap ketahanan

atau toleransi penyakit. Karakteristik ini memanifestasikan dirinya dengan peningkatan pertumbuhan akar dan tunas tanaman, ketahanan terhadap cekaman biotik dan abiotik, dan perubahan nutrisi tanaman. Fenomena ini telah sepenuhnya ditinjau oleh Harman (2000), yang menunjukkan bahwa perlakuan benih jagung yang ditanam di tanah rendah nitrogen dengan *T. harzianum* (T-22) menghasilkan tanaman yang lebih hijau dan lebih besar pada bagian awal musim tanam. Pada fase dewasa, tanaman yang dirawat memiliki diameter batang yang lebih besar dan peningkatan hasil biji-bijian dan silase. Apabila tanah dengan kadar nitrogen cukup, pengobatan dengan T-22 tidak menghasilkan peningkatan hasil biji-bijian atau silase. Namun, pupuk nitrogen yang diperlukan untuk mendapatkan hasil yang optimal lebih rendah untuk T-22, pada tanaman yang diberi perlakuan dari pada tanaman yang tidak diaplikasi dengan agensia hayati. Harman (2001) kemudian melaporkan interaksi yang kuat antara T-22 dan bakteri pengikat nitrogen *Bradyrhizobium japonicum*. Secara teoritis, kombinasi bakteri pengikat nitrogen dan jamur yang memungkinkan tanaman untuk menggunakan nitrogen lebih efisien sehingga menurunkan lebih banyak kebutuhan pupuk nitrogen untuk tanaman.

PENGENDALIAN HAYATI PATOGEN TANAMAN OLEH TRICHODERMA DAN MANFAAT TRICHODERMA

Trichoderma spp. merupakan agensia hayati yang paling banyak digunakan sebagai agensia hayati untuk mengendalikan berbagai patogen tanaman baik fungi, bakteri maupun nematoda dan bahkan dapat mengendalikan gulma. *Trichoderma* sebagai agensia hayati sudah dilaporkan sejak puluhan tahun yang lalu. Weindling (1934), melaporkan

Trichoderma lignorum sangat efektif memparasit *Rhizoctonia solani*, *R. bataticola* dan *Armillaria mellea*.

Di Mesir, Abou-Zeiddkk. (2011), meneliti enam isolat *Trichoderma* spp (*T. hamatum* (T73), *T. harizianum* (T55); *T. aureoviride* (T102); *T. atroviride* (T58); *T. viride* (T2); *T. strictipile* (T100) dievaluasi efektivitasnya pada tingkat rumah kaca, dalam mengendalikan penyakit bercak cokelat (*Botrytis fabae*) tanaman kacang faba, rebah kecambah tanaman kubis (*Pythium ultimum*), dan rebah kecambah tanaman buncis (*Fusarium oxysporum*), Semua isolat dapat mengendalikan penyakit tersebut dengan persentase pengendalian yang bervariasi, dimana perlakuan *T. hamatum* (T73) memperlihatkan persentase pengendalian terbaik yang diikuti oleh *T. strictipile* (T100). Segarra dkk (2010) mengamati, bahwa *T. asperellum* isolat T34, dapat melindungi tanaman tomat dari serangan layu fusarium yang disebabkan oleh *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* dan juga melindungi tanaman dari stres faktor abiotik khususnya pengaruh toksik dari Fe(III). *Trichoderma viride* dan *T. harzianum* sangat efektif melindungi tanaman hutan dari serangan penyakit layu fusarium yang disebabkan oleh *Fusarium solani* sp. *albergiae* (Basak dan Basak, 2011). Selanjutnya Segarra dkk. (2013) melaporkan bahwa *Trichoderma asperellum* strain T34 juga sangat efektif mengendalikan penyakit busuk akar tanaman cabai (*Capsicum annuum* L.) yang disebabkan oleh *Phytophthora capsici* dengan persentase penekanan sampai 71 persen.

Ojaghian (2011) mengamati bahwa sebanyak 16 isolat dari 11 species *Trichoderma* dievaluasi kemampuannya menghambat pertumbuhan patogen dan kemampuannya merusak sklerotia patogen *Sclerotinia sclerotiorum* penyebab penyakit busuk batang tanaman kentang (*Solanum tuberosum*), sebanyak 7 spesies *Trichoderma* (*T. ceramicum*, *T. orientalis*, *T.*

koningii, *T. atroviride*, *T. koningiopsis*, *T. virens*, *T. viridescens*) mempunyai kemampuan yang baik menekan pertumbuhan patogen dan merusak sklerotia patogen. Tujuh isolat tersebut diuji kemampuannya mengendalikan penyakit busuk batang tanaman kentang di rumah kaca dan di lapangan selama 2 tahun. Ternyata semua isolat *Trichoderma* yang diuji mempunyai korelasi positif mengendalikan serangan penyakit baik di rumah kaca maupun di lapangan. Isolat yang terbaik menekan serangan patogen adalah *T. viridescens*, yang diikuti oleh *T. ceramicum*. Sementara *T. orientalis* memperlihatkan hasil sedikit kurang efektif.

Perlakuan benih dengan *Trichoderma harzianum* T22 pada tanaman jagung di lapangan dapat menurunkan kolonisasi biji oleh *Fusarium verticillioides* dan menurunkan kontaminasi mikotoksin dari patogen *F. verticillioides* (Ferrigo dkk. 2014).

Trichoderma juga sangat potensial untuk diaplikasikan di pertanian lahan kering yang dialiri oleh air laut atau didaerah pasang surut air laut. Gal-Hamed dkk. (2011) mendemonstrasikan bahwa *Trichoderma atroviride* dan *T. asperelloides* yang diisolasi dari spon atau bunga karang (*Psammocinia* sp.) laut medeterania, sangat efektif menekan serangan penyakit rebah kecambah (*Rhizoctonia solani*) tanaman kacang polong dan juga menginduksi respon ketahanan tanaman ketimun terhadap serangan *Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans*, penelitian ini merupakan terobosan baru dalam mengexplorasi dan aplikasi *Trichoderma* pada lahan marginal pasang surut air laut.

Yendo (2018) melaporkan *Trichoderma* spp AA2 sangat kuat menekan pertumbuhan *Ralstonia* dan juga sangat efektif menekan infeksi patogen *Ralstonia* penyebab penyakit layu *ralstonia* tanaman tomat di lapangan dengan persentase penekanan 92%, penekanan menjadi lebih tinggi kalau

dikombinasikan dengan *Pseudomonas fluorescens* spp. dengan persentasi penekanan mendekati sempurna sebesar 97%, yang lebih tinggi dibanding dengan menggunakan pestisida kimia (Agricin: 9% Streptomycin Sulphate dan 1% Tetracycline Hydrochloride + Bavistin: 50% carbendazim).

Naserinasab dkk. (2011) melaporkan bahwa Filtrat biakan *Trichoderma harzianum* BI sangat efektif menekan penetrasinya telur nematoda *Meloidogyne javanica* secara *in vitro*, efektivitas *T. harzianum* ini berkorelasi positif menekan serangan *M. javanica* secara *in vivo*, dimana perlakuan tanah dengan *T. harzianum* baik dengan perlakuan tunggal maupun kombinasi dengan asam salisilat sangat efektif mengendalikan kerusakan oleh *M. javanica* pada tanaman tomat melalui mekanisme yang salah satunya dengan induksi resistensi melalui peningkatan enzim pertahanan peroxidase.

Javaid dan Ali (2011) melaporkan bahwa Metabolit dari *T. harzianum*, *T. reesei*, dan *T. pseudokoningii* ternyata mengandung bahan atau unsur herbisida yang sangat efektif untuk mengendalikan gulma oat liar (*Avena fatua* L.) yang merupakan rumput pengganggu yang sangat penting pada tanaman gandum (*Triticum aestivum* L.).

Penggunaan *Trichoderma* saat ini sangat luas tidak hanya sebagai bio-pestisida tetapi juga sebagai bio-fertilizers, pemicu pertumbuhan tanaman, dan stimulan resistensi tanaman terhadap lingkungan alam. Produk *Trichoderma* dibidang pertanian begitu banyak dan tersebar di seluruh dunia. Woo dkk. (2014) melakukan survei, ternyata terdapat 273 produk komersial berbahan baku *Trichoderma* yang digunakan untuk kegiatan pertanian seperti: Bio-fungisida; pemicu pertumbuhan tanaman; pupuk dan peningkatan serapan nutrisi tanaman; decomposer; induksi resistensi tanaman; atau untuk hal lainnya seperti Bio-nematisida dan Bio-insektisida. Sebaran produk

tersebut terdapat di Afrika (Afrika Selatan, Kenya, Zambia, Maroko, Tunisia) sebanyak 9 produk; di Asia (China dan India (91%); Indonesia, Japan, Korea, Rusia, Vietnam, Filipina) sebanyak 100 produk; di Eropa (Belgia, Republik Ceko, Denmark, Estonia, Spanyol, Finlandia, Prancis, Hungaria, Irlandia, Italia, Belanda, Swedia, Slovenia, Inggris Raya, Moldavia, Ukraina, Israel) sebanyak 57 produk; di Amerika Utara (USA dan Canada) sebanyak 29 produk; pasifik (Australia dan New Zealand) sebanyak 22 produk; Amerika Tengah-Selatan (Argentina, Bolivia, Brazil, Cili, Colombia, Costa Rika, Cuba, Ekuador, Honduras, Meksiko, Panama, Peru, Uruguay, Venezuela) sebanyak 40 produk; lain-lain Negara di berbagai wilayah sebanyak 16 produk.

Dari hasil survei yang dilakukan oleh Woo dkk. (2013) spesies *Trichoderma* yang digunakan sebagai bahan dasar produk komersial untuk aktivitas pertanian tersebut adalah sebagai berikut: 1). *Trichoderma asperellum*, 2). *T. atroviride*, 3). *T. gamsii*, 4). *T. hamatum*, 5). *T. harzianum*, 6). *T. koninggi*, 7). *T. lignorum*, 8). *T. parceanamosum*, 9). *T. polyporum*, 10). *T. viren*, 11). *T. viride*, 12). Dari 12 spesies tersebut, yang paling banyak digunakan untuk produk komersial adalah *T. harzianum*, sementara di Asia khususnya di India, *T. viride* yang paling banyak digunakan (70% dari produk yang tersedia di India). Kebanyakan produk komersial yang tersedia merupakan kombinasi dari *Trichoderma* dengan agensia hayati lainnya. *Trichoderma* yang paling banyak digunakan sebagai kombinasi adalah *T. harzianum* (83%), sebanyak 55% *T. harzianum* dikombinasikan dengan *T. viride*, dan 28% kombinasi dengan *T. koninggi*. Terdapat 1 perusahaan menggunakan campuran *T. asperellum* dan *T. gamsii* pada 5 jenis produk yang berbeda. Terdapat 33 formulasi berisi campuran *Trichoderma* species yang secara taksonomi belum teridentifikasi. Agensia hayati

lain yang digunakan sebagai kombinasi dengan *Trichoderma* adalah endomikoriza seperti *Glomus aggregatum*, *G. brazillanum*, *G. clarum*, *G. etunicatum*, *G. intraradices*, *G. mosseae*, *G. monosporum*, *Glomus spp.*, dan *Gigaspora margarita*; dan ektomikoriza seperti: *Pisolithus tinctorius*, *Rhizopogon luteolus*, *R. fulvigleba*, *R. villosullus*, *R. amylopogon*, *Scleroderma citrinum* dan *S. cepa*; Bakteri bermanfaat, yeasts, *Streptomyces* yang terdiri dari: *Azobacter chroococcum*, *Bacillus subtilis*, *B. licheniformis*, *B. azotoformans*, *B. megaterium*, *B. coagulans*, *B. pumilis*, *B. thuringiensis*, *Bradyrhizobium japonicum*, *PaeniBacillus durum*, *P. polymyxa*, *Pseudomonas aureofacens*, *Ps. fluorescens*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Streptomyces griseus*, *S. lydicus* dan *Paecilomyces lilacinus*. Satu produk terdiri dari 15 spesies mikoriza fungi yang berbeda, 11 spesies bakteri bermanfaat dan 2 spesies *Trichoderma* yang semuanya dalam satu produk. Beberapa bahan juga ditambahkan untuk meningkatkan kemampuan perlindungan tanaman atau meningkatkan aktivitas biologi dari formulasi tersebut misalnya: chitosan, nimba, dan asam amino. Selanjutnya satu produk cair, yang berisi spora *Trichoderma*, miselia, dan kaldu biakan fermentasi termasuk campuran enzim dan metabolit.

Selain sebagai agensia hayati yang sangat potensial untuk pengendalian penyakit tanaman. *Trichoderma* juga bermanfaat bagi lingkungan dan industri. Beberapa species *Trichoderma* sangat efektif sebagai bioremediasi untuk mengurangi pengaruh racun phenol, sianida, dan nitrat (Lynch dan Moffat, 2005). Dibiidang industri, dimanfaatkan untuk industri makanan ternak dan industri minuman bir dan anggur, dengan memanfaatkan lytic enzim yang diproduksi *Trichoderma* seperti selulosa, hemiselulosa, dan pektinase, untuk menghidrolisis dinding sel tanaman dan meningkatkan nutrisi pakan dan mudah dicerna, sehingga dapat meningkatkan berat badan

ternak dan hasil susunya (Galante dkk., 1998a). Enzim yang diproduksi *Trichoderma* tersebut juga dapat meningkatkan aroma minuman anggur, dan meningkatkan fermentasi, filtrasi, dan kualitas bir yang dihasilkan (Blumenthal, 2004). Selain itu Enzim yang dihasilkan *Trichoderma* dapat digunakan pada industri bubur kayu dan kertas dengan mekanismenya dapat memodifikasi sifat serat kayu dan mengurangi kandungan lignin pada bahan baku kayu tersebut (Galante *et al.* 1998a).

Dari penjelasan diatas, terlihat bahwa *Trichoderma* merupakan agensia hayati yang sangat potensial, efektif dan sangat luas pemakaiannya baik sebagai agensia pengendalian hayati yang dapat diaplikasikan secara sendiri-sendiri maupun dengan kombinasi dengan agensia lain serta produk insektisida botani atau bahan alami lainnya, maupun untuk manfaat lain dibidang bioremediasi lingkungan dan industri.

DAFTAR PUSTAKA

- Abou-Zeid, N. M.; E.A.M. Gado, E.A.M., Noher A. Mahmoud, N.A., A. A. Mosa, A.A., and Ahmed, A.Y. 2011. *Trichoderma* Species in Egypt and Their Biocontrol Potential Against Some Plant Pathogenic Fungi. Egyptian Journal of Biological Pest Control, 21(2): 233-244.
- Ahmad, J.S and Baker, R. 1987. Rhizosphere competence of *Trichoderma harzianum*. Phytopathology 77: 182-189.
- Ahmed, A.S., C.P. Sanchez and M.E. Candela. 2000. Evaluation of induction of systemic resistance in pepper plants (*Capsicum annum*) to *Phytophthora capsici* using *Trichoderma harzianum* and its relation with capsidiol accumulation. Eur. J. Plant Pathol., 106: 817-829.
- Alfano, G., L.M. Lewis Ivey, C. Cakir, J.I.B. Bos, S.A. Miller, V.L. Madden Kamoun and J.A.H. Hoitink. 2007. Systemic

- modulation of gene S. expression in tomato by *Trichoderma hamatum* 382. *Biolog Control*, 97: 429-437.
- Almeida, F.B.R., Cerqueira, F.M., R. N. Silva, R.N., Ulhoa, C.J., Lima, A.L. 2007. Mycoparasitism studies of *Trichoderma harzianum* strains against *Rhizoctonia solani*: evaluation of coiling and hydrolytic enzyme production. *Biotechnol Lett* (2007) 29:1189–1193. DOI 10.1007/s10529-007-9372-z.
- Basak, AC. and Basak, SR. 2011. Biological control of *Fusarium solani* sp. *dalbergiae*, the wilt pathogen of dalbergia sissoo, by *Trichoderma viride* and *T. harzianum*. *Journal of Tropical Forest Science* 23(4): 460–466.
- Benitez, T., A.M. Rincon, M.C. Limon and A.C. Codon. 2004. Biocontrol mechanism of *Trichoderma* strains. *International Microbiol.*, 7: 249-260.
- Bissett J. 1991a. A revision of the genus *Trichoderma* II infrageneric classification. *Canadian Journal of Botany* 69: 2357-2372.
- Blumenthal C.Z. 2004. Production of toxic metabolites in *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*, and *Trichoderma reesei*, justification of mycotoxin testing in food grade enzyme preparations derived from the three fungi. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 39 (2): 214–228.
- Brogie K, Chet Holliday, Cressman, Biddle, Knowlton, Mauvals, and Brogie. 1991 - Transgenic plants with enhanced resistance to the fungal pathogen *Rhizoctonia solani*. *Science* 254, 1194– 1197.
- Brotman Y, Briff E, Viterbo A, Chet I (2008) Role of swollenin, an expansin-like protein from *Trichoderma*, in plant root colonization. *Plant Physiol* 147:779–789
- Bruckner, H. and H. Graf. 1983. Paracelsin, a peptide antibiotic containing alpha-aminoisobutyric acid, isolated from

- Trichoderma reesei* Simmons Part A. *Experientia.*, 139: 528-530.
- Bruckner, H., H. Graf and M. Bokel. 1984. Paracelsin; characterization by NMR spectroscopy and circular dichroism, and hemolytic properties of a peptaibol antibiotic from the cellulolytically active mold *Trichoderma reesei* Part B. *Experientia.*, 40: 1189-1197.
- Carsolio, C., N. Benhamou, S. Haran, C. Cortes, A. Gutierrez, I. Chet and A. Herrera-Estrella. 1999. Role of the *Trichoderma harzianum* endochitinase gene, ech42, in mycoparasitism. *Appl. Environ. Microbiol.*, 65: 929-935.
- Chet, I., N. Benhamou and S. Harman. 1998. Mycoparasitism and lytic enzymes. In: *Trichoderma and Gliocladium* Vol. 2. (Eds.): G.E. Harman and C.P. Kubick. London, Taylor and Francis. pp. 153-172.
- Chiang Y, Lee K, Sanchez JF, Keller NP, Wang CCC. (2009) Unlocking fungal cryptic natural products. *Natural Product Communications*, 4, 1505–1510.
- Contreras-Cornejo HA, Macías-Rodríguez L, Cortes-Penagos C, López-Bucio J. 2009. *Trichoderma virens*, a plant beneficial fungus, enhances biomass production and promotes lateral root growth through an auxin-dependent mechanism in Arabidopsis. *Plant Physiol* 149:1579–1592.
- Cutler, H.G., D.S. Himmetsbach, R.F. Arrendale, P.D. Cole and R.H. Cox. 1989. Koninginin A: a novel plant regulator from *Trichoderma koningii*. *Agricul. Biolog. Chem.*, 53: 2605-2611.
- Cutler, H.G., R.H. Cox, F.G. Crumley and P.D. Cole. 1986. 6-Pentyl-apyrone from *Trichoderma harzianum*: Its plant growth inhibitory and antimicrobial properties. *Agricul Biolog Chem.*, 50: 2943-2945.

- Demain, A.L. and A. Fang. 2000. The natural functions of secondary metabolites. *Advances in Biochemi Engineer Biotechnol.*, 69: 1-39.
- Dennis C. and Webster J. 1971a. Antagonistic properties of species-groups of *Trichoderma*. I. Production of non-volatile antibiotics. *Trunuctions of the British Mycological Society* 57, 25-39.
- Dennis C. and Webster J. 1971b. Antagonistic properties of species-groups of *Trichodermu*. II. Production of volatile antibiotics. *Transactions of the British Mycological Society* 57, 41-48.
- Ferrigo, D., Raiola, A., Rasera, R., Causin, R. 2014. *Trichoderma harzianum* seed treatment control *Fusarium verticillioides* colonization and fumonisin contamination in maize under field condition. *Crop Protection* 65: 51-56.
- Galante Y.M., De Conti A., Monteverdi R. 1998a. Application of *Trichoderma* enzymes in the food and feed industry. p. 327-342. In: "*Trichoderma and Gliocladium*" (G.E. Harman, C.P. Kubicek, eds.). Taylor & Francis, London, UK, 393 pp.
- Galante Y.M., De Conti A., Monteverdi R. 1998b. Application of *Trichoderma* enzymes in the textile industry. p. 311-326. In: "*Trichoderma and Gliocladium*" (G.E. Harman, C.P. Kubicek, eds.), Taylor & Francis, London, UK, 393 pp.
- Gal-Hemed, I. Atanasova, L. Komon-Zelazowska, M. Irina S. Druzhinina, I.S., Viterbo, A., and Yarden, O. 2011. Marine Isolates of *Trichoderma* spp. as Potential Halotolerant Agensiats of Biological Control for Arid-Zone Agriculture. *Applied and Environmental Microbiology* 77: 5100-5109. doi:10.1128/AEM.00541-11.
- Geremia RGH, Goldman D, Jacobs W, Ardiles SB, Vila M, Van Montagu, A Herrera- Estrella. 1993 - Molecular characterization of a proteinase-encoding gene, pbr1,

- related to mycoparasitism by *Trichoderma harzianum*. *Molecular Microbiology* 8, 603–613.
- Ghisalberti, E.L., M.J. Narbey, M.M. Dewan and K. Sivasithamparam. 1990. Variability among strains of *Trichoderma harzianum* in their ability to reduce take-all and to produce pyrones. *Plant and Soil*, 121: 287-291.
- Ghisalberti EL, Sivasithamparam K. 1991. Antifungal antibiotics produced by *Trichoderma* spp. *Soil Biology & Biochemistry*, 23, 1011-1020.
- Howell, C.R. 2003. Mechanisms employed by *Trichoderma* species in the biological control of plant diseases: the history and evolution of current concepts. *Plant Disease*, 87: 4-10.
- Haran S, Schickler H, Oppenheim A, Chet I. 1995 - New components of the chitinolytic system of *Trichoderma harzianum*. *Mycological Research* 99, 441–446.
- Haran S, Schickler H, Chet I. 1996. Molecular mechanisms of lytic enzymes involved in the biocontrol activity of *Trichoderma harzianum*. *Microbiology* 142, 2321– 2331.
- Haran S., Schickler H., Oppenheim A., Chet I. 1996. Differential expression of *Trichoderma harzianum* chitinases during mycoparasitism. *Phytopathology* 86 (9): 980–985.
- Harman, G.E. 1996. *Trichoderma* for biocontrol of plant pathogens: From basic research to commercialization products. [www.entomology.cornell.edu.shelton/cornell](http://www.entomology.cornell.edu/shelton/cornell). Accession on October 2013.
- Harman, G. E. 2000. Myths and dogmas of biocontrol: Changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzianum* T- 22. *Plant Dis.* 84:377-393.
- Harman, G. E. 2001. Microbial tools to improve crop performance and profitability and to control plant diseases. Pages 4-1–4-14 in: *Int. Sympos. Biol. Control*

Plant Dis. New Century-Mode Action Application Technol.

- Harman, G.E., Charles R.Howell, C.R.,Ada Viterbo, A., Chet, I and Matteo Lorito, M. 2004. *Trichoderma* Species— Opportunistic, Avirulent Plant Symbionts. Nature Reviews Microbiology 2:43-56. doi:10.1038/nrmicro797
- Harman, G.E., C.R. Howell, A. Viterbo, I. Chet and M. Lorito. 2004a. *Trichoderma* species-opportunistic, avirulent plant symbionts. Nature Rev. Microbiol., 2: 43-56.
- Harman, G.E., R. Petzoldt, A. Comis and J. Chen. 2004b. Interactions between *Trichoderma harzianum* strain T22 and maize inbred line M017 and effects of these interactions on diseases by *Pythium ultimum* and *Collectotrichum graminicola*. Phytopathol., 94: 147-153.
- Howell, C. R., Hanson, L. E., Stipanovic, R.D., and Puckhaber, L. S. 2000. Induction of terpenoid synthesis in cotton roots and control of *Rhizoctonia solani* by seed treatment with *Trichoderma virens*. Phytopathology 90: 248-252.
- Howell, C. R 2002. Cotton seedling preemergence damping-off incited by *Rhizopus oryzae* and *Pythium* spp. and its biological control with *Trichoderma* spp. Phytopathology 92:177-180.
- Hjeljord, L.G., A. Stensvand and A. Tronsmo. 2000. Effect of temperature and nutrient stress on the capacity of commercial *Trichoderma* products to control *Botrytis cinerea* and *Mucor piriformis* in greenhouse strawberries. Biolog Control, 19: 149-160.
- Irina, D. and P.K. Christian. 2004. Species and biodiversity in *Trichoderma* and *Hypocera*: from aggregate species to species clusters. J. of Zhejiang Uni. Sci., 6: 100-112.
- Javaid, A. and Sajjad Ali, S. 2011. Alternative management of a problematic weed of wheat *Avena fatua* L. by metabolites

- of *Trichoderma*. Chilean Journal of Agricultural Research 71(2): 205-211.
- Jeleń H., Błaszczuk L., Chelkowski J., Rogowicz K., Strakowska J. 2013. Formation of 6-n-pentyl-2H-pyran-2-one (6-PAP) and other volatiles by different *Trichoderma* species. Mycol. Progress 13 (3): 589–600. DOI: 10.1007/s11557-013-0942-2.
- Lifshitz, R., Windham, M. T., and Baker, R. 1986. Mechanism of biological control of preemergence damping-off of pea by seed treatment with *Trichoderma* spp. Phytopathology 76:720-725.
- Lo, C.T., T.F. Liao and T.C. Deng. 2000. Induction of systemic resistance of cucumber to cucumber green mosaic virus by the root-colonizing *Trichoderma* spp. Phytopathol., 90: S47.
- Lorito M., Hayes C.K., Di Pietro A., Woo S.L., Harman G.E. 1994. Purification, characterization, and synergistic activity of a glucan 1,3-*b*-glucosidase and an N-acetyl-*b*-glucosaminidase from *Trichoderma harzianum*. Phytopathology 84 (4): 398–405.
- Lumsden, R. D., Locke, J. C., Adkins, S. T., Walter, J. F., and Ridout, C. J. 1992. Isolation and localization of the antibiotic gliotoxin produced by *Gliocladium virens* from alginate prill in soil and soilless media. Phytopathology 82:230-235.
- Lynch J.M., Moffat A.J. 2005. Bioremediation – prospects for the future application of innovative applied biological research. Ann. Appl. Biol. 146 (2): 217–221.
- Morań-Diez E, Hermosa R, Ambrosino P, Cardoza RE, Gutiérrez S, Lorito M, Monte E. 2009. The ThPG1 endopolygalacturonase is required for the *Trichoderma harzianum*-plant beneficial interaction. Mol Plant Microbe Interact 22:1021–1031

- Mukherjee, K.P, C.S. Nautiyal and A.N. Mukhopadhyay. 2008. Molecular mechanisms of plant and microbe coexistence. Springer, Heidelberg.
- Mukherjee, M., Prasun K. Mukherjee, P.K., Horwitz, B.A., Zachow, C., Berg, G., Susanne Zeilinger, S. 2012. *Trichoderma*-Plant-Pathogen Interactions: Advances in Genetics of Biological Control. Indian J Microbiol (Oct-Dec 2012) 52(4):522-529. DOI 10.1007/s12088-012-0308-5.
- Naserinasab, F., Sahebani, N., and Etebarian, H.R. 2011. Biological control of *Meloidogyne javanica* on tomato by *Trichoderma harzianum* BI and salicylic acid. J. Int. Environmental Application & Science, 6 (4): 497-502.
- Ojaghian, M.R. 2011. Potential of *Trichoderma* spp. and *Talaromyces flavus* for biological control of potato stem rot caused by *Sclerotinia sclerotiorum*. Phytoparasitica 39:185-193. DOI 10.1007/s12600-011-0153-9.
- Papavizas, G.C. 1985. *Trichoderma* and *Gliocladium*: Biology, ecology and potential for biocontrol. Ann. Rev. Phytopathol., 22: 23-54.
- Samolski I, Rincon AM, Pinzon LM, Viterbo A, Monte E (2012) The *qid74* gene from *Trichoderma harzianum* has a role in root architecture and plant biofertilization. Microbiology 158:129-138.
- Segarra, G., Casanova, E., Avilés, M., & Isabel Trillas, I. 2010. *Trichoderma asperellum* strain T34 controls fusarium wilt disease in tomato plants in soilless culture through competition for iron. Microb Ecol 59:141-149 DOI 10.1007/s00248-009-9545-5.
- Segarra, G., Avilés, M., Casanova, E., Borrero, C., and Trillas, I. 2013. Effectiveness of biological control of *Phytophthora capsici* in pepper by *Trichoderma asperellum* strain T34. Phytopathologia Mediterranea 52, 1, 77-83

- Sivasithamparam, K. and E.L. Ghisalberti. 1998. Secondary metabolism in *Trichoderma* and *Gliocladium*. In: *Trichoderma and Gliocladium*. (Eds.): G.E. Harman and C.P. Kubicek. Taylor and Francis, London, pp. 139-192.
- Steyaert, J.M, H.J. Ridgway, Y. Elad and A. Stewart. 2003. Genetic basis of mycoparasitism: A mechanism of biological control by species of *Trichoderma*. *J. Crop. Horticult. Sci.*, 31: 281-291.
- Strakowska J., Błaszczuk L., Chełkowski J. 2014. The significance of cellulolytic enzymes produced by *Trichoderma* in opportunistic lifestyle of this fungus. *J. Basic Microb.* 54 (Suppl. 1): S2-13. DOI: 10.1002/jobm.201300821.
- Thrane C., Tronsmo A., Jensen D.F. 1997. Endo-1,3- β -glucanase and cellulose from *Trichoderma harzianum*: purification and partial characterization, induction of and biological activity against plant pathogenic *Pythium* spp. *Europ. J. Plant Pathol.* 103 (4): 331-344.
- Vinale, F., K. Sivasithamparam, L.E. Ghisalberti, R. Marra, L.S. Woo and M. Lorito. 2008. *Trichoderma*-plant-pathogen interactions. *Soil. Biol. Biochem.*, 40: 1-10.
- Vinale, F., R. Marra, F. Scale, E.L. Ghisalberti, M. Lorito and K. Sivasithamparam. 2006. Major secondary metabolites produced by two commercial *Trichoderma* strains active different phytopathogens. *Letter in Applied Microbiol.*, 43: 143-148.
- Viterbo A, Landau U, Kim S, Chernin L, Chet I. 2010. Characterization of ACC deaminase from the biocontrol and plant growth-promoting agent *Trichoderma asperellum* T203. *FEMS Microbiol Lett* 305:42-48.
- Viterbo A, Chet I. 2006. TasHyd1, a new hydrophobin gene from the biocontrol agent *Trichoderma asperellum*, is

- involved in plant root colonization. *Mol Plant Pathol* 7:249-258
- Yedidia, I., N. Benhamou and I. Chet. 1999. Induction of defence responses in cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) by the biocontrol agent *Trichoderma harzianum*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 65: 1061-1070.
- Yedidia, I., Benhamou, N., Kapulnik, Y., and Chet, I. 2000. Induction and accumulation of PR proteins activity during early stages of root colonization by the mycoparasite *Trichoderma harzianum* strain T-203. *Plant Physiol. Biochem.* 38:863-873.
- Yedidia I., Srivastava A.K., Kapulnik Y., Chet I. 2001. Effect of *Trichoderma harzianum* on microelement concentrations and increased growth of cucumber plants. *Plant Soil* 235 (2): 235-242.
- Yendyo S, Rames, G.C. and Pandey BR. 2018. Evaluation of *Trichoderma* spp., *Pseudomonas fluorescens*, and *Bacillus subtilis* for biological control of Ralstonia wilt of tomato. *F1000 Research* 6 : 2028. doi: 10.12688/f1000 research.12448.2.
- Weindling R. (1934) Studies on the lethal principle effective in the parasitic action of *Trichoderma lignorum* on *Rhizocronia solani* and other soil fungi. *Phytopathology* 24, 1153-1179.
- Weindling R. and Emerson O. H. (1936) The isolation of a toxic substance from the culture of a *Trichoderma*. *Phytopathology* 26, 1068-1070.
- Weindling, R. 1941. Experimental consideration of the mold toxin of *Gliocladium* and *Trichoderma*. *Phytopathology* 31:991-1003.
- Woo, S.L., Ruocco, M., Vinale, F., Nigro, M., Marra, R., Lombardi, N., Pascale, A., Lanzuise, S., Manganiello, G., and Lorito, M. 2014. *Trichoderma*-based Products and their Widespread Use in Agriculture. *The Open Mycology Journal* 8, (Suppl-1, M4) 71-126

BAB 9
PENGENDALIAN HAYATI
PENYAKIT PASCA PANEN

PENDAHULUAN

Buah-buahan dan sayuran adalah hasil pertanian yang mudah rusak, dan pembusukan pascapanen yang disebabkan oleh patogen merupakan tantangan besar di seluruh dunia. Penyakit pasca panen tidak begitu banyak menjadi perhatian para peneliti penyakit tanaman. Sementara kerusakan yang ditimbulkan oleh penyakit pascapanen begitu tinggi dan penyakit langsung menyerang buah atau sayuran yang merupakan hasil panen yang mempunyai nilai ekonomi tinggi.

Di negara industri, diperkirakan kerusakan karena patogen yang menyebabkan buah-buahan dan sayuran membusuk berkisar 20-15% selama penanganan dan penyimpanan pascapanen (Sharma dkk., 2009), sementara itu kehilangan buah dan sayuran setelah panen di negara-negara berkembang lebih besar lagi berkisar 20-50% (Sudheer dan Indira, 2007). Menurut Bradford dkk. (2018) bahwa, sekitar sepertiga dari total produksi hasil panen sampai ke konsumen rusak yang diakibatkan infeksi patogen jamur. Disamping itu juga, sebagian jamur ini dapat menghasilkan Mikotoksin yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia dan hewan. Dwiastuti dkk. (2021) melaporkan bahwa kerusakan buah pascapanen di Indonesia mencapai 25%, yang sebagian besar disebabkan oleh infeksi patogen, kerusakan ini setara dengan kerugian ekonomi sebesar US\$58.966.861.

Buah-buahan yang beredar di Indonesia merupakan buah lokal dan buah impor. Kerusakan karena kontaminasi serangan penyakit lebih banyak ditemukan di pasar tradisional dibandingkan di supermarket. Hal ini dikarenakan supermarket memiliki tempat penyimpanan yang ber AC, buah-buahan disortir, dibersihkan dan ditutup dengan pembungkus, sehingga mengurangi kontak antara buah-buahan tersebut. Sementara di pasar tradisional buah-buahan

dijual dan disimpan seadanya, ditempatkan di keranjang bambu tanpa ruang pendingin, sementara suhu di pasar cenderung tinggi. Selain itu buah-buahan di pasar tradisional tidak dibungkus, sehingga kontak diantara buah sangat tinggi dan menyebabkan sering terjadi memar, sehingga mudah sekali diserang oleh patogen.

Dari hasil review literature dan observasi di lapangan dan di pasar yang dilakukan oleh Dwiastuti dkk. (2021) Penyakit pasca panen pada Buah jeruk, apel, anggur, dan strawberi baik di lapangan maupun di tempat penyimpanan atau di pasar disebabkan oleh berbagai patogen seperti *Penicillium italicum*, *P. digitatum*, *Lasiodiplodia theobromae*, *Alternaria citri*, *Phomopsis citri*, *Geotrichum candidum*, *Pezicula malicorticis* (*Gloeosporium malicorticis*), *Glomerella cingulata*, *Physalospora abtusa*, *Podosphaera leucotricha*, *Mucor piriformis*, *P. expansum*, *Botrytis cinerea*, *Erysiphe necator*, *Colletotrichum gloesporioides*, *Rhizopus stolonifer*, *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Phytophthora cactorum*, *Fusarium* sp., *Alternaria* sp.

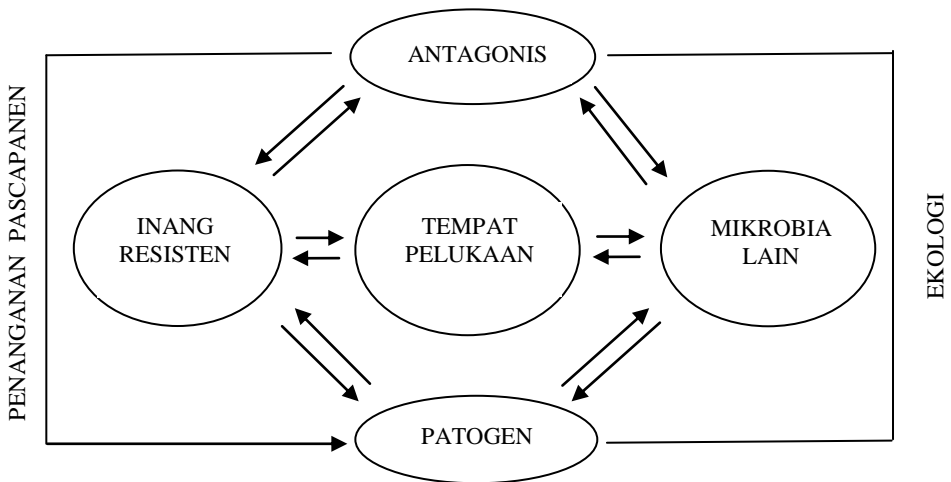
Sejauh ini pengendalian terhadap penyakit pascapanen yang banyak dilakukan adalah dengan penyemprotan pestisida (Eckert dan Ogawa, 1985), tetapi pengendalian menggunakan pestisida terhadap buah-buahan dan sayuran yang biasanya dikonsumsi segar oleh manusia mempunyai resiko yang sangat tinggi bagi kesehatan khususnya resiko penyakit kronis residu pestisida yang bersifat karsinogen yang dapat menyebabkan kanker dan tumor. Penggunaan pestisida juga dapat menyebabkan kerusakan lingkungan, termasuk matinya organisme-organisme bermanfaat dan munculnya strain patogen yang resisten terhadap pestisida tersebut. Untuk itu, ahli penyakit tanaman harus memikirkan pengendalian yang aman terhadap penyakit pascapanen. Pengendalian hayati dengan memanfaatkan agensia hayati antagonis sangat

potensial untuk digunakan dalam mengendalikan penyakit pascapanen.

INTERAKSI PATOGEN / ANTAGONIS / INANG / MIKROORGANISME LAIN DALAM PENGENDALIAN HAYATI PENYAKIT PASCAPANEN

Wilson dan Wisniewski (1989) menggambarkan interaksi yang terjadi antara patogen/antagonis/inang resisten/mikroorganisme lain pada permukaan buah. Sebagian besar infeksi pascapanen buah-buahan dan sayuran terjadi melalui luka. Luka ini sering terjadi karena penanganan pascapanen yang kurang baik. Infeksi laten dan patogen yang menginfeksi melalui lentisel menimbulkan interaksi yang berbeda antara patogen dan antagonis atau kondisi "medan perang" yang berbeda antara patogen dan antagonis dan mungkin bisa lebih sulit dikendalikan secara biologis. Untuk mengatasinya mungkin memerlukan penggunaan antagonis atau produk antagonis yang mampu menyerang sebagian atau antagonis yang sudah menghuni jaringan inang internal. Untuk mengendalikan patogen yang menyerang melalui luka, memerlukan antagonis yang efektif yang harus mampu mengkolonisasi luka dan menghambat patogen. Interaksi kompleks yang melibatkan inang resisten dan respon luka, serta mikroorganisme lain yang berinteraksi, harus diperhitungkan. Keberhasilan pengendalian hayati ini juga sangat dipengaruhi ekologi dan kondisi penanganan pascapanen. Ekologi dan penanganan pascapanen harus dikondisikan sinergis dan mendukung pertumbuhan dan perkembangan optimal antagonis yang menjadi faktor kunci keberhasilan pengendalian hayati penyakit pascapanen. Gambaran interaksi tersebut dapat dilihat pada Gambar 9.1.

Gambaran interaksi ini menimbulkan beberapa pertanyaan kritis: (a) Apakah hal tersebut memberikan efek antagonis terhadap "penyembuhan luka" dan resistensi inang? (b) Seberapa penting dan tersebar luas di alam pengaruh langsung dari antagonis terhadap patogen? (c) Bagaimana mikroorganisme lain atau campuran antagonis mempengaruhi interaksi patogen dan antagonis? dan (d) Bagaimana komposisi nutrisi/bahan kimia di tempat luka mempengaruhi antagonis, mikroflora lain, proses infeksi, dan respon luka pada buah? Kita perlu meningkatkan pengetahuan tentang bagaimana fisiologi pascapanen buah dan sayuran mempengaruhi resistensi penyakit pada inang dan bagaimana hal tersebut, pada gilirannya, dapat mempengaruhi aktivitas biokontrol dari antagonis. Kita juga perlu pemahaman yang lebih besar tentang mikroekologi permukaan buah dan sayuran dan bagaimana praktik budidaya dapat dilakukan mempengaruhi resistensi dan perubahan mikroflora pada permukaan buah tersebut.



Gambar 9.1. Interaksi inang/patogen/antagonis/mikrobia lain pada tempat pelukaan (Wilson dan Wisniewski, 1989 dengan modifikasi).

MIKROOGANISME ANTAGONIS SEBAGAI AGEN PENGENDALIAN HAYATI PENYAKIT PASCAPANEN

Seiring dengan semakin tingginya kesadaran masyarakat akan bahaya dan efek negatif residu pestisida terkhusus terhadap komoditi pertanian yang dikonsumsi segar. Sudah cukup banyak agen hayati yang dilaporkan mempunyai kemampuan dalam menekan dan melindungi buah-buahan dan sayuran dari serangan penyakit pascapanen. Saat ini Pengendalian hayati penyakit pascapanen telah muncul sebagai alternatif yang efektif dalam melindungi buah-buahan dan sayuran. Beberapa Patogen pascapanen dikendalikan oleh sejumlah mikroorganisme antagonis seperti jamur, khamir, yeast dan bakteri.

Beberapa Jamur telah dilaporkan efektif dalam menekan patogen penyebab penyakit pascapanen. Batt dan Vaughan (1962) melaporkan bahwa, *Cladosporium herbarum* dan *Pullularia pullulans* dapat menekan busuk Botrytis tanaman stroberi dengan persentasi penekanan masing-masing 42 dan 31%. Lichter dkk. (2006) mengendalikan pembusukan pasca panen buah anggur dengan pengasapan biologis yang diproduksi jamur *Muscodor albus*. Metabolit yang mudah menguap diproduksi oleh *M. albus* merupakan campuran senyawa dengan berat molekul rendah yang bersifat biosidal atau biostatik pada berbagai macam mikroorganisme patogen termasuk *B. cinerea* (Gabler dkk., 2006). Gabler dkk. (2006) mengembangkan bio-fumigasi berkelanjutan pada anggur dengan *M. albus* yang ditumbuhkan pada formula biji gandum. Mercier dan Smilanick (2003) melaporkan bahwa *Muscodor albus* mengendalikan kapang abu-abu pascapanen anggur pada suhu -0,5 hingga 1°C selama penyimpanan komersial, 2-5°C selama transportasi dan 15-20°C selama pemasaran. Mereka menemukan bahwa insidensi busuk jamur abu-abu menurun

segera setelah inkubasi anggur meja dengan 5 atau 20 g formulasi *Muscodor albus* per kilogram tandan anggur pada suhu 15 °C selama 7 hari atau dengan 5 atau 10 g/kg buah anggur pada suhu 0,5 °C selama 28 hari.

Berbagai jenis yeast sudah diteliti dan terbukti efektif menekan penyakit pascapanen. Strain *Candida*, *Cryptococcus*, *Debaryomyces*, *Metschnikowia*, *Pichia*, *Rhodotorula*, *Sporobolomyces* dan *Trichosporon* telah dilaporkan dapat menghambat pembusukan pasca panen buah karena efek anti jamurinya (Sipiczki, 2006). Yeast yang berwarna merah jambu, *Sporobolomyces roseus* (isolate FS-43-238) yang diisolasi dari buah pear sangat efektif menekan *gray mold* yang disebabkan oleh *Botrytis cinerea* dan *blue mold* yang disebabkan *Penicillium expansum* dengan persentase penekanan masing-masing mencapai 78% dan 100%. Dilaporkan oleh Chalutz dan Wilson (1990), bahwa yeast *Debaeryomyces hansenii* yang diisolasi dari permukaan buah lemon, dapat menekan berbagai penyakit busuk seperti *green mold*, *blue mold*, *sour mold* pada berbagai jenis jeruk. Persentase penekanan pada *grapefruit* lebih efektif dibandingkan dengan jenis atau varitas lainnya. De Curtis dkk. (1996) melaporkan bahwa strain *Metschnikowia pulcherrima* yang merupakan strain yeast tular buah (*fruit-borne strains*) efektif dalam melindungi busuk pasca panen buah anggur yang disebabkan oleh *B. cinerea* dan patogen pasca panen lainnya. Janisiewicz dkk. (2001) melaporkan bahwa *Metschnikowia pulcherrima* merupakan agen antagonis yang sangat potensial dalam menekan penyakit *blue mold* pada buah apel yang disebabkan oleh *Penicillium expansum* dan penyakit pascapanen buah delima, agensia antagonis ini dapat melindungi buah apel Golden yang sangat enak dari serangan *blue mold* selama penyimpanan pada suhu 1 °C selama 1 bulan dan dilanjut 7 hari pada suhu kamar. Selanjutnya dilaporkan

bahwa Bioagen *Metschnikowia fructicola* merupakan agen biokontrol yang efektif untuk penyakit pasca panen anggur (Karabalut dkk., 2003). McLaughlin dkk. (1992) membuktikan bahwa, yeast *Kloekera* dan *Candida quilliermondii* sangat efektif menekan penyakit busuk pascapanen yang disebabkan oleh *Rhizopus stolonifer* pada buah anggur, persik, dan apel. Liao (1989) membuktikan bahwa Aplikasi *Pseudomonas putida* strains PP22 pada umbi kentang efektif menekan serangan penyakit busuk lunak bakteri oleh *Erwinia carotovora* sbsp. *carotovora* dan serangan *Xanthomonas campestris* dengan persentasi penekanan masing-masing sebesar 21% dan 44%. Selanjutnya Colyer dan Mount (1984) juga melaporkan bahwa *Pseudomonas putida* tidak hanya dapat mengendalikan busuk lunak yang disebabkan *Erwinia* spp. saat pascapanen dengan persentase penekanan sebesar 75%, tetapi juga dapat menekan di pembibitan didalam pot dengan perlakuan antagonis sebelum tanam dengan persentase penekanan sebesar 50%. Dua agen hayati *Cryptococcus laurentii* dan *Aureobasidium pullulans* dapat mengendalikan akumulasi ochratoxin oleh *Aspergilli* hitam pada buah anggur (Dimakopoulou dkk., 2005). Agen biokontrol jenis yeast lain *Hanseniaspora uvarum* juga dilaporkan efektif mengendalikan jamur abu-abu pada anggur meja dalam skala laboratorium (Liu dkk., 2010).

Janisiewicz (1987) melaporkan bahwa antagonis bakteri (L-22-64) dan yeast (F-43-31) yang diisolasi dari apel di lapangan dan apel yang disimpan sangat efektif menekan penyakit *blue mold* pada apel. Janisiewicz dan Marchi (1992) juga melaporkan bahwa safrofit strain *Pseudomonas syringae* (L-59-66) sangat efektif menekan serangan *Botrytis cinerea* penyebab penyakit *gray mold* dan *Penicillium expansum* penyebab penyakit *blue mold* dengan persentasi penekanan mencapai 100%, dari riset ini juga dilaporkan bahwa antagonis

diaplikasikan di area pelukaan buah populasinya meningkat selama penyimpanan pada suhu 1 °C selama 30 hari. Selanjutnya Janisiewicz dan Roitman (1988) juga menemukan bahwa *Pseudomonas cepacia* sangat efektif menekan pertumbuhan *Botrytis cinera* penyebab penyakit *gray mold* dan *Penicillium expansum* penyebab penyakit *blue mold* secara *in vitro* dan juga dapat menekan infeksi patogen secara *in vivo* pada buah apel dan pear. Smilanick dan Dennis-Arrue (1992) juga melaporkan bahwa *Pseudomonas cepacia* juga sangat efektif menekan penyakit pascapanen *green mold* yang disebabkan oleh *Penicillium digitatum* dengan persentasi penekan lebih dari 80%, yang efektivitasnya mendekati pengendalian dengan fungisida imazali dan thiabendazole. Wilson dkk. (1987) menemukan bahwa *Enterobacter cloacae* (isolate D-3) sangat efektif menekan perkembangan busuk buah peach yang disebabkan oleh *Rhizopus stolonifer* dengan persentasi penekanan mencapai 70%, 5 hari setelah inokulasi patogen. Soyong dkk., (2005) menemukan bahwa zat antijamur diekstraksi dari *Chaetomium cupreum*, *C. globosum*, *Trichoderma harzianum*, *Penicillium chrysogenum* KMITL44 dan *Trichotoxin A50* dapat menghambat pertumbuhan *Colletotrichum gloeosporioides*.

MEKANISME PENGENDALIAN HAYATI PENYAKIT PASCAPANEN

Sejumlah besar penelitian tentang penggunaan mikroba antagonis untuk mengendalikan penyakit pascapanen telah banyak dilakukan oleh berbagai peneliti di dunia. Namun, bagaimana mekanisme yang terjadi, belum sepenuhnya dipahami. Mekanisme ini sangat penting untuk memahami cara kerja mikroba antagonis, karena hal itu akan membantu dalam mengembangkan prosedur dan cara aplikasi tambahan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dari aplikasi

antagonis tersebut, dan itu juga akan membantu dalam menyeleksi jenis antagonis yang lebih efektif dan diinginkan.

Mekanisme pengendalian hayati penyakit pasca panen yang disebabkan oleh berbagai patogen pembusuk dengan menggunakan agen hayati jamur, yeast, dan bakteri dapat terjadi dengan berbagai mekanisme seperti antibiosis, parasitisme, produksi litik enzim, kompetisi nutrisi dan ruang, dan induksi resistensi

Bacillus subtilis strain B3 sangat efektif menekan infeksi *Monilinia fructicola* yang menyebabkan penyakit busuk coklat pada berbagai tanaman seperti *stone fruit*, *peach*, *nectarines*, *apricot*, dan *plums* melalui mekanisme antibiosis dengan produksi zat antijamurnya (Pusey dan Wilson, 1984). *Bacillus subtilis* B-30 menghambat pertumbuhan penyebab penyakit *Moniliania fructicola* penyakit busuk coklat persik pada media kultur oleh produksi antibiotik iturin (Gueldner dkk., 1988). Ditambahkan oleh Janisiewicz dkk. (1991) zat anti jamur *pyrrinitrin*, yang diisolasi dari *Pseudomonas cepacia* sangat efektif mengendalikan penyakit pascapanen *gray mold* yang disebabkan oleh *Botrytis cinerea* dan *blue mold* yang disebabkan *Penicillium expansum* yang mengindikasikan pengendalian hayati oleh *P. cepacia* melalui mekanisme antibiosis. Madbouly dkk (2020) melaporkan bahwa aplikasi 5 jenis endofit yeast diisolasi dari buah apel yang sehat, *Schwanniomyces vanrijae*, *Galactomyces geotrichum*, *Pichia kudriavzevii*, *Debaryomyces hansenii*, dan *Rhodotorula glutinis* sangat efektif menekan penyakit busuk buah coklat pada buah apel yang disebabkan oleh *Monilinia fructigena* dengan persentase penekanan mencapai 89,5% dengan mekanisme antagonism dimana penghambatan terjadi karena antagonis yeast yang diuji memproduksi enzim hidrolisis dinding sel jamur seperti: kitinase, pektinase, β -1,3-glukanase, dan protease, selain itu yeast juga memproduksi toxin.

Poleatewich dkk. (2023) melaporkan bahwa aplikasi bakteri pembentuk endospora, *Bacillus megaterium* isolat A3-6 dan Ae-1, menghasilkan penekanan yang paling tinggi terhadap ukuran lesi busuk pahit (*bitter rot*) yang disebabkan oleh *Colletotrichum acutatum* dan isolat A3-2 menekan paling efektif terhadap *blue mold* yang disebabkan oleh *Penicillium expansum* pada buah apel. Dari pengamatan mikroskop electron (*Scanning electron micrographs*), Poleatewich dkk. mengamati mekanisme yang terjadi dipermukaan buah apel, 4 hari setelah inokulasi, yang memperlihatkan terjadi mekanisme parasitisme antagonis *B. megaterium* isolat A3-6 terhadap patogen *C. acutatum*, sementara isolat lain tidak terjadi kontak dan interaksi parasitisme dan tidak terjadi kerusakan pada hifa dan spora patogen.

Hal yang sangat penting dalam mengendalikan pembusukan pada buah adalah kolonisasi antagonis yang cepat pada tempat pelukaan di buah tersebut, dan bagaimana manipulasi yang mengarah ke peningkatan kolonisasi, maka akan meningkatkan aktivitas biokontrol (Mercier dan Wilson, 1994). Dengan demikian, mikroba antagonis harus memiliki kemampuan untuk tumbuh lebih cepat daripada patogen. Demikian pula, harus memiliki kemampuan untuk bertahan bahkan dalam kondisi yang tidak menguntungkan bagi patogen (Droby dkk., 1992). Aktivitas biokontrol antagonis mikroba dengan sebagian besar komoditas yang dipanen meningkat dengan meningkatnya konsentrasi antagonis dan penurunan konsentrasi patogen. Janisiewicz dkk. (1994) melaporkan bahwa *Sporobolomyces roseus* (isolat FS-43-238), merupakan agensia yang sangat potensial untuk dikembangkan secara komersial, karena antagonis sangat efektif menekan penyakit *blue mold* (*Penicillium expansum*) dengan persentasi penekanan mencapai 100% dan penyakit

gray mold (*Botrytis cinerea*) mencapai 78%. Selain itu, antagonis *S. roseus* dengan cepat mengkolonisasi tempat pelukaan pada buah, populasi meningkat 40% lebih setelah 3 bulan penyemprotan pada suhu 1 °C, terdapat dimana-mana di alam termasuk di permukaan buah, dan tidak tumbuh pada suhu 36 °C.

Arras dkk. (1998) melaporkan bahwa dari 19 isolat yeast *Pichia guilliermondii*; *Candida famata* dan *C. saka*, yang diuji dalam mengendalikan penyakit *blue mould* buah jeruk yang disebabkan oleh *Penicillium digitatum*, isolate *Pichia guilliermondii* yang paling efektif dan dapat menekan penyakit sampai 98%. Dari pengamatan dengan mikroskop electron, mekanisme penekanan yang terjadi oleh *Pichia guilliermondii* adalah dengan kolonisasi dan kompetisi nutrisi pada area sekitar pelukaan. Riset yang dilakukan Castoria dkk. (1997) melaporkan bahwa yeast *Rhodotorula glutinis* dan *Cryptococcus laurentii* efektif menekan penyakit pascapanen yang disebabkan patogen *Penicillium expansum* dan *Botrytis cinerea*, dengan mekanisme kompetisi nutrisi. Selanjutnya Saravanakumar dkk. (2008) melaporkan bahwa *Metschnikowia pulcherrima* menekan sangat efektif penyakit pascapanen buah apel *Botrytis cinerea*, *Alternaria alternata* dan *Penicillium expansum* dengan mekanisme melalui penipisan besi.

Abo-Elyousr dkk. (2021) melaporkan bahwa aplikasi hanya menggunakan *Schwanniomyces vanriijiae* dapat melindungi buah lemon dari serangan busuk jamur hijau yang disebabkan oleh *Penicillium digitatum* dengan persentase penekanan 55%. Pada saat aplikasi antagonis *S. vanriijiae* dikombinasikan 3% ekstrak etanol propolis (EEP), terjadi peningkatan efektivitasnya menekan serangan busuk jamur menjadi 80-93,7%. Mekanisme penekanan penyakit oleh *S. vanriijiae* dan EEP melalui induksi resistan dengan peningkatan

kadar antioksidan, peroksidase (POD), polifenol oksidase (PPO), dan fenol dibandingkan kontrol yang tidak diberi perlakuan. Selanjutnya Benhamou (2004) melaporkan bahwa, aplikasi antagonis *Verticillium lecanii* pada buah jeruk sangat efektif menekan penyakit *green mold* yang disebabkan oleh *Penicillium digitatum*. Antagonis *V. lecanii* memiliki kemampuan untuk menginduksi aktivasi transkripsi gen pertahanan yang mengarah pada akumulasi struktural dan biokimia kompleks seperti pengendapan bahan baru dalam sel eksokarp, penebalan dinding sel, dan akumulasi callose dan senyawa seperti lignin.

Mekanisme pengendalian hayati mungkin terjadi dengan lebih dari satu mekanisme. Castoria dkk. (2001) melaporkan bahwa, yeast *Aureobasidium pullulans* (isolat LS-30) merupakan antagonis yang sangat efektif mengendalikan serangan penyakit pascapanen yang disebabkan oleh *Botrytis cinerea*, *Penicillium expansum*, *Rhizopus stolonifer* dan *Aspergillus niger* pada anggur meja, dan *B. cinerea* dan *P. expansum* pada buah apel. Castoria dan kawan-kawan juga mengamati kemampuan yeast tersebut dalam menekan patogen pascapanen dengan mekanisme kompetisi nutrisi dan induksi resistensi dengan peningkatan Ekstraseluler *Exochitinase* [*N-acetyl-b-D-glucosaminidase* (*Nagase*)] dan *b-1-3-glucanase*. Mekanisme ini terjadi karena tidak ada interaksi secara langsung antara antagonis *Aureobasidium pullulans* dan patogen, mengingat *Aureobasidium pullulans* tidak menghasilkan antibiotik dan tidak juga mempunyai aktivitas mikoparasit

APLIKASI DAN PENGENDALIAN TERPADU PENGENDALIAN HAYATI PENYAKIT PASCAPANEN

Dibanding pestisida kimia, hanya sedikit mikroorganisme antagonis yang berhasil dilaporkan sukses

mulai dari uji laboratorium, kemudian uji di lapangan termasuk lingkungan pascapanen, sampai menjadi agen hayati yang dikomersialkan seperti pestisida komersial. Paling tidak ada 2 penghambat kenapa ini terjadi, yaitu aplikasi agen hayati relatif kurang efektif dibanding dengan pengendalian dengan pestisida, dan insentif ekonomi dari komersialisasi agen hayati ini kurang memberikan nilai ekonomi.

Ada dua pendekatan penggunaan antagonis mikroba untuk mengendalikan penyakit pascapanen buah-buahan dan sayuran:

1. Penggunaan mikroorganisme yang sudah ada pada permukaan buah dan sayuran, yang dapat dipromosikan dan dikelola. konsep ini berkembang dari riset ternyata populasi mikroba tertentu dalam hal ini mikroorganisme rizosper pada permukaan tanaman gandum mungkin sebenarnya berada di bawah kendali genetik inang (Neal dkk. 1973). Jika demikian halnya, maka ada kemungkinan bahwa kita dapat mengelola populasi mikroorganisme antagonis penekan penyakit melalui modifikasi genetika inang (Wilson, 1989). Riset seperti ini menjadi tantangan tersendiri bagi ahli pemuliaan tanaman bagaimana menciptakan varietas, dimana agensia antagonis tertentu yang menjadi penghambat patogen dapat tumbuh dengan baik dan populasinya berlimpah. Chalutz and Wilson (1990) melaporkan bahwa mikroorganisme antagonis secara alami sudah ada dipermukaan buah, sehingga kalau buah dan sayuran tersebut dicuci, menyebabkan buah dan sayuran tersebut lebih rentan terhadap pembusukan daripada yang tidak dicuci sama sekali. Mereka juga melaporkan bahwa ketika suspensi pencucian dari permukaan buah jeruk, kemudian dituangkan pada media agar, hanya bakteri dan ragi yang muncul, tetapi setelah dilakukan pengenceran

suspense air cucian tersebut, muncul beberapa jamur busuk pada agar, menunjukkan bahwa mungkin populasi yeast dan bakteri yang bersifat antagonis telah berkurang dan tidak mampu menekan pertumbuhan jamur patogen.

2. Sejak berbagai hasil riset seleksi antagonis untuk mengendalikan penyakit pascapanen yang telah banyak menemukan mikroorganisme antagonis yang efektif mengendalikan penyakit pasca panen, maka introduksi antagonis mikrobial yang sudah diidentifikasi dan sudah dievaluasi dan terbukti mempunyai kemampuan dalam mengendalikan penyakit pascapanen banyak dilakukan. Kemudian isolat tersebut diperbanyak dengan menumbuhkan pada media buatan untuk memperbanyak secara massal. Kemudian antagonis tersebut bisa diaplikasikan pada berbagai buah dan sayuran untuk mengendalikan patogen-patogen penyebab penyakit pascapanen yang aplikasinya dapat dilakukan dengan berbagai cara.

Aplikasi agen antagonis dalam mengendalikan penyakit pascapanen pada buah dan sayuran, dapat dilakukan dengan menggunakan kultur biakan antagonis yang disemprotkan atau dengan pencelupan dalam larutan antagonis (Irtwange, 2006). Aplikasi ini lebih efektif dibanding dengan aplikasi perlakuan sebelum panen seperti yang dilakukan Pratella dan Mari (1993), aplikasi pascapanen *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma viride*, *Gliocladium roseum* dan *Paecilomyces variotii* Bainier menghasilkan penekanan yang lebih baik terhadap busuk *Botrytis stroberi* dan *Alternaria* daripada aplikasi sebelum panen.

Berbagai agen hayati sudah dilaporkan sangat efektif dalam mengendalikan penyakit pasca panen. Dalam aplikasinya pada buah-buahan dan sayuran untuk

mengendalikan penyakit pascapanen yang sering menyerang baik saat transportasi maupun saat masa penyimpanan dapat diaplikasi sendiri-sendiri atau dikombinasikan dengan beberapa agen hayati lain atau dikombinasikan dengan pengendalian lain seperti bahan kimia, pestisida, termasuk kombinasi dengan perlakuan pascapanen.

Dantas dkk (2018) melaporkan riset yang dilakukan groupnya di Barazil bahwa, aplikasi produk komersial Fungisida biologi berbasis konida *Trichoderma harzianum* (Trichodermil®) pada papaya sama efektifnya dengan aplikasi minyak atsiri cengkeh dan fungisida kimia (Imazacure®) dalam menekan pertumbuhan dan serangan penyakit pasca panen buah papaya yang disebabkan *Alternaria sp.*, *Colletotrichum gloeosporioides* and *Rhizopus sp.*, dengan efektivitas yang cukup lama, sampai masa penyimpanan selama 21 hari.

Gosh dan Jayanth (2006), melaporkan bahwa di India yeast *Debaryomyces hansenii* sangat potensial dikembangkan secara komersial dalam mengendalikan penyakit pascapanen *green* dan *blue mold* yang disebabkan oleh *Penicillium digitatum* dan *P. italicum*, pada buah jeruk.

Aplikasi antagonis *Candida sake* (CPA-1) yang dikombinasikan dengan *Ammonium molybdate* efikasinya meningkat 88% dalam mengendalikan busuk biru dan abu-abu (*blue and gray mold*) buah pear yang masing-masing disebabkan oleh *Penicillium expansum* dan *Botrytis cinerea* dibanding dengan aplikasi sendiri-sendiri (Nunes dkk., 2002). Pusey dkk. (1986) melaporkan bahwa, efektivitas *Bacillus subtilis* (strains B-3) meningkat sangat signifikan dalam mengendalikan busuk coklat pada buah peach yang disebabkan oleh *Monilinia fructicola* jika dikombinasikan dengan perlakuan dicloran dan juga kombinasi pelapisan lilin dan dicloran yang biasa

dilakukan secara komersial, dibanding dengan perlakuan sendiri-sendiri.

Selain itu, aplikasi gabungan kitosan dan *Cryptococcus laurentii* juga menjaga anggur meja bebas dari pembusukan jamur (Meng dkk., 2010). Spesies lain dari *Cryptococcus*, yaitu *C. humicolus*, ditemukan sebagai bio-agent yang efektif dalam mengelola pembusukan pascapanen anggur meja saat dicampur dengan *Pichia anomala*, bentonit, kalium, kaseinat dan kalsium klorida (Ligorio dkk., 2008). Penelitian lain dilakukan oleh El-Ghaouth dkk. (2000), bahwa Kombinasi agen hayati dengan Kitosan dan turuanannya seperti glikolkitosan, yang mempunyai aktivitas antijamur dan juga dapat menginduksi resistensi pada buah. Kombinasi 0,2% glikolkitosan dengan antagonis *Candida saitoana* lebih efektif dalam mengendalikan *green mold* pada jeruk dan lemon yang disebabkan oleh *Penicillium digitatum*, dan *gray* dan *blue mold* pada buah apel daripada aplikasi sendiri-sendiri.

Penelitian lain yang cukup menarik dilakukan oleh Vivekananthan dkk. (2006), melaporkan bahwa Aplikasi pra panen *Pseudomonas fluorescens* FP7 dikombinasikan dengan aplikasi kitin pada tahap pra-pembungaan memberikan hasil yang lebih efektif dalam menekan penyakit antraknosa pada buah mangga baik di lapangan maupun saat pascapanen di tempat penyimpanan. Selain itu perlakuan ini dapat meningkatkan induksi resistensi pada pohon mangga terhadap antraknosa melalui peningkatan fenolik, peroksidase, *phenyl alanine ammonia lyase (PAL)* dan polifenol oksidase, dan juga menghasilkan buah mangga dengan kualitas yang lebih baik dan hasil yang lebih besar.

Penelitian yang dilakukan Zhang dkk. (2021) cukup menarik, mereka melaporkan bahwa, pembiakan antagonis *Rhodosporidium paludigenum* dengan penambahan asam

glukonat meningkatkan kemampuannya untuk mengendalikan jamur hijau. Studi ini memberikan wawasan baru ke dalam mekanisme dengan pengasaman ekstraseluler yang disebabkan oleh asam yang diproduksi oleh *Penicillium digitatum* mendiskriminasi mikroba yang bersaing, sehingga kondisi ini akan meningkatkan biokontrol antagonis yeast terhadap penyakit *green mold* buah jeruk.

Keberhasilan agen hayati dalam aplikasinya secara komersial akan lebih menguntungkan dan disenangi kalau agen hayati ini bisa dikombinasikan dengan aplikasi fungisida. Lima dkk. (2008), meriview banyak sekali agen hayati yang bisa dikombinasikan dengan fungisida, dengan cara, agen hayati yang akan digunakan harus diseleksi dahulu responnya terhadap fungisida, agen hayati yang digunakan harus resistan atau paling tidak moderat resistan terhadap fungisida, sehingga kombinasi antara agen hayati dengan fungisida tidak saling menekan, tetapi sinergis dan saling mendukung. Dalam aplikasinya dosis fungisida dapat digunakan dosis yang minimum sehingga residu pada buah rendah dan menjadi tidak berbahaya bagi manusia. Aplikasi pra-panen *Bacillus subtilis* dengan penyemprotan di lapangan yang terintegrasi dengan tembaga *oxychloride* atau *benomyl* secara konsisten mengurangi keparahan *Pseudocercospora purpure* bintik hitam alpukat (Korsten dkk., 1997). Aplikasi yeast *Cryptococcus laurentii* pada buah pir yang dikombinasikan dengan thiabendazole terhadap penyakit busuk biru yang disebabkan *Penicillium expansum* lebih efektif dibanding aplikasi sendiri-sendiri (Chand dan Spotts 1997), Aplikasi yeast *Rhodotorula glutinis* LS11, *Cryptococcus laurentii* LS28 and *Aureobasidium pullulans* LS30 jauh lebih efektif kalau dikombinasikan dengan fungisida *benomyl* dengan dosis rendah dalam

menekan penyakit pascapanen pada buah apel yang disebabkan *Botrytis*.

PROSPEK PENGENDALIAN HAYATI PENYAKIT PASCAPANEN

Saat ini, kesadaran masyarakat terdapat kesehatan, khususnya dengan bahaya residu pestisida pada buah-buahan dan sayuran yang biasa dikonsumsi segar semakin meningkat. Sementara itu kerusakan yang ditimbulkan oleh penyakit pascapanen begitu tinggi dan penyakit langsung menyerang buah-buahan atau sayuran yang merupakan hasil panen dan tentu saja mempunyai nilai ekonomi tinggi. Untuk itu penanganan pascapanen perlu menjadi perhatian yang serius khususnya bagaimana kita menerapkan penanganan yang terintegrasi, berkelanjutan dan aman bagi kesehatan. Untuk itu penggunaan antagonis sebagai pengendalian hayati penyakit pascapanen menjadi hal yang mendesak untuk dilakukan secara masif dan berkelanjutan. Mengingat pengendalian hayati dengan memanfaatkan antagonis dapat dikombinasikan dengan bahan kimia penginduksi ketahanan buah dan sayuran, gabungan antagonis, perlakuan pascapanen, bahkan dapat dikombinasikan dengan penyemprotan pestisida yang dilakukan dengan dosis minimum, sehingga akan mengurangi ongkos pengendalian dan residu pestisida yang ditinggalkan rendah. Dari uraian diatas, prospek pengendalian hayati penyakit pascapanen dengan antagonis semakin potensial untuk diaplikasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abo-Elyousr KAM, Al-Qurashi AD, and Almasoudi NM. 2021. Evaluation of the synergy between *Schwanniomyces vanrijiae* and propolis in the control of *Penicillium digitatum* on lemons. Egypt J Biol Pest Control 31:66. <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00415-4>
- Arras, G., de-Cicco, V., Arru, S., and Lima, G. 1998. Biocontrol by yeasts of blue mold of citrus fruits and the mode of action of an isolate of *Pichia guilliermondii*. Journal of Horticultural Science and Biotechnology 73: 413–418.
- Baker, R. 1990. An Overview of current and future strategies and model for biological control. In: D. Hornby . (eds) Biological Control of Soil-borne Plant Patogen. C.A.B International. Redwood Press Limited, Melksham, Wiltshire. Page. 375-388.
- Batt, D.D. and Vaughan, E.K. 1962. Preliminary investigation on biological control of gray mold (*Botrytis cinerea*) of Strawberries. Plant Dis. Reporter 46: 342-345.
- Benhamou, N. 2004. Potential of the mycoparasite, *Verticillium lecanii*, to protect citrus fruit against *Penicillium digitatum*, the causal agent of green mold: A comparison with the effect of chitosan. Phytopathology 94:693-705.
- Bradford KJ, Dahal P, Van Asbrouck J, Kunusoth K, Bello P, Thompson J, and Wu F. 2018. The dry chain: reducing postharvest losses and improving food safety in humid climates. Trends Food Sci Technol 71:84–93. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.11.002>.
- Chalutz, E. and Wilson, C.L., 1990. Postharvest biocontrol of green and blue mold and sour rot of citrus fruit by *Debaryomyces hansenii*. Plant Disease 74, 134–137.

- Castoria, R., De Curtis, F., Lima, G., Caputo, L., Pacifico, S., and De Cicco, V. 2001. *Aureobasidium pullulans* (LS-30) an antagonist of postharvest pathogens of fruits: study on its modes of action. *Postharvest Biology and Technology* 22: 7-17
- Castoria, R., Curtis, F., Lima, G., and Cicco, V. 1997. b-1,3-glucanase activity of two saprophytic yeasts and possible mode of action as biocontrol agents against postharvest diseases. *Postharvest Biology and Technology* 12 (3), 293-300.
- Chand-Goyal, T. and Spotts, R.A. 1997. Biological control of post-harvest diseases of apple and pear under semi commercial conditions using three saprophytic yeasts. *Biological control* 10: 199-206.
- Coyler, P.D. and Mount, M.S. 1984. Bacterozation of potatoes with *Pseudomonas putida* and its influence on postharvest soft rot diseases. *Plant. Dis.* 68: 703-706.
- Dantas, A.M.de M., Nascimento, S.R. de C., da Cruz, B.L.S., da Silva, F.H.A., Ambrósio, M.M. de Q., and Senhor, R.F. 2018. Alternative control of post-harvest diseases in Tainung 1 papaya. *Pesq. Agropec. Trop.* 48:29-35.
- De Curtis, F., Torriani, S., Rossi, F., and De Cicco, V. 1996. Selection and use of *Metchnikowia pulcherrima* as a biological control agent for post-harvest rots of peaches and table grapes. *Annals of Microbiology and Enzymology*, 46,45-55.
- Dimakopoulou, M., Tjamos, S. E., Tjamos, E. C., and Antoniou, P. P. 2005. Chemical and biological control of sour rot caused by black aspergilla in the grapevine variety agiorgitico of korinth region. *International workshop on ochratoxin A in grapes and wines: 25 prevention and control held in Marsala (TP)* (p. 77).

- Droby, S., Chalutz, E., Wilson, C.L., and Wisniewski, M.E. 1992. Biological control of postharvest diseases: a promising alternative to the use of synthetic fungicides. *Phytoparasitica* 20, 1495-1503.
- Dwiastuti, M.E., Soesanto, L., Aji, T.G., Devy, NF., and Hardiyanto. 2021. Biological control strategy for postharvest diseases of citrus, apples, grapes and strawberries fruits and application in Indonesia. *Egypt J Biol Pest Control* 31:141.
- Eckert, J.W. and Ogawa, J.M. 1985. The chemical control of postharvest diseases: subtropical and tropical fruit. *Annu. Rev. Phytopathol.* 23:421-454.
- El-Ghaouth, A., Smilanick, J.L., Brown, G.E., Ippolito, A., Wisniewski, M. and Wilson, C.L. 2000. Applications of *Candida saitoana* and glycolchitosan for the control of post-harvest diseases of apple and citrus fruit under semicommercial conditions. *Plant Disease Journal* 84: 243-248.
- Gabler, F. M., Fassel, R., Mercier, J., and Smilanick, J. L. 2006. Influence of temperature, inoculation interval and dosage on biofumigation with *Muscodor albus* to control post-harvest gray mold on grapes. *Plant Dis.* 90, 1019-1025.
- Ghosh, SK. and Jayanth, K.P. 2003. Commercialization of fungal and bacterial antagonistic organisms for Indian farmers - prospects and problems. In Ramanujam, B. and Rabindra, R.J. (eds) *Current Status of Biological Control of Plant Diseases using Antagonistic Organisms in India*. Project Directorate of Biological Control Bangalore. Page 419-423.
- Gueldner, R.C., Reilly, C.C., Pussey, P.L., Costello, C.E., Arrendale, R.F., Cox, R.H., Himmelsbach, D.S.,

- Crumley, F.G. and Culter, H.G. 1988. Isolation and identification of iturins as antifungal peptides in biological control of peach brown rot with *Bacillus subtilis*. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 36: 366-370.
- Irtwange, S., 2006. Application of Biological Control Agents in Pre- and Post-harvest Operations. *Agri. Eng. Intl.* 8, Invited Overview 3, A & M University Press, Texas.
- Janisiewicz, W.J. 1987. Postharvest biological control of blue mold on apples. *Phytopathology* 77: 481-485.
- Janisiewicz, W.J. and Roitman, J. 1988. Biological control of blue mold and gray mold on apple and pear with *Pseudomonas cepacia*. *Phytopathology* 78:1697-1700
- Janisiewicz, W.J., Yourman, L., Roitman, J., and Mahoney, N. 1991. Postharvest control of blue mold and gray mold of apples and pears by dip treatment with pyrrolnitrin, a metabolite of *Pseudomonas cepacia*. *Plant Dis.* 75: 490-494.
- Janisiewicz, W.J. and Marchi, A. 1992. Control of storage rots on various pear cultivars with a saprophytic strain of *Pseudomonas syringae*. *Plant Dis.* 76: 555-560.
- Janisiewicz, W.J., Peterson, D.L., and Bors, R. 1994. Control of storage decay of apples with *Sporobolomyces roseus*. *Plant Dis.* 78: 466-470.
- Janisiewicz, W.J., Tworowski, T.J., and Kurtzman, C.P. 2001. Biocontrol potential of *Metschnikowia pulcherrima* strains against blue mold of apple. *Phytopathology* 91: 1098-1108.
- Karabulut, O. A., Smilalanick, J. L., Gabler, F. M., Mansour, M., & Droby, S. (2003). Near harvest application of *Metschnikowia fructicola*, ethanol and sodium

- bicarbonate to control post-harvest diseases of grape in central California. *Plant Dis.* 87, 1384–1389.
- Korsten, L., De Villiers, E.E. Wehner, F.C. and Kotzé, J.M. 1997. Field sprays of *Bacillus subtilis* and fungicides for control of pre-harvest fruit diseases of avocado in South Africa. *The American Phytopathological Society* 81(5): 455-458.
- Liao, C.H. 1989. Antagonism of *Pseudomonas putida* strains PP22 to phytopathogenic bacteria and its potential use as a biocontrol agent. *Plant Dis.* 73: 223-226.
- Lichter, A., Gabler, F. M., and Smilanick, J. L. 2006. Control of spoilage in table grape: Review. *Stewart Postharvest Review*, 6,1–10.
- Ligorio, A., Platania, G., Schena, L., Castiglione, V., Pentimone, I., Nigro, F., and Ippolito, A. (2008). Control of table grape storage rots by combined applications of antagonistic yeasts, salts and natural substances. *Proceedings of COST 924 “Novel Approaches for the Control of Postharvest Diseases and Disorders”*, Bologna, pp. 124–128.
- Lima, G., De Curtis, F. and De Ciccio, V. 2008. Interaction of microbial biocontrol agents and fungicides in control of post-harvest diseases. *Stewart postharvest Review* 1-4.
- Liu, H. M., Guo, J. M., Cheng, Y. J., Luo, L., Liu, P., Wang, B. Q., and Long, C. A. 2010. Control of grey mould of grape by *Hanseniaspora uvarum* and effects on postharvest quality parameter. *Annals of Microbiology*, 60,31–35.
- Madbouly AK, Abo Elyousr KAM, and Ismail IM. 2020. Biocontrol of *Monilinia fructigena*, causal agent of brown rot of apple fruit, by using endophytic yeasts. *Biol Control* 144:104239. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104239>.

- McLaughlin, R.J., Wilson, C.L. Droby, S., Ben-Arie, R., and Chalutz, E. 1992. Biological control of postharvest diseases of grape, peach, and apple with the yeast *Kloeckera apiculata* and *Candida guilliermondii*. *Plant Dis.* 76: 470-473.
- Meng X.H, Qin, G.Z. and Tian, S.P. 2010. Influences of pre-harvest spraying *Cryptococcus laurentii* combined with post-harvest chitosan coating on post-harvest diseases and quality of table grapes in storage. *LWT-Food Science and Technology*, 43: 596-601.
- Mercier, J. and Wilson, C.L., 1994. Colonization of apple wounds by naturally occurring microflora and introduced *Candida oleophila* and their effect on infection by *Botrytis cinerea* during storage. *Biological Control* 4, 138-144.
- Mercier, J., and Smilanick, J. L. 2003. Control of green mold and sour rot of lemon and gray mold rot of grapes by fumigation with *Muscodor albus*. (Abstr.). *Phytopathology*, 93, S61.
- Neal, J. L., Larson, R. I., and Atkinson, T. G. 1973. Changes in rhizosphere populations of selected physiological groups of bacteria related to substitution of specific pairs of chromosomes in spring wheat. *Plant Soil* 39:209-12
- Nunes, C., Usali, J.,m Teixido, N., Abadias, M., and Vinas, I. 2002. Improved control of postharvest decay of pear by the combination of *Candida sake* (CPA-1) and *Ammonium molybdate*. *Phytopathology* 92: 281-287.
- Poleatewich, A., Backman, P., and Haley Nolen, H. 2023. Evaluation of endospore-forming bacteria for suppression of postharvest decay of apple fruit.

- Microorganisms 2023, 11, 81.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms11010081>.
- Pratella, G.C. and Mari, M., 1993. Effectiveness of *Trichoderma*, *Gliocladium* and *Paecilomyces* in postharvest fruit Protection. *Postharvest Biology and Technology* 3, 49-56.
- Pusey, P.L., Wilson, C.L. Hotchkiss, M.W., and Franklin, J.D. 1986. Compatibility of *Bacillus subtilis* for postharvest control of peach brown rot with commercial fruit wax, dicloran, and cold-storage condition. *Plant Dis.* 70:587-590
- Pusey, P.L and Wilson, L.C. 1984. Postharvest biological control of stone fruit brown rot by *Bacillus subtilis*. *Plant Disease* 68:753-756
- Saravanakumar, D., Ciavorella, A., Spadaro, D., Garibaldi, A., and Gullino, M.L., 2008. *Metschnikowia pulcherrima* strain MACH-1 outcompetes *Botrytis cinerea*, *Alternaria alternata* and *Penicillium expansum* in apples through iron depletion. *Postharvest Biology and Technology* 49 (1), 121-128.
- Sharma, R., Singh, D. and Singh, R. 2009. Biological control of post-harvest diseases of fruits and vegetables by microbial antagonists: A review. *Biological Control* 50(3): 205-221.
- Sipiczki, M. 2006. *Metschnikowia* strains isolated from botrytized grapes antagonize fungal and bacterial growth by iron depletion. *Applied and Environmental Microbiology*, 72, 6716-6724.
- Smilanick, J.L. and Dennis-Arrue, R. 1992. Control of green mold of lemons with *Pseudomonas* species. *Plant Dis.* 76: 481-485.

- Soytong, K., Srinon, W., Ratttanacherdchai, K., Kanokmedhakul, S., and Kanokmedhakul, K. 2005. Application of antagonistic fungi to control anthracnose disease of grape. *Journal of Agricultural Technology*, 1,33–41.
- Sudheer, K.P. and Indira, V. 2007. Processing of fruits and vegetables In: *Post harvest technology of horticultural crops*. (ed: K.V. Peter). India Publishing Agency, New Delhi. pp. 91-106.
- Vivekananthan, R., Ravi., M, Ramanathan, A. Kumar, N. and Samiyappan. R. 2006. Pre-harvest application of a new biocontrol formulation induces resistance to post-harvest anthracnose and enhances fruit yield in mango. *Phytopathologia Mediterranea* 45: 126–138.
- Wilson, CL. and Wisniewski, ME. 1989. Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables: An emerging technology. *Ann. Rev. phytopathol* 27: 425-441.
- Wilson, CL., Franklin, J.D. and Pusey, P.L. 1987. Biological control of Rhizopus rot of peach with *Enterobacter cloacae*. *Phytopathology* 77: 303-305.
- Wilson, C.L. 1989. *Managing the microflora of harvested fruits and vegetables to enhance resistance*. *Phytopathology*, 79 (1989), pp. 1387-1390.
- Zhang Z, Li S, Sun D, Yang Y, Wei Z, Wang C, and Lu L. 2021. Cultivation of *Rhodosporidium paludigenum* in gluconic acid enhances effectiveness against *Penicillium digitatum* in citrus fruit. *Postharvest Biol Technol* 172:111374. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111374>

GLOSARIUM

Antagonis adalah agensia biologi yang mempunyai potensi mengganggu dan merusak proses pertumbuhan dan perkembangan patogen melalui mekanisme antibiotik, hiperparasit, dan kompetisi. Antagonis termasuk semua klas organisme: fungi, bakteri, nematoda, protozoa, virus, viroid, dan benih tanaman sebagai tanaman perangkap.

Antibiosis merupakan mekanisme pengendalian hayati melalui penghambatan dan pengrusakan pertumbuhan, perkembangan, dan aktivitas patogen tanaman oleh agensia antagonis dengan produksi antibiotik.

Antibiotik adalah bahan organik dengan berat molekul rendah yang diproduksi mikrobia, pada konsentrasi rendah dapat menghambat dan merusak pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme lain.

A-virulen adalah ketidakmampuan menimbulkan penyakit. Strain patogen mungkin bersifat a-virulen meskipun spesies atau genus dari strain a-virulen tersebut semuanya bersifat patogen.

Ektorizosfer adalah bagian luar dari daerah rizosfer yang meliputi rambut-rambut akar, *mucigel* (tumbuhan dan bakteri), *mucilage* tumbuhan dan termasuk juga sel tudung akar yang terkelupas

Elisitor adalah bahan kimia khususnya diproduksi oleh mikroorganisme yang menginisiasi respon terhadap infeksi oleh inang dan menyebabkan reaksi induksi resistensi seperti pembentukan fitoaleksin, PRs Protein, dsbnya.

Endolisis (autolisis) adalah perusakan sel sitoplasma oleh enzim yang dihasilkan oleh sel itu sendiri yang menyebabkan juga kematian sel yang mungkin disebabkan oleh kekurangan nutrisi atau oleh antibiotik atau toxin lainnya

Endorizosfer merupakan daerah-daerah komponen dari berbagai lapisan sel dari akar yang tersusun atas jaringan pengangkut, endodermis, korteks, epidermis dan tudung akar

Entomopatogen adalah organisme khususnya mikroorganisme yang menghambat, mengganggu, dan merusak pertumbuhan dan perkembangan serangga.

Eksolisis (heterolisis) yaitu pengrusakan dinding sel oleh enzim atau antibiotik yang dihasilkan oleh organisme lain

Filoplane adalah area permukaan daun

Filosfer adalah microhabitat atau lingkungan di sekitar permukaan daun yang dipengaruhi oleh daun tersebut.

Fitoaleksin adalah bahan kimia yang diproduksi inang tanaman sebagai respon terhadap infeksi yang bersifat toksik terhadap fungi dan bakteri.

Fungisida adalah bahan kimia yang dapat membunuh dan merusak fungi.

Hidrofobik adalah zat yang tidak dapat larut dalam air yang disebabkan adanya lapisan kutin dan lilin yang menutupi permukaan daun.

Hiperparasit adalah organisme yang mampu memparasit organisme lain, khususnya golongan fungi.

Hipokotil adalah "daun di bawah biji" adalah batang dari kecambah, ditemukan di bawah kotiledon (daun biji) dan di atas radikula (akar).

Hipovirulen adalah strain organisme yang tidak dapat menimbulkan penyakit (Tidak virulen) sampai menimbulkan penyakit dengan intensitas serangan yang sangat rendah (virulensi rendah).

Induksi resistensi adalah fenomena dimana salah satu bagian tanaman distimulasi, maka akan meningkatkan resistensi pada bagian tanaman lain yang diinokulasi patogen. Resistensi dapat bersifat lokal atau sistemik yang dapat diinduksi oleh patogen yang bersifat hypovirulen/a-virulen, beberapa bakteri non-patogen, beberapa patogen tertentu, dan bahan kimia tertentu.

Induksi resistensi secara sistemik adalah induksi resistensi yang terjadi dimana inokulasi inducer berjarak tertentu dengan patogennya dan antara inducer dan patogen tidak terjadi kontak langsung atau kemungkinan terjadinya antagonis secara langsung antara inducer dan patogen tidak ada.

Induksi resistensi secara lokal adalah fenomena induksi resistensi yang terjadi di sekitar inokulasi inducer.

Inokulasi adalah introduksi organisme hidup (inoculum) pada media biakan, permukaan tanaman atau lingkungan.

Inokulum adalah organisme yang diintroduksi pada lingkungan atau bagian tanaman, yang biasanya diperbanyak secara buatan di laboratorium untuk fungsi tertentu seperti pengendalian hayati, pemicu pertumbuhan tanaman, pengomposan dan sebagainya.

Isolasi adalah menumbuhkan mikroorganisme yang berada di dalam tanaman atau lingkungan ke dalam medium buatan di laboratorium untuk keperluan eksplorasi dan koleksi mikroorganisme.

Keseimbangan biologi adalah kondisi lingkungan biologis dimana komponen-komponen yang terlibat dalam aksi-reaksi dan berperan sesuai kondisi keseimbangan secara alami, sehingga peran dan populasi komponen biologis tersebut proporsional secara alami.

Kompetisi adalah usaha keras dua atau lebih organisme untuk mendapatkan makanan ataupun ruang pada kondisi spesifik dimana hal tersebut tersedia dalam jumlah terbatas.

Kompos adalah hasil dari pembusukan atau penguraian bahan organik untuk menghasilkan bahan dengan pengurangan C/N rasio, baik untuk ditambahkan atau ditaburkan ke dalam tanah. Biasanya campuran pasir, tanah dan bahan organik seperti gambut, jerami dan bagian tanaman untuk membentuk media tumbuh tanaman secara buatan, khususnya untuk pembibitan dan tanaman sayuran.

Kultur Teknis adalah teknik budidaya untuk meningkatkan produktivitas hasil-hasil pertanian seperti pengolahan tanah, pengairan, pemupukan, pengaturan jarak tanam dan waktu tanam, penyiangan dan sebagainya. Kegiatan ini dapat mengubah lingkungan menjadi kurang sesuai bagi perkembangan hama penyakit, atau mengalihkan perhatian hama-penyakit sehingga tanaman utama terbebas dari gangguan hama-penyakit.

Lingkungan abiotik adalah lingkungan yang terdiri faktor tidak hidup seperti temperatur, air potensial, radiasi, pH, ion dan elemen lainnya, seperti karbon sangat mempengaruhi tidak saja tanaman, juga patogen dan antagonis.

Lisis adalah kerusakan, kehancuran, peruraian, dan pembusukan bahan biologi

Medium selektif adalah medium yang digunakan untuk mengisolasi mikroorganisme tertentu, yang biasanya hanya ditumbuhi oleh mikroorganisme tertentu saja.

Mikotoksin adalah racun atau toksin yang dihasilkan oleh jamur (mycos).

- Mikrobia anaerobik** adalah mikrobia yang tidak dapat tumbuh dalam suasana O_2 atau zat asam karena dalam suasana ini akan terbentuk H_2O_2 yang bersifat toksik terhadap mikrobia tersebut.
- Mikrobia fakultatif** adalah mikrobia yang hidup tidak tergantung inang dan hidup di bawah kondisi lebih dari satu kondisi lingkungan tertentu
- Mikrobia kosmopolitan** adalah mikrobia yang mudah dijumpai dimana-mana dan kuantitasnya juga paling banyak dan tersebar luas hampir di semua lingkungan.
- Miselium atau miselia** adalah kumpulan dari hifa atau benang-benang fungi.
- Mikrobia hiterotrof** adalah mikrobia yang mendapatkan makanan berupa senyawa organik dan organisme lainnya
- Mikrobia safrofit** adalah mikrobia yang hidup pada bahan organik mati.
- Patogen atau parasit** adalah organisme yang dapat menimbulkan penyakit pada tanaman, hidup di dalam atau pada organisme hidup lain
- Patogen tular tanah** adalah patogen yang berasal dari dalam tanah, sebagian atau seluruh siklus hidupnya berada di tanah. Patogen tular tanah menginfeksi tanaman melalui akar dan dapat bertahan hidup di dalam tanah pada kondisi lingkungan kurang menguntungkan.
- Patogenesitas** adalah kemampuan organisme atau patogen menimbulkan penyakit pada tanaman.
- Patogen tular udara** adalah patogen yang menyerang dan hidup di daerah filosfer.
- Pengendalian hayati** adalah Pengurangan inokulum atau aktivitas timbulnya penyakit oleh kegiatan patogen dengan satu atau lebih organisme selain manusia.
- Pengendalian kultur teknis** adalah Pengurangan inokulum atau aktivitas timbulnya penyakit dengan kegiatan budidaya tanaman atau kultur teknis.
- Penyakit tanaman** adalah penyimpangan perkembangan tanaman atau bagian tanaman yang mempengaruhi atau mengganggu fisiologinya dan mengurangi nilai ekonomi atau nilai estetikanya.
- Penyakit tular tanah** merupakan penyakit tanaman yang sangat penting, disebabkan oleh patogen yang berasal dari dalam tanah, sebagian atau seluruh siklus hidupnya berada di tanah.

Penyakit Pascapanen adalah penyakit yang muncul dan berkembang selama periode pascapanen, tanpa mempedulikan kapan terjadinya inokulasi, penetrasi, dan infeksi.

Penyatuan Protoplas (*Protoplast Fusion*) adalah Teknik rekombinasi genetic, dimana teknik ini baik untuk mengembangkan dan menciptakan strain agensia pengendali hayati unggul yang efektif sesuai keinginan kita. **Penyatuan protoplas** merupakan cara untuk promosi rekombinasi semua genom, bahkan diantara strain yang tidak kompatibel.

Pergiliran tanaman adalah budidaya tanaman dengan menanam tanaman secara bergilir untuk menghindari perkembangan penyakit dengan tidak menyediakan inang penyakit tersebut

Pertanian organik adalah sistem pertanian dengan memanfaatkan bahan-bahan organik dan agensia hayati dalam teknik budidaya tanaman, pengelolaan hama dan penyakit dan lingkungan pertanian.

Pertanian berkelanjutan sistem pertanian yang memelihara sumber daya alam dan produktivitas pertanian dalam waktu jangka yang lama dengan sesedikit mungkin dampaknya terhadap lingkungan.

Perbaikan genetik (*Genetic Improvement*) agensia pengendali hayati adalah hal yang sangat penting pada pengendalian hayati patogen tanaman melalui manipulasi genetik dengan menghasilkan strain yang super dan unggul sesuai dengan kebutuhan.

Pestisida adalah semua zat kimia atau bahan lain serta jasad renik dan virus yang dipergunakan untuk memberantas atau mencegah hama dan penyakit yang merusak tanaman, bagian-bagian tanaman atau hasil-hasil pertanian dan memberantas rumput pengganggu.

Plant-growth-promoting rizobakteria adalah bakteri yang tumbuh di daerah rizosfer yang dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman melalui pengendalian patogen tanaman dan hormon tanaman yang dihasilkannya.

Patogenesis-related protein (PRs) adalah protein yang diproduksi di dalam tanaman pada saat serangan patogen. Mereka diinduksi sebagai bagian dari *systemic acquired resistance*. Beberapa protein ini adalah antimikrobia, menyerang molekul di dalam dinding sel bakteri atau fungi, yang dapat berfungsi menstimulasi deposisi lignin. Awalnya PRs Protein terdiri dari 5 group utama

(PR-1 -PR-5) terus berkembang menjadi 16 group, diantaranya adalah β -1,3-Glucanase, chitinase, peroxidase, dan thaumatin-like protein.

Predator adalah bentuk dari simbiosis, dimana satu organisme memakan organisme lain.

Propagul patogen adalah bagian jasad patogen yang disebarluarkan untuk perkembangbiakan atau pemencaran, seperti konidia, spora, meselia, tubuh buah, dan lain-lain.

Proteksi silang (*Cross protection*) adalah penghambatan penyakit tanaman yang dihasilkan dari pra-inokulasi dengan genus yang sama atau sangat erat hubungan dengan patogen yang diinokulasikan secara simultan setelah inokulasi genus yang pertama tersebut.

Pupuk biologis atau pupuk hayati (*biofertilizers*) adalah pupuk yang mengandung mikroorganisme hidup yang ketika diterapkan pada benih, permukaan tanaman, atau tanah, akan mendiami area rizosfer tersebut baik ektorizosfer maupun endorizosfer dan mendorong pertumbuhan dengan meningkatkan pasokan nutrisi utama dari tanaman.

Rizoplane adalah daerah permukaan akar

Rizosfer merupakan zona di sekitar perakaran tanaman yang berupa selapis tanah yang menempel pada permukaan akar (rizoplane).

Siderofor merupakan senyawa yang diproduksi oleh organisme yang sangat penting sebagai pembawa ion besi, dimana siderofor ini dapat mengangkut besi (III) atau mengasingkannya sehingga membuat ion besi tersebut tidak tersedia bagi patogen.

Sklerotia adalah struktur istirahat dari fungi yang terdiri dari kumpulan masa hifa, biasanya diselimuti lapisan anti air dengan dinding hifa yang tebal.

Sterilisasi tanah adalah perlakuan tanah dengan pestisida, bahan kimia atau perlakuan panas untuk membunuh semua organisme khususnya membunuh patogen.

Spermosfer merupakan wilayah di sekitar benih yang berkecambah.

Take-all Decline, merupakan peristiwa yang terjadi pada sistem penanaman monokultur tanaman gandum, dimana supresif soil muncul setelah budidaya tanaman gandum dilakukan terus menerus, dan setelah terjadinya outbreak penyakit *take-all* satu atau lebih, barulah terjadi penurunan insiden penyakit *Take-all*

Tanah supresif adalah tanah yang dapat menyebabkan patogen tidak dapat berkembang (establis) atau mereka berkembang tetapi tidak menimbulkan penyakit atau mereka dapat berkembang dan menimbulkan penyakit tetapi menurun setelah budidaya tanaman secara terus menerus.

Tanaman perangkap untuk patogen adalah jenis tanaman dimana mereka membiarkan dirinya dimasuki patogen tapi patogen tidak berkembang, dan selanjutnya mengurangi populasi patogen.

Tanaman tahan adalah tanaman yang mempunyai kemampuan menghambat perkembangan patogen tertentu, atau untuk bertahan terhadap pengaruh lingkungan yang merugikan

Tanaman rentan adalah tanaman yang tidak mempunyai kemampuan untuk menahan pengaruh serangan patogen tertentu, atau keadaan lingkungan yang kurang menguntungkan atau faktor yang merusak lainnya.

Tanaman toleran adalah tanaman yang mempunyai kemampuan untuk bertahan terhadap pengaruh penyakit atau keadaan lingkungan yang kurang menguntungkan. Pada tanaman toleran, patogen dapat berkembang biak dalam tanaman, tetapi tanaman tidak atau hanya sedikit menunjukkan gejala penyakit.

Uji *in vitro* adalah uji yang dilakukan di agar atau tidak menggunakan tanaman, biasanya digunakan untuk mengidentifikasi sifat antagonistik dan hiperparasit calon agensia hayati.

Uji secara *in vivo* adalah pengujian menggunakan tanaman hidup, dapat dilakukan di tingkat laboratorium, rumah kaca dan di lapangan. Pengujian secara *in vivo* ini biasanya dilakukan dengan medium tanam tanah baik di pot maupun di tingkat lapangan

Virulensi merupakan kemampuan patogen menimbulkan penyakit.

virus dsRNA Virus yang menyebabkan patogen menjadi hipovirulen yang terdapat pada strain non-patogen seperti *Endothia parasitica* (chestnut blight fungus).

INDEKS

[N-acetyl-b-D-glucosaminidase (Nagase)]	228	61, 62, 63, 64, 65, 71, 86, 88, 92, 94, 97, 99, 100, 104, 116, 120, 121, 122, 124, 126, 127, 128, 129, 137, 138, 139, 140, 141, 145, 191, 195, 243, 244, 245	
1,3- β -glukanase	40	Antagonis	4, 21, 117
1,3- β -glukanase	39	Antagonisme	29, 94
1-Aminocyclopropane-1-Carboxylate Deaminase	194	antibiosis	7, 22, 29, 31, 58, 62, 63, 94, 103, 123, 127, 140, 145, 159, 186, 188
2,4-diacetylphloroglucinol	144, 148	antibiotik	15, 21, 31, 32, 62, 63, 86, 100, 124, 144, 145, 192, 195, 196, 197, 225, 228, 243
6-n-pentyl-2H-pyran-2-one	190	antibiotik,	124
6-pentylalpa pryone	191	antioxidan	138
A. radiobacter	10	apel	12, 32, 34
abiotik	22, 97, 101, 195, 200, 201	Apel	33
acetaldehid	32	Arabidopsis sp.	40
acetaldehyde	23	arabinose	189
adenine	34, 123, 140	Armillaria mellea	186, 201
adenosine triphosphatesulfurylase	98	Arpergillus flavus	165
Agrobacterium	3, 10, 25, 104	asam folic	34, 123, 140
Agrobacterium radiobacter	3, 25, 104	asam gluconik	191
Agrobacterium tumefaciens	10	asam glukonat	191, 233
agrocin 84	10	asam hidroksianat	99
alamethicin	193	asam indole-3-asetat (IAA)	100
Alcaligenes	3, 95	asam salisilat	203
alginate manucol	72	Ascomycetes	185
alkalinitas	101	ascorbate (ASC)-glutathione (GSH) redox cycle	98
alpukat	91	aseton	32
Alternaria	20, 32, 116, 117, 131, 132, 134, 146, 153, 164, 182, 218, 227, 230, 231, 241	Aspergillus nidulan	147
Alternaria alternata	227, 241	Aspergillus niger	207, 228
Alternaria citri	218	Aspergillus sp	218
Alternaria sp.	218	Atractylodes lancea	91, 111
amino alcohol	196	Aureobasidium pullulans	32, 121, 223, 228, 233, 236
Ammonium molybdate	231, 240	Avena fatua L.	203, 211
Ampelomyces quisqualis	37, 126, 127	avirulent	4, 43, 211
amylase	189	Azobacter chroococcum	205
anggur	34, 76, 96, 126, 205	Azospirillum	3
antagonis	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 15, 16, 18, 19, 20, 22, 23, 31, 33, 35, 36, 37, 50, 51, 52, 53, 58, 60,	B. amyloliquefaciens	40
		B. azotoformans	205

<i>B. cereus</i>	40	<i>Botrytis stroberi</i>	230
<i>B. coagulans</i>	205	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	200, 205
<i>B. licheniformis</i>	205	<i>Brevundimonas</i>	3
<i>B. megaterium</i>	205	<i>Burkholderia</i>	3, 46, 86
<i>B. mycoides</i>	40	<i>Busuk Pangkal batang</i>	142
<i>B. pasteurii</i>	40		
<i>B. pumilis</i>	205	<i>C. humicolus</i>	232
<i>B. pumilus</i>	40	<i>C. lagensiaarium</i>	41
<i>B. sphaericus</i>	40	<i>C. lindemuthianum</i>	39, 125, 152
<i>B. subtilis</i>	40, 139	<i>C. saka</i>	227
<i>B. thuringiensis</i>	205	<i>Ca-alginate</i>	72
<i>b-1-3-glucanase</i>	228	<i>cabai</i>	34, 52, 76, 167, 201
<i>Bacillus</i>	3, 32, 33, 40, 72, 83, 94, 95, 97, 99, 100, 102, 104, 105, 106, 107, 110, 113, 116, 123, 124, 125, 126, 128, 129, 132, 138, 140, 145, 150, 196, 205, 215	<i>callose</i>	38, 41, 48, 162, 192, 228
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	34, 97, 113, 124, 129	<i>Candida famata</i>	227
<i>Bacillus megaterium</i>	226	<i>Candida saitoana</i>	232, 237
<i>Bacillus spp.</i>	40, 72, 125	<i>Candida sake</i>	231, 240
<i>Bacillus subtilis</i>	225, 231, 233, 238, 239, 241	<i>Candida spp.</i>	146
<i>bacteriocins</i>	100	<i>Candida,</i>	222
<i>bahan organik</i>	5, 20, 31, 32, 51, 64, 86, 92, 95, 96, 118	<i>carbonic anhydrase</i>	98
<i>bakteri non-patogen</i>	3	<i>carboxymethylcellulose</i>	72
bakteriophage	37	<i>carob</i>	72
<i>benomyl</i>	12, 25, 69, 120, 136, 233	<i>catalase</i>	101
<i>Benomyl system bioassays</i>	68	<i>cellulose</i>	73, 100, 214
<i>berat molekul</i>	31, 188, 196	<i>Ceratocystis ulmi</i>	164
<i>bio-fertilizers</i>	203	<i>Ceri manis</i>	139
<i>biologi molekuler</i>	136	<i>Chaetomium cupreum</i>	224
<i>biopestisida</i>	77, 79, 80, 102, 104, 127, 186	<i>chestnut</i>	163
<i>bioremidiasi</i>	205, 206	<i>chestnut blight</i>	21, 163, 165
<i>bitter rot</i>	226	<i>chestnut blight fungus</i>	21
<i>blue mold</i>	12, 32, 40, 222, 223, 225, 226, 231, 232, 235, 238	<i>chithinase</i>	21
<i>Bordeaux mixture</i>	2	<i>chitin</i>	72, 197, 198
<i>Botryltis cinerea</i>	231	<i>chitinase</i>	100, 101, 103, 146
<i>Botrytis cinerea</i>	12, 25, 32, 33, 44, 45, 46, 47, 116, 117, 121, 123, 124, 126, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 140, 211, 218, 222, 223, 225, 227, 228, 235, 240, 241	<i>chitinases</i>	48, 183, 189, 210
		<i>chitobiosidase</i>	190
		<i>chloramphenicol</i>	53, 54, 56
		<i>Citrobacter</i>	99
		<i>Cladosporium</i>	20, 45, 121, 179
		<i>Cladosporium herbarum</i>	221
		<i>Claviceps purpurea</i>	146
		<i>cloning</i>	136, 144, 149
		<i>Clotalaria spectabilis</i>	19
		<i>Cochliobolus versicolor</i>	146
		<i>Colletotrichum acutatum</i>	226
		<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	224, 231
		<i>Colletotrichum gloesporioides</i>	218

<i>Colletotrichum lagenarium</i>	125, 131, 132, 152, 162, 165, 178	<i>Enterobacter</i>	3, 99, 117
<i>Colletotrichum lagensiaarium</i>	38, 43, 46	Enzim	146, 190, 197, 206
<i>Colletotrichum magna</i>	165	epifit	20
<i>Colletotrichum orbiculare</i>	39, 43, 161, 180	<i>Erwinia carotovora</i> subsp. <i>carotovora</i>	3
<i>Coniothyrium minitans</i>	102, 105	<i>Erysiphe graminis</i>	165, 180
<i>Corynebacterium michiganensis</i>	85	<i>Erysiphe necator</i>	218
<i>Cryphonectria parasitica</i>	146, 153, 163, 164, 165, 177	ethylene	40, 125
<i>Cryptococcus laurentii</i>	121, 223, 227, 232, 233, 240	etil asetat	32
<i>Cryptococcus laurentii</i>	139	<i>Eutypa lata</i>	77
<i>Cryptococcus</i> ,	222, 232	Exochitinase	228
Cutting system bioassays	69	exolisis	31
cysteine-rich hydrophobin	194	Explorasi	2
cytokinins	100	<i>F. asiaticum</i>	146, 163
<i>Dactylosporangium</i>	56	<i>F. graminearum</i>	146, 157, 163, 164
damping-off	9, 40, 75, 76, 85, 95, 103, 111, 116, 127, 132, 149, 166, 167, 179, 182, 197, 212	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>cucumerinum</i>	43
Darluka filum	37	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	146, 163
<i>Debaeryomyces hansenii</i>	222	<i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>spinaciae</i>	159
<i>Debaryomyces hansenii</i>	225, 231, 235	<i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>melonis</i>	94
<i>Debaryomyces</i> ,	222	<i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>niveum</i>	43, 94
dehydroascorbate reductase	98	<i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>radicis</i>	
detached leaf test	65	<i>lycopersici</i>	159, 160
<i>Deuteromycetes</i>	185	fakultatif	22, 35, 185
<i>Diplodia seriata</i>	77	fenol	118, 228
double-stranded RNA (dsRNA)		fenolik	101, 188
viruses	146	fiksasi nitrogen	99, 100
dual culture technique	58, 63	Filoplane	50
<i>E graminis</i>	12	fitoaleksin	38, 162
ektomikoriza	205	fitohormon	100
ektorhizosfer	87	foot rot	9, 25
elicitor	41	formulasi agensia	72
endochitinase-encoding	190	fruit-borne strains	222
endofit	20	fumigasi	136, 137
endolisis	31, 37	fungi steril	39
endomikoriza	205	<i>Fusarium</i>	3, 9, 32, 33, 36, 39, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 56, 68, 69, 70, 71, 77, 81, 82, 85, 86, 91, 93, 94, 96, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 117, 122, 130, 140, 146, 148, 149, 153, 155, 156, 157, 158, 161, 163, 164, 165, 167, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 179, 180, 181, 183, 201, 202, 207
endopolygalacturonase	194, 212		
endorhizosfer	87		
<i>Endothia parasitica</i>	21, 178, 182		

<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cucumerinum</i>	40, 43, 46, 179	<i>Glomus</i> spp.	205
<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lisi</i>	10	glukan polisakarida	189
<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>cubense</i>	9	glukanase	21, 38, 39, 162, 189, 190, 191, 192, 193, 197, 198
<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>cucumerinum</i>	165	glutathione reductase	98, 101
<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>dianthi</i>	39, 111, 114	gossypol	193
<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>lycopersici</i>	36, 201	gray mold	32, 47, 124, 127, 128, 222, 223, 225, 227, 231, 235, 237, 238, 240
<i>Fusarium solani</i>	36, 201, 207	green mold	222, 224, 228, 232, 233, 235, 240, 241
<i>Fusarium</i> sp.	218	<i>hemigossypol</i>	193
<i>G. brazillanum</i>	205	<i>hiperparasit</i>	7, 22, 29, 31, 36, 58, 126, 159, 189
<i>G. clarum</i>	205	<i>hipovirulen</i>	4, 21, 29, 35, 38, 39, 42, 58, 146, 152, 153, 154, 158, 161, 163, 164, 165, 166, 167
<i>G. etunicatum</i>	205	<i>hipovirulen Binucleate Rhizoctonia</i>	35, 39, 154, 161
<i>G. intraradices</i>	205	histidin	34, 140
<i>G. monosporum</i>	205	hydroxyproline-rich glycoprotein	38, 162
<i>G. mosseae</i>	205	<i>Hypocrea</i>	185
<i>Gaeumannomyces graminis</i>	32, 44, 91, 94, 108, 109, 111, 140, 153, 165	<i>in vitro</i>	34, 58, 64, 92, 116, 121, 203
<i>Gaeumannomyces graminis</i>		<i>in vivo</i>	58, 63, 116, 203
<i>var. tritici</i>	32	Indole Acetic Acid	100
<i>Galactomyces geotrichum</i>	225	Induksi ketahanan lokal	192
<i>gambut</i>	72, 74, 96, 102	induksi resistensi	6, 7, 29, 38, 39, 40, 41, 42, 68, 98, 101, 123, 124, 127, 154, 158, 159, 162, 164, 167, 192, 195, 203
<i>gandum</i>	9, 12, 72, 73, 75, 93, 94, 102, 105, 166, 203	industri	2, 74, 79, 80, 96, 205, 206
<i>Ganoderma boninense</i>	86, 109, 142	Interaksi biologi	17
<i>geldanamycin</i>	145	Interaksi hifa	63
Genetic Improvement	144	isobutanol	32
<i>Geotrichum candidum</i>	218	isobutil aetat	32
<i>gibberellin</i>	190	isoenzim	101
<i>Gibberellins</i>	100	Isolasi	50, 53
<i>Gigaspora margarita</i>	205	jamur akar putih	142
<i>Gliocladium</i>	76, 86, 102, 103, 106, 146, 185, 196, 208, 209, 212, 213, 214, 215	jasmonic acid	40, 125
<i>Gliocladium catenulatum</i>	102	kapas	104, 105, 106, 127, 166, 193, 198
<i>Gliocladium roseum</i>	230		
gliotoxin	197, 212		
gliovirin	196		
<i>Gliovirin</i>	196		
glokosa	34, 123, 140		
<i>Glomerella cingulata</i>	218		
<i>Glomus aggregatum</i>	205		

Karbon dioksida	23	<i>Lysinibacillus</i>	99
karet	52, 142	<i>Lysobacter</i>	92, 124, 132
kentang	9, 12, 52, 85, 91, 93, 98, 128, 185, 201	lytic enzymes	100, 208, 210
keseimbangan biologi	12, 14	manipulasi genetik	136, 144
khamir	221	medium selektif	53, 54, 56, 57
kitin	189, 198	melanin	152, 176
kitinase	38, 39, 99, 162, 190, 191, 192, 193, 197, 198	<i>Meloidogyne javanica</i>	203, 213
<i>Klebsiella</i>	99	mentimun	39, 40, 41, 43, 66, 68, 125, 166, 191, 192, 194
kolonisasi	6, 29, 31, 35, 42, 63, 89, 127, 153, 154, 157, 167, 176, 186, 190, 193, 194, 195, 202	<i>metalaxyl</i>	12
Kolonisasi	33, 187, 193, 195	<i>methyl bromide</i>	95, 137, 149
kompetisi	6, 7, 22, 29, 31, 33, 36, 42, 58, 86, 95, 103, 104, 123, 124, 125, 126, 127, 140, 145, 146, 153, 157, 159, 164, 187, 196	<i>methylcellulose</i>	72
kompos	5, 95, 96, 97, 98	<i>Metschnikowia</i>	222, 227, 238, 241
koninginin A	191	<i>Metschnikowia pulcherrima</i>	222
kubis	52, 98, 201	<i>Microbacterium</i>	3
kudis	9, 85, 93, 146	<i>Microbispora</i>	55
kultur teknik	4, 5, 10, 136, 141	<i>Micromonospora</i>	55
<i>Lasiodiplodia theobromae</i>	77, 218	<i>Microtetraspora</i>	56
late blight	40	mikoparasit	29, 31, 37, 103, 123, 145, 186, 187, 188, 197, 198, 228
Layering system bioassay	70	Mikotoksin	217, 245
layu fusarium	15, 18, 35, 36, 39, 43, 69, 70, 77, 93, 104, 154, 155, 156, 158, 162, 172, 173, 201	mikroparasit	22
<i>Leucostoma persoonii</i>	164, 179	mikroskop elektron	194
lignifikasi	39	minimum tillage	91
lignin	38, 39, 41, 45, 101, 162, 179, 206, 228, 247	<i>Monilinia fructicola</i>	139
lime sulphur	2	<i>Monilinia fructicola</i>	225, 231
lingkungan	2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 12, 13, 15, 16, 18, 19, 22, 32, 34, 50, 51, 52, 72, 77, 79, 85, 88, 96, 99, 100, 118, 121, 143, 152, 176, 186, 192, 203, 205, 206	<i>Monilinia fructigena</i>	225, 239
Lingkungan abiotik	15	<i>monodehydroascorbate reductase</i>	98
lipase	189, 197	<i>Mucor piriformis</i>	218
lipoxygenase-pathway hydroperoxide lyase	194	Mulsa	90
lobak	36, 140, 166	<i>Muscodor albus</i>	221, 237, 240, <i>See musuh alami</i> 4, 21
L-proline, peroxidase	101	<i>N. parvum</i>	77
		<i>N-acetylated</i>	196
		<i>N-acetyl-β-D-glucosaminidase</i>	189
		n-butyraldehid	32
		<i>Neofusicoccum australe</i>	77
		nitrat	205
		nitrate reductase	98
		<i>Nocardia</i>	55
		non-patogen	3, 6, 21, 29, 36, 38, 39, 42, 58, 68, 69, 70, 94, 95, 126, 140, 152, 153, 157, 158, 162, 163, 165, 166, 167, 176

non-patogen <i>Fusarium oxysporum</i>	3, 68, 158, 165	<i>peptaibol</i>	193, 208
non-volatile	195	<i>peptone</i>	72
n-propanol	32	<i>pergiliran tanaman</i>	10
N-terminus	196	<i>Perlakuan benih</i>	76, 142, 202
oksigen	22	<i>peroksidase</i>	38, 39, 139, 162, 191, 192, 193, 228, 232
oomycin A	144	<i>Peronospora tabacina</i>	12
oxychloride	233	<i>peroxidase</i>	21, 46, 98, 101, 124, 162, 178, 203
<i>P. digitatum</i>	218	<i>pertanian berkelanjutan</i>	11, 99
<i>P. expansum</i>	218	<i>pestisida</i>	2, 3, 12, 13, 52, 77, 78, 79, 80, 121, 122, 138, 142, 143, 203
<i>P. fluorescens</i>	32, 140	<i>Pezicula</i>	218
<i>P. paraistica</i> var. <i>nicotiana</i>	12	<i>Phaeomonniella chlamydospora</i>	76
<i>P. parasitica</i> var. <i>nicotianae</i>	176	phenozine	32
<i>P. ultimum</i>	176, 197, 198, 199	<i>phenyl alanine ammonia lyase (PAL)</i>	232
<i>P. ultimum</i> var. <i>sporangiferum</i>	176	<i>phenyl thionin</i>	162
<i>padi</i>	22, 52, 73, 76, 98, 102	<i>phenyllalanine ammonia-lyase</i>	139
<i>Paecilomyces variotii</i>	230	<i>pheromone</i>	142
<i>Paenibacillus</i>	34, 46, 99, 116, 132	<i>Phoma</i>	39
<i>PaeniBacillus durum</i>	205	<i>Phomopsis citri</i>	See
<i>Paenibacillus polymyxa</i>	34, 46	<i>Phomopsis viticola</i>	77
<i>Pantoea agglomerans</i>	34, 124, 129	<i>Phymatotrichum omnivorum</i>	23, 196
<i>papillae</i>	41	<i>Physalospora abtusa</i>	218
<i>parasit</i>	4, 6, 7, 9, 20, 21, 22, 37, 95, 195, 197	<i>Phytophthora</i>	23, 76, 81, 85, 96, 145, 153, 165, 167, 177, 178, 179, 190, 196, 201, 213
<i>peach</i>	34, 117, 133, 138, 150	<i>Phytophthora cactorum</i>	218
<i>pectinase</i>	189	<i>Phytophthora infestans</i>	12
<i>Pectobacterium carotovorum</i> subsp. <i>carotovorum</i>	3	<i>Phytophthora nicotianae</i>	153
<i>pelarut fosfat</i>	100	<i>Pichia guillemontii</i>	34, 123, 140
<i>Penaburan</i>	75	<i>Pichia guilliermondii</i>	227, 235
<i>Pengendalian kultur teknik</i>	5	<i>Pichia kudriavzevii</i>	225
<i>Penicillium</i>	32, 39, 44, 76, 86, 139, 146, 165, 180	<i>Pichia, Rhodotorula</i>	222
<i>Penicillium digitatum</i>	232	<i>pinus</i>	9
<i>Penicillium expansum</i>	226	<i>Pisolithus tinctorius</i>	205
<i>Penicillium digitatum</i>	224, 227, 231, 233, 235, 242	<i>Plant growth promoting fungi</i>	3
<i>Penicillium expansum</i>	32, 44, 139, 222, 223, 225, 226, 227, 228, 231, 233, 241	<i>Plant Growth Promotion</i>	
<i>Penicillium italicum</i>	218	<i>Rhizobacteria</i>	40
<i>Penicillium sp</i>	218	<i>plasma nutfah</i>	142
<i>Penyemprotan</i>	76	<i>Podosphaera leucotricha</i>	See
<i>Penyiraman</i>	75	<i>polifenol oksidase</i>	228, 232
		<i>polyphenoloxidase</i>	139
		<i>polyvinyl pyrrolidone</i>	72

Potato Scab Decline	93	<i>Ralstonia solanacearum</i>	98, 113
powdery mildew	37, 117, 126, 127, 180	<i>rekayasa antagonis</i>	141
Powdery mildew	20, 127	<i>rekayasa genetika</i>	142
PR protein	21	<i>rekayasa lingkungan</i>	141
<i>Pratylenchus thornei</i>	92, 113	<i>rekombinasi genom</i>	145
predator	6, 7, 21, 37	rentan	15, 16, 19, 36, 50, 92, 95
propagul	51, 53, 141	resisten	12, 18, 19, 21, 22, 29, 38, 43, 52, 66, 68, 85, 95, 96, 97, 103, 104, 123, 125, 136, 138, 140, 146, 162, 187
propional	32	<i>Rhizoctonia solani</i>	164
protease	146, 189, 190, 197, 225	<i>Rhizoctonia spp.</i>	164
protoplast fusion	136, 147, 163	<i>Rhizobacterium</i>	89, 124
PR-protein	101	<i>Rhizoctonia solani</i>	9, 23, 47, 53, 75, 82, 92, 93, 102, 103, 106, 111, 112, 137, 146, 149, 162, 179, 181, 186, 189, 190, 195, 201, 202, 207, 211
<i>Ps. fluorescens</i> , <i>Saccharomyces</i>	205	<i>Rhizopogon luteolus</i>	205
<i>Psammocinia sp.</i>	202	<i>Rhizopus oryzae</i>	198
pseudobactin	36, 111, 140	<i>Rhizopus sp.</i>	231
<i>Pseudocercospora purpure</i>	233	<i>Rhizopus stolonifer</i>	218, 223, 224, 228
<i>Pseudomonas</i>	3, 32, 34, 36, 39, 40, 44, 48, 76, 80, 81, 83, 85, 92, 94, 95, 99, 100, 106, 107, 108, 110, 111, 116, 117, 123, 128, 129, 132, 140, 144, 148, 178, 196, 202, 203, 205, 215	<i>Rhodospiridium paludigenum</i>	232, 242
<i>Pseudomonas cepacia</i>	224, 225, 238	<i>Rhodotorula glutinis</i>	225, 227, 233
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	76, 232	<i>ribulose biphosphate carboxylase</i>	98
<i>Pseudomonas putida</i>	34, 140	<i>Rigidoporus microporus</i>	142
<i>Pseudomonas syringae</i>	124, 223, 238	<i>Rizoplane</i>	50
<i>Pullularia pullulans</i>	221	rizosfer	51, 53, 88, 89, 187
pupuk organik	96	Rizosfer	86
<i>Pyricularia oryzae</i>	152	root-knot nematode	19
Pythium	3, 23, 32, 33, 75, 85, 86, 89, 102, 103, 106, 111, 113, 164, 167, 178, 179, 190, 196, 197, 201, 211, 214	<i>S. cepa</i>	205
<i>Pythium oligdanrum</i>	3	<i>S. lydicus</i>	205
<i>R. amylopogon</i>	205	<i>S. praecox</i>	9
<i>R. bataticola</i>	186, 201	salicylic acid	40, 125, 213
<i>R. fulvogleba</i>	205	salinitas	98, 101
<i>R. solani</i>	62, 63, 137, 159, 163, 179, 189, 193, 196, 197	saprofit	3, 19, 28, 50, 85, 120, 121, 122, 123, 152
<i>R. villosullus</i>	205	sawit	52, 86, 142
radiasi microwave	137	<i>Schwanniomyces vanriijae</i>	227
radiasi ultraviolet	137	<i>Schwanniomyces vanriijae</i>	225, 235
radish	44, 148, 166	<i>Scleroderma citrinum</i>	205
<i>Rahnella</i>	33, 44, 99	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	102, 105, 201, 213
<i>Rahnella aquatilis</i>	33, 44		

<i>Sclerotium rofsii</i>	23	<i>T. harzianum</i>	36, 102, 136, 137, 185, 189, 190, 191, 192, 194, 197, 200, 201, 203, 204, 207
<i>Sclerotium rolfsii</i>	23, 106, 137, 149	<i>T. koningii</i>	196, 197, 202
selulase	99	<i>T. Koningii</i>	185
selulosa	189, 192, 193, 194, 205	<i>T. koningiopsis</i>	202
<i>Septoria lycopersici</i>	96	<i>T. longibrachiatum</i>	36, 185, 196, 199
<i>Septoria tritici</i>	165, 182	<i>T. orientalis</i>	201
<i>Serratia, Sphingomonas</i>	3	<i>T. parceanamosum</i>	204
<i>sianida</i>	205	<i>T. polyporum</i>	204
<i>siderofor</i>	35, 36, 100, 140, 188	<i>T. polysporum</i>	185
<i>sistemik</i>	6, 38, 39, 40, 43, 66, 68, 95, 96, 101, 124, 125, 127, 162, 187, 192, 195	<i>T. pseudikoningii</i>	185
<i>sitrat,</i>	191	<i>T. pseudokoningii</i>	203
<i>sodium propionate</i>	54	<i>T. reesei</i>	203
<i>soil disinfestation</i>	10	<i>T. strictipile</i>	201
<i>Solanum tuberosum</i>	201	<i>T. virens</i>	193, 197, 199, 202
<i>sour mold</i>	222	<i>T. viride</i>	36, 86, 137, 185, 196, 201, 204
<i>Spermosfer</i>	89	<i>T. viridescens</i>	202
<i>Split-root system bioassay</i>	69	<i>Tagetes spp.</i>	19
<i>Sporobolomyces</i>	32, 121, 222, 226, 238	<i>Take-all</i>	91, 93, 94, 110
<i>Sporobolomyces roseus</i>	222	<i>Talaromyces</i>	76, 213
<i>Sporobolomyces rubberiums</i>	32	<i>tanah liat</i>	9, 15, 72, 74, 75
<i>Stenotrophomonas</i>	3	<i>tanah supresif</i>	9, 92, 93, 94, 95, 104
<i>Streptomyces</i>	3, 9, 55, 85, 92, 93, 102, 103, 106, 111, 124, 129, 145, 147, 205	<i>tanaman resisten</i>	8, 18
<i>Streptomyces scabies</i>	9, 85, 93, 111, 145	<i>terpenoid desoxyhemigossypol</i>	193
<i>Streptomyces sp.</i>	3	<i>terthienyls toxic</i>	19
<i>Streptomyces</i>	205	<i>Thermomonospora</i>	56
<i>streptomycin</i>	53	<i>Thielaviopsis basicola</i>	196
<i>Streptosporangium</i>	55	<i>Tobacco Mosaic Virus</i>	41
<i>suberin</i>	41	<i>toleran</i>	19, 23, 85, 176
<i>sukrosa</i>	34, 123, 140	<i>tomat</i>	35, 36, 39, 40, 43, 68, 69, 70, 71, 89, 96, 104, 116, 117, 121, 124, 128, 137, 154, 155, 156, 159, 165, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 191, 192, 201, 202, 203
<i>superoxide dismutase</i>	101	<i>triadimefon</i>	12
<i>T. asperelloides</i>	202	<i>Trichoderma</i>	9, 26, 32, 36, 37, 43, 54, 73, 75, 76, 80, 81, 82, 86, 94, 95, 102, 106, 107, 109, 113, 116, 123, 126, 128, 134, 136, 140, 146, 148, 149, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215
<i>T. asperellum</i>	36, 190, 194, 204		
<i>T. atroviride</i>	185, 190, 202, 204		
<i>T. aureoviride</i>	185, 201		
<i>T. ceramicum</i>	201		
<i>T. citrinoviride</i>	185		
<i>T. gamsii</i>	204		
<i>T. hamatum</i>	185, 192, 196, 201, 204		

<i>Trichoderma asperellum</i>	36, 201, 204, 213, 214	<i>Variovorax</i>	3
<i>Trichoderma atroviride</i>	76, 116, 202	<i>Venturia inaequalis</i>	12
<i>Trichoderma hamatum</i>	76, 80, 207	<i>Verticillium dahliae</i>	23, 196
<i>Trichoderma harzianum</i>	36, 82, 86, 102, 106, 107, 113, 126, 128, 148, 149, 189, 191, 196, 202, 203, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 224, 230, 231	<i>Verticillium lecanii</i>	37, 228, 235
<i>Trichoderma koningii</i>	109, 140, 148, 191, 208	<i>Viridibacillus</i>	99
<i>Trichoderma lignorum</i>	26, 36, 186, 195, 215	<i>Virulensi</i>	15, 20, 152
<i>Trichoderma piluliferum</i>	185	<i>virus dsRNA</i>	21
<i>Trichoderma spp.</i>	81, 146, 185, 186, 187, 188, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 200, 209, 210, 212, 213, 215	<i>volatile</i>	195, 196, 209
<i>Trichoderma viride</i>	9, 36, 76, 86, 107, 137, 148, 201, 207, 230	<i>xylanase</i>	189
<i>Trichoderma-selective agar medium</i>	54	<i>Xylanase</i>	193
<i>Trichosporon</i>	222	<i>yeast</i>	34, 73, 116, 117, 120, 121, 122, 123, 131, 132, 139, 140, 221, 222, 223, 225, 227, 228, 230, 231, 233, 240
<i>trichovirin</i>	193	<i>zeaxanthin</i>	190
<i>Tuberculina maxima</i>	37	<i>a -aminoisobutyric acid</i>	196
<i>Tuberculina vinosa</i>	37	β -1,3-glucanases	189
<i>Tumpang sari</i>	91	β -1,3-glucanase	100
<i>Ustilago maidis</i>	164, 180	β -1,3-glukanase	198, 225
		β -1,4-N-acetyl-glucosamine	100
		β -1,6-glucanases	190
		β -1,6-glukanase	198
		β -Nacetylglucosamidase	190

Pengendalian hayati patogen tanaman merupakan konsep pengendalian penyakit tanaman yang menitik beratkan pada pemanfaatan mikroorganisme anatagonis dan pengelolaan lingkungan yang mendukung aktivitas agensia hayati. Pengendalian hayati menjadi sangat penting sejalan dengan meningkatnya kesadaran masyarakat akan bahaya residu pestisida terhadap kesehatan dan kerusakan lingkungan. Pengembangan pengendalian hayati diharapkan dapat menjawab tantangan dan masalah pertanian modern, dimana dengan konsep ini kita dapat meningkatkan produksi tanaman dengan tanpa merubah atau sesedikit mungkin merubah sumber daya alam yang tersedia sehingga keseimbangan biologi di alam tetap terjaga.

Buku referensi ini berisi tentang teori, metode dan aplikasi pengendalian hayati patogen tanaman. Membahas bagaimana sejarah, konsep dan batasan pengendalian hayati serta faktor-faktor yang terlibat dalam pengendalian hayati. Menganalisis bagaimana hubungan terjadinya epidemik suatu penyakit tanaman dan keseimbangan biologi yang sangat berhubungan dengan populasi dan keberadaan agensia hayati di alam. Metode dan strategi eksplorasi agensia hayati sampai komersialisasi produk sebagai biopestisida menjadi faktor kunci keberhasilan peneliti dalam mengembangkan pengendalian hayati. Mekanisme agensia hayati melindungi tanaman dari serangan patogen baik melalui antagonis terhadap patogen dengan mekanisme antibiosis, hiperparasit/mikroparasit, dan kompetisi ataupun dengan mekanisme induksi resistensi tanaman merupakan informasi mendasar untuk meningkatkan efektivitas agensia hayati dalam mengendalikan patogen tanaman baik dengan Genetic Improvement, protoplast fusion, maupun dengan kombinasi beberapa agensia hayati dengan mekanisme yang berbeda.

Aplikasi agensia hayati terhadap patogen tular tanah maupun tular udara, dan penyebab penyakit pascapanen merupakan informasi penting dalam pengembangan pengelolaan penyakit tanaman secara berkelanjutan. Sehingga pengendalian hayati dapat mendukung pengendalian penyakit terpadu termasuk integrasi dengan penggunaan pestisida pada dosis minimum, sehingga pengendalian hayati bukan pengendalian yang eksklusif berdiri sendiri.

BIODATA PENULIS



Prof. Dr. Ir. Ahmad Muslim, M.Agr. Lahir di Lubuk Linggau Sumatera Selatan, 29 Desember 1964. Menyelesaikan S1 (Ir) di Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya, Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan pada tahun 1988. Melanjutkan pendidikan Master dengan meraih gelar (M.Agr) bidang Pengendalian Hayati Patogen Tanaman di Hokkaido University, Japan tahun 1995, dan meraih gelar Doktor (Ph.D) bidang Pengendalian Hayati Patogen Tanaman pada tahun 2003 di Gifu University, Japan.

Sampai saat ini penulis sebagai Dekan Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya sejak tahun 2021. Pada tahun 2007-2011 menjadi Wakil Dekan bidang Kemahasiswaan dan tahun 2010-2012 menjadi Wakil Dekan bidang Akademik di Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya.

Penulis pernah menjabat sebagai Wakil Rektor Bidang Perencanaan dan Kerjasama Universitas Sriwijaya 2012-2020. Penulis juga aktif di organisasi profesi Perhimpunan Fitopatologi Indonesia dan menjabat sebagai Ketua Komisariat Daerah Sumatera Selatan tahun 2008-2017. Hingga sekarang penulis aktif melakukan penelitian di bidang pengendalian hayati Patogen Tanaman dan mempublikasikan tulisan-tulisannya di Jurnal terakreditasi Nasional dan Jurnal Internasional bereputasi dan terindeks Scopus.



Prof. Dr. Ir. Suwandi, M.Agr. lahir di Bangka, 11 Janurai 1968. Menyelesaikan S1 di Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya, Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan pada tahun 1991. Melanjutkan pendidikan Master di bidang Penyakit Tanaman di Hokkaido University, Jepang tahun 1998, dan meraih gelar Doktor (Ph.D.) bidang Penyakit Tanaman tahun 2012 di Hokkaido University, Jepang.

Sampai saat ini penulis sebagai dosen tetap Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya sejak tahun 1993. Penulis aktif melaksanakan penelitian tentang Bio-ekologi Patogen Tanaman, Pengendalian Hayati, dan Biostimulan untuk Pengendalian Penyakit Tanaman. Penulis menghasilkan beberapa produk pengendalian hayati yaitu formulasi *Trichoderma*, *Beauveria* dan biostimulan tanaman berbahan aktif mikroba berguna. Hasil penelitian tersebut dipublikasikan pada jurnal nasional terakreditasi atau jurnal internasional bereputasi.

ISBN 978-623-399-109-4

