

AGENSIA PENGENDALI HAYATI

Dr. Ir. Yenny Muliani, M.P.

Rafika Ratik Srimurni, S.TP., M.Si.



CV Jejak, 2022

Agensia Pengendali Hayati

Copyright © CV Jejak, 2022

Penulis:

Dr. Ir. Yenny Muliani, M.P.

Rafika Ratik Srimurni, S.TP., M.Si.

ISBN 978-623-498-098-1

ISBN 978-623-498-099-8 (PDF) ; Edisi Digital, 2022

Editor:

Nani Sarah Hapsari, S.T.

Rafika Ratik Srimurni, S.TP., M.Si.

Iis Tentia Agustin, S.Si.

Penyunting dan Penata Letak:

Tim CV Jejak

Desain Sampul:

Freepik, Meditation Art

Penerbit:

CV Jejak, anggota IKAPI

Redaksi:

Jln. Bojong genteng Nomor 18, Kec. Bojong genteng

Kab. Sukabumi, Jawa Barat 43353

Web : www.jejakpublisher.com

E-mail : publisherjejak@gmail.com

Facebook : Jejak Publisher

Twitter : @JejakPublisher

WhatsApp : +6281774845134

Cetakan Pertama, Oktober 2022

146 halaman; 21 x 29,7 cm

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak maupun mengedarkan buku dalam bentuk dan dengan
cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit maupun penulis

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah S.W.T, atas berkat dan rahmat-Nya selama ini, karena-Nya pula penulis senantiasa diberi kelancaran dan kemudahan dalam menyelesaikan penyusunan buku ini yang berjudul “**Agensia Pengendali Hayati**”.

Buku ini bertujuan sebagai dasar pemahaman pengendalian hayati dengan menggunakan agensia hayati seperti bakteri, jamur, dan virus. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dan kesalahan dalam penyusunan buku ini. Terima kasih Penulis ucapkan kepada semua pihak yang telah bersedia membantu terutama kepada mahasiswa Prodi Agroteknologi Angkatan 2018, atas dukungannya baik berupa moril atau pun materil. Hingga akhirnya dapat terselesaikan penulisan buku ini. Semoga buku ini bermanfaat dan menambah khazanah ilmu pengetahuan di Indonesia.

Bandung, 14 Oktober 2022

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	3
DAFTAR ISI	4
DAFTAR GAMBAR.....	6
DAFTAR TABEL	9
BAGIAN 1 PEMANFAATAN BAKTERI SEBAGAI AGENSIA HAYATI PENGENDALI ORGANISME PENGGANGGU TANAMAN (OPT)	11
Bab I Pendahuluan	13
Bab II Mengenal Bakteri	17
2.1 Jenis – jenis Bakteri	17
2.2 Gejala Serangan Bakteri	27
2.3 Mekanisme Penyerangan Bakteri Entomopatogen	28
2.4 Siklus Hidup Bakteri.....	35
2.5 Faktor yang Mempengaruhi Bakteri Entomopatogen.....	39
Bab III Cara Perbanyak	43
3.1 Penanaman Bakteri (Inokulasi)	43
3.2 Teknik Inokulasi	44
3.3 Teknik Penggoresan Agar	44
3.4 Metode inokulasi	44
3.5 Media Pertumbuhan.....	47
3.6 Inkubasi Bakteri	49
Bab IV Bakteri sebagai Pengendali Hayati	51
Bab V Penutup.....	53
Daftar Pustaka.....	54
BAGIAN 2 PEMANFAATAN JAMUR SEBAGAI AGENSIA HAYATI PENGENDALI ORGANISME PENGGANGGU TANAMAN (OPT)	61
Bab I Pendahuluan	63
Bab II Mengenal Jamur.....	65
2.1 Definisi Jamur	65

2.2 Jenis-jenis Jamur	66
2.3 Struktur Jamur	78
2.4 Morfologi dan Anatomi Jamur	78
2.5 Gejala OPT yang Terserang Agensia Hayati Jamur	81
Bab III Cara Perbanyakkan	83
3.1 Perbanyakkan Jamur Agensia Pengendali Hayati	83
3.2 Perbanyakkan Jamur Melalui Media	86
Bab IV Jamur sebagai Pengendali Hayati	89
4.1 Mekanisme Penyerangan Jamur Terhadap OPT	89
4.2 Siklus Hidup Jamur	93
Bab V Penutup	99
Daftar Pustaka	100
BAGIAN 3 PENGAPLIKASIAN AGENSIA HAYATI BERUPA VIRUS UNTUK MENGENDALIKAN ORGANISME PENGGANGGU TANAMAN (OPT)	
105	
Bab I Pendahuluan	107
Bab II Mengenal Virus	109
2.1 Definisi Virus	109
2.2 Struktur Tubuh Virus	111
2.4 Gejala Serangan Virus Terhadap OPT	115
2.5 Siklus Hidup	116
Bab III Perbanyakkan	121
3.1 Perbanyakkan Virus	121
3.2 Perbanyakkan Melalui Media	124
Bab IV Virus sebagai Pengendali Hayati	127
4.1 Mikovirus	127
4.2 SINPV	131
Bab V Penutup	141
Daftar Pustaka	143
TENTANG PENULIS PERTAMA	145
TENTANG PENULIS KEDUA	146

DAFTAR GAMBAR

No.	Keterangan	Hal
Bagian I	PEMANFAATAN BAKTERI SEBAGAI AGENSIA HAYATI PENGENDALI ORGANISME PENGGANGGU TANAMAN (OPT)....	13
Gambar 1	<i>Bacillus thuringiensis</i> Berliner dan Bagiannya.....	18
Gambar 2	Mikroskop Elektron <i>Pseudomonas entomophila</i> dan Bagiannya.....	19
Gambar 3	<i>Chromobacterium subtsugae</i> Martin	20
Gambar 4	<i>Chromobacterium violaceum</i> Bergonzini dan Bagiannya.....	21
Gambar 5	<i>Yersinia entomophaga</i> Hurst dan Bagiannya.....	22
Gambar 6	Sporangium <i>Brevibacillus laterosporus</i> Laubach	24
Gambar 7	Bagian <i>Clostridium bifermentans</i> Weinberg dan Séguin	25
Gambar 8	<i>Serratia marcescens</i> Bizio dan Bagiannya	26
Gambar 9	Gejala Infeksi Bt pada Larva <i>Oryctes rhinoceros</i>	27
Gambar 10	Gejala Patogenitas <i>Serratia marcescens</i>	28
Gambar 11	Mekanisme Bakteri Entomopatogen melalui Nematoda.....	29
Gambar 12	Mekanisme Melalui Makanan yang Terkontaminasi.....	30
Gambar 13	Strategi Bakteri Masuk dan Model Usus Serangga.....	31
Gambar 14	Cara Kerja <i>Bacillus thuringiensis</i> pada Lepidoptera	34
Gambar 15	Siklus Hidup Bakteri	36
Gambar 16	Transformasi Bakteri	37
Gambar 17	Transduksi Bakteri.....	37
Gambar 18	Konjugasi Bakteri.....	38
Gambar 19	Reproduksi Aseksual Bakteri	38
Gambar 20	Metode Gores.....	45
Gambar 21	Metode Sebar	45
Gambar 22	Metode Tuang.....	46

Gambar 23	Metode Tusuk.....	46
Bagian II	PEMANFAATAN JAMUR SEBAGAI AGENSIA HAYATI PENGENDALI ORGANISME PENGGANGGU TANAMAN (OPT)	61
Gambar 1	Jamur <i>Trichoderma</i> sp.	67
Gambar 2	Jamur <i>Aspergillus</i> sp.	69
Gambar 3	Jamur <i>Chaetomium</i> sp.	70
Gambar 4	Jamur <i>Gliocladium</i> sp.	72
Gambar 5	Jamur <i>Penicillium</i> sp.	73
Gambar 6	Jamur <i>Paecilomyces</i> sp.	73
Gambar 7	Jamur <i>Beauveria bassiana</i>	76
Gambar 8	Jamur <i>Metarhizium anisopliae</i>	77
Gambar 9	Jenis-jenis Hifa	80
Bagian III	PENGAPLIKASIAN AGENSIA HAYATI BERUPA VIRUS UNTUK MENGENDALIKAN ORGANISME PENGGANGGU TANAMAN (OPT).....	101
Gambar 1	Bentuk dan Ukuran Virus	110
Gambar 2	Struktur Virus.....	111
Gambar 3	Struktur Rantai DNA dan RNA.....	113
Gambar 4	Famili Virus RNA.....	115
Gambar 5	Serangga Spodoptera Litura yang Terserang SINPV.....	116
Gambar 6	Siklus Reproduksi Lisis.....	117
Gambar 7	Sel yang Mengalami Lisis Akibat Terserang Virus	117
Gambar 8	Siklus Reproduksi Lisogenik	119
Gambar 9	Proses Perbanyak Virus	121
Gambar 10	Virus HaNPV1 yang Diperoleh dari Kultur Spodoptera Litura dan Dibuat dalam Bentuk Serbuk	124

Gambar 11	Penularan Mikovirus. Penularan Mikovirus dapat Terjadi Secara Horizontal Lewat Pertukaran Sitoplasma Saat Anastomosis (Fusi Hifa) (A) atau Secara Vertikal Lewat Pembentukan Spora (B) baik Seksual maupun Aseksual	128
Gambar 12	Citra SINPV Melalui Mikroskop Elektron	131
Gambar 13	Ciri – ciri SINPV	132
Gambar 14	Gejala Serangan SINPV pada Larva Spodoptera Litura L.....	134
Gambar 15	Citra Virus HaNPV Melalui Mikroskop Elektron.....	134
Gambar 16	Cara Penyerangan HaNPV	137
Gambar 17	Struktur Baculovirus	137
Gambar 18	Citra Baculovirus Menggunakan Mikroskop Elektreon	139
Gambar 19	Gejala Larva yang Terserang yaitu Kulit Tubuhnya Tampak Membengkak, Berwarna Coklat Kemerahan dan Mudah Pecah ...	139

DAFTAR TABEL

No.	Keterangan	Hal
Tabel 1	Contoh Toksin yang Dikeluarkan Bakteri	32
Tabel 2	Tahapan Infeksi Bakteri pada Serangga	33

BAGIAN

1

**PEMANFAATAN BAKTERI SEBAGAI
AGENSIA HAYATI PENGENDALI ORGANISME
PENGANGGU TANAMAN (OPT)**

BAB I

PENDAHULUAN

Tanaman merupakan salah satu makhluk hidup yang mempunyai beragam manfaat. Kegunaannya sebagai sandang, pangan serta papan. Sebagai pangan untuk memenuhi kebutuhan makan manusia dan hewan. Karena tanaman sebagai produsen makanan yang menjadi kebutuhan primer makhluk hidup (Utari, I., 2019).

Dalam budidaya tanaman, ada beberapa kendala. Salah satunya serangan OPT dari kelompok Hama, Penyakit dan gulma yang mengakibatkan terganggunya pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Berdasarkan pemaparan Herlina, N. (2021) Hama dan penyakit tanaman dianggap sebagai permasalahan utama dalam sistem produksi pertanian di Indonesia yang dapat menyebabkan kehilangan hasil mencapai 30% per tahun.

Pada umumnya petani menggunakan beberapa aplikasi pestisida kimia sintesis untuk mengontrol populasi OPT. Penggunaan pestisida kimia sintesis secara terus-menerus telah mengakibatkan timbulnya dampak seperti: meningkatkan jumlah residu yang berbahaya bagi lingkungan, terbunuhnya musuh alami (parasitoid dan predator), dan gangguan kesehatan bagi pengguna serta keseimbangan alam akan terganggu dan mengakibatkan hama menjadi resisten. (Direktorat Perlindungan Tanaman Hortikultura, 2008).

Solusi yang dapat dilakukan dengan memanfaatkan agen biokontrol untuk mengendalikan OPT, salah satunya hama. Hal tersebut merupakan strategi alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan penggunaan pestisida kimia sintesis, karena tidak mengakibatkan resisten dan resurgensi terhadap hama sasaran. Penggunaan agen pengendali hayati dengan mekanisme aksi yang berbeda, karena efek sinergis dapat meningkatkan potensi larvasida dan

menurunkan seleksi populasi resisten (Gill, 1992 dalam da Silva, W. J., *et al.*, 2020).

Pasar biopestisida global diperkirakan akan mencapai sekitar USD 7,7 miliar dengan tingkat pertumbuhan tahunan gabungan sebesar 14,1% (Ruiu, L., 2018). Diperkirakan bahwa biopestisida mikroba akan mencapai 3% dari total pasar pestisida (Glare, T. R., *et al.*, 2012 dalam Sharma, L., *et al.*, 2021). Pergeseran menuju biopestisida mikroba meningkat karena undang-undang Eropa terus menekan untuk meminimalkan tingkat residu dari pestisida kimia sintetik. Agen biokontrol mikroba adalah harapan baru dan potensi yang harus terus dikembangkan (Sharma, L., *et al.*, 2021).

Herdatiarni, F., *et al.* (2014) mengemukakan terdapat beberapa jenis entomopatogen diantaranya bakteri, cendawan, virus, nematoda dan protozoa yang dapat digunakan sebagai bioinsektisida. Salah satu yang menjadi dan berpotensi agen biokontrol dalam pengendalian hayati adalah bakteri entomopatogen.

Bakteri entomopatogen merupakan bakteri yang mampu menginfeksi serangga melalui sistem pencernaan serta kulit. Bakteri entomopatogen saat ini sudah banyak dijadikan sebagai agensia hayati yang dapat menanggulangi serangan hama pada tanaman pertanian. Beberapa spesies bakteri dapat mengendalikan beberapa serangga yang menjadi hama (Krishanti, N. P. R. A., *et al.*, 2017).

Mayoritas bakteri yang berpotensi entomopatogen terhadap hama serangga dari famili Bacillaceae, Pseudomonadaceae, Enterobacteriaceae, Streptococcaceae, dan Micrococcaceae. Famili bakteri tersebut biasanya mewakili epifit; namun, beberapa di antaranya sangat mematikan bagi inangnya masing-masing (Kalha, C. S., *et al.*, 2016). Beberapa spesies bakteri yang termasuk dalam genus *Bacillus* sangat patogen bagi artropoda, *Bacillus thuringiensis* (Bt) tersebar luas di tanah, merupakan patogen mematikan dari berbagai ordo dan merupakan agen pengendali hayati entomopatogen yang paling banyak digunakan. Ada lebih dari 40 produk Bt yang tersedia untuk pengendalian serangga-hama yang

menyumbang 1% dari pasar insektisida global (Evans, 2008 dalam Kalha, C. S., et al., 2016).

Beberapa bakteri entomopatogen pembentuk spora seperti *Bacillus spp.*, *Paenibacillus spp.*, dan *Clostridium spp.*, serta non-spora pembentuk spora yang termasuk dalam genera *Pseudomonas*, *Serratia*, dan *Yersinia*.

Infeksi terjadi ketika bakteri tertelan oleh inang serangga yang rentan. Beberapa spesies bakteri tular tanah, *Bacillus* dan *Paenibacillus* bersifat patogen bagi serangga coleoptera, diptera, dan lepidoptera (Dara, S. K., 2017).

BAB II

MENGENAL BAKTERI

Bakteri mikroorganisme golongan prokariot, dan merupakan sel sederhana, memiliki ukuran hanya beberapa mikron sehingga tidak dapat dilihat dengan mata telanjang (Irianto, 2014 *dalam* Khasanah, K., 2020).

Menurut Mayasari, U. (2020) ciri-ciri bakteri sebagai berikut :

1. Memiliki ukuran tubuh yang bervariasi, umumnya memiliki ukuran 1 – 5 μ
2. Memiliki bentuk tubuh yang beraneka ragam
Ex : Batang (Basil), bola (kokus), spiral (spirillum), dan bentuk lain.
3. Umumnya Uniseluler (sel tunggal)
4. Prokariot (tidak memiliki membran inti sel)
5. Umumnya tidak memiliki klorofil
6. Memiliki Endospora
7. Bakteri yang bergerak (motil) mempunyai flagel

2.1 Jenis – jenis Bakteri

Berikut beberapa jenis bakteri yang digunakan atau berpotensi sebagai entomopatogen dalam pengendalian OPT secara hayati:

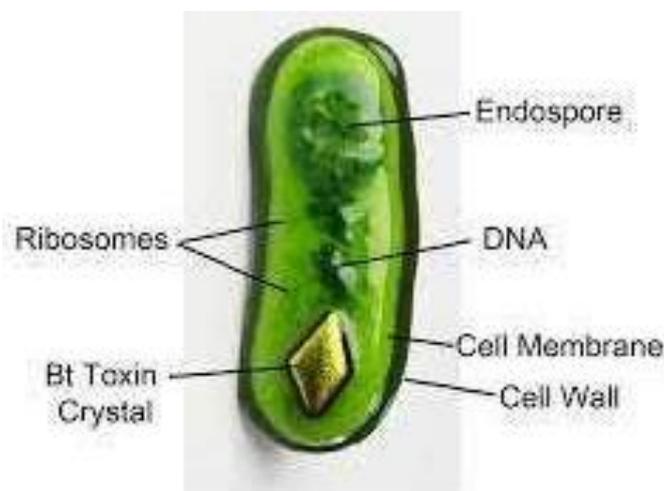
a. *Bacillus thuringiensis* Berliner

Klasifikasi *Bacillus thuringiensis* menurut CABI (2019) :

Kingdom	: Bacteria
Filum	: Firmicutes
Kelas	: Bacilli
Ordo	: Bacillales
Famili	: Bacillaceae
Genus	: Bacillus
Spesies	: <i>Bacillus thuringiensis</i> Berliner

Berdasarkan pemaparan oleh Suwarno, *et. al.* (2015) *Bacillus thuringiensis* merupakan spesies bakteri Gram positif, berbentuk batang, yang tersebar secara

luas di berbagai negara. Bakteri ini termasuk patogen fakultatif dan dapat hidup di daun tanaman konifer maupun pada tanah. Apabila kondisi lingkungan tidak menguntungkan maka bakteri ini akan membentuk fase sporulasi. Saat sporulasi terjadi, tubuhnya akan terdiri dari *protein Cry* yang termasuk ke dalam protein kristal kelas endotoksin delta. Apabila serangga memakan toksin tersebut maka serangga tersebut dapat mati. Oleh karena itu, protein atau *toksin Cry* dapat dimanfaatkan sebagai pestisida alami. Hasil uji Salaki, C. L., dan Tarore, D. (2018) daya bunuh dari 21 isolat *B. thuringiensis* yang diujikan terhadap hama *C. pavonana*, *P. xylostella* L. dan *S. litura* F. yang dapat menyebabkan mortalitas larva uji lebih dari 50 % .



Gambar 1. *Bacillus thuringiensis* Berliner dan Bagiannya

Sumber: <https://u.osu.edu/cmifsud7588/2019/05/18/bacillus-thuringiensis/>
(Diunduh pada 05 November 2021)

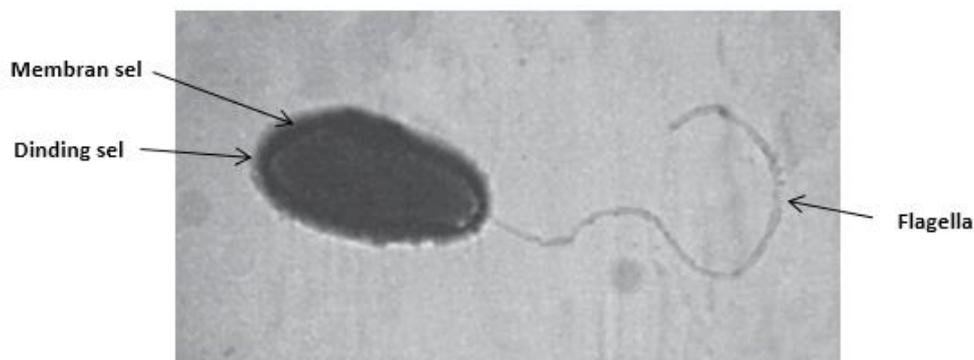
Bakteri ini memiliki pembeda dengan spesies *Bacillus* lainnya, karena kemampuannya membentuk kristal pada spora yang berdekatan dengan endospora selama fase sporulasi III dan IV. Selama pertumbuhan vegetatif, berbagai galur *Bacillus thuringiensis* menghasilkan bermacam-macam antibiotik, enzim, metabolit, dan toksin yang dapat merugikan organisme lain. Selain endotoksin (ICP), sebagian subspecies *Bacillus thuringiensis* dapat membentuk beta-eksotoksi yang toksik terhadap sebagian besar makhluk hidup, termasuk manusia dan insekta (Krishanti, N. P. R. A, *et. al.*, 2017).

b. *Pseudomonas entomophila* Mulet

Klasifikasi *Pseudomonas entomophila* Mulet menurut Bacterial Diversity (2020) :

Kingdom : Bakteri
Filum : Proteobakteri
Kelas : Gammaproteobacteria
Ordo : Pseudomonadales
Famili : Pseudomonadaceae
Genus : *Pseudomonas*
Spesies : *Pseudomonas entomophila* Mulet

Pseudomonas entomophila merupakan bakteri yang hidup di tanah serta dapat menginfeksi serangga. *Pseudomonas entomophila* unik di antara spesies *Pseudomonas* karena mampu mengaktifkan respon imun sistemik pada larva serta imago *Drosophila*.



Gambar 2. Mikroskop elektron *Pseudomonas entomophila* dan bagiannya

Sumber: Mulet, *et. al.*, 2012

(Diunduh pada 15 November 2021)

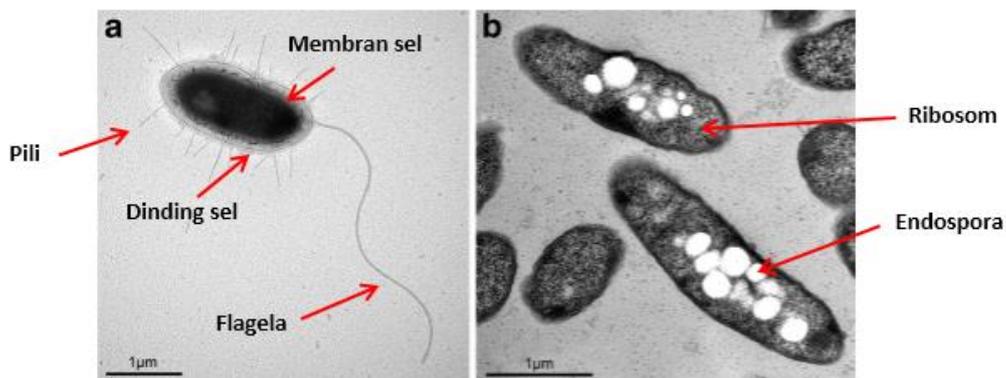
Pada dosis tinggi bakteri sangat patogen bagi *Drosophila* karena dapat menginfeksi mulut dan menyebabkan kerusakan yang besar pada epitel ususnya. Selain *Drosophila*, *Pseudomonas entomophila* Mulet mampu membunuh serangga lain, hal tersebut menunjukkan bahwa bakteri ini memiliki kisaran inang yang dengan potensi luas, seperti *Bombyx mori* L., *Sitophilus oryzae* L., *Galleria mellonella* L., dan lainnya (Bacterial Diversity, 2020).

c. *Chromobacterium subtsugae* Martin

Klasifikasi *Pseudomonas entomophila* Mulet menurut Bacterial Diversity (2020) :

Domain : Bacteria
Filum : Proteobacteria
Kelas : Betaproteobacteria
Ordo : Neisseriales
Famili : Chromobacteriaceae
Genus : Chromobacterium
Spesies : *Chromobacterium subtsugae* Martin

Barberan, A., *et. al.* (2017) memaparkan bahwa *Chromo-bacterium subtsugae* Martin merupakan bakteri gram negatif yang berbentuk batang dengan panjang 2.4 μm dan lebar 0.7 μm dengan pigmen ungu.



Gambar 3. *Chromobacterium subtsugae* Martin; a) Flagela kutub tunggal dan fimbria peritrik b) Badan inklusi lipid elektron lucent

Sumber: Blackburn, M. B., *et. al.*, 2019

(Diunduh pada 22 Desember 2021)

Berdasarkan pemaparan Glare, T. R., *et. al.* (2017) *Chromo-bacterium subtsugae* Martin dapat menyebabkan kematian pada Larva *Leptinotarsa decemlineata*, imago *Diabrotica virgifera*, Larva dan imago *Diabrotica undecimpunctata*, Larva *Aethina tumida*, *Plutella xylostella*, Nimfa dan imago *Bemisia tabaci* Gen., dan *Nezara viridula*. Di bawah ini terdapat gambar koloni dari bakteri *Chromobacterium subtsugae* Martin.

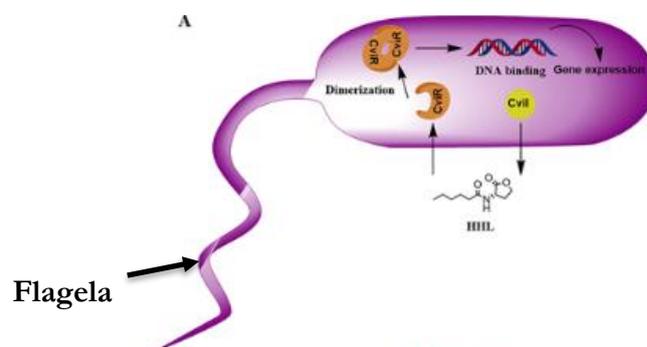
Salah satu perusahaan yang berlokasi di California bernama *Marrone Bio Innovations* sudah mengkomersialkan ekstrak bakteri *Chromobacterium subtsugae* Martin terhadap thrips, kutu putih, tungau, laba-laba berbintik dua, ulat bulu, dan kumbang. Setelah menelan bioaktif bakteri, kematian terhadap serangga tersebut memakan waktu antara 2 - 7 hari Blackburn, M. B., *et. al.* (2016).

d. *Chromobacterium violaceum* Bergonzini

Klasifikasi ilmiah menurut Bacterial Diversity (2020) :

Kingdom : Bakteri
Filum : Proteobacteria
Kelas : Betaproteobacteria
Ordo : Neisseriales
Famili : Chromobacteriaceae
Genus : Chromobacterium
Spesies : *Chromobacterium violaceum* Bergonzini

Chromobacterium violaceum Bergonzini merupakan bakteri yang habitatnya di tanah dan air serta melimpah di daerah tropis dan subtropis di seluruh dunia. Selama bertahun-tahun, dikenal sebagai penghasil violacin serta sebagai informasi dalam penemuan molekul penginderaan kuorum. Namun, *C. violaceum*. Virulensinya yang tinggi pada infeksi manusia dan model infeksi tikus melibatkan kepemilikan beberapa sifat virulensi yang diprediksi, termasuk dua sistem sekresi (Batista, J. H., dan Neto, J. F. (2017)).



Gambar 4. *Chromobacterium violaceum* Bergonzini dan bagiannya

Sumber: Leibniz-Institut DSMZ

(Diunduh pada 15 November 2021)

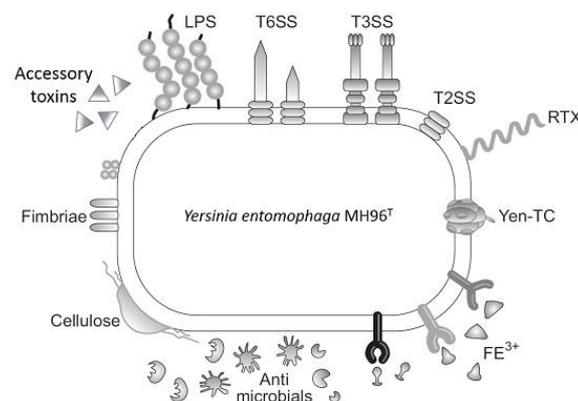
e. *Yersinia entomophaga* Hurst

Klasifikasi ilmiah menurut Bacterial Diversity (2020) :

Kingdom : Bakteri
Divisi : Proteobakteri
Kelas : Gammaproteobacteria
Ordo : Enterobacterales
Famili : Yersiniaceae
Ordo : Yersinia
Spesies : *Yersinia entomophaga* Hurst

Bakteri *Yersinia entomophaga* Hurst diisolasi dari larva belatung rumput Selandia Baru, *Costelytra zealandica* (Coleoptera: Scarabaeidae), yang ditemukan di tanah. Setelah menelan dosis bakteri yang mematikan, larva *C. zealandica* mengurangi aktivitas dan pergerakan makan. Setelah kira-kira 4 jam larva yang terinfeksi kejang dan memuntahkan cairan pencernaan yang gelap dan mengeluarkan *pelet frass* meninggalkan midgut kosong dan larva terlihat kuning (Hurst, M. R. H., *et. al.*, 2014).

Pada tahap awal infeksi, bakteri yang tertelan sebagian besar terkandung dalam membran peritrofik dan dikeluarkan bersama cairan usus atau dipindahkan ke usus belakang. hampir mati atau mati karena septikemia. Kematian berbanding lurus dengan dosis dan waktu setelah infeksi. Serta mengendalikan ngengat porina (*Wiseana cervinata*) (Hurst, M. R. H., *et. al.*, 2014).



Gambar 5. *Yersinia entomophaga* Hurst dan bagiannya

Sumber: MDPI, 2016

(Diunduh pada 15 November 2021)

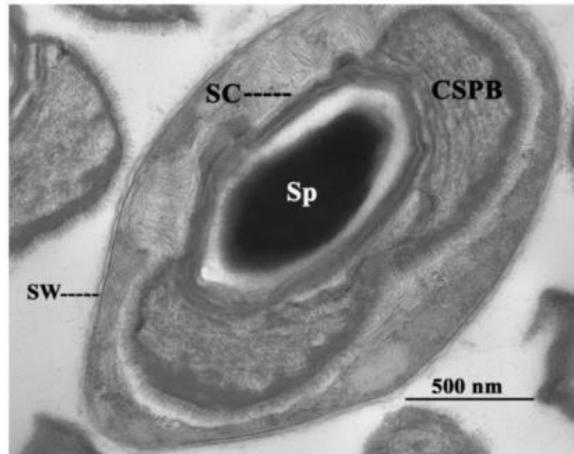
f. *Brevibacillus laterosporus* Laubach

Klasifikasi ilmiah menurut Bacterial Diversity (2020) :

Kingdom : Bacteria
Filum : Firmicutes
Kelas : Bacilli
Ordo : Caryophanales
Famili : Paenibacillaceae
Genus : *Brevibacillus*
Spesies : *Brevibacillus laterosporus* Laubach

Bakteri pembentuk endospora berbentuk batang yang secara morfologis ditandai dengan produksi badan paraspora berbentuk kano (CSPB) yang melekat kuat pada satu sisi spora, yang menentukan posisi lateralnya dalam sporangium. Potensi biokontrol spesies entomopatogen ini telah dilaporkan terhadap ordo serangga yang berbeda termasuk Coleoptera, Lepidoptera, Diptera serta terhadap nematoda dan moluska. Efek non-patogen terhadap spesies non-target juga telah dicatat untuk galur entomopatogenik (Bacterial Diversity, 2020).

Selain patogen terhadap invertebrata, strain *B. laterosporus* Laubach yang berbeda menunjukkan memiliki aktivitas antimik-roba dengan spektrum luas, terutama terhadap bakteri dan jamur. Berbagai macam molekul, termasuk protein dan anti-biotik, telah dikaitkan dengan patogenitas dan cara kerja yang diamati. Sekuensing seluruh genom baru-baru ini dari spesies tersebut mengungkapkan potensinya untuk menghasilkan poliketida, peptida non ribosomal, dan racun (Miljkovic, M., *et. al.*, 2019).



Gambar 6. Sporangium *Brevibacillus laterosporus*. SW; dinding sporangium, Sp; spora, SC; lapisan spora; CSPB; badan paraspora berbentuk kano.

Sumber: Ruiu, L., 2013 (Diunduh pada 18 November 2021)

Berikut beberapa OPT yang dapat dikendalikan oleh bakteri *Brevibacillus laterosporus* Laubach yaitu: ulat beludru (*Anticarsia gemmatalis* Hubner), *A. aegypti* dan *Anopheles stephensi* Liston, *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner dan Buhner) Nikel, saat diamati di bawah pemindaian mikroskop elektron, protein dari bakteri menyebabkan kerusakan parah pada kutikula nematoda, dengan pengelupasan lapisan luar dan penciptaan banyak cacat dan bekas luka (Ruiu, L., 2013 dalam Miljkovic, M., et. al., 2019).

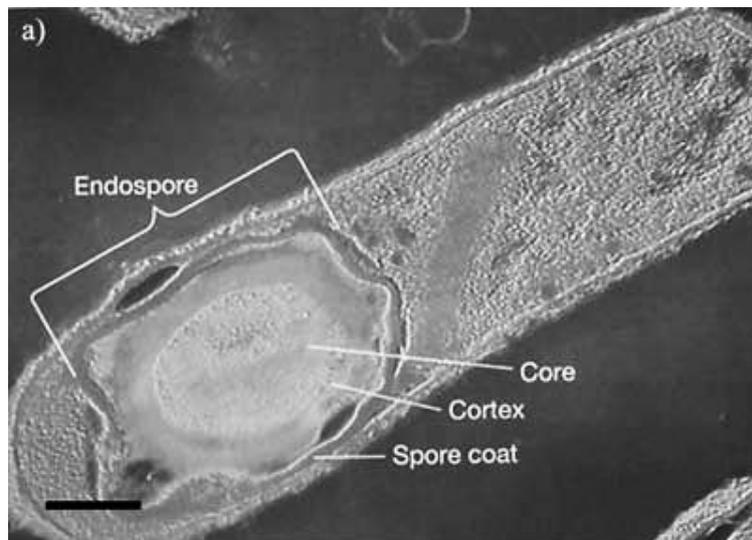
Brevibacillus laterosporus Laubach dapat digunakan sebagai bioremediasi, *biotreatment* situs yang terkontaminasi untuk degradasi dan penghapusan polutan atau senyawa kontaminan. Contoh representatif, biodegradasi polivinil alkohol menjadi asetat, dekolonisasi pewarna azo tekstil yang berbeda melalui produksi beragam enzim termasuk lignin peroksidase, lakase, *aminopirin* N-demetilase, NADH-DCIP reduktase dan reduktase hijau malachite, biodegradasi tanin nabati dalam limbah penyamakan kulit, biodegradasi *toluena* dan fenol, biosorpsi logam beracun dari larutan berair dan detoksifikasi logam dalam sistem air limbah (Ruiu, L., 2013 dalam Miljkovic, M., et. al., 2019).

g. *Clostridium bifermentans* Weinberg dan Séguin

Klasifikasi ilmiah menurut Bacterial Diversity (2020) :

Kingdom : Bacteria
Filum : Firmicutes
Kelas : Clostridia
Ordo : Eubacteriales
Famili : Clostridiaceae
Genus : Paraclostridium
Spesies : *Clostridium bifermentans* Weinberg dan Séguin

Koloni berukuran 0,5-4 mm, melingkar dengan tepi tidak beraturan, datar atau menonjol, lobasi atau bergigi, tembus cahaya atau buram, granular atau sedikit berbintik, abu-abu, mengkilat, dan halus. *Clostridium bifermentans* Weinberg dan Séguin berbentuk batang, merupakan bakteri gram positif. Dapat mengendalikan larva nyamuk dan lalat (Bacterial Diversity, 2020).



Gambar 7. Bagian *Clostridium bifermentans* Weinberg dan Séguin

Sumber: Connon, 2008

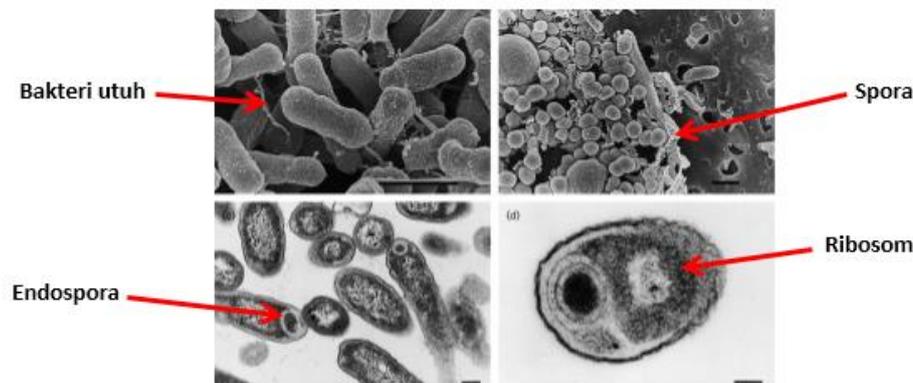
(Diunduh pada 22 November 2021)

h. *Serratia marcescens* Bizio

Klasifikasi ilmiah menurut Bacterial Diversity (2020) :

Kingdom : Bakteri
Filum : Proteobacteria
Kelas : Gamma Proteobacteria
Ordo : Enterobacteriales
Famili : Enterobacteriaceae
Genus : *Serratia*
Spesies : *Serratia marcescens* Bizio

Serratia marcescens. Bizio merupakan bakteri berbentuk batang. Mikroorganismenya ini termasuk dalam anaerob fakultatif, di mana dapat tumbuh baik dalam kondisi ada atau tanpa oksigen. Bakteri ini motil (bergerak), berdiameter 0,5-0,8 μm dan memiliki panjang 0,9-2 μm . Bakteri ini dapat tumbuh pada suhu 5–40° C dan secara alami ditemukan di tanah, air, juga permukaan tanaman. Beberapa galur (*strain*) *Serratia marcescens* Bizio dapat menghasilkan pigmen prodigiosin yang berwarna merah gelap hingga merah muda, tergantung pada usia koloni bakteri tersebut (Bacterial Diversity, 2020).



Gambar 8. *Serratia marcescens* Bizio dan bagiannya

Sumber: Ajithkumar, 2003

(Diunduh pada 22 Desember 2021)

Menurut Ishi (2014) dalam Kahar, S. R. S., *et. al.* (2019) Bakteri *S. marcescens* dapat mensekresikan senyawa sekunder seperti prodigiosin dan Serralyisin. Sekresi enzim hidrolitik lainnya oleh bakteri *S. marcescens* (kitinase, protease dan karbohidrase, juga enzim hidrolitik yang dihasilkan adalah nuklease. *S. marcescens*

Bizio merupakan bakteri gram negatif yang memiliki dinding sel tipis yang terbuat dari satu lapisan peptidoglikan yang tertutup oleh membran luar Bidari (2014) dalam Kahar, S. R. S., *et. al.* (2019). Membran luarnya memiliki lipopolisakarida, yaitu fosfolipid yang terdiri dari asam lemak melekat pada dimer glukosamin fosfat (Slonczewski dan Foster, 2009 dalam Naufal, A., *et. al.*, 2017).

Bakteri *S. Marcescens* Bizio diketahui bersifat patogen terhadap *N. Lugen* Priyatno (2011) dalam Kahar, S. R. S., *et. al.* (2019) dan *Periplenata americana* (Rini, M. S., *et. al.*, 2016). Berdasarkan informasi Balai Penelitian Tanaman Palma (2015) Bakteri tersebut dapat mengendalikan hama pada kelapa *Brontispa longissima*. Kemampuan mortalitasnya pada larva maupun imago di atas 85%.

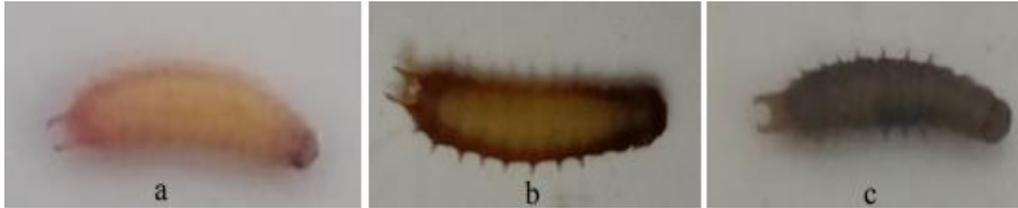
2.2 Gejala Serangan Bakteri

Gejala serangga yang terserang bakteri entomopatogen dikemukakan Salaki, C. L., dan Tarore, D. (2018) yakni serangga uji berubah perilakunya menjadi lamban, berhenti makan, diare, lumpuh dan setelah mati berbau busuk, larva berubah warna menjadi gelap dan semakin mengecil, khas sebagai bangkai larva yang terserang bakteri. Cenderung mencari perlindungan (di bawah daun/tempat tersembunyi). Bakteri entomopatogen akan menyebabkan isi tubuh insekta menjadi berwarna hitam kecoklatan, merah, atau kuning, ketika membusuk (Hoffmann & Frodsham, 1993 dalam Suada, I. K., 2017). Berikut gambar yang menunjukkan gejala serangga yang terinfeksi bakteri *Bacillus thuringiensis* Benzier.



Gambar 9. Gejala Infeksi Bt pada Larva *Oryctes rhinoceros*, Kiri: Larva sehat, Tengah: Larva terinfeksi Bt, Kanan: Pupa yang membusuk

Sumber: Flatya, IPB (Diunduh pada 05 November 2021)



Gambar 10. Gejala Patogenitas *Serratia marcescens*: a) tubuh larva kemerahan, b) pinggiran tubuh larva menghitam, c) seluruh tubuh larva hitam

Sumber: Flatya, IPB (Diunduh pada 05 November 2021)

2.3 Mekanisme Penyerangan Bakteri Entomopatogen

1. Masuk ke dalam Tubuh Inang (Penetrasi)

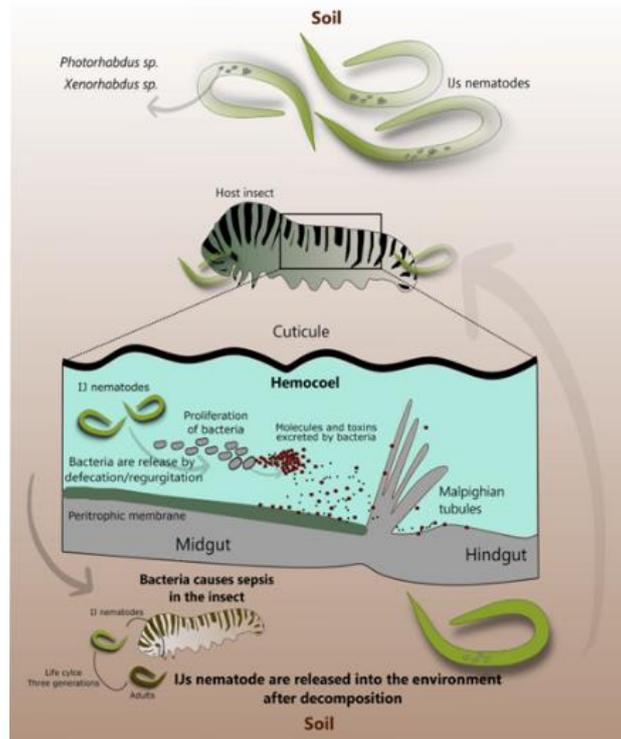
Menurut Safni, I. (2021) tugas pertama dalam menginfeksi inang adalah mendapatkan akses ke sel inang atau rongga tubuh. Saat menginfeksi serangga, bakteri mendapatkan akses ke hemolimfa. Terdapat 3 mekanisme penetrasi bakteri ke dalam tubuh serangga, yaitu invasi ke dalam tubuh melalui:

a. Melalui Vektor Nematoda

Contoh :

- 1) Infeksi melalui vektor nematoda adalah *Photorhabdus luminescence* dan *Xenorhabdus nematodphila*,
- 2) *Photorhabdus luminescence* dan *Xenorhabdus nematodphila* yang menginfeksi serangga dengan terlebih dahulu mengkolonisasi usus nematoda dengan proses simbiosis.

Nematoda kemudian menginfeksi serangga dan melepaskan bakteri ke dalam tubuh serangga. Bakteri kemudian membunuh serangga yang menyediakan makanan untuk nematoda.



Gambar 11. Mekanisme Bakteri Entomopatogen melalui Nematoda

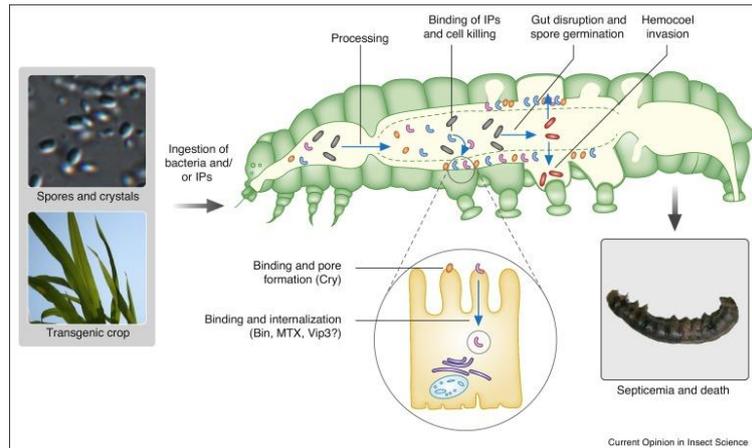
Sumber: parasitesandvectors.biomedcentral.com

(Diunduh pada 23 November 2021)

b. Melalui Luka, dan

c. Melalui Konsumsi Makanan yang Terkontaminasi

Contoh infeksi melalui konsumsi adalah infeksi kutu oleh *Yersinia pestis*, bakteri yang menyebabkan wabah. Usus terinfeksi ketika kutu memakan tikus yang terinfeksi vektor lain untuk bakteri ini. Setelah konsumsi, bakteri menjajah usus tengah kutu dan menyebabkan penyumbatan antara usus depan dan tengah. Ini mencegah kutu memompa darah ke usus tengah dan menyebabkan kelaparan yang menyebabkan gigitan kutu berulang dan regurgitasi darah ke luka gigitan yang menyebabkan infeksi (Dara, S. K., 2017; Microbe Wiki, 2021).



Gambar 12. Mekanisme Melalui Makanan yang Terkontaminasi

Sumber: sciencedirect.com

(Diunduh pada 23 November 2021)

2. Persisten dan Kolonisasi Bakteri di dalam Tubuh Serangga

Menurut Ruiu, L. (2015) setelah mendapatkan akses masuk ke dalam tubuh langkah selanjutnya adalah bertahan dan menjajah serangga yang terdiri dari tiga mekanisme di antaranya:

- a. **Sekresi enzim** yang menetralkan produksi usus serangga,
- b. **Pembentukan biofilm**, dan
- c. **Memodifikasi usus inang.**

Contohnya berasal dari bakteri *Yersinia pestis* yang menggunakan tiga gen kunci dalam kolonisasi usus kutu: gen *ymt* (*Yersinia murine toxin*), *gmhA* dan *hms* (*hemin storage*). Gen *ymt* mengkodekan enzim fosfolipase yang mencegah degradasi bakteri oleh produk degradasi darah. *GmhA* adalah enzim yang terlibat dalam sintesis membran luar bakteri dan *hms* terlibat dalam matriks ekstra seluler, keduanya penting untuk pembentukan biofilm dan kolonisasi usus. Contoh modifikasi usus inang diamati pada *Erwinia* spp. menginfeksi *Drosophila melanogaster* yang mengkodekan gen *evf* (*Erwinia virulence factor*) yang tampaknya memodifikasi usus inang untuk mencegah pemberantasannya.

Contoh lain dari hal ini adalah gen *afp* (*antifeeding profage*) yang dikodekan dalam *Serratia* spp. yang memiliki efek toksik pada sel epitel usus inang yang memungkinkan kolonisasi bakteri (Ruiu, L., 2015; Microbe Wiki, 2021).

3. Menghindari Pertahanan Inang

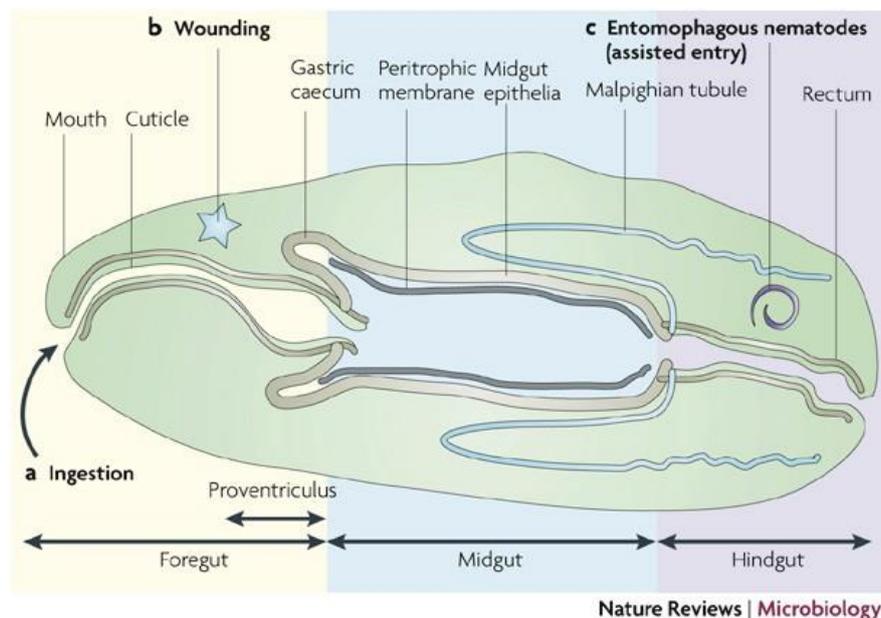
Setelah bakteri bertahan di usus serangga, bakteri harus menghindari sistem kekebalan inang. Cara bakteri menghindari diri dari sistem kekebalan (*immune system*) serangga inangnya adalah:

- Menghindari terdeteksi oleh sistem kekebalan tubuh inang
- Menekan respons kekebalan tubuh inang.

Mekanisme yang digunakan oleh serangga untuk mencegah infeksi adalah menghasilkan *reactive oxygen species* (ROS's) dan *anti-microbial peptides* (AMP's). Keduanya diproduksi sebagai respons terhadap keberadaan peptidoglikan di usus serangga. Bakteri menghasilkan protein yang melindungi dirinya dari pengaruh senyawa yang didegradasi dalam usus serangga (Safni, I., 2021).

4. Toksin dan Kematian Serangga Inang

Serangga inang dapat mati disebabkan berkembang biakan bakteri di dalam tubuh serangga atau toksin atau enzim yang disekresikan bakteri, yang dapat merusak tubuh serangga dengan menginvasi hemocoel sehingga menyebabkan septicemia yaitu keracunan pada darah (Rini, M. S., et. al., 2018).



Gambar 13. Strategi Bakteri masuk dan model usus serangga

Sumber: <https://www.nature.com/articles/nrmicro1870?proof=t>

(Diunduh pada 23 November 2021)

Contoh pengaruh toksin adalah *Cry toxin* oleh bakteri *Bacillus thuringiensis* yang membuat lubang di lapisan epitel usus inangnya. Enzim degradatif seperti protease, lipase dan hemolisin juga memiliki efek merugikan pada inang. Contohnya adalah metalloprotease yang dihasilkan oleh *Serratia marcescens* yang menonaktifkan *anti-microbial peptides* (AMP's) inang dan mendegradasi jaringan inang (Microbe Wiki, 2021). Berikut gambar ketika bakteri masuk ke usus serangga.

Beberapa contoh toksin yang dikeluarkan bakteri terdapat pada Tabel 1 di bawah.

Tabel 1. Contoh Toksin yang Dikeluarkan Bakteri

Toksin (Racun)	Organisme yang Diidentifikasi	Organisme Produsen Lain
Insektisida Racun Kompleks (Tc-toxin)	<i>Photorhabdus</i> spp. <i>Xenorhabdus</i> spp.	<i>Serratia entomophila</i> <i>Yersinia</i> spp. <i>Pseudomonas</i> spp. <i>Fibrobacter succinogenes</i> <i>Paenibacillus nematophila</i>
Racun Cyt dan Cry	<i>Bacillus thuringiensis</i>	<i>Dickeya dadantii</i>
Racun Biner (BinAB)	<i>Bacillus sphaericus</i>	
Racun Mcf (makes caterpillar floppy)	<i>Photorhabdus</i> spp.	
Racun Biner (PirAB)	<i>Photorhabdus</i> spp.	

(Sumber: Microbewiki.kenyon.edu)

Tabel 2. Tahapan Infeksi Bakteri pada Serangga

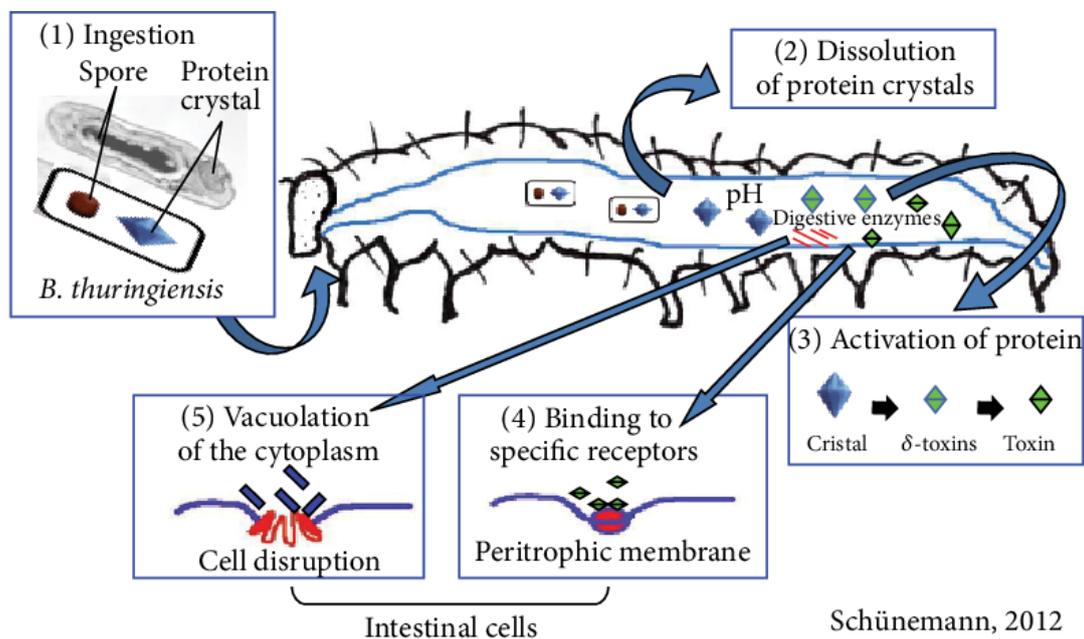
Tahapan Infeksi	Respon Bakteri
Masuk ke dalam Tubuh Inang (Penetrasi)	<ul style="list-style-type: none">▪ Masuk melalui vektor nematoda▪ Masuk melalui luka▪ Masuk melalui konsumsi makanan
Kolonisasi/Persistensi	<ul style="list-style-type: none">▪ Sekresi enzim▪ Pembentukan biofilm▪ Modifikasi epitel usus inang
Menghindari Pertahanan Inang	<ul style="list-style-type: none">▪ Berlindung dari ROS's and AMP's▪ Degradasi ROS's dan AMP's▪ Membunuh sel imun inang▪ Menyuntikan molekul efektor ke dalam sel inang▪ Sintesis molekul antibiotik
Membunuh Serangga Inang	<ul style="list-style-type: none">▪ Proliferasi di inang▪ Produksi racun

(Sumber: Microbewiki.kenyon.edu)

Menurut Schünemann, R., *et. al.* (2014) dan Dara, S. K. (2017) kristal paraspora bukan bahan aktif insektisida, tapi suatu protoksin, yang merupakan prekursor toksin yang aktif. *Bacillus thuringiensis* hanya efektif jika dimakan oleh serangga spesifik, yaitu memiliki usus dengan pH basa (7.5-8), memiliki struktur membran usus yang spesifik diperlukan untuk mengikat toksin, memiliki enzim protease di dalam usus. Serangga target harus pada masa perkembangan yang tepat dan bakteri yang dimakan harus dalam jumlah yang cukup.

- a. Ketika *Bacillus thuringiensis* ditelan oleh serangga target, spora bakteri memakan tumbuhan alami yang ada di dalam usus, bakteri mengeluarkan kristal protein toksin, lalu merusak dinding usus sehingga menyebabkan kondisi usus yang bocor.

- b. Toksin aktif mengikat reseptor protein pada membran sel epitel usus serangga.
- c. Kemudian toksin membentuk suatu jalur ion antara sitoplasma sel dengan lingkungan luar, yang menyebabkan kehilangan ATP sel dan serangga mati.
- d. Serangga yang terinfeksi berhenti makan, dan akhirnya mati karena kombinasi efek kelaparan, kerusakan jaringan, dan infeksi usus bagian dalam oleh patogen lain, seperti bakteri dan jamur.
- e. Kematian dapat terjadi dalam waktu beberapa jam atau beberapa minggu.



Gambar 14. Cara kerja *Bacillus thuringiensis* pada Lepidoptera: menelan bakteri (1); kelarutan kristal (2); Aktivasi Protein (3); Pengikatan protein ke reseptor (4); Pembentukan sel membran dan lisis (5)

Sumber: Schünemann, R., *et. al.*, 2014

(Diunduh pada 04 November 2021)

2.4 Siklus Hidup Bakteri

Menurut Riadi, M. (2016) Siklus hidup bakteri terdiri dari 4 tahap, yakni:

1. Fase Lag

Pada fase Lag, bakteri tidak tumbuh tetapi aktif secara metabolik. Pada fase ini, penyesuaian bakteri dengan lingkungan yang baru dan bersiap untuk bereplikasi. Lama fase lag pada bakteri sangat bervariasi, tergantung pada komposisi media, pH, suhu, aerasi, jumlah sel pada inokulum awal dan sifat fisiologis mikro organisme pada media sebelumnya. Ketika sel telah menyesuaikan diri dengan lingkungan yang baru maka sel mulai membelah hingga mencapai populasi yang maksimum. Pada fase ini, bakteri beradaptasi dengan lingkungannya, menghasilkan protein dan vitamin yang dibutuhkan untuk pembelahan pada fase ini dan bahkan membuat salinan DNA, tetapi tidak benar-benar tumbuh (Riadi, M., 2016).

2. Fase Log/Fase Eksponensial

Pada fase Log, juga dikenal sebagai fase eksponensial, bakteri berkembang biak sangat cepat melalui proses yang disebut Pembelahan Biner. Disebut fase Log karena tumbuh secara logaritmik. Dalam kondisi yang menguntungkan, bakteri dapat berlipat ganda hanya dalam waktu 15 menit. Waktu yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menggandakan disebut sebagai waktu generasi. Pertumbuhan bakteri pada fase eksponensial ini sangat dipengaruhi oleh sifat genetik yang diturunkannya. Selain itu, derajat pertumbuhan juga dipengaruhi oleh kadar nutrisi dalam media, suhu inkubasi, kondisi pH dan aerasi. Ketika derajat pertumbuhan bakteri telah menghasilkan populasi yang maksimum, maka akan terjadi keseimbangan antara jumlah sel yang mati dan jumlah sel yang hidup (Boleng, D. T., 2015).

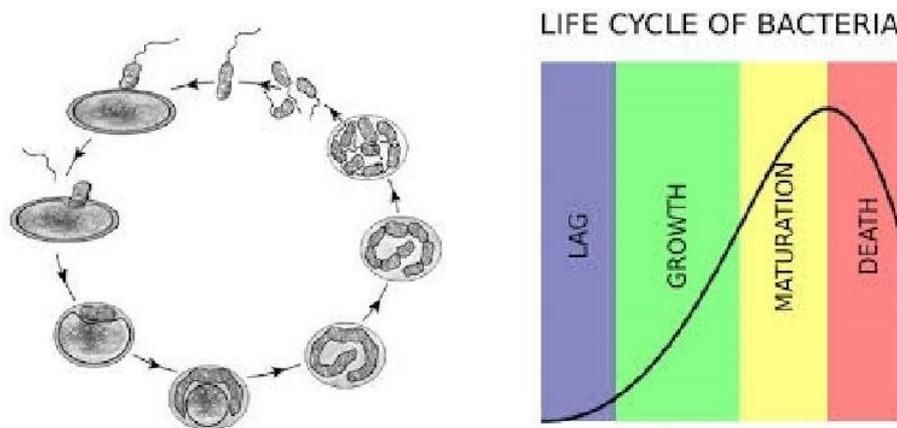
3. Fase Stasioner

Fase selanjutnya adalah fase Stasioner di mana pertumbuhan bakteri menurun. Penurunan ini tergantung pada faktor penghambat Hal ini disebabkan oleh kadar nutrisi yang berkurang dan terjadi akumulasi produk toksik sehingga mengganggu pembelahan sel. Fase stasioner ini dilanjutkan dengan fase kematian

yang ditandai dengan peningkatan laju kematian yang melampaui laju pertumbuhan, sehingga secara keseluruhan terjadi penurunan populasi bakteri (Boleng, D. T., 2015).

4. Fase Kematian

Bakteri berhenti membelah dan mulai mati. Ini bisa jadi karena kekurangan nutrisi atau perubahan suhu yang tidak dapat ditahan oleh bakteri. Fase Kematian merupakan fase di mana laju kematian lebih besar (Riadi, M., 2016).



Gambar 15. Siklus Hidup Bakteri

Sumber: Georgia State University, 2019

(Diunduh pada 23 November 2021)

2.4.1. Reproduksi Bakteri

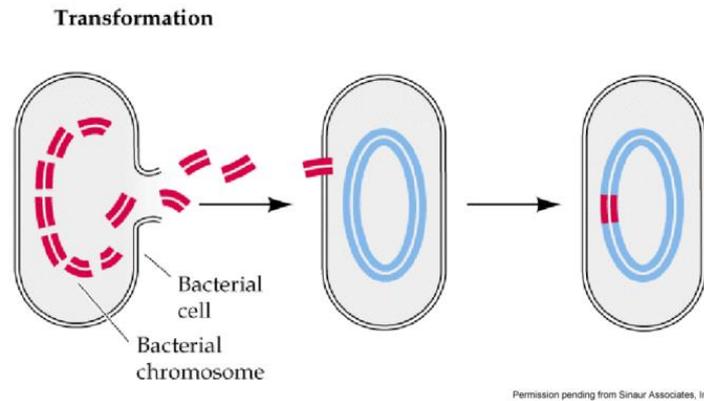
1. Reproduksi Secara Seksual

Reproduksi seksual pada bakteri dapat terjadi dengan tiga cara yaitu transformasi, transduksi, dan konjugasi. Ketiganya merupakan proses penggabungan DNA dari 2 bakteri yang berbeda, secara langsung maupun tidak langsung (Efendi, Y., 2020).

a. Transformasi

Transformasi merupakan berpindahnya sebagian DNA bakteri satu ke bakteri lain. Bakteri akan berikatan dengan DNA, kemudian memasukkan dalam selnya. DNA yang baru tersebut akan bergabung dengan DNA bakteri lain dan menghasilkan kombinasi materi genetik yang baru, merupakan

rekombinasi genetik perputaran segmen DNA dengan cara pindah silang (*crossing over*) (Efendi, Y., 2020).

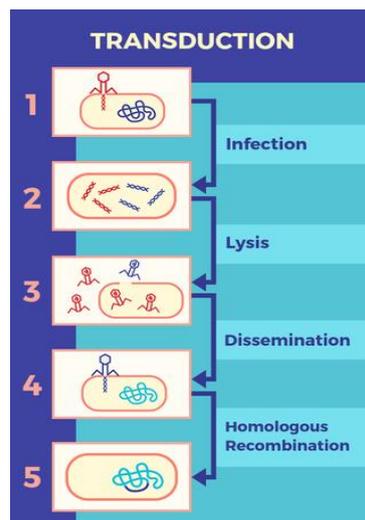


Gambar 16. Transformasi Bakteri

Sumber: Biology Libre Text (Diunduh pada 23 November 2021)

b. Transduksi

Perpindahan materi genetik dari satu bakteri ke bakteri lain dengan bantuan bakteriofage (virus yang menginfeksi bakteri). Sebagian DNA bakteri menjadi bagian dari DNA virus ketika virus menginfeksi bakteri. Selanjutnya, ketika virus yang sudah mengandung DNA bakteri ini menginfeksi bakteri lain, maka terjadi penggabungan DNA kedua bakteri tersebut. Transduksi virus dapat membawa gen yang sama (transduksi terbatas) atau gen yang berbeda (transduksi umum) pada waktu yang berbeda (Panji, T., 2017).

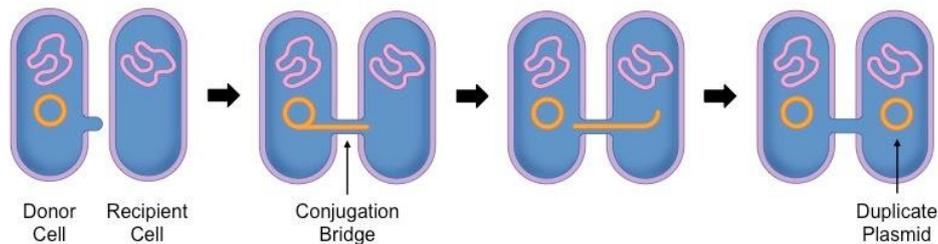


Gambar 17. Transduksi Bakteri

Sumber: https://theory.labster.com/bacteria_transduction/
(Diunduh pada 23 November 2021)

c. Konjugasi

Satu bakteri memindahkan materi genetiknya ke bakteri lain melalui kontak langsung. Proses ini dapat terjadi dengan bantuan pili seks. Pili bertindak sebagai tabung yang menjadi jalan berpindahnya materi genetik. Pili ini dimiliki oleh bakteri pendonor (yang memberikan materi genetiknya) (Panji, T., 2017).



Gambar 18. Konjugasi Bakteri

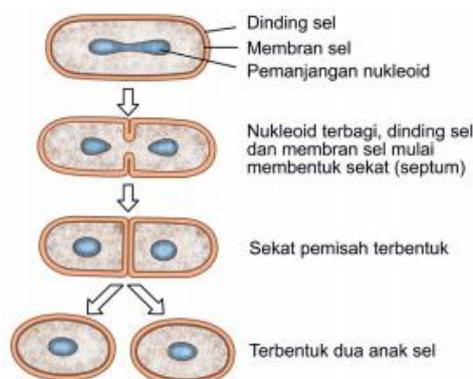
Sumber: <https://byjus.com/biology/bacterial-genetics/>

(Diunduh pada 23 November 2021)

2. Reproduksi Secara Aseksual

Menurut Rini, C. S., dan Rochmah (2020) Perkembangbiakkan secara aseksual bakteri adalah dengan cara membelah diri (*Binary fission*). Hal ini dapat berlangsung melalui tiga fase yaitu:

- Fase pertama, sitoplasma terbelah oleh sekat yang tumbuh tegak lurus.
- Fase kedua, tumbuhnya sekat akan diikuti oleh dinding melintang.
- Fase ketiga, terbentuk dua sel baru yang identik.



Gambar 19. Reproduksi Aseksual Bakteri

Sumber: quipper.com

(Diunduh pada 23 November 2021)

Bakteri akan membelah menjadi 2 sel anakan, dari 2 menjadi 4 kemudian seterusnya. Setelah terbentuknya dinding sel, maka pembelahan biner tidak akan terjadi. Bakteri akan membelah diri setiap 15-20 menit dalam kondisi yang ideal. Selain mampu berkembang biak secara cepat, pertumbuhan bakteri juga dipengaruhi oleh faktor suhu, sinar matahari, kelembapan, dan zat kimia (Afifah, Y. M., 2015).

2.5 Faktor yang Mempengaruhi Bakteri Entomopatogen

Berikut faktor yang mempengaruhi bakteri entomopatogen

1. Nutrien

Nutrien atau zat makanan yang digunakan untuk pertumbuhan bakteri harus mengandung sumber karbon, sumber nitrogen, mineral (sulfur, fosfat) dan faktor-faktor pertumbuhan yang meliputi asam amino, purin, pirimidin dan vitamin. Persyaratan untuk pertumbuhan bakteri beraneka ragam sesuai dengan jenis bakteri. Beberapa bakteri dapat memperbanyak diri pada berbagai jenis nutrisi, sedangkan yang lain mempunyai kekhususan dan hanya membutuhkan jenis nutrisi tertentu untuk pertumbuhan (Mayasari, U., 2020).

2. Suhu

Suhu optimal untuk pertumbuhan bakteri sangat bervariasi tergantung pada jenis bakterinya. Pada suhu yang tepat (optimal), sel bakteri dapat memperbanyak diri dan tumbuh sangat cepat. Sedangkan pada suhu lebih rendah atau lebih tinggi, masih dapat memperbanyak diri, tetapi dalam jumlah yang lebih kecil dan tidak secepat jika dibandingkan dengan pertumbuhan pada suhu optimalnya (Boleng, D. T., 2015).

3. Kelembaban

Kelembaban sangat penting untuk pertumbuhan bakteri. Bakteri membutuhkan kelembaban tinggi, pada umumnya untuk pertumbuhan bakteri yang baik dibutuhkan kelembaban di atas 85%. Udara yang sangat kering dapat membunuh bakteri, tetapi kadar kelembaban minimum yang diperlukan untuk mendukung pertumbuhan bakteri bukanlah merupakan nilai pasti. Kandungan

air atau kelembaban yang terjadi dan tersedia, bukan total kelembaban yang ada juga dapat mempengaruhi pertumbuhan bakteri (Mayasari, U., 2020).

4. Pencahayaan

Cahaya yang berasal dari sinar matahari dapat mempengaruhi pertumbuhan bakteri. Bakteri lebih menyukai kondisi gelap, karena terdapat sinar matahari secara langsung dapat menghambat pertumbuhan bakteri (Boleng, D. T., 2015).

5. Oksigen

Kebutuhan oksigen pada bakteri tertentu mencerminkan mekanisme yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan energinya. Berdasarkan kebutuhan O₂, bakteri dapat dipisahkan menjadi 5 kelompok menurut Mayasari, U. (2020).

- a. Anaerob obligat yang tumbuh hanya dalam keadaan tekanan oksigen sangat rendah dan oksigen bersifat toksik.
- b. Anaerob aerotoleran yang tidak mati dengan adanya paparan oksigen.
- c. Anaerob fakultatif, dapat tumbuh dalam keadaan aero dan anaerob.
- d. Aerob obligat membutuhkan oksigen untuk pertumbuhan.
- e. Mikroaerofilik yang tumbuh baik pada tekanan oksigen rendah, tekanan tinggi dapat menghambat pertumbuhan.

6. pH

Umumnya bakteri hidup pada kisaran pH 6-8, namun hal tersebut kembali pada jenis bakterinya. Pengaruh pH terhadap pertumbuhan bakteri berkaitan dengan aktivitas enzim. Enzim diperlukan bakteri untuk mengkatalis reaksi-reaksi yang berhubungan dengan pertumbuhan bakteri. Apabila pH dalam suatu medium/lingkungan tidak optimal maka akan mengganggu pertumbuhan bakteri itu sendiri (Magdalaura, 2020).

7. Tekanan Osmotik

Suatu tekanan osmotik akan sangat mempengaruhi bakteri jika tekanan osmotik lingkungan lebih besar (hipertonis) sel akan mengalami plasmolisis. Sebaliknya jika tekanan osmotik lingkungan yang hipotonis akan menyebabkan sel membengkak dan juga akan mengakibatkan rusaknya sel. Oleh karena itu

dalam mempertahankan hidupnya, sel bakteri harus berada pada tingkat tekanan osmotik yang sesuai, walaupun sel bakteri memiliki daya adaptasi, perbedaan tekanan osmotik dengan lingkungannya tidak boleh terlalu besar (Magdalaura, 2020).

BAB III

CARA PERBANYAKAN

Bakteri di dalam tanah memiliki peran yang menguntungkan seperti perombak bahan organik, penambat N, pelarut fosfat, merangsang pertumbuhan tanaman, antipatogen, *recycling* dan membantu penyerapan unsur hara dalam tanah. Untuk mendapatkan bakteri, seperti yang berasal dari tanah perlu dilakukan inokulasi bakteri dan dilanjutkan oleh pembiakan bakteri. Inokulasi merupakan proses pemindahan bakteri dari media lama ke media baru (contoh: media tanah ke media agar). Sedangkan pembiakan bakteri adalah perbanyakan bakteri dengan menyediakan keadaan lingkungan yang tepat (Harti, 2014 dalam Sari, L. P., 2019).

Media Pertumbuhan Bakteri Media merupakan nutrisi yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk pertumbuhan secara *in vitro*. Pemilihan media yang akan digunakan disesuaikan sifat penelitian atau pemeriksaan. Fungsi dari suatu media yaitu secara kualitatif digunakan untuk isolasi dan identifikasi mikroorganisme, sedangkan secara kuantitatif digunakan untuk perbanyakan dan perhitungan jumlah mikroorganisme (Harti, 2014 dalam Sari, L. P., 2019).

3.1 Penanaman Bakteri (Inokulasi)

Pekerjaan memindahkan bakteri dari medium yang lama ke medium yang baru. Untuk melakukan penanaman bakteri (inokulasi) terlebih dahulu agar semua alat dengan medium agar tetap steril, hal ini agar menghindari terjadinya kontaminasi. Penanaman bakteri atau inokulasi bakteri dilakukan dengan metode *spread plate* (cawan tebar), *pour plate*, gores, dan teknik pengenceran. Penanaman bakteri dilakukan dengan cara menanam bakteri dengan pengenceran dari setiap pengenceran diambil 0,1 ml dengan menggunakan pipet steril dan dimasukkan ke dalam *petri dish*. Setelah itu diinkubasikan selama 1x24 jam pada suhu ruang. (Yunita, 2016 dalam Moda, K. F., 2019).

3.2 Teknik Inokulasi

Teknik Inokulasi dan Pemurnian Inokulasi adalah menanam inokulan secara aseptik ke dalam media steril. Inokulan adalah bahan yang mengandung mikroba atau biakan mikroba, baik dalam keadaan cair maupun padat (Henny dan Seprianto, 2019 dalam Moda, K. F., 2019).

3.3 Teknik Penggoresan Agar

Menurut Moda, K. F., (2019) Teknik Penggoresan Agar sebagai berikut :

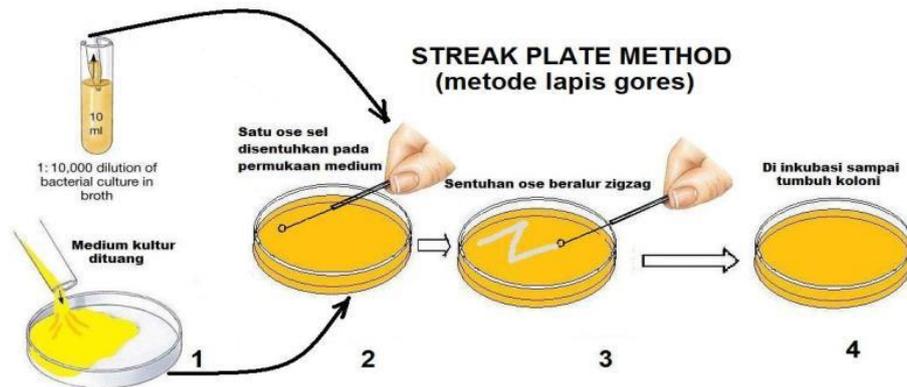
1. Agar Miring : Pembuatan agar miring tidak boleh menyentuh tutup tabung saat dimiringkan. Agar miring ini mempunyai permukaan luas sehingga sering diguna-kan untuk menumbuhkan/menyimpan biakan murni.
2. Agar Tegak : Tabung yang berisi agar dibiarkan tegak hingga beku. Agar tegak ini digunakan untuk membiakkan bakteri dengan cara menusuk.

3.4 Metode inokulasi

Teknik-teknik Isolasi atau Penanaman Mikroba Untuk menanam suatu mikroba perlu diperhatikan faktor-faktor nutrisi serta kebutuhan akan oksigen (gas, O₂ atau udara). Cara menumbuhkan mikroba yang anaerob sangat berbeda dengan yang aerob. Mengisolasi suatu mikroba ialah memisahkan mikroba tersebut dari lingkungannya di alam dan menumbuhkannya sebagai biakan murni dalam medium buatan. Untuk isolasi harus diketahui cara-cara menanam dan menumbuhkan mikroba pada medium biakan serta syarat-syarat lain untuk pertumbuhannya. Mikroba jarang terdapat di alam dalam keadaan murni. Kebanyakan merupakan campuran bermacam-macam spesies mikroba. Menurut Lusi, S. E. (2019) macam-macam inokulasi sebagai berikut :

1. *Streak Plate Method* (Cara Gores)

Dimulai ketika ose yang telah steril dicelupkan ke dalam suspensi bakteri yang diencerkan, lalu digoreskan pada cawan petri yang berisi media steril, goresan dapat dilakukan pada 3-4 bagian membentuk garis horizontal di sisi cawan (Lusi, S. E., 2019).



Gambar 20. Metode Gores

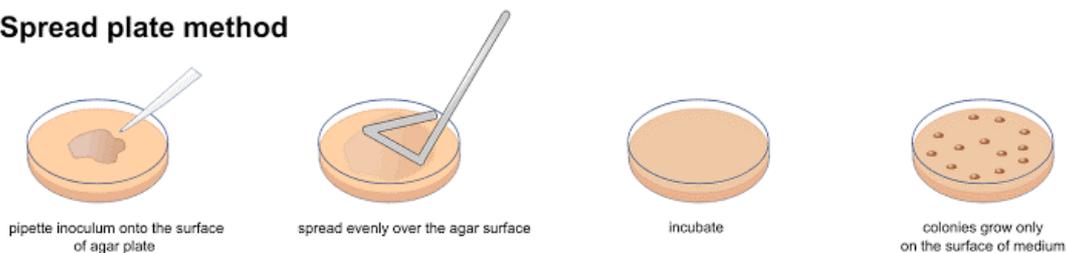
Sumber: <http://repository.umy.ac.id/>

(Diunduh pada 25 November 2021)

2. *Spread Plate Method* (Tebar/Sebar)

Teknik *spread plate* merupakan teknik isolasi mikroba dengan cara menginokulasi kultur mikroba secara pulasan/sebaran di permukaan media agar yang telah memadat. Metode ini dilakukan dengan mengencerkan biakan kultur mikroba. Karena konsentrasi sel-sel mikroba pada umumnya tidak diketahui, maka pengenceran perlu dilakukan beberapa tahap, sehingga sekurang-kurangnya ada satu dari pengenceran itu yang mengandung koloni terpisah (30-300 koloni). Koloni mikrobia yang terpisah memungkinkan koloni tersebut dapat dihitung (Lusi, S. E., 2019).

Spread plate method



Gambar 21. Metode Sebar

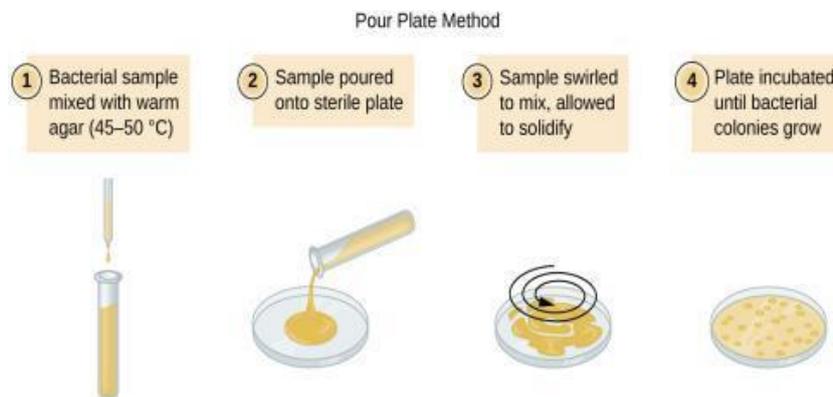
Sumber: alponsin.wordpress.com

(Diunduh pada 25 November 2021)

3. *Pour Plate Method* (Tabur)

Dasar dari metode ini yaitu menginokulasi medium agar yang sedang mencair pada temperatur 45°-50° C dengan suspensi bahan yang mengandung mikroba, dan menuangkannya ke dalam cawan petri steril. Setelah inkubasi

akan terlihat koloni-koloni yang tersebar di permukaan agar yang mungkin berasal dari 1 sel bakteri, sehingga dapat diisolasi lebih lanjut (Lusi, S. E., 2019).



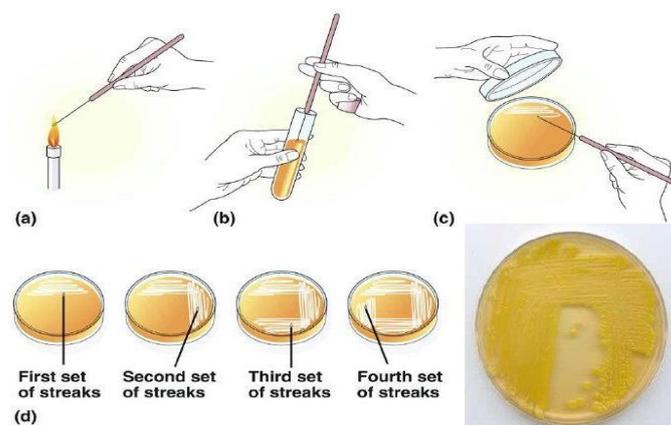
Gambar 22. Metode Tuang

Sumber: <https://docplayer.info>

(Diunduh pada 25 November 2021)

4. Cara Tusuk (*Stab*)

Metode tusuk dilakukan pada media agar tegak. Mikroba yang ditumbuhkan pada metode tusuk umumnya adalah mikroba anaerob karena koloni mikroba yang tumbuh di dalam media agar sehingga tidak memungkinkan adanya oksigen yang cukup bagi mikroba, metode tusuk dilakukan dengan cara menusukkan ose jarum yang telah diberi inokulum ke dalam media agar tegak dengan tidak menyen-tuhkan ose pada dinding tabung reaksi (Lusi, S. E., 2019).



Gambar 23. Metode Tusuk

Sumber: <https://docplayer.info>

(Diunduh pada 25 November 2021)

3.5 Media Pertumbuhan

Berdasarkan pemaparan Waluyo, L. (2016) Pemiakan bakteri memerlukan media, merupakan substrat yang dibutuhkan oleh bakteri untuk pertumbuhannya. Media berisi zat hara serta lingkungan pertumbuhan yang sesuai bagi bakteri. Zat hara diperlukan untuk pertumbuhan, sintesis sel, keperluan energi dalam metabolisme dan pergerakan. Lazimnya, media biakan mengandung air, sumber energi, zat hara sebagai sumber karbon, nitrogen, sulfur, fosfat, oksigen dan hidrogen, ke dalam bahan dasar media dapat pula ditambahkan faktor pertumbuhan berupa asam amino dan vitamin. Berikut merupakan jenis-jenis media pertumbuhan bakteri:

1. Berdasarkan asalnya, dapat dibagi atas beberapa media yaitu :

a. Media Dasar

Media dasar merupakan media yang mengandung campuran senyawa anorganik. Media dasar ini selanjutnya ditambah zat lain apabila diperlukan, misalnya sumber karbon, sumber energi, sumber nitrogen, faktor tumbuh, dan faktor lingkungan yang penting seperti pH dan oksigen serta tekanan osmosis (Waluyo, L., 2016).

b. Media *Chemically Defined*

Medium sintetik adalah media yang seluruh susunan kimia dan kadarnya telah diketahui dengan pasti. Sebagai contoh, adalah media dasar yang ditambah NH_4Cl dengan sumber karbon berupa gas CO_2 , apabila diinkubasi-kan dalam keadaan gelap dapat digunakan untuk menumbuhkan bakteri nitrifikasi Kemoautotrof misalnya bakteri *Nitrosomonas*, yang memperoleh energi dari oksidasi amonium, selain itu amonium juga berfungsi sebagai sumber nitrogen. Contoh lain adalah media dengan susunan sama dengan medium 1 tetapi ditambah glukosa. Dalam keadaan aerob merupakan media untuk perbanyakkan jamur dan bakteri yang bersifat heterotrof. Glukosa berfungsi sebagai sumber karbon dan sumber energi. Dalam keadaan anaerob, medium ini dapat digunakan untuk menumbuhkan bakteri fakultatif anaerob maupun anaerob obligat. Energi diperoleh dari hasil fermentasi glukosa. Untuk menumbuhkan

mikroba yang memerlukan faktor tumbuh dapat menggunakan medium yang komposisinya sama dengan media 2 tetapi ditambah asam nikotinat (vitamin) sebagai faktor tumbuh (Waluyo, L., 2016).

c. Media Kompleks

Medium yang susunan kimianya belum diketahui dengan pasti. Sebagai contoh media ini adalah media dasar yang ditambah glukosa dan ekstrak *khamir*. Susunan kimia ekstrak *khamir* tidak diketahui secara pasti, tetapi mengandung berbagai faktor tumbuh yang sering diperlukan oleh mikroba, untuk menumbuhkan mikroba *Kemoautotrof aerob* maupun anaerob (Ristianti, N. P., 2015).

d. Media Diperkaya

Media yang ditambah zat tertentu yang merupakan nutrisi spesifik untuk jenis mikroba tertentu. Media ini digunakan untuk membuat kultur diperkaya (*enrichment culture*) dan untuk mengisolasi mikroba spesifik, dengan cara mengatur faktor lingkungan (suhu, pH, cahaya), kebutuhan nutrisi spesifik dan sifat fisiologinya. Dengan demikian dapat disusun media diperkaya untuk bakteri yang bersifat kemoautotrof, fotosintetik, dan untuk mikroba lain yang bersifat (Ristianti, N. P., 2015).

2. Berdasarkan Kegunaannya

Menurut Rachmawaty, F. J. (2019) berdasarkan kegunaannya dibagi menjadi 3 bagian:

- a. **Media Umum:** Media yang paling sering digunakan dalam penelitian mikrobiologi. contohnya : *Nutrient Agar* merupakan media yang kaya dan subur.
- b. **Media Selektif :** Media selektif adalah media biakan yang mengandung paling sedikit satu bahan yang dapat menghambat perkembangbiakan mikroorganismenya yang tidak diinginkan dan membolehkan perkembangbiakan mikroorganismenya tertentu yang ingin diisolasi, contohnya : MCA, PDA, Sabouraud Agar (SA).
- c. **Media Diferensial:** Media ini digunakan untuk menyeleksi suatu organisme dari berbagai jenis dalam suatu lempengan agar, contohnya : EMB, SSA.

3.6 Inkubasi Bakteri

Teknik perlakuan bagi mikroorganisme yang telah di inokulasikan pada media (padat atau cair), kemudian di simpan pada suhu tertentu untuk dapat melihat pertumbuhannya. Penanaman bakteri dengan media agar akan dilakukan dengan inkubasi (Saputro, 2017 dalam Sari, L, P., 2019).

Inkubasi di golongan menjadi 2 jenis, yaitu :

- a. Inkubasi pada lemari biasa atau suhu kamar.
- b. Inkubasi pada inkubator yang suhunya dapat ditentukan

3.7 Metode Perbanyakan

Metode inokulasi biakan bakteri Penanaman bakteri (inokulasi) adalah pekerjaan memindahkan bakteri dari medium yang lama ke medium yang baru dengan tingkat kesterilan yang sangat tinggi. Untuk melakukan inokulasi terlebih dahulu semua alat harus steril, hal ini untuk menghindari terjadinya kontaminasi (Saputro, 2017 dalam Sari, L, P., 2019).

Berikut salah satu contoh cara perbanyakan bakteri entomo-patogen:

1. Serangga yang terinfeksi disterilisasi dengan memasukan serangga tersebut ke dalam etanol 90% selama 2 detik, kemudian ke dalam cairan sodium hipoklorit 5% selama 4 menit.
2. Selanjutnya serangga yang terinfeksi dibersihkan, dengan memasukan serangga tersebut ke dalam botol kecil berisi aquades steril, botol digoyang-goyang sebentar. Pencucian dilakukan sebanyak tiga kali. Botol dan aquades steril harus diganti setiap kali dengan yang baru.
3. Serangga yang telah steril diletakkan ke dalam cawan Petri steril, kemudian dipotong sebanyak 3 bagian, dengan menggunakan jarum ose potongan serangga dipindahkan ke dalam cawan Petri yang mengandung media NA.
4. Biakan yang tumbuh diinkubasi selama 2 hari pada temperatur kamar. Biakan yang terdiri dari dua atau lebih biakan bakteri dipisah-pisahkan dengan membiakannya ke dalam media NA dalam cawan Petri.
5. Bakteri yang tumbuh kemudian diinokulasikan pada serangga sehat untuk melihat gejala serangga yang muncul.

Gazali, A., *et. al.* (2017) dalam melakukan penelitian terhadap beberapa media buatan yaitu terdiri dari a) Media J (ekstrak jagung; b) Media K (ekstrak kedelai; c) Media B (ekstrak beras); d) Campuran C (ekstrak campuran jagung, kedelai, dan beras perbandingan 1:1:1); dan e) Media NB (Kontrol). Media buatan ini diproses sebagai berikut : Keempat jenis bahan masing-masing ditumbuk sampai halus, kemudian disaring dengan menggunakan ayakan, sehingga diperoleh bubuk padat. 100 g bubuk media padat direbus ke dalam 500 ml aquades sehingga diperoleh suspensi media, kemudian disaring dengan menggunakan ayakan sehingga dihasil ekstrak masing-masing bahan. Ekstrak siap digunakan untuk percobaan. Bakteri yang digunakan berasal dari hasil isolasi pada kegiatan eksplorasi *B. thuringiensis* yang mempunyai patogenisitas paling tinggi di antara semua bakteri *B. thuringiensis* yang diujikan.

Bakteri patogen serangga diperbanyak dengan menggunakan media Nutrient Broth (NB) yaitu dengan memindahkan bakteri pada biakan murni di media NA miring yang berumur 2 hari ke media NB dalam Erlenmeyer dengan menggunakan jarum ose secara aseptis. Biakan bakteri diinkubasikan selama 48 jam pada suhu kamar sambil dikocok dengan menggunakan *shaker*. Dua milli liter biakan *B. thuringiensis* dimasukkan ke dalam 50 ml masing-masing media perbanyak yang diujikan. Kemudian dilakukan pengamatan dengan hasil sebagai berikut : Hasil penelitian didapatkan bahwa terjadi pertumbuhan sel bakteri *B. thuringinsis* dari umur sel 3 hari setelah inokulasi sel pada setiap media tumbuh dan terus berkembang sampai umur sel 28 hari setelah inokulasi (Gazali, A., *et. al.*, 2017).

BAB IV

BAKTERI SEBAGAI PENGENDALI HAYATI

Pengendalian hayati merupakan salah satu teknik Pengendalian Hama Terpadu (PHT) lebih difokuskan terhadap pengendalian bersifat biologi dan beberapa cara lainnya yang tidak atau sedikit mengganggu keseimbangan alami yaitu pada ekosistem pertanian terjaga keseimbangan antara populasi hama dan populasi musuh alaminya (Untung, 1996 dalam Helmi, *et. al.*, 2015).

Entomopatogen merupakan salah satu agen hayati, dapat menginfeksi serangga serta dapat merusak sistem metabolisme tubuh serangga (Sopialena, 2018). Sifat-sifat mikroorganisme yang baik untuk digunakan sebagai agensia hayati yaitu: Cepat menyebar, aman dan diterima secara estetis, dapat menekan hama sampai ke tingkat *subeconomic level*, hasil pengendalian dapat diramalkan, mempunyai virulensi yang tinggi, mudah diproduksi secara massal, biaya produksi yang ekonomis, mudah disimpan dan mudah cara pemakaiannya. Salah satu yang menjadi entomo-patogen golongan bakteri.

Beberapa spesies bakteri dapat menjadi entomopatogen terhadap serangga, utamanya yang menjadi hama pada tanaman. Bakteri yang menyerang serangga umumnya termasuk famili Bacillaceae, Lactobacillaceae, Brevibacteriaceae dan Pseudomonaceae. Para ahli patologi serangga dan entomologiwan umumnya banyak menaruh perhatian terhadap bakteri-bakteri pembentuk spora karena ternyata banyak yang patogenitasnya sangat tinggi terhadap serangga-serangga dan vektor penyakit. Bakteri pembentuk spora ini membentuk endospora, yang tahan tetap secara dorman di lapangan atau di luar tubuh inang.

Beberapa spesies bakteri sudah digunakan sebagai entomo-patogen dan dipasarkan menjadi produk, seperti *Bacillus thuringiensis*. Produk-produknya telah diformulasikan ke dalam berbagai bentuk untuk aplikasi sebagai agen pengendalian hayati. formulasi tersebut bisa dalam bentuk padat (tepung atau pasir) atau cairan. Saat ini ada lebih dari 400 formulasi yang telah terdaftar di

pasar dan sebagian besar dari mereka mengandung protein insektisida dan spora meskipun spora tidak aktif dalam beberapa produk (Ahmedani et al., 2008 dalam Gazali, A., et. al., 2017). Beberapa bakteri lainnya juga sedang dilakukan penelitian dan dinyatakan berpotensi menjadi entomopatogen untuk mengendalikan hama tanaman, contoh *Serratia marcescens* Bizio. Peneliti masih melakukan identifikasi terhadap spesies bakteri lainnya untuk menemukan potensi yang bisa dijadikan sebagai entomopatogen.

Aplikasi bakteri entomopatogen pada setiap jenis serangga memiliki taraf konsentrasi yang berbeda, tergantung dari spesies bakteri dan serangga yang menjadi sasaran. Aplikasinya bisa melalui tanaman inang serangga ataupun secara langsung terhadap serangga. Bisa jadi spesies bakterinya sama, ketika diaplikasikan pada serangga yang berbeda konsentrasi untuk pengendaliannya berbeda.

BAB V

PENUTUP

Pengendalian hayati terhadap OPT, utamanya hama serangga yang disebut dengan entomopatogen, salah satunya dapat menggunakan agensia hayati dari kelompok bakteri. Jenis bakteri yang digunakan atau berpotensi sebagai entomopatogen ada *Bacillus thuringiensis* Berliner, *Pseumonas entomophila* Mulet, *Chromobacterium subtsugae* Martin, *Chromobacterium violaceum* Bergonzini, *Yersinia entomophaga* Hurst, *Brevibacillus laterosporus* Laubach, *Clostridium bifermentans* Weinberg dan Séguin, *Serratia marcescens* Bizio, dan bakteri lainnya.

Serangga yang terserang bakteri entomopatogen dapat dilihat dari gejalanya, perilaku serangga menjadi lamban, berhenti makan, diare, lumpuh dan setelah mati berbau busuk, berubah warna menjadi gelap dan semakin mengecil. Mekanisme penyerangan bakteri entomopatogen yaitu : masuk ke dalam tubuh inang, persisten dan kolonisasi bakteri di dalam tubuh serangga, menghindari pertahanan inang, toksin dan kematian serangga. Siklus hidup bakteri yaitu fase lag, fase log, fase stasioner, fase kematian. Bakteri bisa bereproduksi secara seksual dan akseksual. Faktor yang mempengaruhi bakteri ialah nutrien, suhu, kelembaban, pencahayaan, oksigen, pH dan tekanan osmotik.

Penanaman bakteri disebut inokulasi, memindahkan bakteri dari medium lama ke medium baru. Inokulum merupakan bahan yang mengandung mikroba atau biakan mikroba, baik dalam keadaan cair maupun padat. Inkubasi merupakan perlakuan bagi mikroorganisme yang telah diinokulasikan pada media (cair dan padat), kemudian disimpan pada suhu tertentu untuk dapat melihat pertumbuhan-nya. Penggunaan bakteri entomopatogen mempunyai harapan dan potensi lebih besar untuk dikembangkan lebih banyak di masa mendatang. Karena mudah dan murah serta aplikasinya yang efektif dan berwawasan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Etanol Kombinasi *Acorus calamus* (L.), *Curcuma mangga* VAL., dan *Allium sativum* (LINN.) Secara In Vitro. Skripsi Jurusan Biologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. Malang.
- Bacterial Diversity. 2020. *Chromobacterium subtsugae* PRAA4-1 is an aerobe, mesophilic, gram-negative animal pathogen that was isolated from Hemlock leaf litter. <https://bacdive.dsmz.de/strain/10451> [Diakses pada 15 November 2021]
- Bacterial Diversity. 2020. *Brevibacillus laterosporus* AMNH 797 is an aerobe, mesophilic human pathogen of the family Paenibacillaceae. <https://bacdive.dsmz.de/strain/11407> [Diakses pada 15 November 2021]
- Bacterial Diversity. 2020. *Serratia* sp. Cs60-2 is a mesophilic bacterium that was isolated from nuclear fuel storage pond. <https://bacdive.dsmz.de/strain/130310> [Diakses pada 15 November 2021]
- Bacterial Diversity. 2020. *Pseudomonas entomophila* L48 is an aerobe, mesophilic animal pathogen that was isolated from *Drosophila melanogaster*. <https://bacdive.dsmz.de/strain/24436> [Diakses pada 15 November 2021]
- Bacterial Diversity. 2020. *Yersinia entomophaga* MH96 is an aerobe, mesophilic, gram-negative animal pathogen that was isolated from diseased grass grub larvae. <https://bacdive.dsmz.de/strain/5229> [Diakses pada 15 November 2021]
- Bacterial Nomenclature up-to-date published by the Leibniz Institute DSMZ-German Collection of Microorganisms and Cell Cultures at <http://www.dsmz.de/bacterial-diversity/bacterial-nomenclature-up-to-date.html> [Diakses pada 15 November 2021]
- Balai Penelitian Tanaman Palma. 2015. Entomopatogen: Bakteri *Serratia*, Pengendali hama kelapa *Brontispa Longissima*. [https://balitka.litbang.pertanian.go.id/entomopatogen-bakteri-serratia-pengendali-hama-kelapa-brontispa-longissima/ ?lang=en](https://balitka.litbang.pertanian.go.id/entomopatogen-bakteri-serratia-pengendali-hama-kelapa-brontispa-longissima/?lang=en) [Diakses pada 21 November 2021]
- Barberan, A., Caceres, V. H., Jones, S., Fierer, N. 2017. Hiding in Plain Sight: Mining Bacterial Species Records for Phenotypic Trait Information. *Sphere*: 2 (DOI 10.1128/mSphere.00237-17) [Diakses pada 15 November 2021]

- Batista, J. H., Neto, J. F. 2017. *Chromobacterium violaceum* Pathogenicity: Updates and Insights from Genome Sequencing of Novel *Chromobacterium* Species. *Frontiers in Microbiology*, Vol. 8: 2213. 10.3389/fmicb.2017.02213 [Diakses pada 18 November 2021]
- Blackburn, M. B., Sparks, M. E., Gundersen, R. D. E. 2016. The genome of the insecticidal *Chromobacterium subtsugae* PRAA4-1 and its comparison with that of *Chromobacterium violaceum* ATCC 12472. *Genom Data*. 2016 Dec; 10: 1-3.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5004236/> [Diakses pada 18 November 2021]
- Boleng, D. T. 2015. *Bakteriologi Konsep-Konsep Dasar*. UMM Press : Universitas Muhammadiyah Malang.
<http://repository.unmul.ac.id/handle/123456789/4237>
[Diakses pada 01 Januari 2022]
- CAB International. *Bacillus thuringiensis (Bt)*. 2019.
<https://www.cabi.org/isc/datasheet/91843#totaxonomicTree>
[Diakses pada 13 November 2021]
- Dara, S.K. 2017. Entomopathogenic microorganisms: mode of action and role in IPM. *Journal of Entomology and Biological*.
[https://ucanr.edu/blogs/blogcore/postdetail.cfm?postnum=24119#:~:text=Entomopathogens%20are%20microorganisms%0that%20are,insects%2C%20mites%2C%20and%20ticks.&text=Using%20entomopathogens%20as%20biopesticides%20in,\(IPM\)%20against%20several%20pests.](https://ucanr.edu/blogs/blogcore/postdetail.cfm?postnum=24119#:~:text=Entomopathogens%20are%20microorganisms%0that%20are,insects%2C%20mites%2C%20and%20ticks.&text=Using%20entomopathogens%20as%20biopesticides%20in,(IPM)%20against%20several%20pests.) [Diakses pada 19 Oktober 2021]
- da Silva, W. J., Pilz-Júnior, H.L., Heermann, R.. 2020. The great potential of entomopathogenic bacteria *Xenorhabdus* and *Photorhabdus* for mosquito control: a review. *Parasites Vectors* 13, 376.
<https://doi.org/10.1186/s13071-020-04236-6>.
[Diakses pada 22 Desember 2021]
- Direktorat Perlindungan Tanaman Hortikultura. 2008. *Pengenalan dan Pengendalian Hama Tanaman Sayuran Prioritas*. Jakarta : Direktorat Perlindungan Tanaman Hortikultura.
- Efendi, Y. 2020. *Buku Ajar Genetika Dasar*. Penerbit Pustaka Rumah Cinta : Magelang.
<https://repository.uai.ac.id/wp-content/uploads/2020/09/Isi-Genetika-Dasar.pdf>
[Diakses pada 22 Desember 2021]

- Gazali, A., Ilhamiyah., Achmad, J. 2017. *Bacillus thuringiensis* Biologi, Isolasi, Perbanyakkan dan Cara Aplikasinya. Pustaka Banua : Banjarmasin.
<http://eprints.ulm.ac.id/4082/1/Bacillus%20Thuringiensis.pdf> [Diakses pada 25 November 2021]
- Glare, T. R., Fuentes, J. L. Jurat., O'Callaghan, M. 2017. *Microbial Control of Insect and Mite Pests*. Academic Press. Chapter 4 - Basic and Applied Research: Entomopathogenic Bacteria
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128035276000044>
 [Diakses pada 21 November 2021]
- Helmi., Didik, S., Purwatiningsih. 2015. Aplikasi Agen Pengendali Hayati terhadap Populasi Hama (*Plutella xylostella* Linn. dan *C. pavonana* Zell.) dan Musuh Alaminya pada Tanaman Kubis di Desa Kalibaru Kulon, Kab. Banyuwangi. *Jurnal ILMU DASAR* Vol. 16 No. 2, Juli 2015 : 55 – 62. 1352-37-11439-3-10-20171031.Pdf [Diakses pada 25 November 2021]
- Herdatiarni, F., Himawan, T., Rachmawati, R. 2014. Eksplorasi Cendawan Entomopatogen *Beauveria* sp. Menggunakan Serangga Umpan pada Komoditas Jagung, Tomat dan Wortel Organik di Batu, Malang. *Jurnal HPT*. 1(3) : 1-11.
 [Diakses pada 20 November 2021]
- Herlina, N. 2021. Ilmu Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman IPB University Jadi Trendsetter di Indonesia.
<https://dikti.kemdikbud.go.id/kabar-dikti/kampus-kita/ilmu-pengendalian-hama-dan-penyakit-tanaman-ipb-university-jadi-trendsetter-di-indonesia/>
 [Diakses pada 15 November 2021]
- Hurst, M. R. H., van Koten, C., Jackson, T. A. 2014. Pathology of *Yersinia entomophaga* MH96 towards *Costelytra zealandica* (Coleoptera; Scarabaeidae) larvae. *Journal of Invertebrate Pathology* Volume 115, January 2014, 102-107.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022201113001742> [Diakses pada 20 November 2021]
- Kahar, S. R. S., Hasan, Ani M., Lamangantjo, Chairunnisa J. 2019. Aktivitas Entomopatogen *Serratia marcescens* Bizio Terhadap Mortalitas Larva Kumbang Kelapa (*Brontispalongissima*) Gestro. *Jambura Edu Biosfer Journal* (2019) 1 (2): 64-71.
file:///E:/kuliah/Semester%207/Pengendalian%20hayati%20&%20pengelolaan%20habitat/2430-6310-1-PB_Serratia.pdf [Diakses pada 21 November 2021]

- Kalha, C. S., Singh, P.P., Kang, S.S., Hunjan, M.S., Gupta, V., Sharma, R. 2016. Chapter 12 - Entomopathogenic Viruses and Bacteria for Insect-Pest Control. Integrated Pest Management : Pages 225-244.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123985293000130>
[Diakses pada 22 Desember 2021]
- Khasanah, K. 2020. Modul Mikrobiologi Identifikasi Bakteri, Kapang Dan Khamir. Pasuruan : Sekolah Menengah Kejuruan Negeri Sukorejo.
https://smkn1sukorejo.sch.id/wp-content/uploads/2020/08/ModulbakteriKapang-Khamir_.pdf [Diakses pada 03 Desember 2021]
- Krishanti, N. P. R. A., Wikantyo, B., Zulfitri, A., Zulfiana, D. 2017. Bakteri Entomopatogen Sebagai Agen Biokontrol Terhadap Larva Spodoptera litura (F.). LIPI: Berita Biologi 16(1) Hal. 13-14.
https://e-journal.biologi.lipi.go.id/index.php/berita_biologi/article/view/2153/2534
[Diakses pada 28 Oktober 2021]
- Lusi, S. E. 2021. Teknik-teknik Isolasi atau Penanaman Mikroba, UNIDA Gontor.
<http://farmasi.unida.gontor.ac.id/2019/03/24/teknik-teknik-isolasi-atau-penanaman-mikroba/> [Diakses Pada 4 Januari 2022]
- Magdalaura. 2020. Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Bakteri.
<https://www.dictio.id/t/faktor-yang-mempengaruhi-pertumbuhan-bakteri-atau-mikroba/123939> [Diakses pada 01 Januari, 2022]
- Mayasari, U. 2020. Diktat Mikrobiologi. Medan : Universitas Islam Negeri Sumatera Utara.
<http://repository.uinsu.ac.id/8575/1/Diktat%20ulfa.pdf> [Diakses pada 04 Desember 2021]
- Moda, K. F. 2019. Laporan Praktikum Inokulasi Bakteri Pada Media Padat dan Cair. Universitas Esa Unggul.
https://scholar.google.co.id/scholar?hl=id&as_sdt=0%2C5&q=laporan+inokulasi+bakteri&oq=#d=gs_qabs&u=%23p%3D0h94XIIWFxwJ [Diakses pada 26 November 2021]
- Microbe Wiki. Bacterial Insect Pathogenesis.
microbewiki.kenyon.edu/index.php/Bacterial_insect_pathogenesis.
[Diakses pada 19 Oktober 2021]
- Miljkovic, M., Jovanovic, S., O'Connor, P.M., Mirkovic, N., Jovcic, B., Filipic, B. 2019. *Brevibacillus laterosporus* strains BGSP7, BGSP9 and BGSP11 isolated from

silage produce broad spectrum multi-antimicrobials. PLoS ONE 14(5): e0216773. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216773>
[Diakses 21 November 2021]

Naufal, A., Kusdiyantini, E., Raharjo, B. 2017. Identifikasi Jenis Pigmen Dan Uji Potensi Antioksidan Ekstrak Pigmen Bakteri *Serratia marcescens* Hasil Isolasi Dari Sedimen Sumber Air Panas Gedong Songo. *Bioma* 19 (2) : 95-103.

Panji, T. 2017. Transformasi, Transduksi, dan Konjugasi.
<https://www.edubio.2017transformasi-transduksi-dan-konjugasi.html>
[Diakses pada 01 Januari, 2022]

Rachmawaty, F. J. 2019. Media Bakteri.
<https://fk.uui.ac.id/mikrobiologi/materi/media/> [Diakses Pada 4 Januari 2022]

Riadi, M. 2016. Pertumbuhan Bakteri. <https://www.kajianpustaka.com>.
[Diakses pada 20 Desember 2021]

Rini, C. S., Rochmah, J. 2020. Bakteriologi Dasar. UMSIDA Press : Sidoarjo. 1085-Article Text-5090-1-10-20210814. [Diakses pada 22 Desember 2021]

Rini, M. S., Rahadian, R., Hadi, M., Zulfiana, D. 2018. Uji efikasi beberapa isolat bakteri entomopatogen terhadap kecoa (*Orthoptera*) *Periplaneta americana* (L.) dan *Blattella germanica* (L.) dalam skala laboratorium. Departemen Biologi, FSM, Universitas Diponegoro *Jurnal Biologi Tropika*. Vol. 1, No. 1, Hal. 1-7.

Ristianti, N. P. 2015. Pengantar Mikrobiologi Umum. Udayana University Press : Bali.
[Diakses pada 04 Januari 2021]

Ruii, L. 2013. *Brevibacillus laterosporus*, a Pathogen of Invertebrates and a Broad-Spectrum Antimicrobial Species. *Journal of Insect Pathology*, Vol. 4 (3).
<https://www.mdpi.com/2075-4450/4/3/476/html>
[Diakses pada 18 November 2021]

Ruii, L. 2015. Insec Pathogenic Bacteria in Integrated Pest management. *Serangga* 6: 352-367. www.mdpi.com/journal/insects/ [Diakses pada 19 Oktober 2021]

Ruii, L. 2018. Microbial Biopesticides in Agroecosystems. *Agronomy* 8 (11): 235.
<https://doi.org/10.3390/agronomy8110235>.
[Diakses pada 22 Desember 2021]

Safni, I. 2021. Cara kerja Bakteri Entomopatogen.

<https://google.com/amp/s/slideplayer.info/amp/3788107>
[Diakses Selasa 19 Oktober 2021]

- Salaki, C. L., Tarore, D. 2018. Prospek Pemanfaatan Biopestisida Bakteri Entomopatogenik Isolat Lokal Sebagai Agen Pengendali Hayati Hama Tanaman Sayuran. *Eugenia* 24 (2): 97-104. 28788-59391-1-SM.pdf [Diakses pada 03 Desember 2021]
- Sari, L. P. 2019. Pembuatan Media Pertumbuhan Bakteri dengan Menggunakan Umbi Ubi Jalar Cilembu (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) Untuk Bakteri *Lactobacillus acidophilus*, *Salmonella typhii* dan *Escherichia coli*. Universitas Sumatera Utara.
- Schünemann, R., Neiva, K., Lidia, M. 2014. Mode of Action and Specificity of *Bacillus thuringiensis* Toxins in the control of Caterpillars and Stink Bugs in Soybean Culture. *Microbiology* 2014 : 1-12. DOI:10.1155/2014/135675 <http://dx.doi.org/10.1155/2014/135675>. [Diakses Kamis 04 November 2021]
- Sharma, L., Bohra, N., Rajput, V.D., Quiroz Figueroa, F.R., Singh, R.K., Marques, G. 2021. Advances in Entomopathogen Isolation: A Case of Bacteria and Fungi. *Microorganisms* 2021, 9, 16. <https://dx.doi.org/10.3390/microorganisms9010016> [Diakses pada 22 Desember 2021]
- Sopialena. 2018. Pengendalian Hayati dengan Memberdayakan Potensi Mikroba. Mulawarman University Press. Samarinda. <https://faperta.unmul.ac.id/web/wp-content/uploads/2019/01/Pengendalian-Hayati-dengan-Memberdayakan-Potensi-Mikroba.pdf> [Diakses pada 18 November 2021]
- Suada, I. K. 2017. Mikroba Potensial dalam Pengendalian Biologi Patogen Tumbuhan Mengenal Mikroba Sahabat Petani. Pelawa Sari: Bali. https://simdos.unud.ac.id/uploads/file_penelitian_1_dir/166933d1cab0c3b9caede35e88792ace.pdf [Diakses pada 18 November 2021]
- Suwarno., Maridi., Dewi, P. 2015. Uji Toksisitas Isolat Kristal Protein *Bacillus thuringiensis* (Bt) sebagai Agen Pengendali Hama Terpadu Wereng Hijau (*Nepotettix virescens*) Vektor Penyakit Tungro sebagai Upaya Peningkatan Ketahanan Pangan Nasional. Volume 8, Nomor 1. ISSN: 1693-2654. [Diakses pada 18 November 2021]
- Utari, I. 2019. Fungsi dan Peran SDA dalam Kehidupan Manusia. Pustekkom Kemdikbud. <https://sumber.belajar.kemdikbud.go.id/repos/FileUpload/Fungsi%20dan>

%20Peran%20SDA%20Reformat/hayati.html [Diakses pada 7 Desember 2021]

Waluyo, L. 2016. Mikrobiologi Umum. UPT Penerbitan Universitas Muhammadiyah

<http://repository.poltekkes-denpasar.ac.id/2809/3/BAB%20II.pdf>

[Diakses pada 18 November 2021]

BAGIAN

2

**PEMANFAATAN JAMUR SEBAGAI
AGENSIA HAYATI PENGENDALI
ORGANISME PENGGANGGU
TANAMAN (OPT)**

BAB I

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara megabiodiversitas, yang memiliki keanekaragaman hayati yang sangat tinggi. Di Indonesia diperkirakan ada 100 sampai 150 famili tumbuh-tumbuhan, dan negara tropis yang kaya akan jenis tanaman hortikultura. Tanaman hortikultura mempunyai harga yang tinggi dan memberikan peluang untuk bersaing di pasaran. Dari jenis tanaman tersebut sebagian besar dapat dimanfaatkan sebagai tanaman rempah-rempahan, obat-obatan dan pestisida. Rendahnya produktivitas lahan pertanian di Negara kita erat hubungannya dengan berbagai faktor yang terlibat dalam proses budidaya itu sendiri (Sarjan, 2018).

Salah satu penyebab rendahnya produktivitas tersebut adalah adanya serangan Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) hingga saat ini masih merupakan masalah utama yang membatasi produksi terutama untuk daerah-daerah yang mempunyai iklim tropis. (OPT) juga merupakan faktor pembatas produksi tanaman di Indonesia baik tanaman pangan, hortikultura maupun perkebunan. Untuk pengendalian OPT dalam budidaya tanaman banyak petani yang menggunakan pestisida tetapi banyak juga petani yang menggunakan pestisida tidak sesuai anjuran sehingga dapat berdampak buruk. Pestisida telah pula menyebabkan timbulnya strain hama dan penyakit tumbuhan yang resisten, hama atau patogen sekunder menjadi hama utama (resurgensi), terhadap bahan beracun tersebut, sehingga setiap kali usaha pengendalian terhadap organisme pengganggu ini menemui kegagalannya dan setiap kali itu pula petani ingin meningkatkan dosisnya yang akhirnya pencemaran meningkat serta biaya produksi pertanian terus meningkat (Ketut, 2017).

Maka dari itu diperlukan pengendalian hayati yang ramah lingkungan. Menurut Lestari (2015), pengendalian hayati diharapkan dapat mengurangi efek samping dari penggunaan pestisida dalam mengendalikan serangan OPT, pengendalian hayati penyakit tumbuhan diarahkan dengan penggunaan agen

hayati cendawan endofit nonpatogen. Cendawan endofit adalah cendawan yang hidup dan menginfeksi jaringan tanaman dengan tidak menimbulkan gejala penyakit. Pengendalian menggunakan agen hayati dengan cendawan endofit yaitu suatu pengendalian yang memanfaatkan cendawan untuk menghambat pertumbuhan patogen dengan cara menginfeksi tumbuhan sehat pada jaringan tertentu dan mampu menghasilkan mikotoksin, enzim serta antibiotika. Asosiasi beberapa cendawan endofit dengan tumbuhan inang mampu melindungi tumbuhan inangnya dari beberapa patogen virulen, baik bakteri maupun cendawan (Simarmata dan Rumilla, 2007 dalam Kandou, 2018).

Pemanfaatan agensia hayati sudah banyak dikembangkan salah satunya dari jenis jamur, yang digunakan untuk mengendalikan serangan patogen pada tanaman. Pemanfaatan jamur sebagai agensia pengendalian hayati mempunyai prospek yang cukup menjanjikan karena selain mudah diperoleh, agensia ini dapat mencegah timbulnya ledakan OPT serta produk tanaman yang dihasilkan bebas dari residu pestisida. Selain itu pemanfaatan agensia hayati juga dapat mengurangi ketergantungan petani terhadap pestisida sintesis (Amaria, W., *et.al.*, 2019).

BAB II

MENGENAL JAMUR

2.1 Definisi Jamur

Jamur atau cendawan merupakan organisme yang sangat sederhana, berinti, berspora, tidak berklorofil, berupa sel atau benang bercabang-cabang dengan dinding dari selulosa atau khitin atau keduanya dan umumnya berkembang biak secara seksual dan aseksual. Jamur terbagi dalam dua golongan berdasarkan ukuran yaitu mikrofungi merupakan jamur yang strukturnya hanya dapat dilihat dengan mikroskop dan makrofungi yaitu jamur yang membentuk tubuh buah dan dapat dilihat dengan mata telanjang. Indonesia merupakan negara beriklim tropis yang memiliki kelembaban tinggi sehingga memungkinkan untuk tumbuhnya berbagai tanaman dan mikroorganisme dengan baik. Salah satu mikroorganisme yang dapat tumbuh dengan baik di Indonesia adalah jamur (Arifin, Z., 2006 dalam Linna, F., *et.al.*, 2018).

Dengan sifat jamur yang tidak mempunyai klorofil, maka cara untuk mempertahankan hidupnya dengan memanfaatkan zat-zat yang sudah ada yang berasal oleh organisme lain, maka jamur disebut sebagai organisme yang heterotrop. Kalau zat organik yang diperlukan jamur itu zat yang sudah tidak dibutuhkan lagi oleh pemiliknya maka jamur semacam itu disebut saproba. Jika jamur itu hidup pada jasad-jasad lain yang masih hidup sehingga akibatnya merugikan, maka jamur disebut parasit.

Agen hayati yang sudah diketahui potensinya dalam mengendalikan hama tanaman pangan adalah jamur entomopatogen (Prayogo, *et.al.*, 2008 dalam Oktarina, *et.al.*, 2017). Di Indonesia, pemanfaatan agen hayati khususnya jamur entomopatogen untuk pengendalian hama mulai berkembang pesat sejak abad ke-19. Jamur entomopatogen merupakan salah satu jenis bioinsektisida yang dapat digunakan untuk mengendalikan hama tanaman (Prayogo, *et.al.*, 2008 dalam Oktarina, *et.al.*, 2017). Pemanfaatan bioinsektisida sebagai agen hayati pada

pengendalian hama merupakan salah satu komponen pengendalian hama terpadu (PHT). Salah satu jamur entomopatogen yang memiliki kisaran inang cukup luas yakni lebih dari 25 famili yang berbeda adalah *Paecilomyces fumosoroseus* (Vega, 1997 dalam Oktarina, *et.al.*, 2017).

2.2 Jenis-jenis Jamur

2.2.1 *Trichoderma* sp.

Jamur *Trichoderma* banyak spesiesnya yang sudah diketahui bersifat antagonis terhadap jamur patogen. *T. harzianum* efektif mengendalikan sklerotia dari jamur *Sclerotium rolfsii* yang banyak menyebabkan penyakit rebah kecambah pada tanaman inang yang diserangnya. *T. polysporum* efektif terhadap jamur *Fomes annosus* sedangkan *T. viridae* dapat memparasit jamur *Armillaria mellea*. Keunggulan jamur *Trichoderma* sebagai agensia pengendali hayati dibandingkan dengan jenis fungisida kimia sintetik adalah selain mampu mengendalikan jamur patogen dalam tanah, ternyata juga dapat mendorong adanya fase revitalisasi tanaman. Revitalisasi ini terjadi karena adanya mekanisme interaksi antara tanaman dan agensia aktif dalam memacu hormon pertumbuhan tanaman (Suwahyono, U., 2009 dalam Dewi, N., 2018).

Suhu optimum untuk pertumbuhan jamur *Trichoderma* sp. adalah 15⁰-35⁰C, dengan suhu maksimumnya 30⁰-36⁰C. Koloni *Trichoderma* sp. berwarna putih, kuning, hijau muda dan hijau tua. Hifa pada jamur ini berbentuk pipih, bersekat dan bercabang-cabang membentuk anyaman yang disebut miselium. Miseliumnya dapat tumbuh dengan cepat dan dapat memproduksi berjuta-juta spora. Dalam pertumbuhannya, bagian permukaan akan terlihat putih bersih dan bermiselium kusam. Setelah dewasa miselium memiliki warna hijau kekuningan (Carlile, *et.al.*, 1994 dalam Yelvi, E., 2017).

Trichoderma sp. adalah salah satu jamur tanah yang tersebar luas, yang hampir dapat ditemui di lahan-lahan pertanian dan perkebunan. *Trichoderma* sp. bersifat saprofit pada tanah kayu dan juga dapat bersifat parasit. *Trichoderma* sp. berkembangbiak secara aseksual dengan membentuk spora diujung fialida atau cabang dari hifa (Mazur, *et.al.*, 2006 dalam Yelvi, E., 2017).



Gambar.1 Jamur *Trichoderma* sp. (1) konidiofor (2) cabang konidiofor (3) fialid (4) konidia. Sumber: Google.image.

Diakses pada 24 November 2021

a. Klasifikasi *Trichoderma* sp. menurut (Larone, 2008 dalam Novianti, 2018).

- Kingdom : Fungi
- Divisi : Ascomycota
- Class : Euecomycetes
- Ordo : Hypocreales
- Family : Hypocreaceae
- Genus : *Trichoderma*
- Spesies : *Trichoderma* sp.

b. Ciri-ciri jamur *Trichoderma* sp. menurut (Novalia, V., et.al., 2019).

Ciri-ciri jamur *Trichoderma* sp. yaitu sebagai berikut :

- 1) Cendawan tanah yang tersebar luas di seluruh dunia dan hidup hampir di semua jenis tanah terutama yang mengandung bahan organik, pada permukaan akar berbagai jenis tanaman.
- 2) Menyukai tanah yang agak lembab, pada tanah kering, populasi akan menurun.
- 3) Menyukai tanah yang asam, tetapi masih bisa hidup pada range pH 2-8, dan cendawan termasuk peka terhadap pengaruh sinar atau cahaya langsung.
- 4) Suhu optimum untuk pertumbuhan jamur *Trichoderma* sp. adalah 15-35°C, dengan suhu maksimumnya 30-36°.

- 5) Sering tumbuh pada tumpukan bahan organik, seperti : tumpukan jerami, tongkol jagung dan tumpukkan bahan organik lainnya.
- 6) Ciri-ciri mikroskopis hifa/miselia bersepta dan berwarna terang. Konidiofor berwarna terang, tegak lurus dan bercabang.
- 7) Merupakan salah satu agen hayati potensial untuk mengendalikan patogen tanaman terutama bersifat *soil borne* (tular tanah) seperti terhadap cendawan *Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Phytophthora*, *Sclerotium* dan lain-lain.

2.2.2 *Aspergillus* sp.

Aspergillus sp genus yang terdiri dari beberapa ratusan spesies kapang yang ditemukan di berbagai iklim di seluruh dunia. *Aspergillus* pertama kali dikatalogkan pada tahun 1729 oleh Pastor dan Ahli Biologi Italia Pier Antonio Micheli. Melihat fungi di bawah mikroskop, Micheli teringat akan bentuk *aspergilum* (alat untuk memercikkan air suci) dari Bahasa latin *spargere* (memercikkan) aspergillum adalah struktur pembentuk spora aseksual yang dimiliki semua spesies aspergillus; sekitar sepertiga spesies juga diketahui memiliki tahapan seksual.

Aspergillus banyak tersebar di mana-mana, banyak di antaranya terdapat dalam makanan yang telah basi. Bentuk koloninya padat dan pertumbuhannya lambat (garis bawah koloninya 28 dalam waktu 8 hari). Warna koloninya mula-mula putih kemudian berubah menjadi hijau kebiru-biruan. *A. niger* merupakan spesies terbesar dan terdapat di mana-mana. Bila di lihat dengan mikroskop, ujung spora tampak besar, terbungkus rapat, bentuk bulat hitam atau coklat hitam (Ivan, P., 2018).



Gambar 2. Jamur *Aspergillus* sp. 1). Konidia, 2). Vevside, 3). Conidhiophore, 4). Phialide. (Sumber: Google.image).

Diakses pada 24 November 2021

a. Klasifikasi jamur *Aspergillus* sp. Menurut, F., (1992) dalam Jannah, (2019).

- Kingdom : Fungi
- Divisi : Mycophyta
- Kelas : Ascomycetes
- Ordo : Aspergillales
- Famili : Aspergillaceae
- Genus : *Aspergillus*
- Spesies : *Aspergillus* sp

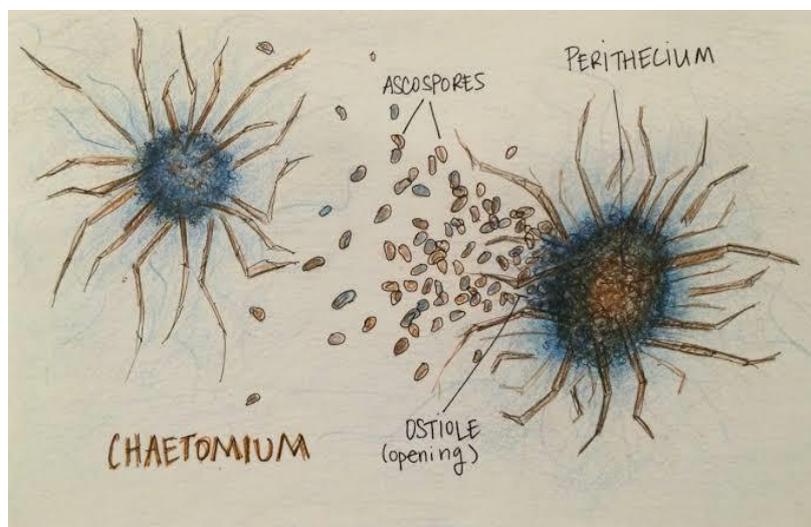
b. Ciri-ciri jamur *Aspergillus* sp. Menurut (Wulansari, N., *et.al.*, 2015).

- 1) *Aspergillus* juga mengacu pada jamur hitam atau hijau karena sebagian besar dari mereka membentuk spora hitam dan hijau.
- 2) Cara mendapat makanan adalah "Heterotrof", yang bergantung pada organisme lain untuk makanan dan gizi.
- 3) *Aspergillus* adalah jamur umum yang tersebar luas dan ada di mana-mana.
- 4) Itu mampu mentolerir kondisi lingkungan yang ekstrim seperti suhu tinggi.
- 5) Sebagian besar spesies *Aspergillus* bereproduksi secara aseksual melalui konidiospora dan sedikit yang tumbuh secara seksual melalui askospora.
- 6) Spesies *Aspergillus* adalah Terricolous yaitu sebagian besar spesies tumbuh di tanah atau tanah.

- 7) Spora *Aspergillus* berlimpah di alam dan dapat bersifat saprofitik dan parasit.
- 8) *Aspergillus* memperoleh nutrisi dari lingkungan melalui hifa vegetatif, yang kemudian tumbuh untuk menghasilkan struktur reproduksi yaitu spora.
- 9) Hifa dari *Aspergillus* terdiri dari dua jenis, hifa vegetatif. Ini membantu penyerapan nutrisi. Hifa reproduksi membantu dalam produksi spora jamur.

2.2.3 *Chaetomium* sp.

Chaetomium sp mampu menghambat perkembangan *Pythium ultimum*, *Cochliobolus sativus* (*spot blotch*) pada gandum di dalam laboratorium dan rumah kaca, *Magnaporthe grisea* (*rice blast*) dan *Puccinia recondita* (*wheat leaf rust*), dan *Phytophthora infestans* penyebab *late blight*. Antagonisme *Chaetomium* terhadap patogen tersebut terjadi melalui 3 mekanisme yaitu kompetisi, mikoparasitisasi, dan antibiosis. *Chaetomium globosum* mampu mengeluarkan *chaetomin* yang dapat menghambat perkembangan jamur lain. Jamur tersebut dilaporkan sebagai antagonis yang potensial terhadap berbagai patogen tanaman terutama *soil borne*, *seed borne*. (Djarwanto, *et.al.*, 2018).



Gambar 3. Jamur *Chaetomium* sp.

(Sumber: Google.image). Diakses pada 24 November 2021

- a. Klasifikasi-Klasifikasi jamur *Chaetomium* sp. Menurut Djarwanto, *et.al.*, (2018).
 - Kingdom : Fungi
 - Divisi : Ascomycota

- Class : Sordariomycetes
- Ordo : Sordariales
- Famili : Chaetomiaceae
- Genus : Chaetomium
- Spesies : *Chaetomium* sp.

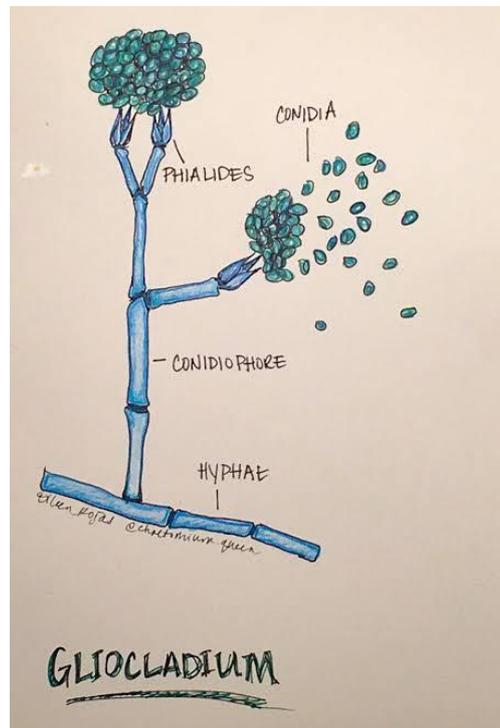
b. Ciri-ciri *Chaetomium* sp. menurut Aggarwal, *et.al.*, (2004) dalam Djarwanto, *et.al.*, (2018).

- 1) Koloni *Chaetomium* tumbuh cepat dan jamur ini terlihat seperti kapas. Mula-mula berwarna putih sedangkan koloni yang tua berwarna ke abu-abuan dan kemudian kemerahan atau kecoklatan.
- 2) Secara mikroskopik *Chaetomium* sp mempunyai askospora yang kecil dan berwarna coklat.
- 3) Berbentuk seperti jeruk atau bola, spora terbentuk di dalam tubuh buah terlepas ke luar dan tersebar oleh angin, serangga atau percikan air.
- 4) *Chaetomium* sp. adalah spesies jamur yang paling umum yang tumbuh di jerami busuk basah, tetapi juga telah ditemukan dan diisolasi dari berbagai bahan seperti tali, goni, kayu, kertas, produk selulosa, kotoran hewan, biji-bijian, lingkaran barel, dan sapu tua.

2.2.4 *Gliocladium* sp.

Gliocladium sp. merupakan cendawan tanah yang umum dan tersebar di berbagai jenis tanah, misalnya tanah hutan dan pada beragam rizosfer tanaman. *Gliocladium* sp. memiliki konidiofor yang bersepta dan bercabang ke atas dengan struktur sikat yang kompak (*penicillate*). *Gliocladium* sp. adalah jamur yang mudah ditemukan di berbagai jenis tanah. Jamur tanah umum ini mampu menekan patogen asal tanah termasuk *Pythium* spp., *Rhizoctonia solani*, dan *Sclerotium rolfsii* yang menyebabkan *damping-off*, *root rot*s, dan bermacam-macam patogen bibit berbagai jenis tanaman inang. *Gliocladium* sp. merupakan *hypomycetes* yang tidak membentuk fase seksual. Bereproduksi secara aseksual, menghasilkan konidia bila keadaan lembab, bertahan dalam potongan miselium berdinding tebal yang disebut klamido-spora yang biasa terdapat pada bahan organik. Spornya tersebar hanya melalui air, tanah, bahan organik dan tidak pernah sebagai air

borne. Jamur ini adalah satu dari jamur yang terdaftar sebagai agen biokontrol patogen tanaman (Herlina, 2016).



Gambar 4. Jamur *Gliocladium* sp.

Sumber: Google.image. Diakses pada 24 November 2021

a. Klasifikasi jamur *Gliocladium* sp. menurut (Alexopaulus, 1982 dalam Herlina, 2016).

- Kingdom : Fungi
- Divisi : Eumycota
- Kelas : Hyphomycetes
- Ordo : Hyphomycetales
- Famili : Moniliaceae
- Genus : Gliocladium
- Spesies : *Gliocladium* sp.

b. Ciri-ciri jamur *Gliocladium* sp. menurut (Alexopaulus, 1982 dalam Herlina, 2016).

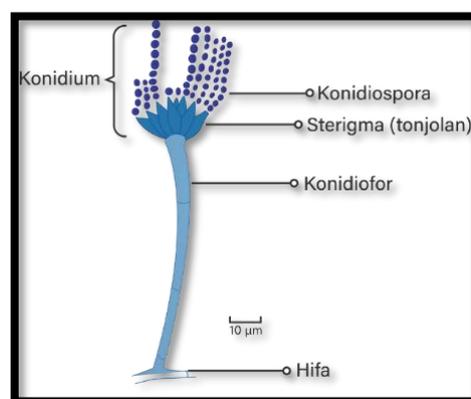
- 1) *Gliocladium* spp. Memiliki konidiofor yang bersepadan bercabang ke atas dengan struktur sikat yang kompak.

- 2) Masing-masing percabangan membentuk alur berputar yang memiliki 4-5 kelompok konidia.
- 3) Konidia berbentuk lonjong sampai pipih.
- 4) Gliocladium mempunyai konidiofor bersepta bening dan tidak berwarna, bercabang pada ujungnya, mempunyai bentuk *peniculate* dan kepalanya menghasilkan spora licin.

2.2.5 *Penucillium* sp.

Penicillium sp adalah genus dari fungi ascomycota yang sangat penting dalam lingkungan alam, pada pembusukan makanan, serta produksi makanan dan obat. Beberapa anggota dari genus menghasilkan penisilin, molekul yang digunakan sebagai antibiotik, yang membunuh atau menghentikan pertumbuhan beberapa jenis bakteri di dalam tubuh. Spesies lain digunakan dalam pembuatan keju.

Menurut *Dictionary of The Fungi* (10th edition, 2008), genus luas ini berisi lebih dari 300 spesies. *Penicillium* juga digunakan dalam industri untuk memproduksi antibiotik, misalnya penicillin yang diproduksi oleh *Penicillium notatum* dan *Penicillium chrysogenum* (Fardiaz, 1989 dalam Yelvi, E., 2017).



Gambar 5. *Penicillium* sp. 1). Konidium, 2). Konidiospora, 3). Sterigma (tonjolan), 4). Konidiofor, 5). Hifa.

(Sumber: Google.image). Diakses pada 24 November 2021

a. Klasifikasi *Penicillium* sp. menurut (Fardiaz, 1989 dalam Yelvi, E., 2017).

- Kingdom : Fungi
- Divisi : Ascomycota
- Kelas : Eurotiomycetes

- Ordo : Eurotiales
- Famili : Trichocomaceae
- Genus : *Penicillium*
- Spesies : *Penicillium* sp.

b. Ciri-ciri jamur *Penicillium* sp. (Fardiaz, 1989 dalam Yelvi, 2017).

- 1) *Penicillium* sp memiliki warna koloni hijau dan memiliki warna bagian dasar coklat muda.
- 2) Hifa *hyaline* bersekat, diameter hifa 1 μ m, konidiofor berukuran 200 μ m x 1 μ m, bercabang tingkat 1, berdinding halus.
- 3) Mempunyai septae, mycelium bercabang dan tidak berwarna.
- 4) Hifa di mana tempat spora melekat, bentuknya menyerupai sapu dan disebut penicillus.

2.2.6 *Paecilomyces* sp.

Paecilomyces sp. merupakan jamur entomopatogen yang memiliki kisaran inang yang cukup luas. Perbanyak jamur *Paecilomyces* sp menggunakan media agar, juga dapat memperbanyak melalui fermentasi bentuk padat, menggunakan media beras, bekatul dan pelepah pisang. Jamur *Paecilomyces* sp telah diformulasikan sebagai bionematisida dan dipasarkan dengan berbagai nama dagang, tetapi belum begitu banyak. contohnya seperti Bio-Nematon berbentuk cair dan formulasi padat. Produk bionematisida semacam ini mungkin kurang efektif di Indonesia karena bahan aktifnya jamur eksotik, oleh karena itu penggunaan jamur *Paecilomyces* lokal mungkin akan lebih efektif dan adaptif terhadap lingkungan. Pada suhu 20°C – 25°C *Paecilomyces* sp dapat berkecambah dengan baik (Shim, *et.al.*, 2003 dalam Oktarina, *et.al.*, 2017).



Gambar 6. *Paecilomyces* sp.

(Sumber: Google.image). Diakses pada 24 November 2021

a. Klasifikasi *Paecilomyces* sp. (Shim, *et.al.*, 2003 dalam Oktarina, *et.al.*, 2017).

- Kingdom : Fungi
- Divisi : Ascomycota
- Kelas : Eurotiomycetes
- Ordo : Eurotiales
- Famili : Trichocomaceae
- Genus : *Paecilomyces*
- Spesies : *Paecilomyces* sp.

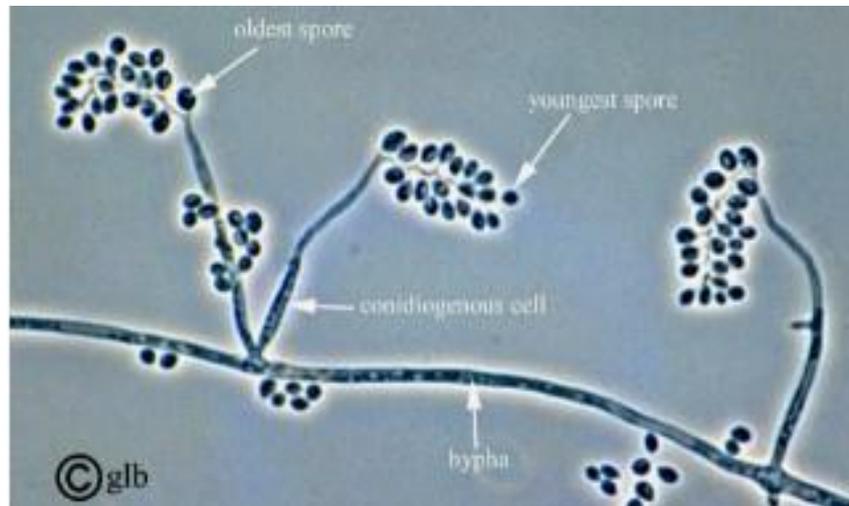
b. Ciri-ciri *Paecilomyces* sp. (Shim, *et.al.*, 2003 dalam Ketut, 2017).

- 1) *Paecilomyces* sp. Berbentuk seperti bubuk atau tepung, berwarna seperti emas, hijau sedikit seperti emas, terkadang berwarna kuning-coklat, ungu atau cokelat dan tidak pernah hijau atau biru-hijau seperti pada *Penicillium*.
- 2) Memiliki konidiofor bercabang yang muncul dari hifa. Hifa bersepta dan memiliki fialid di bagian ujungnya.
- 3) Konidia berbentuk bulat atau oval.

2.2.7 *Beauveria bassiana*

Jamur entomopatogen *Beauveria bassiana* memiliki kisaran inangnya sangat luas sudah banyak dimanfaatkan dalam pengendalian serangga hama. Jamur ini mem-punyai potensi besar sebagai agens pengendalian hama secara biologi dan sebagai komponen penting dalam sistem pengendalian hama secara terpadu. Di

Indonesia potensi *Beauveria bassiana* ini juga diujikan pada beberapa serangga hama, seperti pada *Plutella xylostella* pada tanaman caisin, *Aphis gossypii* pada tanaman cabe, *Ostrinia furnacalis* pada jagung, kepik hijau pada kacang-kacangan. (Saito dan Sugiyama, 2005 dalam Igaa 2016).



Gambar 7. Jamur *Beauveria bassiana*

(Sumber: Google.image). Diakses pada 24 November 2021

a. Klasifikasi *Beauveria bassiana* menurut (Saito dan Sugiyama, 2005 dalam Igaa, 2016).

- Kingdom : Fungi
- Filum : Ascomycota
- Kelas : Sordariomycetes
- Ordo : Hypocreales
- Famili : Cordycipitaceae
- Genus : Beauveria
- Spesies : *Beauveria bassiana*

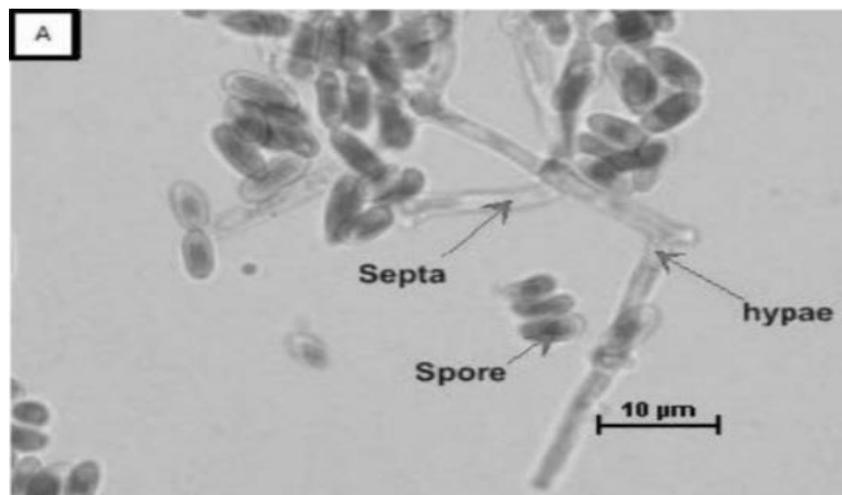
b. Ciri-ciri *Beauveria bassiana*. Menurut (Saito dan Sugiyama, 2005 dalam Igaa, 2016)

- 1) Miselium yang dihasilkan berwarna putih, berbentuk oval.
- 2) Miselium berwarna putih dan bersekat di dalam serangga yang terinfeksi dan terdiri dari banyak sel, dengan diameter 4 μm sedangkan di luar tubuh serangga berukuran lebih kecil dengan diameter 2 μm .

- 3) *Beauveria bassiana* biasanya berada di dalam tanah atau di dalam sarang serangga yang telah terinfeksi.
- 4) Hifa berukuran lebar 1-2 μm dan berkelompok.
- 5) *Beauveria bassiana* tidak membentuk kladospora tetapi membentuk blasto-spora.

2.2.8 *Metarhizium anisopliae*

Metarhizium anisopliae adalah tergolong entomopatogen yang bersifat toksik terhadap serangga. Penggunaan *Metarhizium anisopliae* dapat dijadikan sebagai agensia pengendali hayati yang ramah lingkungan. *Metarhizium anisopliae* dapat mengurangi populasi serangga perusak tanaman petani secara bertahap dan tidak merusak ekosistem dari wilayah tersebut. *Metarhizium anisopliae* menginfeksi inangnya dengan cara mengeluarkan spora yang kemudian masuk ke dalam pori-pori epidermis serangga atau kutikula serangga, kemudian akan berkembang biak di dalam tubuh serangga dengan mengembangkan hifanya hingga tumbuh banyak miselium. Selanjutnya dengan bertahap akan memakan organ internal dari serangga sehingga serangga akan mati dalam beberapa hari. *Metarhizium anisopliae* dapat tumbuh optimal pada suhu $22^{\circ} - 27^{\circ} \text{C}$, dengan pH berkisar antara 3,3 - 8,5 (Pracaya, 2004 dalam Iga, 2016).



Gambar 8. Jamur *Metarhizium anisopliae*.

(Sumber: Google.image). Diakses pada 24 November 2021

- a. Klasifikasi *Metarhizium anisopliae* menurut (Alexopoulos, et.al, 1996 dalam Priska, 2018) adalah sebagai berikut :
 - Kingdom : Fungi

- Divisi : Amastigomycotina
- Class : Deuteromycetes
- Ordo : Moniliales
- Famili : Moniliaceae
- Genus : *Metarhizium*
- Species : *Metarhizium anisopliae*

b. Ciri-ciri *Metarhizium anisopliae*.

- 1) Di awal pertumbuhan, koloni jamur *Metarhizium anisopliae* berwarna putih.
- 2) Seiring bertambahnya umur, warna koloni akan berubah menjadi hijau gelap.
- 3) Miselium mempunyai miselium yang bersepta dengan konidia yang berbentuk lonjong.
- 4) Jamur *Metarhizium anisopliae* menghasilkan sejenis cairan khusus yang disebut microsclerotia yang dapat merusak sistem sirkulasi tubuh serangga (Widiyanti dan Muyadihardja, 2003 dalam Priska, 2018).

2.3 Struktur Jamur

Selain ciri-ciri fungi, kamu juga perlu mengetahui struktur tubuh fungi. Pada dasarnya, struktur jamur terbentuk dari komponen disebut hifa. Hifa sendiri adalah struktur menyerupai benang halus yang tersusun dari dinding berbentuk pipa. Dinding ini menyelubungi membran plasma dan sitoplasma hifa yang mengandung organel eukariotik. Kebanyakan hifa jamur dibatasi oleh dinding melintang atau septa. Septa pada jamur memiliki pori besar yang cukup untuk dilewati ribosom, mitokondria, dan inti sel yang mengalir dari sel ke sel. Namun, ada pula hifa jamur yang tidak bersepta atau hifa senositik. Secara umum, struktur jamur hifa senositik dihasilkan oleh pembelahan inti sel berkali-kali yang tidak diikuti dengan pembelahan sitoplasma. Pada jamur bersifat parasit, hifa jamur biasanya mengalami modifikasi menjadi haustoria. Hifa jenis haustoria berfungsi untuk mengangkut zat hara atau makanan dari substrat karena hifa khusus ini mampu menembus jaringan substrat. (Ahmad, R., 2019).

2.4 Morfologi dan Anatomi Jamur

Menurut Yani, S., *et.al.*, 2020, morfologi jamur di antaranya adalah:

1. Hifa

Hifa adalah suatu struktur fungus berbentuk tabung menyerupai seuntai benang panjang yang terbentuk dari pertumbuhan spora atau konidia. Bagian tubuh fungi yang mencolok adalah miselium yang terbuat dari kumpulan hifa yang bercabang-cabang membentuk suatu jala yang umumnya berwarna putih. Hifa berisi protoplasma yang dikelilingi oleh suatu dinding yang kuat.

2. Dinding Sel

Dinding sel memberikan bentuk kepada sel dan melindungi isi sel dari lingkungan. Meskipun kokoh, dinding sel tetap bersifat permeabel untuk nutrient-nutrien yang diperlukan fungi bagi kehidupannya. Komponen penting dalam dinding sel sebagian besar fungi adalah kitin, suatu polisakarida yang juga merupakan komponen utama dari kerangka luar serangga dan artropoda lainnya. Kitin adalah polimer linear dari N-asetil-glukosamin yang subunit-subunitnya dihubungkan oleh ikatan β -(1-4) glukosida.

3. Septum

Septum merupakan suatu sekat yang membagi hifa menjadi kompartemen-kompartemen. Meskipun demikian protoplasma dari sel-sel masih saling berhubungan karena septum tersebut mempunyai lubang-lubang.

4. Mitokondria

Mitokondria terdapat dalam sitoplasma sel fungi, dapat berbentuk lingkaran, oval atau memanjang.

5. Ribosom

Ribosom terdapat bebas dalam sitoplasma, tetapi ada juga yang terikat pada permukaan retikulum endoplasma atau pada membran nukleus. Dalam ribosom terjadi sintesis polipeptida. Ribosom terdapat dalam matriks mitokondria.

6. Aparatus Golgi

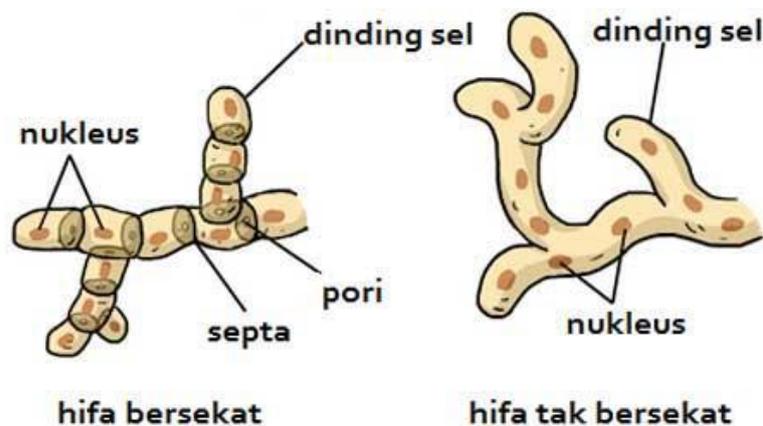
Aparatus golgi mempunyai aneka peran, antara lain memroses dan menyek-resi glikoprotein yang akan menjadi bagian dari dinding sel, menyekresi bahan-bahan ekstraseluler seperti *cell coat* pada pembelahan spora dari suatu sitoplasma yang multinukleat, menghasilkan vesikel yang berperan dalam pertumbuhan dinding sel.

7. Microbodies

Microbodies, antara lain: peroksisom (mengandung katalase); glioksisom (mengandung enzim-enzim yang terlibat dalam oksidasi asam lemak dan dalam siklus glio-oksalat); hidrogenosom (mengandung hidrogenase untuk reaksi-reaksi yang anaerob dalam sel); lisosom (mengatur pemecahan komponen-komponen sel, misal pemecahan septum agar inti sel bisa bergerak dari sel yang satu ke sel yang lain dan pada fungi yang *parasitic* untuk memecah dinding sel dari inang).

8. Vesikel

Di dalam sel juga terdapat vesikel-vesikel, yaitu struktur-struktur mirip kantung, dalam jumlah besar di lokasi-lokasi pertumbuhan dinding sel, terutama pada hifa apikal. Vesikel tersebut mengosongkan isinya di antara plasmalema dan dinding sel. Beberapa vesikel mengandung enzim-enzim yang melunakkan dinding sel yang sudah ada agar kemudian dapat meluas (bertambah), karena ada vesikel-vesikel lain mengandung bahan-bahan untuk membentuk dinding sel. Peran vesikel juga pada pengikatan zat warna dan fungisida yang racun untuk sel, serta untuk mengekskresi enzim-enzim ekstraselular. Di samping vesikel-vesikel tersebut di atas masih ada vesikel-vesikel yang sangat kecil, yaitu kitosom (*chitosomes*), yang mengandung enzim kitin sintetase dan berperan dalam membentuk fibril kitin dari prekursornya.



Gambar 9. Jenis-jenis Hifa
(Sumber: Suprvisor IPA, 2018).

2.5 Gejala OPT yang Terserang Agensia Hayati Jamur

Gejala serangan pada serangga yang terinfeksi jamur entomopatogen terlihat nafsu makan larva berkurang mengakibatkan larva menjadi kurang aktif, kemudian kaku dan diikuti perubahan warna tubuh karena dinding tubuhnya telah ditutupi oleh hifa yang berwarna putih. Contohnya pada larva *Chilo sacchariphagus* yang terinfeksi *Beauveria bassiana* mengakibatkan nafsu makan larva berkurang sehingga larva kaku, gerakan mulai lambat kemudian mengeras, lalu mati, pada tubuh larva muncul miselium berwarna putih dan tidak mengeluarkan bau busuk. Hal ini sesuai dengan yang menyatakan bahwa toksin yang dihasilkan seperti *beauverizin* yang dapat menghancurkan lapisan lemak dan meningkatkan permeabilitas sel yang dapat menghancurkan ion spesifik sehingga dapat menyebabkan terjadinya *transport* ion yang abnormal kemudian merusak fungsi sel atau organel sel larva. Pada permukaan tubuh serangga yang telah mati dan menjadi mumi muncul miselium yang berwarna putih, mula-mula hifa muncul pada permukaan tubuh yang lunak atau pada antar segmen (Vega, 1997 dalam Priska, 2018).

BAB III

CARA PERBANYAKAN

3.1 Perbanyak Jamur Agensia Pengendali Hayati

Perbanyak jamur agensia hayati dapat dilakukan dengan menggunakan media buatan yang berisikan nutrisi yang dibutuhkan bagi pertumbuhan jamur. Perbanyak-kan juga bisa dari perkembangbiakan jamur. Perkembangbiakan jamur merupakan pembentukan individu baru, yang mempunyai sifat-sifat khas bagi setiap spesies. Pada jamur terdapat dua macam perkembangbiakan yaitu perkembangbiakan seksual dan aseksual. Meskipun suatu cendawan tunggal dapat membentuk spora aseksual dan seksual dengan beberapa cara pada waktu yang berlainan dan dalam kondisi yang berbeda, struktur dan metode pembentukan spora-spora tersebut cukup konstan untuk digunakan dalam identifikasi dan klasifikasi (Ulfayani, M., 2020).

3.1.1 Perkembangbiakan Secara Aseksual

Menurut Tentorku, (2015) spora terbagi dalam dua golongan yaitu spora aseksual dan spora seksual. Spora aseksual terdiri dari :

1. Konidiospora atau konidium, terbentuk di ujung di sisi suatu hifa.
2. Sporangiospora, terbentuk dalam suatu kantung yang disebut sporangium.
3. Oidium atau Oidiospora, terbentuk karena terputusnya sel-sel hifa.
4. Klamidospora, terbentuk dari sel hifa somatik.
5. Blastospora, terbentuk pada bagian tengah hifa.

Berdasarkan ukuran, spora terbagi dalam:

1. Mikrospora atau mikrokonidia, umumnya pada golongan kapang dan khamir.
2. Makrospora atau makrokonidia, banyak terdapat pada beberapa jenis jamur patogen
3. Perkembangbiakan secara aseksual yaitu pembiakan untuk memperoleh individu baru yang dapat terjadi berulang kali dalam suatu musim. Reproduksi aseksual ini dapat berlangsung secara :

- a. Fragmentasi, setiap fragmen atau bagian somatiknya membentuk individu baru.
- b. Membelah, dengan cara membentuk dinding sekat yang memisahkan kedua anak sel yang baru.
- c. *Budding*, terdapat pada *yeast* dan beberapa cendawan lain pada keadaan tertentu.
- d. Pembentukan spora.

3.1.2 Perkembangbiakan Secara Seksual

Perkembangbiakan secara seksual memerlukan dua jenis jamur yang cocok berarti dapat kawin. Spora seksual yang dihasilkan dari peleburan dua nukleus, terbentuk lebih jarang dibandingkan dengan spora aseksual (Budi, I. S., *et.al.*, 2015). Ada beberapa tipe spora seksual:

1. Askospora. Spora bersel satu ini terbentuk di dalam kantung yang disebut askus. Biasanya terdapat delapan askospora di dalam setiap askus.
2. Basidiospora, spora bersel satu ini terbentuk di atas struktur berbentuk gada yang dinamakan basidium.
3. Zigospora merupakan spora besar berdinding tebal apabila ujung-ujung dua hifa yang secara seksual serasi.
4. Oospora, spora ini terbentuk di dalam struktur betina khusus yang disebut oogonium. Pembentukan telur atau oosfer oleh gamet jantan yang terbentuk di dalam anteridium menghasilkan oospora. Dalam satu oogonium dapat ada satu atau beberapa oosfer.

Proses perkawinan antara 2 jenis yang kompatibel terdiri atas persatuan antara dua protoplast yang kemudian diikuti persatuan intinya persatuan antara protoplast disebut *plasmogami*, sedang persatuan antara inti di sebut *karyogami*. Plasmogami tidak selalu langsung diikuti dengan *karyogami* secara masal antara inti-inti dari sel yang lain yang kompatibel, tetapi kadang-kadang terdapat juga karyogami antara inti yang sama (Suwahyono, U., 2009 *dalam* Dewi, N., 2018).

Hifa atau miselium yang terbentuk karena perkawinan dua hifa yang kompatibel dapat mengalami dua kemungkinan. Kalau kedua inti yang kompatibel segera bersatu, maka hifa baru disebut berinti satu (monokaryotik), inti baru itu

diploid. Sebaliknya, kalau kedua inti tetap terpisah, maka hifa baru disebut hifa berinti dua tak sama (dikaryotik). Hifa yang dikaryotik berkembangbiak pula dengan membelah diri yang didahului dengan pembelahan kedua inti secara bersama-sama. Dengan demikian tiap sel baru pada hifa tersebut adalah heterokaryotik. Pada suatu ketika keadaan heterokaryotik berubah menjadi monokaryotik. Akan tetapi meiosis akan segera terjadi sehingga inti yang diploid menjadi haploid lagi. Hal ini terjadi pada waktu jamur akan menghasilkan spora-spora baru. Jamur yang berinti satu haploid tidak dapat mengadakan perkawinan sendiri, maka jamur yang demikian itu dinamakan *heterotalik mandul*. Jadi jamur yang demikian itu hanya dapat kawin dengan jenis lain yang kompatibel (Prayogo, 2016).

Menurut Yani, S., *et.al.*, (2020). Cara bersatunya dua sel yang berlainan jenis dapat kita klasifikasikan sebagai berikut:

1. Persatuan Planogamet

Ini terjadi antara dua gamet yang dapat bergerak; untuk ini dapat diciptakan istilah planogametogami. Kalau persatuan itu terjadi antara dua planogamet yang berbeda ukuran atau planogamet yang satu dapat bergerak sedang yang lain tidak, maka persatuan itu disebut anisogametomi. Contohnya pada *Allomyces* dan *Monoblephari*.

2. Kontak antara Gametangium

Pada banyak species jamur yang tidak menghasilkan sel kelamin, plasmogami dapat terjadi langsung antara dua gametangium yang kompatibel, sedang masing-masing *game-tangium* selama plasmogami tidak mengalami perubahan. Melalui suatu lubang atau saluran kecil yang terjadi antara kedua gametangium yang mengadakan kontak, mengalirlah inti atau inti-inti dari anteridium ke oogonium. Setelah ini berakhir, maka oogonium dapat berkembang, sedangkan anteridium mungkin mengalami desintegrasi.

3. Persatuan Gametangium atau Gametangiogami

Pada Gametangiogami ini terjadi perpindahan seluruh isi anteridium keogonium. Dalam hal ini ada 2 cara. Pertama ialah, antara anteridium dan

oogonium terbentuk lubang atau saluran, sehingga seluruh protoplast dari anteridium pindah ke oogonium lewat lubang atau saluran.

4. Spermatisasi
5. Beberapa jamur tinggi menghasilkan semacam konidia kecil berinti satu yang kita sebut spermatia. Spermatia dapat terbawa angin, air, serangga atau lainnya untuk membuahi gametangium betina. Antara spermatania dan gametangium terdapat lubang tempat mengalir protoplast dari spermatania ke gametangium (oogonium).
6. Somatogami
7. Pada jamur-jamur tinggi tertentu tidak terdapat alat kelamin, maupun sel kelamin, dan persatuan protoplast antara dua jenis yang kompatibel dapat berlangsung dari setiap sel tubuh (hifa) dari jenis yang satu dengan sel tubuh (hifa) dari jenis yang lain.

3.2 Perbanyakkan Jamur Melalui Media

Elfina, Y., *et.al.*, (2016) mengatakan bahwa media dapat di bagi menjadi 3 golongan yaitu media alam, media semi sintetik dan media sintetik. Dalam media alam komposisi nutrisi tidak dapat diketahui dengan pasti setiap waktu karena dapat berubah-ubah dalam bahan yang digunakan dan bergantung dari asalnya. Sebagai contoh ialah kentang, jagung, kacang, wortel dan lainnya.

1. Media Alam

Contohnya yaitu agar jagung/kentang

- Biji Jagung/Kentang 200 g
- Akuades 1000 ml
- Dimasak setengah jam, lalu disaring untuk diambil ekstraknya, kemudian di tambah akuades hingga mencapai volume 1000 ml
- Agar 15 g

2. Media Sintetik

Contohnya yaitu agar czapek

- Sukrosa 30g
- NaNo₃ 2g

- K₂PHO₄ 1g
- MgSO₄ 7H₂O 10g
- KCl 0,5g
- FeSo₄ 7H₂O 0,01g
- Agar 15g
- Air/akuades 1000 ml

Untuk suspensi tanah, digunakan agar 20 gram dan pH medium netral atau sedikit asam sampai pH 4 dengan menambahkan larutan 3. H₃PO₄ (1:20) sesudah sterilisasi. Untuk mucor yang tidak dapat tumbuh baik pada media yang mengandung sukrosa, maka sukrosa diganti dengan glukose.

3. Media Semisintetik

Contohnya yaitu agar ekstrak malt/malt agar

- Ekstrak Malt 25 g
- Agar 15 g
- Akuades 1000 ml

4. Media Selektif

Digunakan khusus untuk spesies tertentu seperti Agar PCNB untuk mengisolasi *Fommes annosus* dari tanah dan kayu, *Aspergillus Differential Medium* digunakan untuk mengisolasi *Aspergillus* dan lain sebagainya.

5. Media Cair

Digunakan untuk menyimpan strain jamur dan dibuat dengan komposisi yang sama seperti di atas hanya tidak diberi agar. Semua media harus disterilkan basah pada autoclave selama 30 menit pada tekanan 1-1,5 atmosfer dan temperatur 120°C.

3.2.1 Isolasi dan Identifikasi

Jamur hidup kosmopolitan (tanah, air, udara, benda-benda, makanan, dan lain-lain). Bahan isolasi jamur bergantung kebutuhan. Jadi dapat berupa padat atau cairan. Media yang digunakan untuk pertumbuhan jamur umumnya adalah PDA (*Patato Dekstrose Agar*) dan *Sabouraud Agar* (untuk jamur patogen). Metode isolasi yang digunakan adalah TPC (*Total Plate Count*) untuk mengetahui jumlah jamur, kemudian dilakukan pemurnian untuk mengamati koloni dan

struktur jamur. Masa inkubasi sampai terdapat pertumbuhan koloni untuk jamur sekitar 3–5 hari bahkan bisa lebih bergantung pada jenisnya (Prayogo, 2016).

Koloni jamur yang telah dimurnikan kemudian diidentifikasi secara makroskopis dan mikroskopis (Analisis fenotip) yaitu mengamati karakter meliputi bentuk, ukuran, warna, sifat permukaan (granular, berbulu, licin, lain-lain) dan balik koloninya. Selanjutnya dilakukan pengamatan secara mikroskopis untuk melihat struktur hifa dan spora (Yani, S., 2020).

Sifat-sifat hidup jamur dapat diamati secara makroskopis dan mikroskopis. Secara makroskopis dengan mengamati pertumbuhan koloni jamur pada media pertumbuhan. Sifat-sifat koloni seperti, bentuk susunan, warna dan ukuran koloni. Secara mikroskopis adalah dengan mengamati struktur jamur seperti hifa, spora, tubuh buah dan lain-lain. Kemudian adanya zat-zat kimia yang dikeluarkan oleh tubuh jamur seperti preparat enzim, asam-asam, alkohol dan pigmen-pigmen, juga polysacharida, sterol dan golongan *miscellaneous*, vitamin-vitamin, *acetaldehyde*, *senyawa arsenic*, lipid dan antibiotika yang merupakan produk dari jamur. Dengan adanya metabolit-metabolit yang dihasilkan dari tubuh jamur, maka jamur merupakan organisme penting di dalam dunia industri makanan, minuman dan obat-obatan. Di samping metabolit penting untuk dunia industri juga ada metabolit yang sifatnya racun untuk organisme lain yang dapat membahayakan kesehatan manusia, hewan maupun tumbuhan (Jeyarajan, R., dan Nakkeran, S. 2016).

BAB IV

JAMUR SEBAGAI PENGENDALI HAYATI

4.1 Mekanisme Penyerangan Jamur Terhadap OPT

4.1.1 *Trichoderma* sp.

Mekanisme penyerangan *Trichoderma* sp. terhadap jamur patogen tumbuhan yaitu dengan kompetisi terhadap tempat tumbuh dan nutrisi, antibiosis, dan parasitisme. Antibiosis mempunyai peran penting dalam proses pengendalian atau mekanisme lain yang merugikan bagi patogen. Satu mekanisme penghambatan yang dimiliki *Trichoderma* sp. tidak dapat bekerja sendiri untuk menghasilkan penghambatan yang signifikan. Konsep pengendalian penyakit dengan agen hayati akan berhasil jika terdapat keseimbangan antara faktor suhu, pH, dan kelembaban yang optimum. Mekanisme antagonisme yang dimiliki oleh *Trichoderma* sp. berpotensi besar sebagai pengendali patogen tular tanah *Rigidoporus microporus* penyebab penyakit jamur akar putih (Yani, S., *et.al.*,2020).

Trichoderma sp dapat memproduksi senyawa toksin seperti viridin, gliotoksin. Oleh karna itu jamur ini memiliki kemampuan menekan pertumbuhan patogen lain, baik secara mekanis parasitasi maupun antibiosis dengan racun yang dikeluarkan. *Trichoderma* sp mengendalikan penyakit dengan mengeluarkan enzim lisis. Sedangkan *Trichoderma* sp dapat mengendalikan nematoda pada kondisi nematoda yang inaktif selain itu juga berkompetisi dengan makanan dan ruang (Suwahyono, U., 2009 dalam Dewi, N., 2018).

4.1.2 *Aspergillus* sp.

Mekanisme penyerangan cendawan *Aspergillus* sp. yaitu dengan menghasilkan enzim khitinase dan laminarinase yang mempunyai kemampuan untuk memecah komponen dinding sel cendawan patogen (Sudarma dan Suprpta, 2011 dalam Irgyana, 2020). Jamur endofit bisa berperan sebagai penghasil enzim di antaranya dari genus *Aspergillus*, *Fusarium* dan *Alternaria*. Cendawan endofit yang bersifat enzimatik mampu mendegradasi struktur patogen

dan melindungi inang. *Aspergillus* sp. juga mampu menghasilkan racun berupa mikotoksin. Mikotoksin adalah senyawa hasil sekunder metabolisme cendawan (Sinaga, 2003 dalam Ariyanto, E. F., dan Abadi, A. L., 2016).

4.1.3 *Chaetomium* sp.

Chaetomium sp mampu menghambat perkembang biakan *Pythium ultimum*, *Cochliobolus sativus* (*spot blotch*) pada gandum dan *Phytophthora infestan* penyebab *late blight*. Antagonisme *Chaetomium* sp terhadap patogen tersebut terjadi melalui tiga mekanisme, yaitu melalui kompetisi, memparasitir dan antibiosis. *Chaetomium* mampu mengeluarkan chaetomin yang dapat menghambat perkembangan jamur patogen. Sehingga dapat dijadikan sebagai agen pengendalian penyakit tanaman (Ketut, 2017).

Cara dan waktu aplikasi agen antagonis sangat berpengaruh terhadap keberhasilan pengendalian penyakit tanaman. Cara pengendalian dengan direndam, disemprot dan dicampurkan ke dalam tanah yang dikombinasikan dengan waktu aplikasi yang berbeda yaitu sebelum tanam, saat tanam, ataupun setelah tanam, akan memberikan efektivitas pengendalian yang berbeda.

4.1.4 *Gliocladium* sp.

Gliocladium sp. memiliki aksi untuk mengendalikan jamur patogen dengan cara parasitisasi, antibiosis dan kompetisi. *Gliocladium* sp. juga memparasit *Rhizoctonia solani*. *Gliocladium* sp membungkus tubuh patogen dan mengeluarkan enzim yang menghancurkan kutikula patogen. Di samping itu juga *Gliocladium* sp mengeluarkan antibiotik yang disebut gliotoxin dan viridian yang dapat membunuh banyak jamur dan bakteri patogen tanah (Ketut, 2017).

4.1.5 *Penicillium* sp.

Penicillium sp. merupakan kelompok jamur yang menghasilkan senyawa antibiotik salah satunya yaitu Penisilin. Penisilin merupakan kelompok antibiotik dan diproduksi oleh berbagai jenis jamur (*eukariot*) yaitu dari jenis *Penicillium*, *Aspergillus* dan lain-lain. Penisilin merupakan suatu kelompok senyawa dengan struktur yang sekerabat dan sifat-sifat serta aktivitas yang agak berbeda.

Antibiotik ini spesifik menghambat sintesis dinding sel bakteri, mencegah sintesis peptidoglikan yang utuh sehingga dinding sel akan melemah dan akibatnya akan mengalami lisis. Kandungan senyawa penisilin pada *Penicillium* memiliki sifat-sifat di antaranya menghambat atau membunuh patogen dan bersifat bakterisida. Juga tidak menyebabkan resistensi, berspektrum luas yaitu dapat menghambat pertumbuhan bakteri tidak bersifat alergenik atau menimbulkan efek samping bila dipergunakan dalam jangka waktu lama, tetap aktif dalam plasma, cairan badan atau eksudat dan juga larut dalam air serta stabil.

4.1.6 *Paecilomyces* sp.

Paecilomyces sp saat ini telah banyak digunakan sebagai agensia hayati untuk mengendalikan penyakit bengkak akar yang disebabkan oleh nematoda dan penyakit tanaman lainnya. Mekanisme antagonis dari jamur *Paecilomyces* sp. adalah mekanisme antibiosis, mekanisme antibiosis jamur antagonis dapat menghambat mikroorganisme lain dengan menghasilkan metabolit sekunder berupa senyawa kimia atau antibiotik, enzim dan toksin untuk menekan pertumbuhan dan perkecambah mikroorganisme lainnya (Amaria, *et.al.*, 2015). *Paecilomyces* dapat memproduksi enzim kitinase, proteinase, dan lipase yang menghambat pertumbuhan jamur patogen. Selain itu, *Paecilomyces* sp. juga dapat menghasilkan senyawa yang bersifat toksik dan antimikrobial berupa *brefeldine*. Pada bagian tubuh nimfa serangga terjadi pertumbuhan miselium jamur yang berwarna putih dan miselium tersebut tumbuh hingga menutupi seluruh tubuh serangga. Penetrasi *Paecilomyces fumosoroseus* dapat terjadi melalui kontak antara propagul cendawan dengan tubuh serangga secara langsung. (Holder dan Keyhani, 2005 dalam Oktarina, *et.al.*, 2017). Adapun mekanisme infeksi tersebut dimulai dari penempelan konidia pada kutikula serangga secara langsung kemudian konidia berkecambah selanjutnya menembus kutikula secara mekanik dan kimiawi dengan mengeluarkan enzim kitinase dan protease. (Moguel, *et.al.*, 2008 dalam Oktarina, *et.al.*, 2017).

4.1.7 *Beauveria bassiana*.

Beberapa penelitian mengungkapkan bahwa *Beauveria bassiana* menghasilkan racun (toksin) yang dapat mengakibatkan paralisis secara agresif pada larva dan imago serangga. Beberapa jenis racun yang telah berhasil diisolasi dari *Beauveria bassiana* antara lain *beauvericine*, *beauverolide*, *isorolide* dan zat warna serta asam oksalat (Talanca, 2005 dalam Rohman, 2017).

Mekanisme infeksi dimulai infeksi langsung hifa atau spora *Beauveria bassiana* ke dalam kutikula melalui kulit luar serangga. Pertumbuhan hifa akan mengeluarkan enzim seperti protease, lipolitik, amilase, dan kitinase. Enzim-enzim tersebut mampu menghidrolisis kompleks protein di dalam integument, yang dapat menyerang dan menghancurkan kutikula, sehingga hifa tersebut mampu menembus dan masuk serta berkembang di dalam tubuh serangga. Mekanisme infeksi secara mekanik adalah infeksi melalui tekanan yang disebabkan oleh konidium *Beauveria bassiana* yang tumbuh. Secara mekanik infeksi jamur *Beauveria bassiana* berawal dari penetrasi miselium pada kutikula lalu berkecambah dan membentuk apresorium, kemudian menyerang epidermis dan hipodermis. Hifa kemudian menyerang jaringan dan hifa berkembang biak di dalam tubuh serangga (Nia, J. L., 2016).

Pada perkembangannya di dalam tubuh serangga *Beauveria bassiana* akan mengeluarkan racun yang disebut *beauvericin* yang menyebabkan terjadinya paralisis pada anggota tubuh serangga. Paralisis menyebabkan kehilangan koordinasi sistem gerak, sehingga gerakan serangga tidak teratur dan lama kelamaan melemah, kemudian berhenti sama sekali. Setelah lebih kurang lima hari terjadi kelumpuhan total dan kematian. Toksin juga menyebabkan kerusakan jaringan, terutama pada saluran pencernaan, otot, sistem syaraf, dan sistem pernafasan (Arsi, 2020.)

Serangga kemudian mati dan jamur *B. bassiana* akan terus melanjutkan pertumbuhan siklusnya dalam fase saprofitik. Setelah serangga inang mati, *Beauveria bassiana* akan mengeluarkan antibiotik, yaitu *Oosporein* yang menekan populasi bakteri dalam perut serangga inang. Dengan demikian, pada akhirnya seluruh tubuh serangga inang akan penuh oleh propagul *Beauveria bassiana*. Pada

bagian lunak dari tubuh serangga inang, jamur ini akan menembus keluar dan menampakkan pertumbuhan hifa di bagian luar tubuh serangga inang yang biasa disebut “*white bloom*”. Pertumbuhan hifa eksternal akan menghasilkan konidia yang bila telah masak akan disebarkan ke lingkungan dan menginfeksi serangga sasaran baru.

4.1.8 *Metarhizium anisopliae*.

Serangga yang terinfeksi oleh jamur *Metarhizium anisopliae* dan mati berwarna kehijau-hijauan hal ini disebabkan oleh warna konidia jamur. Kematian serangga dapat diakibatkan oleh toksin yang dikeluarkan oleh jamur tersebut (Arsi, 2020). Miselium jamur dilaporkan mampu memproduksi senyawa metabolit yang toksik terhadap serangga. *Metarhizium anisopliae* menginfeksi inangnya dengan mengeluarkan spora yang kemudian masuk ke dalam pori-pori epidermis serangga atau kutikula serangga, kemudian akan berkembang biak di dalam tubuh serangga dengan mengembangkan hifanya, hingga tubuh serangga inang dipenuhi miselium. Selanjutnya secara bertahap akan memakan organ internal dari serangga, hingga serangga akan mati dalam beberapa hari (Dumas, *et.al.*, 1996 dalam Dewi, N., 2018).

4.2 Siklus Hidup Jamur

4.2.1 *Trichoderma* sp.

Trichoderma sp. adalah jamur yang paling umum dijumpai dalam tanah khususnya tanah dengan kandungan bahan organik yang tinggi. Jamur mempunyai ciri morfologi koloni berwarna hijau muda sampai hijau tua, hifa bersekat, berukuran (1,5-12 μm), dan percabangan hifa membentuk sudut siku pada cabang utama. Konidium berbentuk bulat, agak bulat sampai bulat telur pendek, berukuran (2,8-3,2) x (2,5-2,8) μm , dan berdinding halus. Konidiofor bercabang mendukung fialid, yang berjumlah 3 atau lebih secara bergerombol dan dapat hidup baik secara *saprophyt* maupun *parasit* pada jamur lain, dan perkembangan secara aseksual dengan menghasilkan konidium yang berkecambah membentuk individu baru. *Trichoderma* sp. akan tumbuh dengan baik jika lingkungan menguntungkan. Namun demikian, jamur ini mempunyai kemampuan bertahan pada kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan

dengan membentuk struktur tahan, seperti klamidospora. Suhu optimum untuk pertumbuhan jamur ini adalah 15⁰-35⁰C, dengan suhu maksimum-nya 30⁰-36⁰C. *Trichoderma* sp. termasuk jenis jamur tanah, sehingga sangat mudah didapatkan di berbagai macam tanah, di permukaan akar berbagai macam tumbuhan, juga dapat diisolasi dari kayu busuk atau seresah (Suwahyono, U., 2009 dalam Dewi, N., 2018).

4.2.2 *Aspergillus* sp.

Reproduksi secara aseksual dengan membelah diri, membentuk tunas, fragmentasi, dan membentuk konidia. Konidia yang dibentuk dapat tunggal atau berantai panjang pada ujung hifa khusus yang disebut konidiofor. Reproduksi seksual *Aspergillus* terjadi dengan konjugasi. Mula-mula hifa membentuk gametangia jantan (anteridium) dan gametangia betina (askogonium). Anteridium dan askogonium saling mendekat dan membentuk saluran yang disebut trikogin. *Nukleus anteridium* masuk ke askogonium membentuk sel dengan dua inti. Sel ini kemudian tumbuh membentuk hifa yang disebut hifa askogonium dan menghasilkan tubuh buah yang disebut askokarp. Di dalam askokarp 2 inti membelah secara meiosis menghasilkan 8 askospora yaitu spora yang dihasilkan di dalam askus. Spora yang dihasilkan disebarkan oleh angin, jika jatuh pada lingkungan yang sesuai akan segera tumbuh membentuk hifa dan dimulailah daur hidup yang baru (Azzahra, *et.al.*, 2020).

4.2.3 *Chaetomium* sp.

Chaetomium sp. tergolong dalam kelompok jamur hitam atau suku Dematiaceae karena memiliki pigmentasi hifa dan struktur reproduksi yang berwarna dasar coklat tua hingga kehitaman. Marga *Chaetomium* mudah dikenali dari bentuk askoma yang bulat atau semibulat dan berwarna coklat tua hingga hitam diselubungi rambut-rambut lateral. *Chaetomium* telah banyak diisolasi dari berbagai substrat seperti tanah, serasah, perairan, dan lain sebagainya. Fungi *Chaetomium* memiliki tekstur permukaan kasar, agak tebal, dan koloni rapat. Fungi *Chaetomium* tumbuh pada media CMC. *Chaetomium* juga banyak ditemukan di tanah hutan mangrove. Fungi *Chaetomium* adalah fungi yang memiliki substrat yang mengandung selulosa. Fungi *Chaetomium* dapat ditemukan di tanah,

udara, dan sisa-sisa tanaman. Koloni *Chaetomium* tumbuh cepat. Jamur ini terlihat seperti kapas, dan mula-mula putih, dan koloni yang tua menjadi abu-abu dan kemudian kemerahan atau kecoklatan. Ada banyak jenis spesies fungi *Chaetomium* di antaranya adalah *Chaetomium atrobrun-neum*, *Chaetomium funicola*, *Chaetomium globosum*, dan *Chaetomium strumarium*. *Chaetomium* adalah spesies fungi yang paling sering ditemukan. Fungi *Chaetomium* sp membentuk koloni berwarna merah muda, tekstur permukaan koloni seperti kapas dengan bentuk tepi rata. Secara mikroskopis jamur *Chaetomium* spp memiliki asco-mata berbentuk oval hingga semi bulat dan terdapat rambut ascomata. (Ketut, 2017).

4.2.4 *Gliocladium* sp.

Gliocladium sp. merupakan jamur tanah yang hidupnya ber-sifat saprofit. Organ reproduksi seksual dari *Gliocladium* sp. belum diketahui sedangkan organ reproduksi aseksual adalah konidiofora (spora) berbentuk hifa tegak lurus dan bentuk posisi atasnya seperti *Penicillium* sp. Konidia *Gliocladium* sp. berwarna bening, terdiri dari satu sel dan terbungkus oleh getah atau lendir yang tidak dapat dibedakan. Warna koloni yang dihasilkan bervariasi seperti putih, merah muda, abu-abu kehitaman yang dihasilkan oleh fialida dalam jumlah yang banyak. *Gliocladium* sp. Menghasil-kan koloni yang tumbuh dengan cepat, menyebar dan kapas. Pertumbuhan mencakup seluruh permukaan piring dalam waktu sekitar satu minggu. Dari depan, koloni berwarna putih hingga krem pada awalnya dan mungkin menjadi merah muda hingga mawar atau hijau tua saat mereka matang. Kebalikannya tidak berwarna, putih, atau kekuningan (Amami dan Witiyasti, I., 2019).

4.2.5 *Penicillium* sp.

Penicillium sp. adalah jamur yang berkembang biak secara aseksual dengan membentuk konidium yang berada di ujung hifa. Setiap konidium akan tumbuh menjadi jamur baru. Konidium berwarna kehijauan dan dapat hidup di makanan, roti, buah-buahan busuk, kain, atau kulit. Beberapa spesies *Penicillium* memproduksi racun pada makanan/pakan ternak yang menyebabkan keracunan pada manusia dan binatang. Konidia *Penicillium* menyerupai manik-manik kaca jika dilihat dengan mikroskop. Banyaknya konidia yang berwarna hijau, biru, atau

kuning sangat berpengaruh pada warna dari berbagai spesies *Penicillium*. *Penicillium* sp. Merupa-kan jamur yang berkembang biak secara aseksual dengan membentuk konidium yang berada di ujung hifa. Setiap konidium akan tumbuh menjadi jamur baru. Konidium berwarna kehijauan dan dapat hidup di makanan, roti, buah-buahan busuk, kain, atau kulit (Eka, S., *et.al.*, 2018).

4.2.6 *Paecilomyces* sp.

Paecilomyces sp. yang dapat mengendalikan nematoda dengan cara sebagai parasit telur, larva maupun dewasa. Pemanfaatan jamur antagonis untuk pengendali-an nematoda parasit khususnya nematoda bengkak akar merupakan pilihan teknologi yang tepat untuk dikembangkan. Perkembangan koloni cepat tumbuh, seperti bubuk atau tepung, berwarna seperti emas, hijau sedikit seperti emas, ter-kadang berwarna kuning-coklat, ungu atau cokelat. *Penicillium* dan siklus hidup dari reproduksi jamur ini yaitu memproduksi secara aseksual dan seksual (Dewi, N., 2018).

4.2.7 *Beauveria bassiana*.

Miselium berwarna putih dan bersekat di dalam serangga yang terinfeksi dan terdiri dari banyak sel, dengan diameter 4 μm sedangkan di luar tubuh serangga berukuran lebih kecil dengan diameter 2 μm . *Beauveria bassiana* biasanya berada di dalam tanah atau di dalam sarang serangga yang telah terinfeksi. *Beauveria bassiana*, ini memiliki tingkat adaptasi yang tinggi untuk hidup dalam kondisi saprofitik dan parasit. Kondisi ini memungkinkan dia untuk hidup bebas di tanah dalam waktu lama. Namun, setelah jamur *Beauveria bassiana* masuk kemudian konidia berkecam-bah membentuk jaringan hifa, menghancurkan serangga inang. Siklus hidup jamur *Beauveria bassiana* pada serangga inang dilakukan dalam empat fase yaitu adhesi, perkecambahan, diferensiasi dan penetrasi (Costanza, U., *et.al.*, 2017).

4.2.8 *Metarhizium anisopliae*.

Metarhizium anisopliae yang telah banyak diketahui yaitu konidiofor tumbuh tegak, spora berbentuk silinder atau lonjong dengan panjang 6-16 μm , warna hialin, bersel satu, massa spora berwarna putih zaitun. *Metarhizium anisopliae*

bersifat saprofit pada media buatan, awal mula pertumbuhannya adalah tumbuhnya konidium yang membengkak dan mengeluarkan tabung-tabung kecambah. *Metarhizium* sp tumbuh pada pH 3,3-8,5 dan memerlukan kelembaban tinggi. Radiasi sinar matahari dapat menyebabkan kerusakan pada spora.

Suhu optimum bagi pertumbuhan dan perkembangan spora berkisar pada 25-30°C. Pada awal pertumbuhan, koloni cendawan berwarna putih, kemudian berubah menjadi putih gelap dengan bertambahnya umur. Koloni dapat tumbuh dengan cepat pada beberapa media seperti *potato dextrose* agar (PDA), jagung, dan beras. Miselium bersekat, diameter 1,9-2,9 µm, konidiofor tersusun tegak, berlapis, dan bercabang yang dipenuhi dengan konidia. Konidia bersel satu berwarna hialin, berbentuk bulat silinder dengan ukuran 9,9 x 3,9 µm (Prayogo, 2016).

BAB V

PENUTUP

Jamur entomopatogen merupakan salah satu jamur heterotrof, karena sifat jamur entomopatogen ini mereka hidup sebagai parasit pada serangga (Yani, S., *et.al.*, 2020). Jamur entomopatogen dapat diisolasi dari tanah, jaringan tanaman dan serangga yang terinfeksi oleh cendawan. Cendawan entomopatogen merupakan organisme yang digunakan untuk pengendalian hama sudah tersedia di alam, mempunyai kapasitas reproduksi yang tinggi, siklus hidup pendek, mudah dibiakkan dan diproduksi secara massal, dapat membentuk spora yang tahan di alam meskipun dalam kondisi yang tidak menguntungkan, dan relatif aman. (Prayogo, *et al.*, 2005 dalam N, Ilmiah dan Yustika, A. R., 2021). Pengaruh infeksi cendawan entomo-patogen dapat bersifat mematikan, mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan serangga, menurunkan reproduksi serangga, menurunkan ketahanan serangga terhadap serangan predator, parasitoid, patogen dan insektisida kimia (Dwiastuti, 2021).

Menurut Akwila, P., (2017) gejala yang ditimbulkan oleh cendawan entomopatogen terhadap hama yaitu tidak mau makan, pergerakan lambat, kejang, lalu mati kaku, setelah mati tubuh dipenuhi oleh hifa cendawan. Produksi enzim ekstraseluler dari jamur entomopatogen merupakan salah satu rangkaian dari proses infeksi pada serangga. Enzim penting yang disekresikan oleh jamur entomopatogen adalah kitinase, lipase, dan protease.

Perbanyakan jamur agensia hayati dapat dilakukan dengan menggunakan media buatan yang berisikan nutrisi yang dibutuhkan bagi pertumbuhan jamur. Perbanyakan juga bisa dari perkembangbiakan jamur. Perkembangbiakan jamur merupakan pembentukan individu baru, yang mempunyai sifat-sifat khas bagi setiap spesies. Pada jamur terdapat 2 macam perkembangbiakan yaitu perkembangbiakan seksual dan aseksual (Ahmad, R., 2019).

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, R. 2019. Uji Efektifitas Inokulasi Rhizobium dan POC Limbah Ikan Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Kacang Tanah *Arachis hypogaea* L. Universitas Medan Area Medan.
- Akwila. 2017. Pemanfaatan Jamur Entomopatogen *Beauveria bassiana* Terhadap Larva *Plutella xylostella* L. Universitas Sam Ratulangi.
- Amami dan Witiyasti, I., 2019. Skrining Aktivitas Bioakumulasi Logam Cr, Isolat Kapang Asal Sedimen Situ Kuru, Tanggerang Selatan. Department of Biology, Faculty of Mathematics and Natural Sciences. Lambung Mangkurat University.
- Amaria, W., Harni, R., Samsudin. 2015. Evaluasi Jamur Antagonis dalam Menghambat Pertumbuhan *Rigidoporus microporus* Penyebab Penyakit Jamur Akar Putih Pada Tanaman. *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*. 2(1) : 51-60.
- Ariyanto, E, F. Abadi, A, L. dan Djauhari, S. 2016. Keanekaragaman jamur endofit pada daun tanaman padi (*Oryza sativa* l.) Dengan sistem pengelolaan hama terpadu (pht) dan konvensional di desa bayem, kecamatan kasembon, kabupaten malang. *Jurnal HPT*. 37-51.
- Arsi. 2020. Proteksi Tanaman Tropis. *Jurnal Universitas Brawijaya*.
- Azzahra, N., Jamilatun, M., & Aminah, A. 2020. Perbandingan Pertumbuhan *Aspergillus fumigatus* pada Media Instan Modifikasi Carrot Sucrose Agar dan Potato Dextrose Agar. *Jurnal Mikologi Indonesia*.
- Budi, I. S. Mariana & Rachmadi. 2015. Exploration of Tidal Swamp Rice Endophytic Fungi from South Kalimantan and Biological Control of *Rhizoctonia solani*. In Program and Abstract The 1st International Conference of Crop Security, Brawijaya University, Malang.
- Costanza, U., Abraham, T., Wilhelmina, R., & Jogeneis, P. 2017. Isolasi *Trichoderma* spp. dan Daya Antagonismenya Terhadap *Sclerotium rolfsii* Sacc. Penyebab Penyakit Layu Pada Tanaman Cabai (*Capsicum anuum*) Secara In-vitro. Fakultas Pertanian Universitas Pattimura.
- Dewi, N. 2018. Perbanyakkan Jamur *Trichoderma* sp Pada Beberapa Media. Program Studi Biologi. Universitas PGRI Palembang.

- Djarwanto, Sihati, S., & Freddy, J. H., 2018. Kemampuan Sepuluh Strain Jamur Melapukan Empat Jenis Kayu Asal Manokwari. Pusat Pengembangan dan Penelitian Hasil Hutan.
- Dwiastuti. 2017. Uji Patogenesis *Beauveria bassiana* Untuk Mengendalikan *Diaphorina Citri*. Balai Penelitian Tanaman dan Buah Subtropika.
- Eka, S., Zulvia, I. S., Anggi, N. F., & Eman, S. 2018. Isolasi dan Karakterisasi *Beauveria bassiana* Sebagai Fungi Anti Hama. Universitas Bangka Belitung.
- Elfina, Y., Mardinus, T. Habazar dan A. Bachtiar. 2016. Studi Kemampuan Isolat-isolat Jamur *Trichoderma* spp. yang Beredar di Sumatera Barat untuk Pengendalian Jamur Patogen *Sclerotium rolfsii* pada Bibit Cabai. Dalam Purwantara, A. et al. (Penyunting), Prosiding Kongres Nasional XVI dan Seminar Ilmiah PFI, di Bogor. 167 - 173.
- Herlina. 2016. Pertumbuhan Jamur *Pleurotus ostreatus* Pada Variasi Media Tanam Serbuk Gergaji Kayu dan Tandan Kosong Kelapa Sawit. UIN Alauddin Makasar.
- Iгаа. 2016. Perbandingan Pertumbuhan *Aspergillus* sp. Pada Media CSA dan PDA. Poltekes Surakarta.
- Ivan, P. 2018. Ragam dan Potensi Jamur Makro Asal Taman Wisata Mekarsari Jawa Barat. Jurnal Sains dan Teknologi.
- Irgyana. 2020. Potensi *Aspergillus* Sp. Dan *Trichoderma* Sp. Sebagai Pengendali Penyakit Antraknosa (*Colletotrichum Acutatum* J. H. Simmonds) Pada Tanaman Cabai Rawit (*Capsicum Frutescens* L.)
- Jannah. 2019. Jamur Mikroskopis. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarmasin.
- Jeyarajan, R. & Nakkeeran, S. 2016. Eksploitasi mikroorganisme dan jamur sebagai agen biokontrol untuk pengendalian penyakit tanaman dan Potensi Biokontrol dan Pemanfaatannya dalam Pertanian Berkelanjutan. USA, Penerbit Kluwer Academic/Plenum. Hlm 95-116.
- Ketut. 2017. Mikroba Potensial Dalam Pengendalian Biologi Patogen Tanaman. Pelawa Sari. Jurnal Mipa Unsrat.
- Kandou. 2018. Isolasi dan Identifikasi Jamur Endofit Pada Tumbuhan Paku *Asplenium nidus*. Jurnal Mipa Unsrat.
- Lestari, 2014. Potensi cendawan endofit Nonpatogen Asal Akar Tanaman Cabai (*Capsicum annum* L.) Sebagai Biofungisida Patogen *Fusarium oxysporum*. Jurnal Agriplus, 24 (02) : 177-183.

- Linna, F., Yuni, K., Msy, O., & Ketri, L. 2018. Jenis-jenis Jamur Makroskopis yang Terdapat di PT Perkebunan Hasil Musi Lestari dan PT Djuanda Sawit. *Jurnal Biosilampari*.
- Nia, J. L., 2016. Epektifitas Cendawan Entomopatogen Isolat Lokal Terhadap Kumbang Ubi Jalar Cilas *Fotmicarius*. *Jurnal Agroteknologi*.
- N. Ilmiah & Yustika A. R., 2021. Eksplorasi dan Identifikasi Cendawan Entomopatogen *Materhizium*,
[Jurnal Matematika & Sains. Universitas Billfath.](#)
- Novalia, V., Nursanti, R., & Yulvizar, C. 2019. Pengaruh Waktu Penyimpanan Pliek U Terhadap Pertumbuhan *Aspergillus flavus*. *Jurnal Of Healtycare Teknologi*.
- Novianti. 2018. Perbanyakkan Jamur *Trichoderma sp* Pada Beberapa Media. *Jurnal Ilmiah Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas PGRI Palembang*.
- Oktarina, Insan, W., & Febriyanto, S. 2017. Pembiakan Jamur Entomopatogen *Paecilomyces fumosoroseus* Dalam Formulasi Granula Sebagai Agenia Hayati Pada Kutu Kebul. *Universitas Muhamadiyah Jember*.
- Pragoyo. 2016. *Berita Biologi Ilmu-ilmu Hayati*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Priska. 2018. Pengaruh Suspensi Jamur *Metarhizium anisopliae* terhadap Mortalitas Larva Nyamuk *Anopheles aconitus*. *Universitas Sebelas Maret*.
- Rohman. 2017. Pengaruh Penambahan Senyawa Berbasis Khitin Terhadap Pertumbuhan Cendawan. *Dalam Jurnal Sains Dan Seni*.
- Sarjan. 2018. Dalam <https://repository.unsri.ac.id/9204/>
- Simarmata & Rumilla. 2007. Isolasi Mikroba Endofitik dari Tanaman Obat Sambung Nyawa (*Gynura Procumbens*) dan Analisis Potensinya sebagai Antimikroba. *Jurnal penelitian Hayati* 13 : 85-90.
- Susanto. 2015. *Penerapan Pertanian Organik*. Yogyakarta. Penerbit Kanisius.
- Suciatmih, Titik dan Sulaeman. 2015. *Jamur Entomopatogen dan Aktifitas Enzim Eksreaselulernya*. Pusat Penelitian Biomaterial. Jakarta.
- Tentorku., 2015. Cara Reproduksi Fungi (Jamur). [internet]
<https://www.tentorku.com/cara-reproduksi-fungi-jamur/>.
(Diakses pada tanggal 3 januari 2022).
- UNU Perwokerto, 2018. *Jamur Trichoderma sp. Mikroba Multi Guna*

<https://unupurwokerto.ac.id/jamur-trichoderma-sp-mikroba-multi-guna/>
di akses pada 20 oktober 2021.

Ulfayani, M. 2020. Diktat MIKROBIOLOGI. Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sumatera Utara
<http://repository.uinsu.ac.id/8575/1/diktat.pdf>

Warta, P. 2013. Trichoderma spp., Rigidoporus microporus, kompetisi, mikoparasitisme, antibiosis.

<https://ejournal.puslitkaret.co.id/index.php/wartaperkaretan/article/view/39> Diakses pada 20 oktober 2021.

Wulansari, N., Romana & Proborini, M. 2015. Identification of Xanthomonas campestris isolated from rhizosphere zone of broccoli farm at Kembang Merta village, Tabanan-Bali. Jurnal Metamorfosa.

Yani, S., Opik, T., & Yuni, K. 2020. Mikologi. Freeline Cipta Granesia.

Yelvi, E. 2017. Karakterisasi Enzim Ekstraseluler dan Produk Biosolubilisasi Batubara Hasil Iradiasi Gama Oleh *Penicillium sp.* dan *Trichoderma sp.* Universitas Islam Negeri Jakarta.

BAGIAN

3

**PENGAPLIKASIAN AGENSIA HAYATI
BERUPA VIRUS UNTUK
MENGENDALIKAN
ORGANISME PENGGANGGU
TANAMAN (OPT)**

BAB I

PENDAHULUAN

Penggunaan pestisida di Indonesia sudah mencapai tingkat yang mengkhawatirkan. Penggunaan pestisida kimia merupakan sarana pengendalian Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) yang paling banyak digunakan oleh petani di Indonesia (95,29%) karena dianggap efektif, mudah digunakan dan secara ekonomi menguntungkan. Aplikasi pestisida di pertanian dan perkebunan di Indonesia terjadi dari awal hingga akhir siklus tanam, mulai dari pengolahan tanah, penyiapan lahan, pemeliharaan tanaman, saat pemanenan bahkan hingga pasca panen. Hal ini didukung dengan data dari Kementerian Pertanian sampai tahun 2016, pestisida yang terdaftar dan diizinkan di Indonesia telah mencapai 3.207 merek pestisida. Selain manfaat dari pestisida dalam meningkatkan hasil pertanian, pestisida merupakan bahan kimia yang bersifat bioaktif dan merupakan racun. Setiap racunnya mengandung bahaya dalam penggunaannya, baik terhadap lingkungan maupun manusia. (I Gusti Ayu, K. R. H., *et.al.*, 2017).

Pestisida kimia sering digunakan sebagai pilihan utama dalam pengendalian organisme pengganggu tanaman (OPT), baik hama, penyakit, maupun gulma. Hal ini karena pestisida kimia mempunyai daya bunuh yang tinggi, mudah aplikasinya, serta hasil cepat terlihat. Oleh karena itu, penggunaan pestisida kimia secara bijaksana mutlak diperlukan. Pestisida kimia seharusnya dijadikan sebagai alternatif terakhir setelah pengendalian OPT dengan pengendalian hayati yang tidak berhasil. (I Gusti Ayu, K. R. H., *et.al.*, 2017).

Pengendalian hayati sangat dilatarbelakangi oleh berbagai pengetahuan dasar ekologi terutama teori tentang pengaturan populasi oleh pengendali alami dan keseimbangan ekosistem (Heviyanti, M., 2016). Lebih lanjut dikatakan bahwa Musuh alami yang terdiri atas parasitoid, predator dan patogen merupakan pengendali alami utama hama yang bekerja secara “terkait kepadatan populasi” sehingga tidak dapat dilepaskan dari kehidupan dan berkembangbiakan hama. Adanya populasi hama yang meningkat sehingga mengakibatkan kerugian

ekonomi bagi petani disebabkan karena keadaan lingkungan yang kurang memberi kesempatan bagi musuh alami untuk menjalankan fungsi alaminya. Apabila musuh alami kita berikan kesempatan berfungsi antara lain dengan introduksi musuh alami, memperbanyak dan melepaskan, serta mengurangi berbagai dampak negatif terhadap musuh alami, maka musuh alami dapat melaksanakan fungsinya dengan baik (Sopialena, S., 2018)

Penggunaan pestisida dengan segala efek samping yang dihasilkan perlu untuk dikurangi penggunaannya. Solusi dalam pengganti pestisida adalah menggunakan Metode Pengendalian Hama Terpadu (PHT). Pengendalian Hama Terpadu adalah suatu cara pendekatan/cara berpikir/falsafah Pengendalian Hama yang didasarkan pada pertimbangan ekologi dan efisiensi ekonomi dalam rangka pengelolaan agro-ekosistem yang bertanggungjawab (Untung, 1996 *dalam* Yos F. da Lopes., & Abdul, K. D., 2020). Salah satu bagian dari PHT adalah pengendalian menggunakan agensia hayati. Dalam PHT agensia hayati berperan langsung dalam pengendalian populasi suatu patogen dengan berbagai cara baik melalui parasitoid, predator, patogen serangga dan musuh alami patogen tumbuhan. Setiap aksi tersebut dilakukan berbeda-beda dan berbeda pula organisme yang melakukan aksi tersebut. Di antara agensia hayati adalah virus. Penggunaan virus sebagai agensia hayati dapat dilakukan untuk mengendalikan berbagai macam patogen tumbuhan, dengan aksi yang serupa yaitu berupa parasitoid. Virus membutuhkan inang untuk bereplikasi dan beberapa diantaranya merupakan patogen tumbuhan. Virus-virus yang menjadi agensia hayati di antaranya Mikovirus, SINPV, HaNPV, dan Baculovirus. Tiap-tiap virus tersebut memiliki inang yang berbeda namun spesifik sehingga tidak akan terjadi pertukaran inang. Dalam buku ini akan dijelaskan mengenai penggunaan virus sebagai agensia hayati parasitoid untuk mengendalikan OPT.

BAB II

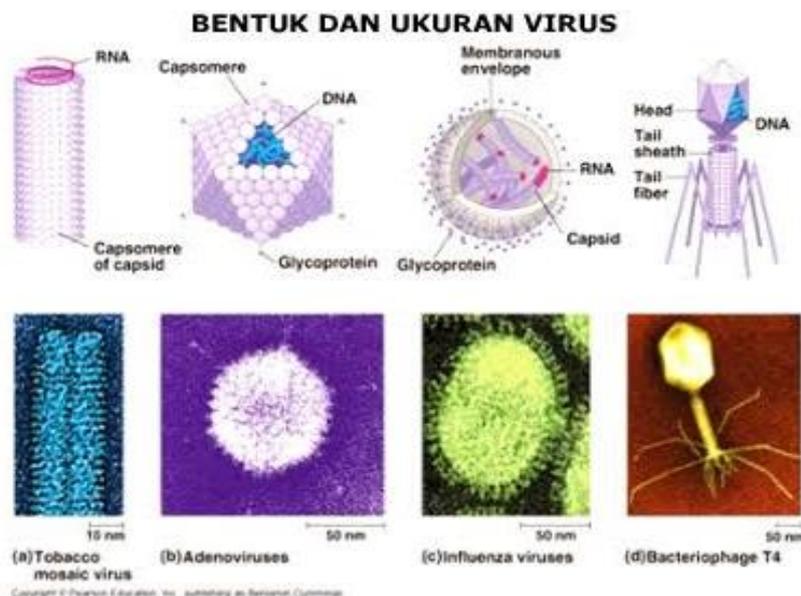
MENGENAL VIRUS

2.1 Definisi Virus

Virus merupakan parasit obligat intraseluler. Virus mengandung asam nukleat DNA atau RNA saja tetapi tidak kombinasi keduanya, dan yang diselubungi oleh bahan pelindung terdiri atas protein, lipid, glikoprotein, atau kombinasi ketiganya. Istilah virus biasanya merujuk pada partikel-partikel yang menginfeksi sel-sel eukariota (organisme multisel dan banyak jenis organisme sel tunggal) dan istilah bakteriofaga atau faga dipakai untuk virus yang menyerang jenis-jenis sel prokariota (bakteri dan organisme lain yang tidak berinti sel). Selama siklus replikasi dihasilkan banyak sekali salinan asam nukleat dan protein selubung virus. Protein-protein selubung tadi dirakit untuk membentuk kapsid yang membungkus dan menstabilkan asam nukleat virus terhadap lingkungan ekstra sel serta memfasilitasi perlekatan penetrasi virus saat berkontak dengan sel-sel baru yang rentan. Infeksi virus dapat memiliki efek yang kecil atau bahkan tidak memiliki efek sama sekali pada sel penjamu tetapi dapat pula menyebabkan kerusakan atau kematian sel (Dwi, S. O. & Iis, K., 2018).

Virus merupakan agen infeksius terkecil (diameter sekitar 20 nanometer hingga 300 nanometer) dan hanya mengandung satu jenis asam nukleat (RNA atau DNA) sebagai genom mereka. Asam nukleat tersebut terbungkus dalam suatu selubung protein dikelilingi sebuah membran yang mengandung lipid dan keseluruhan *unit* infeksius tersebut dinamakan virion (Kuswiyanto., 2016). Cara berkembang virus berbeda dengan cara berkembang biak bakteri. Bakteri berkembang biak dengan cara membelah diri dari satu sel menjadi 2 sel (*binary fission*), sedangkan pada virus perkembangbiakannya terjadi dengan cara perbanyak diri dari partikel asam nukleat virus sesudah virus menginfeksi suatu sel. Virus hanya memiliki 1 tipe asam nukleat, tidak memiliki sistem metabolisme sehingga virus tidak dapat tumbuh dan bereproduksi tanpa adanya sel inang. Seperti halnya riketsia dan klamidia, virus hanya dapat dibiakkan pada

kultur jaringan atau kultur sel (*tissue culture* atau *cellular culture*) (Oetami, D., 2012).



Gambar 1. Bentuk dan Ukuran virus

(sumber:<http://repositori-kemendikbud.go.id/virus-bentuk>, diakses pada 29 Desember 2021)

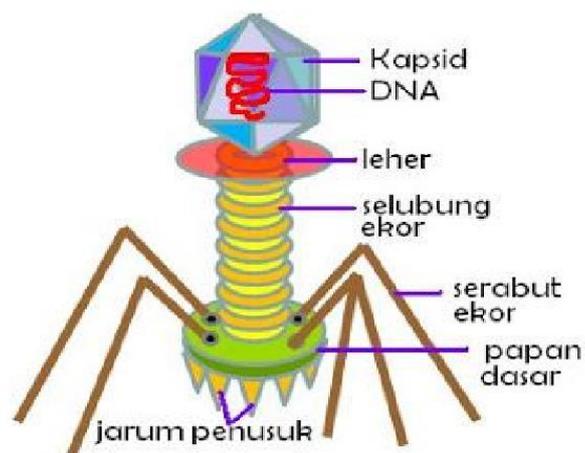
Asam nukleat genom virus dapat berupa DNA ataupun RNA, genom virus dapat terdiri dari DNA untai ganda, DNA untai tunggal, RNA untai tunggal, RNA untai ganda. Selain itu asam nukleat genom virus dapat berbentuk linear tunggal atau sirkuler. Jumlah gen virus bervariasi dari empat untuk yang terkecil hingga beberapa ratus untuk yang terbesar. Bahan genetik kebanyakan virus hewan dan manusia berupa DNA, dan pada virus tumbuhan kebanyakan adalah RNA yang beruntai tunggal. Bahan genetik virus diselubungi oleh suatu lapisan pelindung. Protein yang menjadi lapisan pelindung disebut kapsid. Bergantung pada tipe virusnya, kapsid dapat berbentuk bulat, heliks, polihedral, atau bentuk yang lebih kompleks, dan terdiri atas protein yang disandikan oleh genom virus. Kapsid terbentuk dari banyak sub unit protein yang disebut kapsomer (Dwi, S. O. & Iis, K., 2018).

Menurut Subandi, (2013) virus berbentuk heliks, protein kapsid (biasanya disebut dengan protein nukleokapsid) terikat langsung dengan genom virus. Misalnya pada virus campak, setiap protein nukleokapsid terhubung dengan enam

basa RNA membentuk heliks sepanjang sekitar 1,3 mikrometer. Komposisi kompleks protein dan asam nukleat ini disebut nukleokapsid. Pada virus campak, nukleokapsid ini diselubungi oleh lapisan lipid yang didapatkan dari sel inang, dan glikoprotein yang disandikan oleh virus melekat pada selubung lipid tersebut. Bagian-bagian ini berfungsi dalam pengikatan dan pemasukan ke sel inang pada awal infeksi. Kapsid virus sferik menyelubungi genom virus secara keseluruhan dan tidak terlalu berikatan dengan asam nukleat seperti virus heliks. Struktur ini bervariasi dari ukuran 20 nanometer hingga 400 nanometer dan terdiri atas protein virus yang tersusun dalam bentuk simetri ikosahedral. Jumlah protein yang dibutuhkan untuk membentuk kapsid virus sferik ditentukan dengan koefisien T (yaitu sekitar 60 T protein). Sebagai contoh, virus hepatitis B memiliki angka T = 4, membutuhkan 240 protein untuk membentuk kapsid. Seperti virus berbentuk heliks, kapsid sebagian jenis virus sferik dapat diselubungi lapisan lipid, tetapi biasanya protein kapsid sendiri langsung terlibat dalam menginfeksi sel.

2.2 Struktur Tubuh Virus

Berdasarkan atas hospes atau tuan rumah tempat yang ditumpanginya virus dibedakan atas virus hewani (virus pada hewan dan manusia), virus tanaman dan virus bakteri.



Gambar 2. Struktur Virus (Dwi, S. O. & Iis, K., 2018)

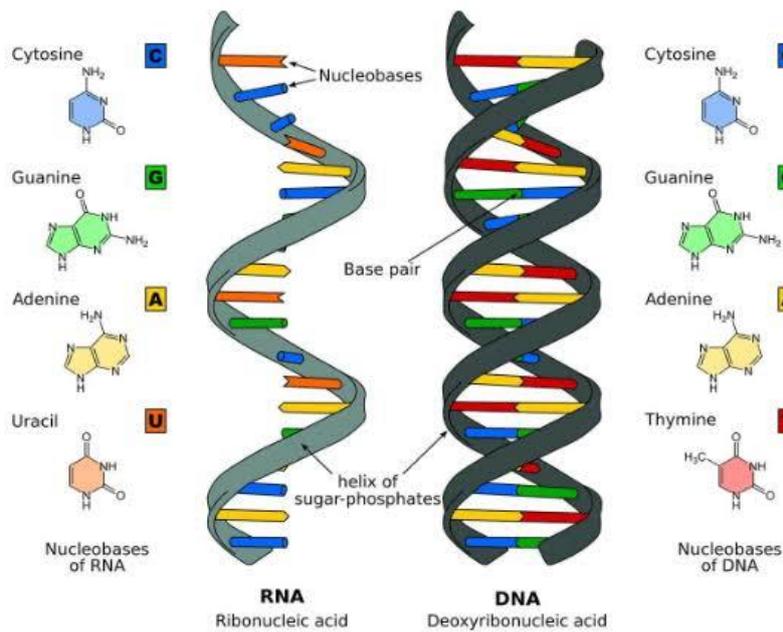
(Diakses pada 13 November 2021)

Menurut Rachmad, S. (2013) *dalam* Erni, M. (2019) Terdapat beberapa komponen utama penyusun tubuh virus yaitu :

1. Kepala Virus memiliki kepala berisi DNA atau RNA yang menjadi bahan genetik kehidupannya. Isi kepala ini dilindungi oleh kapsid, yaitu selubung protein yang tersusun oleh protein. Bentuk kapsid sangat bergantung pada jenis virusnya. Kapsid virus bisa berbentuk bulat, polihedral, heliks, atau bentuk lain yang lebih kompleks. Kapsid tersusun atas banyak kapsomer atau sub-unit protein.
2. Isi Tubuh atau biasa disebut virion adalah bahan genetik yang berupa salah satu tipe asam nukleat (DNA atau RNA). Tipe asam nukleat yang dimiliki virus akan mempengaruhi bentuk tubuh virus. Virus dengan isi tubuh berupa RNA biasanya berbentuk menyerupai kubus, bulat, atau polihedral, contohnya pada virus-virus penyebab penyakit polyomyelitis, virus influenza, dan virus radang mulut dan kuku.
3. Ekor merupakan bagian dalam struktur tubuh virus yang berfungsi sebagai alat untuk menempelkan diri pada sel inang. Ekor yang melekat di kepala ini umumnya terdiri atas beberapa tabung tersumbat yang berisi benang dan serat halus. Adapun pada virus yang hanya menginveksi sel eukariotik, bagian tubuh ini umumnya tidak dijumpai.
4. Kapsid adalah lapisan berupa rangkaian kapsomer pada tubuh virus yang berfungsi sebagai pembungkus DNA atau RNA. Fungsi kapsid ini adalah sebagai pembentuk tubuh dan pelindung bagi virus dari kondisi lingkungan luar.

2.3 Jenis - jenis Virus

Virus dibagi menjadi 2 jenis menurut Lwoff, H. & Tournier. (1966) dalam Dwi, S. O. & Iis, K. (2018) yaitu virus DNA dan virus RNA.



Gambar 3. Struktur Rantai DNA dan RNA

(Sumber Bu guru.2021, diakses pada 13 November 2021)

1. Virus DNA

Virus DNA adalah virus yang memiliki DNA sebagai materi *genetic* dan bergantung pada DNA untuk mereplika diri, menggunakan DNA *polymerase* sebagai DNA dependent. Asam nukleat yang dimiliki biasanya DNA beruntai ganda (dsDNA atau *double stranded-DNA*) tetapi bisa juga DNA beruntai tunggal (ssDNA atau *single stranded-DNA*). Virus DNA memiliki Kelompok I atau Kelompok II dari system klasifikasi Baltimore untuk virus. Virus DNA beruntai tunggal biasanya berkembang menjadi rantai ganda saat terdampar di sel yang terinfeksi. Meskipun virus Grup VII seperti hepatitis B mengandung genom DNA, mereka tidak dianggap virus DNA sesuai dengan klasifikasi Baltimore, melainkan sebaliknya virus mereplika diri karena mereka meniru melalui perantara RNA (Dwi, S. O. & Iis, K., 2018).

1) Kelompok I : virus dsDNA (virus DNA beruntai ganda).

- Ordo Caudovirales Famili Myoviridae (termasuk fag T4 Enterobacteria), Famili Podoviridae, Famili Siphoviridae (termasuk fag λ Enterobacteria).

- Ordo Herpesvirales Famili Alloherpesviridae, Famili Herpesviridae (termasuk virus herpes manusia), virus Varicella Zoster, Famili Malacoherpesviridae.
- Famili yang belum ditandai Famili Ascoviridae, Famili Adenoviridae (termasuk virus yang menyebabkan infeksi adenovirus manusia), Famili Baculoviridae, Famili Cocolithoviridae, Famili Corticoviridae, Famili Fuselloviridae, Famili Guttaviridae, Famili Iridoviridae, Famili Lipothrixviridae, Famili Mimiviridae, Famili Nimaviridae, Famili Papillomaviridae, Famili Phycodnaviridae, Famili Plasmaviridae, Famili Polyomaviridae (termasuk Simian virus 40, virus JC), Famili Poxviridae (termasuk cacar sapi virus, cacar), Famili Rudiviridae, Famili Tectiviridae.
- Genera yang belum bertanda Ampullavirus, Nudivirus, Salterprovirus, Sputnik virophage, Rhizidiovirus.

2) Kelompok II: Virus ssDNA (virus DNA beruntai tunggal)

- Famili bakteriofage yang belum bertanda Famili Inoviridae, Famili Microviridae.
- Famili yang belum bertanda Famili Anelloviridae, Famili Circoviridae, Famili Geminiviridae, Famili Nanoviridae, Famili Parvoviridae (termasuk Parvovirus B19).

Sesuai dengan namanya, virus DNA hanya memiliki asam deoksiribonukleat. Famili-famili yang termasuk dalam golongan virus DNA ini adalah Parvoviridae, Papovaviridae, Adenoviridae, Herpetoviridae, Iridoviridae, Poxviridae, dan Hepadna-viridae (Soedarto, 2010 *dalam* Dwi, S. O. & Iis, K., 2018).

2. Virus RNA

RNA (asam ribonukleat) juga merupakan asam nukleat (polinukleotida yang terdiri dari unit-unit mononukleotida). Hanya saja berbeda dengan DNA yang unit-unit pembangunnya dioksinukleotida sehingga disebut untai ganda, RNA merupakan asam nukleat untai tunggal yang terdiri dari unit-unit pembangun berupa mono-nukleotida. Setiap nukleotida terdiri atas satu gugus fosfat, satu gugus pentosa, dan satu gugus basa Nitrogen (N). RNA merupakan hasil transkripsi dari suatu fragmen DNA, sehingga kedudukan RNA ialah sebagai

polimer dan jauh lebih pendek dibanding DNA. Tidak seperti DNA yang biasanya dijumpai di dalam inti sel, RNA kebanyakan berada di dalam sitoplasma, khususnya di ribosom. Golongan virus RNA hanya memiliki asam ribonukleat (*ribonukleat acid*). Dalam kelompok virus RNA banyak dijumpai virus-virus yang dapat menimbulkan penyakit pada manusia. Famili-famili yang termasuk virus-virus RNA adalah : Picornaviridae, Reoviridae, Togaviridae, Arenaviridae, Coronaviridae, Retroviridae, Bunyaviridae, Orthomyxo-viridae, Paramyxoviridae, Rhabdoviridae (Dwi, S. O. & Iis, K., 2018).



Gambar 4. Famili Virus RNA (Dwi, S. O. & Iis, K., 2018)
(Diakses pada 13 November 2021)

2.4 Gejala Serangan Virus Terhadap OPT

Menurut Rianto, (2008) dalam Syahroni, M. N. G. & Haryadi, N. T., (2019) terdapat beberapa gejala yang terlihat akibat serangan virus pada OPT di antaranya :

1. Perubahan warna (coklat dan kuning)
2. Stres (regurgitasi)
3. Dekomposisi (pencairan)
4. Kelesuan (gerakan lambat hingga tidak ada gerakan sama sekali, menolak makan)

Virus memasuki inti sel yang terinfeksi dan berkembang biak sampai sel tersebut mulai menghasilkan kristal dalam cairan inang. Kristal ini dapat

menularkan virus dari satu *host* ke *host* lain. Inang menjadi tampak bengkak dengan cairan yang mengandung virus, dan akhirnya mati, menjadi hitam karena pembusukan. Kematian pada serangga yang terinfeksi hampir 100%.



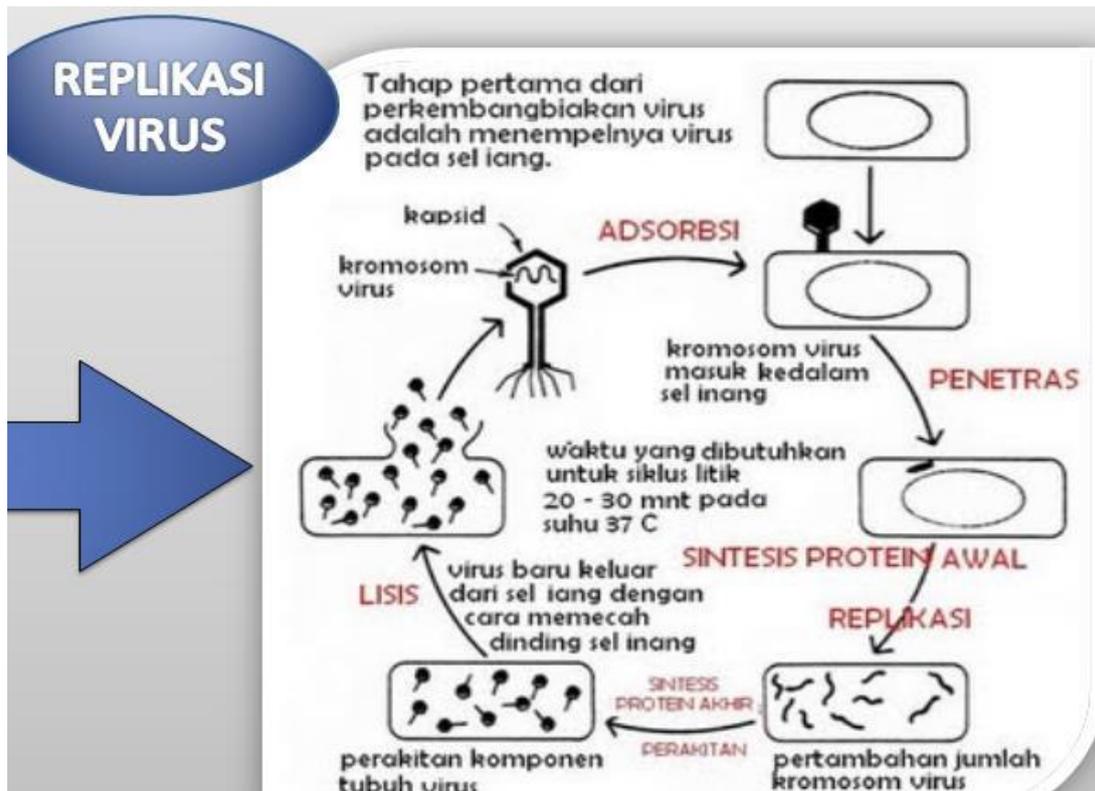
Gambar 5. Serangga *Spodoptera litura* yang terserang SLNPV
(sumber: google.image, diakses pada 13 November 2021)

2.5 Siklus Hidup

Menurut Erni, M. (2019) Terdapat dua cara virus bereproduksi virus pada sel inang, yaitu melalui siklus litik dan lisogenik.

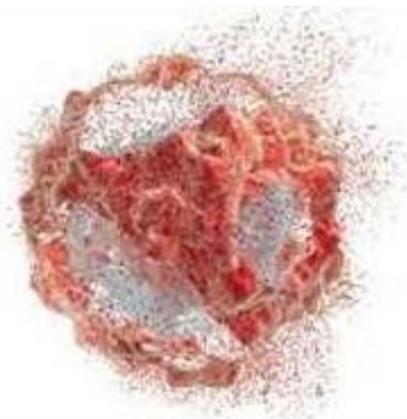
1. Siklus Litik (Lisis)

Siklus lisis adalah siklus reproduksi atau replikasi genom virus yang pada akhirnya menyebabkan kematian sel inang. Istilah lisis mengacu pada tahapan akhir dari infeksi, yaitu saat sel inang bakteri lisis atau pecah dan melepaskan faga yang dihasilkan di dalam sel inang tersebut. Virus yang hanya dapat bereplikasi melalui siklus lisis disebut dengan virus virulen (Erni, M., 2019).



Gambar 6. Siklus Reproduksi Lisis

(Sumber online book of bacteriology, Todar Kenneth diakses pada 13 November 2021)



Gambar 7. Sel yang mengalami lisis akibat terserang virus

(sumber google.image, diakses pada 13 November 2021)

Tahapan siklus lisis :

a. Adsorpsi (Fase Penempelan)

Pada tahap ini, ekor virus mulai menempel di dinding sel bakteri. Virus hanya menempel pada dinding sel yang mengandung protein khusus yang dapat ditemplei protein virus. Menempelnya virus pada dinding sel

disebabkan oleh adanya reseptor pada ujung serabut ekor. Setelah menempel, virus akan mengeluarkan enzim lisozim yang dapat menghancurkan atau membuat lubang pada sel inang (Campbell & Neil, A., 2013).

b. Penetrasi/Injeksi/Infeksi (Fase Memasukkan Asam Nukleat)

Proses injeksi DNA ke dalam sel inang ini terdiri atas penambatan lempeng ujung, kontraksi sarung, dan penusukan pasak berongga ke dalam sel bakteri. Pada peristiwa ini, asam nukleat masuk ke dalam sel, sedangkan selubung proteinnya tetap berada di luar sel bakteri. Jika sudah kosong, selubung protein ini akan terlepas dan tidak berguna lagi (Campbell & Neil, A., 2013).

c. Sintesis (Fase Pembentukan), Eklifase, Replikasi

Enzim penghancur yang dihasilkan oleh virus akan menghancurkan DNA bakteri yang menyebabkan sintesis DNA bakteri terhenti. Posisi ini digantikan oleh DNA virus yang kemudian mengendalikan kehidupannya.

Dengan fasilitas dari DNA bakteri yang sudah tidak berdaya, DNA virus akan mereplikasi diri berulang kali. DNA virus ini kemudian akan mengendalikan sintesis DNA dan protein yang akan dijadikan kapsid virus (Campbell & Neil, A., 2013).

d. Perakitan

Pada tahap ini, kapsid virus yang masih terpisah-pisah antara kepala, ekor, dan serabut ekor akan mengalami proses perakitan menjadi kapsid yang utuh. Kemudian, kepala yang sudah selesai terbentuk diisi dengan DNA virus. Proses ini dapat menghasilkan virus sejumlah 100-200 buah (Campbell & Neil, A., 2013).

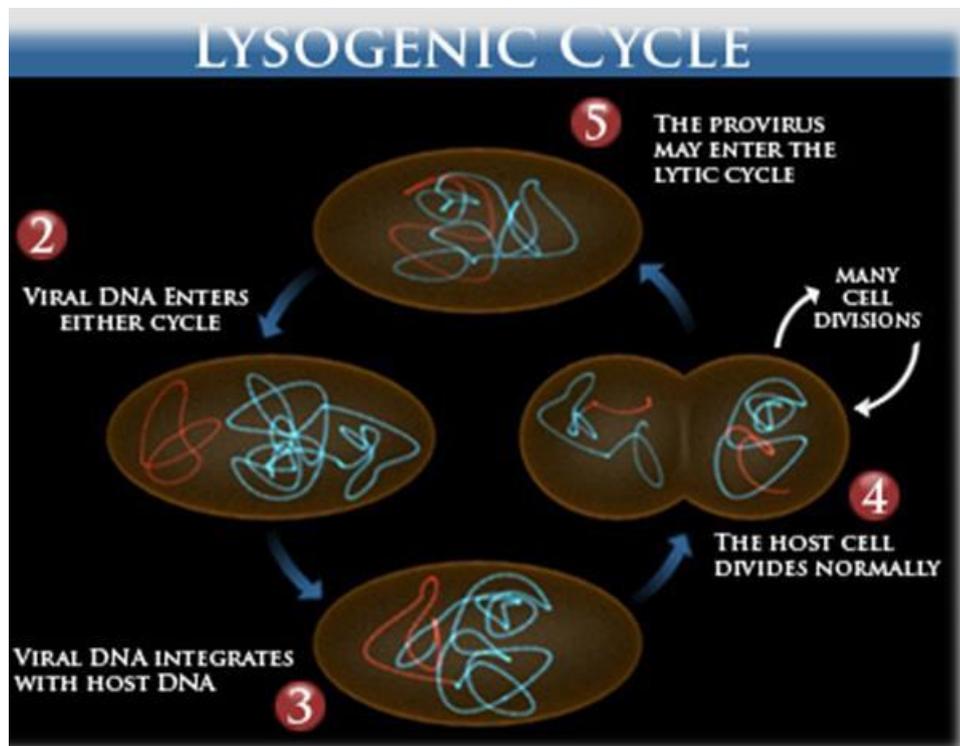
e. Lisis (Fase Pemecahan Sel Inang atau Pembebasan)

Dinding sel bakteri yang sudah dilunakkan oleh enzim lisozim akan pecah dan diikuti pembebasan virus-virus baru yang siap untuk mencari sel-sel inang yang baru. Pemecahan sel-sel bakteri secara eksplosif dapat diamati dengan mikroskop lapangan gelap. Jangka waktu yang dilewati lima

tahap ini dan jumlah virus yang dibebaskan sangat bervariasi, tergantung dari jenis virus, bakteri, dan kondisi lingkungan (Campbell & Neil, A., 2013).

f. Siklus Lisogenik

Menurut Campbell & Neil, A. (2013) Siklus lisogenik merupakan siklus replikasi genom virus tanpa menghancurkan sel inang, setelah adsorpsi dan injeksi DNA Virus (faga) berintegrasi ke dalam kromosom bakteri, integrasi ini disebut profaga (gen asing yang bergabung dengan kromosom bakteri). Dalam hal ini DNA virus tidak langsung mensintesis DNA Bakteri, karena bakteri memiliki imunitas. Setelah imunitasnya hilang baru DNA Virus mengendalikan DNA bakteri, yang tahap selanjutnya seperti pada siklus lisis.



Gambar 8.Siklus Reproduksi Lisogenik

(Sumber *online book of bacteriology*, Todar Kenneth, diakses pada 13 November 2021)

Menurut Campbell & Neil, A. (2013) Tahapan dalam siklus lisogenik yaitu terdiri dari :

- 1) Fase Adsorpsi,
- 2) Fase Injeksi,

- 3) Fase Penggabungan,
- 4) Fase Pembelahan,
- 5) Fase Sintesis,
- 6) Fase Perakitan, dan
- 7) Fase Litik.

Melalui perkembangan ilmu pengetahuan beberapa jenis virus dapat dimanfaatkan mekanismenya untuk menanggulangi jenis penyakit tertentu yang sulit disembuhkan oleh pengobatan biasa seperti pada penyakit genetik. Contohnya pada penyakit SCID (*Severe Combine Immunodeficiency*) di mana tubuh tidak dapat membentuk leukosit akibat tidak adanya enzim *adenosin deaminase* (ADA). Dengan memasukkan retrovirus ke dalam sumsum tulang akan mengakibatkan dibentuknya RNA virus baru, protein virus dan juga ADA oleh enzim transkriptase balik dari virus. Dengan dibentuknya ADA, leukosit pun dapat diproduksi. Penyakit yang disebabkan oleh virus dapat dicegah dengan cara vaksinasi.

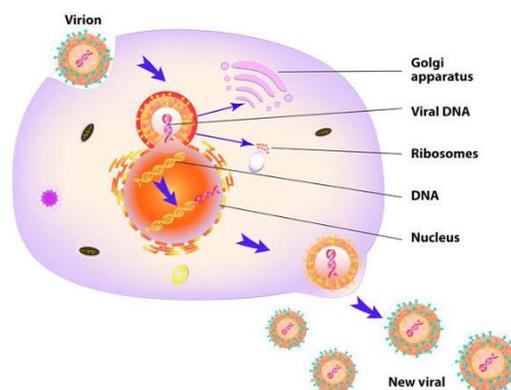
Vaksinasi adalah proses pemberian vaksin (bibit penyakit yang telah dilemahkan) ke dalam tubuh. Dengan memasukan vaksin, tubuh akan bereaksi dengan membentuk antibodi, sehingga diharapkan pada saat tubuh terkena penyakit di masa yang akan datang, antibodi dapat menghancurkan penyebab penyakit tersebut atau menjadi kebal. Kekebalan seperti ini disebut kekebalan aktif. Bagi orang atau hewan yang menderita penyakit akibat virus dapat dilakukan pengobatan dengan pemberian serum. Serum adalah plasma darah yang mengandung antibodi suatu penyakit. Dengan pemberian serum ini tubuh tidak perlu membentuk sendiri antibodinya. Kekebalan dengan cara ini disebut kekebalan pasif (SAASTA, 2010 *dalam* Dwi, S. O. & Iis, K., 2018).

BAB III

PERBANYAKAN

3.1 Perbanyak Virus

Virus hanya dapat bereproduksi di dalam material hidup dengan menginvasi dan mengendalikan sel makhluk hidup karena virus tidak memiliki perlengkapan selular untuk bereproduksi sendiri (BVET, 2019). Dalam perbanyak virus tidak dapat dilakukan pada media benda mati seperti NA dan PDA, namun harus menggunakan inang makhluk hidup untuk perbanyakannya dikarenakan virus ini termasuk jenis parasit obligat. Agar suatu virus dapat bereplikasi, protein virus harus disintesis oleh peralatan penyintesis protein milik sel penjamu. Oleh sebab itu genom virus harus mampu menghasilkan mRNA yang dapat berfungsi. Telah diidentifikasi berbagai mekanisme yang memungkinkan mRNA virus berkompetisi dengan mRNA sel untuk menghasilkan protein virus dalam jumlah yang cukup (Holivia, A. S., 2020).



Gambar 9. Proses perbanyak virus (sumber google.image)
(Diakses pada 13 November 2021)

Berikut akan dijelaskan proses umum perbanyak virus :

1. Perlekatan

Langkah pertama dalam infeksi virus adalah perlekatan (interaksi *virion* dengan situs reseptor spesifik pada permukaan suatu sel). Molekul reseptor berbeda-beda untuk tiap virus, tetapi umumnya merupakan kumpulan

glikoprotein. Pada sebagian kasus, virus pengikat sekuens protein (mis, picornavirus) dan pada kasus lain, oligosakarida (mis, *orthomyxovirus* dan *paramyxovirus*). Pengikatan reseptor dipercaya dapat terjadi karena adanya konfigurasi struktur permukaan virion yang kebetulan homolog dengan komponen permukaan sel. Sebagai contoh, *human immune deficiency* virus berikatan dengan reseptor CD4 pada sel-sel sistem imun, rhinovirus berikatan dengan reseptor CD4 pada sel-sel system imun, rhinovirus berikatan dengan ICAM-1, dan virus *Eipstein-Barr* mengenali reseptor CD21 pada sel B. ada atau tidak adanya reseptor memainkan peranan penting untuk menentukan tropisme sel dan pathogenesis virus, tidak semua sel dalam pejamu yang rentan akan mengekspresikan reseptor yang dibutuhkan; misalnya, poliovirus hanya mampu melekat ke sel-sel pada sistem saraf pusat dan saluran cerna primata. Tiap sel yang sensitif dapat mengandung hingga 100.000 situs reseptor untuk satu virus. tahap perlekatan tadi dapat menginisiasi perubahan struktural yang ireversibel dalam virion (Usmar, U., *et.al.*, 2021).

2. Penetrasi

Setelah peristiwa pengikatan, partikel virus akan dibawa ke dalam sel. Langkah tersebut dinamakan sebagai penetrasi/penelanan. Pada sebagian sistem, penetrasi dicapai melalui endosi-tosis yang dimediasi reseptor, dengan diambilnya partikel virus yang diingesti ke dalam endosome. Terdapat pula contoh-contoh penetrasi langsung partikel virus menembus membran plasma. Pada kasus lain, terjadi fusi selubung virion dengan membran plasma sel. Sistem-sistem tersebut melibatkan interaksi protein fusi virus dengan reseptor seluler kedua atau “*koreseptor*” (misal reseptor kemokin untuk *human immunodeficiency* virus) (Usmar, U., *et.al.*, 2021).

3. Pelepasan selubung

Terjadi bersamaan dengan atau segera setelah penetrasi. Pelepasan selubung yaitu proses pemisahan fisik asam nukleat virus dari komponen struktural luar virion sehingga asam nukleat tersebut dapat berfungsi. Genom dapat dilepaskan sebagai asam nukleat bebas (*picornavirus*) atau sebagai nukleokapsid (*reovirus*). Nukleokapsid-nukleokapsid ini biasanya mengandung polymerase. Pelepasan

selubung mungkin membutuhkan suasana pH asam dalam endosome. Infektivitas virus parental hilang pada stadium pelepasan selubung ini. Virus merupakan satu-satunya agen penginfeksi yang harus mengalami pemecahan untuk dapat mengikuti jalur replikasi (Usmar, U., *et.al.*, 2021).

4. Sintesis Komponen Virus

Fase sintesis siklus replikasi virus berlangsung setelah pelepasan selubung genom virus. Langkah utama dalam replikasi virus adalah mRNA spesifik harus ditranskripsi dari asam nukleat virus agar ekspresi dan duplikasi informasi *genetic* dapat berhasil. Setelah hal tersebut berhasil dilakukan, virus menggunakan komponen-komponen sel untuk mentranslasikan mRNA. Berbagai kelas virus menggunakan jalur yang berbeda untuk menyintesis mRNA, bergantung pada struktur asam nukleat virus.

Dalam perjalanan replikasi virus, semua makromolekul spesifik virus disintesis dalam urutan yang sangat terorganisasi. Pada beberapa infeksi virus, khususnya yang melibatkan virus yang mengandung DNA untai ganda, protein virus dini disintesis segera setelah terjadinya infeksi dan protein lanjut baru dibuat pada infeksi lanjut, setelah berlangsungnya sintesis DNA virus. Gen-gen awal mungkin tidak saat produk lanjut tersebut dibuat. Sebaliknya, sebagian besar bahkan mungkin semua, informasi genetik milik virus yang mengandung RNA diekspresikan sekali-gus. Selain kendali temporal, ada pula kendali kuantitatif karena tidak semua protein virus diproduksi dalam jumlah yang sama. Protein spesifik virus mungkin mengatur sejumlah transkripsi genom atau translasi mRNA virus (Usmar, U., *et.al.*, 2021).

5. Pelepasan Virus dari Sel Inang

Polipeptida kapsid dan genom virus yang baru disintesis dirakit menjadi satu untuk membentuk virus progeni. Kapsid *ikosaedral* dapat memadat jika tidak ada asam nukleat, sedangkan nukleokapsid virus yang memiliki simetri heliks tidak dapat terbentuk tanpa RNA virus. Secara umum, virus tak berselubung berakumulasi dalam sel-sel terinfeksi, dan sel tersebut akhirnya melisis dan membebaskan partikel-partikel virus. Virus berselubung mengalami pematangan melalui proses “pertunasan”. Glikoprotein selubung spesifik virus disisipkan ke

dalam membran sel, nukleokapsid virus selanjutnya menonjol menembus membran pada tempat-tempat yang telah dimodifikasi tadi, dan saat melewati membran tersebut mereka memperoleh selubung. Pertunasan sering kali terjadi pada membran plasma, tetapi dapat pula melibatkan membran-membran lain di dalam sel. Virus berselubung tidak infeksius sampai mereka memperoleh selubung. Karena itu, virion progeni infeksius biasanya tidak berkumpul dalam sel yang terinfeksi (Usmar, U., *et.al.*, 2021).

3.2 Perbanyakkan Melalui Media

Dalam perbanyakkan melalui media dapat menggunakan kadaver-kadaver yang tersedia. Penggunaan kadaver diperlukan dikarenakan virus membutuhkan inang makhluk hidup dalam melakukan proses replikasi. Kadaver yang digunakan harus memiliki kesesuaian jenis inang sasaran dengan virus yang akan dikembangkan, misalnya HaNPV hasil isolasi dari larva *H. armigera*, diketahui memiliki kisaran inang yang relatif luas, diantaranya beberapa serangga hama lainnya seperti *Spodoptera litura*, *Spodoptera exigua*, *Crocidolomia pavonana*, dan *Plutella xylostella* yang merupakan serangga dari ordo Lepidoptera. (Miranti, 2012; Sugiarto, 2010 dalam Melanie., *et.al.*, 2017).



Gambar 10. Virus HaNPV1 yang diperoleh dari kultur *Spodoptera litura* dan dibuat dalam bentuk serbuk (Melanie., *et.al.*, 2017, diakses pada tanggal 13 November 2021)

Misalkan dalam melakukan perbanyakkan HaNPV pada kadaver *S.litura*. Sebelum digunakan, larva serangga ini dikarantina selama 24 jam untuk memastikan serangga uji yang digunakan adalah larva serangga yang sehat. Larva *S. litura* instar tiga diberi pakan pipilan jagung manis yang dicampur formulasi virus, sebelumnya larva *S. litura* instar tiga ini tidak diberi makan selama 6-8 jam. kadaver larva *S.litura* yang telah mati terinfeksi HaNPV digerus menggunakan

mortar sampai halus. Selanjutnya homogenat diencerkan dengan 10 ml larutan tris buffer 1 mM, pH 7,6 dan 10 ml SDS 0,1%. Kemudian suspensi ini dibiarkan selama 24 jam dalam lemari pendingin 4oC. Suspensi selanjutnya disaring dengan menggunakan satu lapis kain katun sehingga kotoran tersaring. Suspensi hasil saringan kemudian diencerkan dengan 10 ml larutan tris *buffer* 1 mM, pH 7,6 dan SDS 0,1% dan disentrifugasi pada 3500 rpm selama 15 menit. Hasil dari proses sentrifugasi tersebut yaitu dihasilkan pelet. Pelet yang dihasilkan kemudian dicuci dua kali dengan 10 ml campuran tris *buffer* 1 mM, pH 7,6 dan SDS 0,1% (1:1). Selanjutnya, pelet yang dihasilkan dari proses pencucian diresuspensikan dalam NaCl fisiologis 0,85% yang mengandung Na-Azida dengan konsentrasi 0,02%. Selanjutnya Formulasi HaNPV 1 dibuat dalam bentuk serbuk, dan dalam bahan pembawa air. Hasil berupa serbuk dan serbuk dalam media pembawa air dapat digunakan dalam penelitian maupun di simpan untuk penelitian berikutnya. Hasil tersebut tidak harus dalam bentuk serbuk, namun bisa dalam beberapa bentuk seperti laturan, maupun dosis yang telah ditakar (Melanie., *et.al.*, 2017).

BAB IV

VIRUS SEBAGAI PENGENDALI HAYATI

4.1 Mikovirus

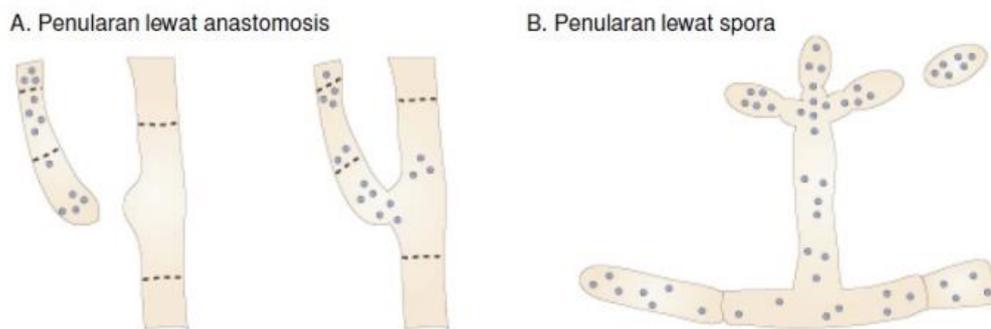
Mikovirus adalah virus yang menginfeksi jamur dan bereplikasi di dalam sel jamur. Istilah lain dari mikovirus adalah virus jamur atau mikofage (Nuss, 2011; Xie & Jiang, 2014 *dalam* Supyani, 2017). Kebanyakan mikovirus genomnya berupa RNA utas ganda (dsRNA) bersegmen, sedangkan beberapa mikovirus yang lainnya genomnya berupa RNA utas tunggal (ssRNA). Belakangan telah ditemukan mikovirus yang genomnya berupa DNA utas tunggal (ssDNA) dengan struktur cincin. Kebanyakan mikovirus tersebut partikelnya (*virion*) berbentuk isometrik dengan diameter antara 25–50 nm (Ghabrial & Suzuki, 2009; Pearson, *et.al.*, 2009; Yu, *et.al.*, 2010 *dalam* Supyani, 2017).

1. Penularan Mikovirus

Salah satu sifat umum dari mikovirus adalah tidak adanya fase ekstra selular (di luar sel inangnya) dalam siklus hidupnya. Dengan demikian, secara umum mikovirus tidak dapat ditularkan dengan inokulasi mekanik menggunakan ekstrak yang mengandung virus seperti yang lazim dilakukan pada virus tumbuhan. Secara alami, penularan mikovirus dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu penularan secara vertikal dan penularan secara horisontal. Penularan secara vertikal terjadi melalui sporulasi, baik itu spora aseksual (konidia) maupun spora seksual. Penularan melalui spora aseksual dilaporkan lebih sering terjadi dibanding penularan melalui spora seksual (Ghabrial & Suzuki, 2009 *dalam* Evan, P. R., *et.al.*, 2019).

Penularan secara horizontal terjadi lewat dua cara yaitu pembelahan sel dan anastomosis. Penularan lewat pembelahan sel maksudnya adalah sel anakan akan selalu membawa virus dari sel induknya. Ini berarti bahwa sepotong hifa yang terinfeksi virus akan tumbuh menjadi koloni jamur yang mengandung virus. Anastomosis adalah pencampuran sitoplasma antara dua hifa yang saling bertemu kemudian selnya saling melebur (*fusi*), apabila kedua hifa tersebut saling

kompatibel (termasuk ke dalam kelompok kompatibilitas vegetatif yang sama) (Ghabrial & Suzuki, 2009 dalam Supyani, S., 2017).



Gambar 11. Penularan Mikovirus. Penularan mikovirus dapat terjadi secara horisontal lewat pertukaran sitoplasma saat anastomosis (fusi hifa) (A) atau secara vertikal lewat pembentukan spora (B) baik seksual maupun aseksual (Nuss, 2005, diakses pada tanggal 13 November 2021).

2. Mikovirus sebagai Agens Pengendali Hayati

Hipovirulensi merupakan salah satu fenomena dari infeksi mikovirus yang menguntungkan manusia. Parameter utama dari hipovirulensi adalah menurunnya tingkat virulensi (keganasan) patogen terhadap inangnya. Parameter lain yang biasanya terkait dengan hipovirulensi adalah menurunnya laju pertumbuhan koloni, menurunnya tingkat sporulasi, perubahan warna koloni jamur inangnya, dan lain sebagainya. Apabila jamur inangnya adalah jamur patogen tumbuhan, maka mikovirus ini dapat dimanfaatkan untuk mengendalikan jamur tersebut (dikembangkan sebagai agens pengendali hayati/agens virokontrol) (Ghabrial & Suzuki, 2009; Chiba, *et.al.*, 2010 dalam Evan, P. R., *et.al.*, 2019).

Contoh Mikrovirus dan Pemanfaatnya sebagai Agens Pengendali Hayati *Cryphonectriahipo virus 1* (CHV-1).

a. Untuk Mengendalikan Penyakit Hawar Kastanye

Mikovirus yang pertama kali dikembangkan sebagai agens pengendali hayati adalah *Cryphonectria hipovirus 1* (CHV-1) untuk mengendalikan penyakit hawar pada pohon kastanye (*Castanea dentata*) yang disebabkan oleh jamur *C. parasitica*. CHV-1 ini termasuk ke dalam famili Hypoviridae.

Genomnya berupa RNA utas tunggal linear berukuran 12,7 kilo basa. Virus ini tidak mempunyai parti-kel sejati (Nuss & Hillman, 2011 *dalam* Supyani, S., 2017).

Penyakit hawar kastanye mula-mula dilaporkan di Amerika pada tahun 1904 menyerang pohon kastanye Amerika. Pada tahun 1926, jamur patogennya yaitu *C. parasitica* ditemukan menginfeksi pohon kastanye asli/ras Amerika. Semenjak pertama kali ditemukan pada tahun 1904 tersebut, penyakit hawar tersebut menyebar dengan cepat, dengan kecepatan penyebaran sekitar 20–50 mil per tahun. Sampai tahun 1950, penyakit telah merusak hutan seluas 9 juta acre, dengan mematikan beberapa *billion* pohon kastanye Amerika (Anagnostakis & Day, 1979 *dalam* Supyani, S., 2017).

b. *Fusarium graminearum* Virus Isolat China-9 (FgV-ch9)

Fusarium merupakan patogen penting pada tanaman pertanian dengan kisaran inang yang luas. Hampir semua kelompok komoditas tanaman, yaitu padi-padian, hortikultura, tanaman perkebunan, tanaman hias, dan lain-lain dapat diserang. Jamur ini diketahui menyebar di seluruh dunia. Di Indonesia, *Fusarium* menyebabkan penyakit penting pada berbagai komoditas tanaman pertanian misalnya layu pada tomat (Semangun, 1996; Pedai, 2015 *dalam* Supyani, S., 2017), busuk batang pada panili (Semangun, 1996), layu pada pisang (Semangun, 1996; Suryanti, 2003; Sumardiyono, 2007; Sudirman, 2011 *dalam* Supyani 2017), berbagai penyakit pembibitan, dan berbagai komoditas tanaman yang lain (Semangun, 1996; Sutejo, 2008 *dalam* Supyani, S., 2017).

Parameter lain yang terkait dengan virulensi ini adalah menurunnya laju pertumbuhan koloni, menurunnya sporulasi (konidiasi), dan perubahan morfologi koloni jamur inangnya. Percobaan penularan (transfeksi) partikel virus FgVch9 terhadap jamur *F. graminearum* isolat PH-1, menyebabkan penurunan virulensi, sporulasi, serta parameter biologi lain yang terkait dengan hipovirulensi dari jamur inangnya. Hal ini menunjukkan bahwa FgV-

ch9 adalah virus yang menyebabkan hipovirulensi pada *F. graminearum* (Darissa, *et.al.*, 2012 dalam Supyani, S., 2017).

c. Mikovirus untuk Mengendalikan Jamur *Sclerotinia sclerotiorum*

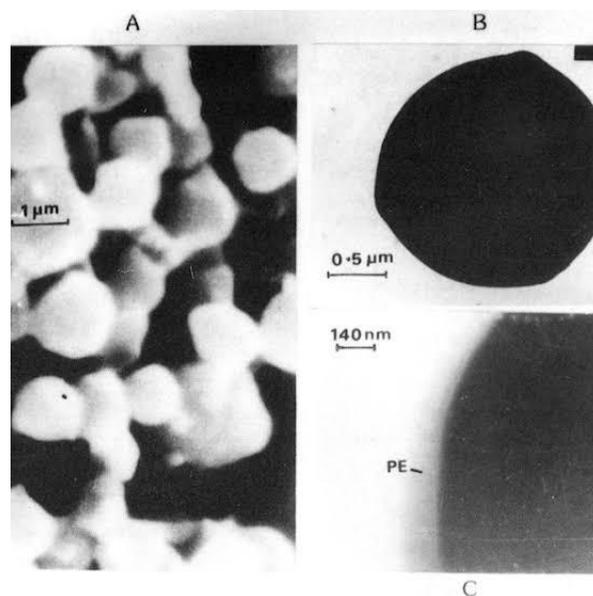
Sclerotinia sclerotiorum merupakan jamur patogen tumbuhan yang penting yang tersebar di seluruh dunia. Jamur ini menyerang lebih dari 450 spesies dan subspecies tanaman termasuk banyak tanaman pertanian bernilai ekonomi tinggi seperti caisin, kedelai, bunga matahari serta sejumlah buah-buahan.

Beberapa mikovirus telah diidentifikasi menginfeksi dan menyebabkan hipovirulen pada jamur *S.sclerotiorum*. Salah satunya adalah *Sclerotinias clerotiorum hypovirulence-associated DNA virus1* (SsHADV-1), yang mula-mula diisolasi dari strain hipovirulen DT-8 jamur ini. Genom SsHADV-1 berupa DNA utas tunggal dengan struktur lingkaran (cincin) yang berukuran sekitar 2.2 kb. Berdasarkan hasil analisis genom, virus ini berkerabat dekat dengan Gemini virus. Partikel SsHADV1 berbentuk isometrik dengan diameter sekitar 21 nm (Yu, *et.al.*, 2010 dalam Evan, P. R., *et.al.*, 2019).

Mikovirus ini mempunyai karakter yang berbeda dengan mikovirus-mikovirus yang telah ditemukan selama ini. Dengan bantuan senyawa kimia polietilenglikol (PEG), partikel virus murni dan atau genom SsHADV-1 ini dapat menginfeksi protoplast *S.sclerotiorum*. Hal ini mengindikasikan bahwa mikovirus ini memiliki cara yang berbeda dengan mikovirus RNA dalam menginisiasi infeksi pada inangnya. Sediaan partikel SsHADV-1 juga dapat secara langsung menginfeksi hifa *S.sclerotiorum* pada media buatan di cawan petri. Lebih lanjut, sediaan partikel SsHADV-1 mampu melindungi tanaman uji dari infeksi dan kerusakan akibat *S.sclerotiorum* (Yu, *et.al.*, 2010; Yu, *et.al.*, 2012 dalam Evan, P. R., *et.al.*, 2019). Maka SsHADV-1 dapat ditularkan melalui jalur ekstraselular, dan berpotensi untuk dikembangkan menjadi agens pengendali hayati jamur *S.sclerotiorum* (Evan, P. R., *et.al.*, 2019).

4.2 SINPV

NPV (*Nuclear Polyhedrosis Virus*) merupakan salah satu anggota genus *Baculovirus*, Famili *Baculoviridae* yang memiliki 2 genus, yaitu *Nucleo polyhedrosis virus* (NPV) dan *Granulovirus* (GV) (Tanada & Kaya, 1993; Narayanan, 2004 dalam Samsudin, S., 2017). Berdasarkan jumlah nukleokapsid, NPV dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu *single nukleokapsid* (SNPV) dan *multi nucleokapsid* (MNPV). Pada SNPV, tiap *envelop* berisi satu nukleokapsid, sedangkan pada MNPV berisi lebih dari satu sampai 200 nukleokapsid (Tanada & Kaya, 1992 dalam Bedjo, 2018). Pada umumnya SNPV mempunyai inang yang lebih spesifik dibandingkan dengan MNPV (Ignoffo & Couch, 1981 dalam Bedjo, 2018).



Gambar 12. Citra SINPV Melalui Mikroskop Elektron
(sumber: researchgate.com, diakses pada 13 November 2021)

Menurut Tisley & Kelly (1985) dalam Bedjo (2018) ciri khas NPV adalah adanya nukleokapsid berbentuk batang yang mengandung untaian ganda asam dioksisiribo-nukleat (DNA) yang panjangnya 250–400 nm dan lebar 40–70 nm.

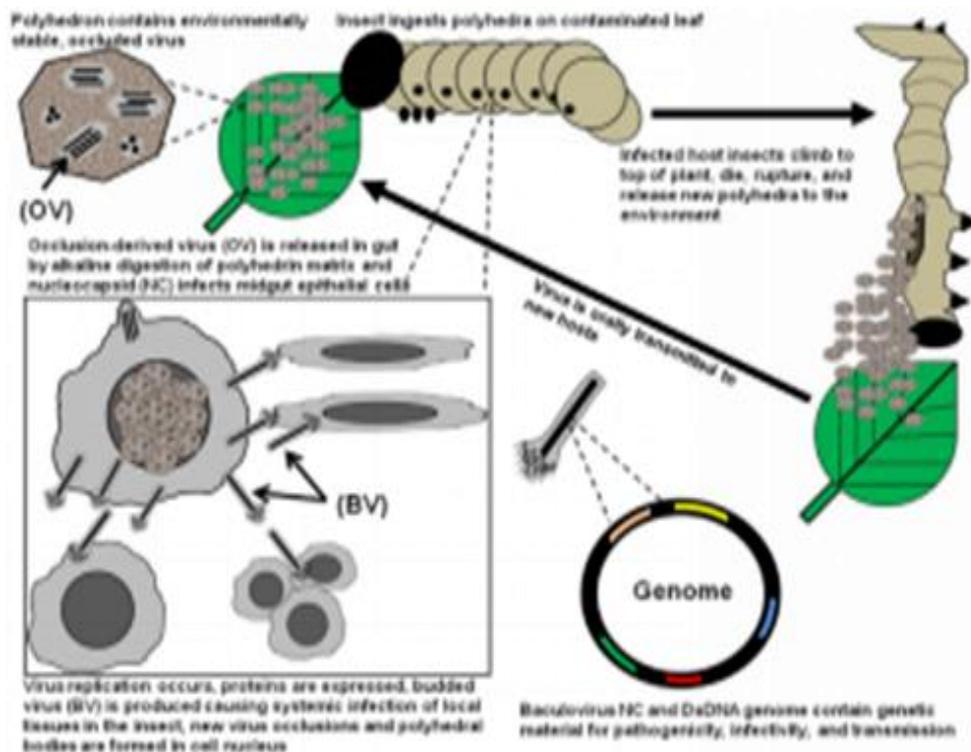
3. Ciri-ciri :

- a. Ciri yang khas yaitu berupa bahan inklusi (*inclusion bodies*) berbentuk polyhedral yang merupakan kristal protein pembungkus virion, dengan diameter 0,2-20 µm, sedang vironnya berbentuk batang berukuran 40-70 x 200-400 µm.

b. Larva yang terinfeksi menunjukkan gejala serangan 1-2 hari setelah polyhedral termakan.

c. NPV menyerang larva asing inang yang spesifik.

Serangga Inang NPV adalah SI-NPV (untuk *Spodoptera litura*), Se-NPV (untuk *S. exigua* pada tanaman bawang merah) dan Ha-NPV (*Helicoverpa armigera* pada tanaman tomat dan jagung).



Gambar 13. Ciri – ciri SINPV (John Burand dan Madoka Nakai Virus 2015)

(Diakses pada 13 November 2021)

4. Mekanisme Infeksi dan Patogenesis

NPV akan melakukan replikasi atau memperbanyak diri di dalam inti sel inangnya. Oleh karena itu infeksi NPV harus tertelan bersama-sama pakan yang dikonsumsi melalui mulut terus ke pencernaan. Dalam pencernaan ini NPV menginfeksi *nucleus* sel-sel yang peka terutama lapisan epitel ventrikulus dan hemosit yang berada dalam haemocoel *S. litura*. Infeksi NPV dalam tubuh serangga dapat terjadi jika usus serangga pada kondisi alkalis (pH>9).

Pada kondisi alkalis PIB akan melepas virion dari selubung protein kemudian virion menembus jaringan peritrofik, mikrovili, kemudian akan memisahkan sel-

sel kolumnar dan goblet, dan pada akhirnya akan merusak seluruh jaringan usus dan kondisi di dalam haemolimfa akan terlihat keruh penuh cairan NPV. Cairan NPV tersebut merupakan replikasi virion-virion baru yang terbentuk di dalam sel-sel rongga tubuh (*haemocoel*) dan jaringan lain seperti lemak tubuh, sel epidermis, haemolimfa, dan trakea. Pada jaringan-jaringan tersebut virion-virion dapat meng-ambil tempat sehingga terjadi *cellysis*. Larva akan mati setelah sebagian besar jaringan tubuhnya terinfeksi NPV (Smits, 1987 *dalam* Bedjo, 2018). NPV meng-infeksi inang melalui dua tahap. Pada tahap pertama NPV menyerang usus tengah, kemudian pada tahap selanjutnya organ tubuh (*haemocoel*) serta organ dalam tubuh yang lain. Pada infeksi lanjut NPV juga menyerang sel darah (leucosit dan limfosit), trakea, hypodermis, dan sel lemak (Deacon, 1983; Ignoffo & Couch, 1981 *dalam* Bedjo, 2018). PIB dalam tubuh larva yang terserang ukurannya bervariasi tergantung pada perkembangan stadium larva, sebagian besar polyhedra memiliki ukuran dan stadium pematangan yang hampir sama (Granados & Federici, 1986 *dalam* Bedjo, 2018).

5. Gejala Infeksi SINPV

Menurut Supiyani, S. (2017) Gejala infeksi SINVP dapat terlihat yaitu:

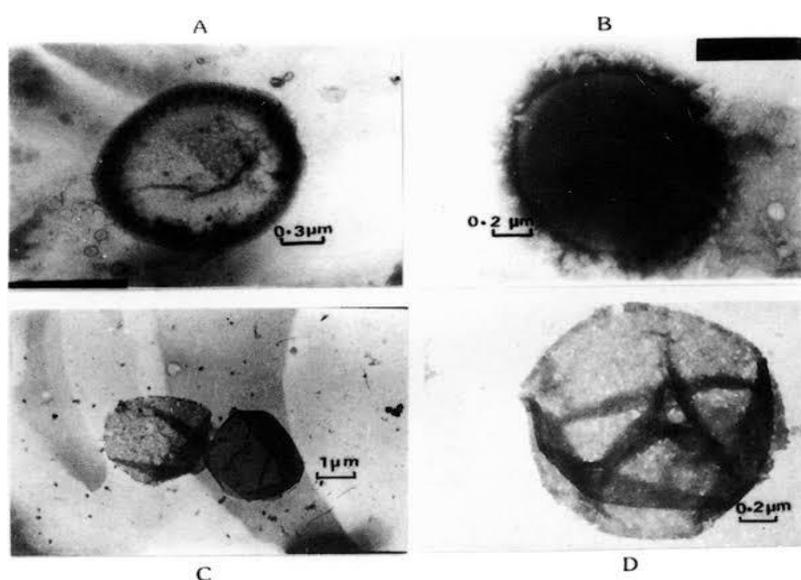
- a. Kepala menggantung ke bawah,
- b. Pergerakan tidak terarah,
- c. Kelusuan (gerak lambat tidak ada gerakan sama sekali),
- d. Menolak makanan,
- e. Stress (regurgitasi),
- f. Tubuh dipenuhi cairan plasma,

Virus memasuki inti sel yang terinfeksi dan berkembang biak sampai sel tersebut mulai menghasilkan kristal dalam cairan inang. Kristal ini dapat menularkan virus dari satu *host* ke *host* lain. Inang menjadi tampak bengkak dengan cairan yang mengandung virus, dan akhirnya mati, menjadi hitam karena pembusukan. Kematian pada serangga yang terinfeksi hampir 100%.



Gambar 14. Gejala Serangan SINV Pada Larva *Spodoptera litura* L.
(Sumber Vikaspedia.in 2021, diakses pada 13 November 2021)

4.3 HaNPV



Gambar 15. Citra Virus HaNPV Melalui Mikroskop Elektron
(sumber: researchgate.com, Diakses pada 13 November 2021)

Pengendalian hama pada umumnya dilakukan dengan menggunakan insektisida kimia karena insektisida ini dikenal efektif dan hasilnya cepat dapat dilihat. Salah satu insektisida dari golongan *carbamate* yang terdaftar penggunaannya pada tanaman teh untuk mengendalikan *Helopeltis antonii* dan ulat jengkal (*Hyposidra* sp.) adalah *methomyl* (Rayati, 2008 dalam Joko, S. & Merry,

A., 2014). Cara tersebut memberikan hasil yang sangat nyata dan cepat bila dibanding dengan cara lain sehingga kerugian yang lebih besar dapat dihindarkan (Danthanarayana, 1967 dalam Joko, S. & Merry, A., 2014). Pengendalian Hama Terpadu (PHT) yang melarang penggunaan sarana atau cara yang dapat mengganggu kesehatan dan keselamatan manusia yang menimbulkan gangguan dan kerusakan sumber daya alam dan lingkungan hidup.

Agensia pengendali biologi virus sebagai patogen serangga merupakan salah satu alternatif yang potensial untuk digunakan dalam pengendalian hama pada tanaman teh, di antaranya adalah *nuclear polyhedrosis virus* (NPV). NPV termasuk famili Baculoviridae dari genus Baculovirus. Sebagai parasit obligat, NPV hanya dapat berkembang pada sel-sel hidup. Menurut Tanada & Kaya (1993) dalam Joko, S. & Merry, A. (2014) NPV memiliki beberapa keunggulan, antara lain inangnya spesifik, efektif, persisten di alam (tanah, air, tanaman), persisten dalam populasi inang rendah, dan kompatibel dengan cara pengendalian yang lain, termasuk insektisida botani dan kimia (Mandal, *et.al.*, 2003; Binay & Devendra, 2002; Indrayani, *et.al.*, 2005; 2006 dalam Joko, S. & Merry, A., 2014). Ulat jengkal bersifat polipag, selain menyerang tanaman teh juga menyerang tanaman lainnya. Untuk mengurangi akibat buruk dari insektisida kimia, dapat digunakan agensia hayati yang berupa virus serangga. Salah satu virus serangga yang potensial untuk digunakan sebagai pengendali populasi serangga hama adalah *nuclear polyhedrosis virus* (NPV) dari ordo Baculovirus yang memiliki polihedra yang tahan terhadap paparan sinar matahari. *Helicoverpa armigera nuclear polyhedrosis virus* (HaNPV) merupakan isolat virus yang berhasil diisolasi dari kadaver larva *H.armigera* yang sangat ideal untuk digunakan dalam pengendalian populasi serangga hama.

1. Cara Penyerangan

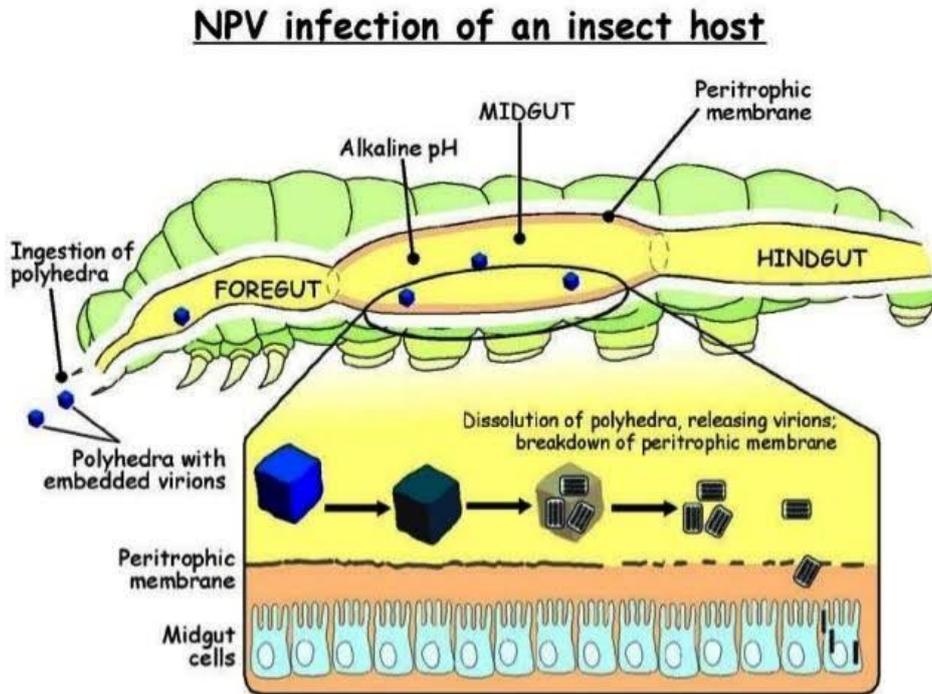
HaNPV ini merupakan virus patogen serangga yang menyerang membran peritrofik pada daerah usus tengah. Membran peritrofik merupakan struktur yang sangat vital dalam proses pencernaan. Apabila struktur membran peritrofik ini rusak, maka proses pencernaan akan terganggu dan berpengaruh terhadap fisiologi larva serta dapat menyebabkan kematian. Kematian *S. litura* disebabkan

oleh infeksi virus melalui oral, polihedra akan masuk ke dalam saluran pencernaan bersama pakan yang dikonsumsi. Proses awal infeksi terjadi pada saluran pencernaan bagian tengah (*midgut*) yang memiliki pH antara 9,5 - 11,5. Polihedra yang membungkus virion akan larut dalam kondisi basa pada saluran pencernaan sehingga partikel-partikel virus dapat keluar. Partikel virus kemudian akan melewati membran peritrofik dari saluran pencernaan larva, selanjutnya virion akan terus masuk ke dalam sel-sel lain dalam tubuh serangga (Flipsen, 1995 dalam Joko, S. & Merry, A., 2014). Ketika partikel virus menginfeksi sel-sel tubuh, nukleokapsid virus dan materi genetik (DNA) virus dilepaskan. DNA virus masuk ke dalam nukleus sel tubuh dan mengambil alih sistem replikasi DNA dari sel inang. Hal tersebut mengakibatkan kerusakan pada sel-sel kolumnar sehingga sekresi enzim-enzim pencernaan serta penyerapan nutrisi tidak berjalan baik. Kerusakan saluran pencernaan dapat dilihat dari feces larva *S. litura* yang mencair akibat infeksi dari HaNPV.

Hasil dari mortalitas dalam bentuk larva lebih tinggi dibandingkan mortalitas dalam bentuk pupa. Hal ini diduga karena pada umumnya HaNPV masuk melalui oral bersama dengan pakan, dan menginfeksi saluran pencernaan pada tubuh larva. Virus ini merupakan patogen yang menyerang membran peritrofik pada daerah usus tengah. Membran peritrofik merupakan struktur yang sangat vital dalam proses pencernaan. Apabila struktur membran peritrofik ini rusak, maka proses pencernaan akan terganggu dan berpengaruh terhadap fisiologi larva serta dapat menyebabkan kematian.

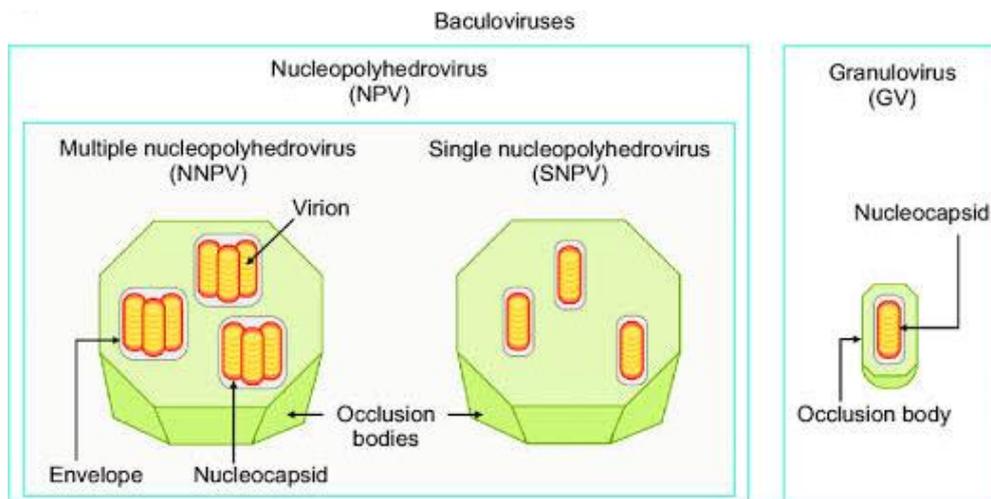
Peningkatan konsumsi makan merupakan suatu mekanisme pertahanan tubuh yang dilakukan larva untuk melindungi diri dari infeksi virus. Menurut Fuxa (1994) dalam Miranti dan Wardono (2009) dalam Joko, S. & Merry, A. (2014), larva yang terinfeksi virus masih tetap menunjukkan aktivitas makan karena energi yang dihasilkan dari aktivitas makan tersebut diperlukan untuk bertahan hidup. Larva dapat mempertahankan diri dengan meningkatkan penggantian sel-sel epitel yang telah terinfeksi, menghambat infeksi tingkat seluler dengan mengurangi konsentrasi virus yang ada di lumen dengan cara meningkatkan

volume lumen dan volume isi usus serta meningkatkan ketebalan membran peritrofik (Sanjaya, 2004 dalam Joko, S. & Merry, A., 2014).



Gambar 16. Cara Penyerangan HaNPV (Alit.M 2021)
(Diakses pada 13 November 2021)

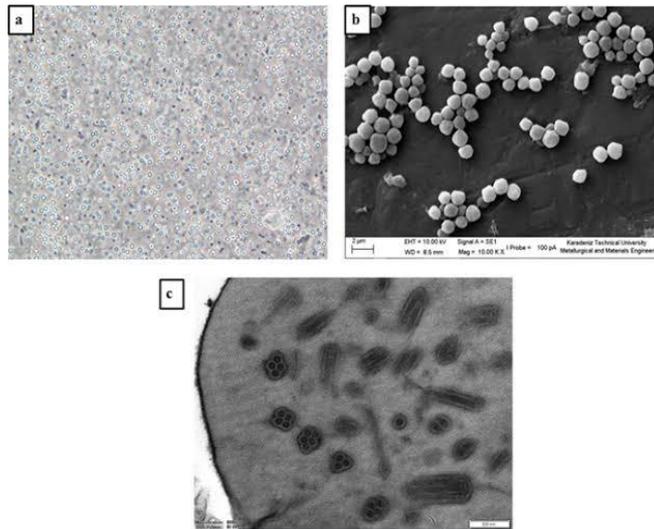
4.4 Baculovirus



Gambar 17. Struktur Baculovirus (Jihye. J 2021)
(Diakses pada 13 November 2021)

Baculovirus memulai siklus infeksi hampir sama dengan virus DNA lainnya yang besar dan mempekerjakan *enhancer* dan aktivator transkripsi untuk mengeksploitasi aparat tuan transkripsi. Program awal difokuskan pada pembentukan infeksi dan memproduksi komponen yang diperlukan untuk memulai replikasi DNA virus dan fungsi awal lainnya. Sedangkan kejadian-kejadian awal adalah tergantung pada gen ditranskripsi oleh RNA polimerase tuan rumah, kemudian gen ditranskripsi oleh RNA *polimerase baculovirus* dikodekan. Akibatnya, pada awal infeksi transkripsi yang dilakukan oleh RNA polimerase inang, sedangkan polimerase RNA virus terlibat terlambat infeksi. Meskipun beberapa virus bakteri, misalnya, T7, juga memanfaatkan tuan mereka polimerase RNA polimerase awal dan mempekerjakan mereka sendiri RNA kemudian di infeksi, baculovirus adalah satu-satunya virus mereplikasi DNA nuklir dari eukariota yang menggunakan kombinasi polimerase selular dan virus (Berarti, *et.al.*, 2007 dalam Hafiz, F. & Rusli, R., 2019).

Dalam siklus hidupnya, virus datang dalam dua bentuk, yang ODV (*Occlusion Virus*), dengan mantel protein, dan BV (*virus Budding*). Bentuk ODV diperlukan untuk infeksi awal dan kemudian menjadi BV-partikel yang terbentuk. Partikel BV perlu untuk infeksi yaitu glikoprotein gp64 (gen 64), yang terjadi pada ujung virion filamen. Protein ini tidak ditemukan dalam partikel ODV, ada beberapa protein yang unik untuk ODV. Ada juga perbedaan dalam komposisi lipid dari sarungnya, di mana BV terjadi phosphatidylserine (Buchen-Osmond, 2006 dalam Silitonga, D. E., *et.al.*, 2014).



Gambar 18. Citra Baculovirus Menggunakan Mikroskop Elektreon
(sumber: researchgate.com, diakses pada 13 November 2021)

1. Gejala Inveksi Balculovirus

Larva yang terserang baculovirus mempunyai gejala seperti kulit tubuhnya tampak membesar, kulit larva berwarna merah, rapuh, dan mudah pecah, sehingga jaringan tubuh menjadi hancur dan berwarna kehitaman (Uhan, 2006 dalam Silitonga, D. E., *et.al.*, 2014). Beberapa faktor yang mempengaruhi keberhasilan infeksi baculovirus adalah biologi inang, virulensi virus dan ekologi virus (Trevor, *et.al.*, 2005 dalam Silitonga, D. E., *et.al.*, 2014).



Gambar 19. Gejala Larva yang Terserang yaitu Kulit Tubuhnya Tampak Membengkak, Berwarna Coklat kemerahan dan mudah pecah
(Holy.K 2021, diakses pada 13 November 2021).

BAB V

PENUTUP

Dari beberapa percobaan yang telah dilakukan ditemukan hasil sebagai bahwa pengaplikasian virus HaNPV, SINPV, Baculovirus dan Mikovirus memiliki tingkat mortalitas yang berbeda pada serangga target yang berbeda pula. Untuk keluarga NPV virus memiliki kesamaan dalam struktur genetik virus, memiliki rentang target inang yang sama dan juga cara penyerangan yang identik. Virus NPV masuk melalui mulut dan menyerang sistem pencernaan sehingga akan mengakibatkan serangga inang menjadi berkurang nafsu makan, mengalami gelisah dan pergerakan secara acak hingga mati dikarenakan terjadinya kerusakan jaringan akibat sel lisis. Serangga yang terkena serangan virus NPV baru mengeluarkan gejala sekitar 2-3 hari setelah terserang virus tersebut dan akan menunjukkan kematian pada hari 4-7 setelah infeksi. Hal ini dikarenakan virus memerlukan waktu untuk bereplikasi pada sel serangga inang. HaNPV dapat menyebabkan mortalitas pada serangga inang hingga 100%

Mikovirus merupakan virus yang menyerang jamur, virus ini dapat dikembangkan sebagai agen hayati dalam pengendalian jamur penyebab penyakit hawar kastanye. Dalam aplikasinya, jamur patogen tumbuhan, infeksi mikovirus dapat menyebabkan *hipovirulen*. Dengan demikian mikovirus dapat dikembangkan sebagai agen pengendali hayati pada jamur patogen tumbuhan.

Spodoptera litura Nuclear Polyhedrosis Virus (SINPV) dapat dimanfaatkan untuk pengendalian larva *S.litura Fabricius* karena dapat dijadikan bioinsektisida dan memiliki sifat yang menguntungkan antara lain: (a) bersifat spesifik terhadap serangga sasaran sehingga aman bagi musuh alami, (b) persisten di alam sehingga tidak menimbulkan residu beracun, (c) efektif terhadap inang atau hama sasaran yang sudah resisten terhadap insektisida kimia, (d) kompatibel dengan komponen pengendalian hama lain, termasuk insektisida kimia. *Spodoptera litura Nuclear Polyhedrosis Virus* (SLNPV) efektif terhadap mortalitas larva *S.litura Fabricius* dan

berpeluang menggantikan insektisida sintetik karena dapat menyebabkan kematian larva *S. litura Fabricius* mencapai 100%.

Baculovirus memiliki kesamaan dengan virus NPV lainnya dengan membawa materi genetik jenis DNA. Dalam aplikasinya Baculovirus dapat diaplikasikan pada larva kumbang tanduk *O. rhinoceros*. Baculovirus dapat menyebabkan mortalitas pada larva *O. rhinoceros* sebesar 48% pada percobaan yang dilakukan oleh Desmendry E.S. *et.,all* pada tahun 2013. mortalitas yang dihasilkan oleh Baculovirus terbilang kecil dibandingkan dengan agen hayati virus lainnya, hal ini bisa menjadi rujukan bahwa dalam pengendalian hama kumbang tanduk dapat menggunakan alternatif lain untuk mendapatkan tingkat mortalitas yang tinggi.

Dalam praktek pertanian sudah semestinya meninggalkan pertanian konvensional, dikarenakan dapat menimbulkan efek negatif pada ekosistem tersebut. Penggunaan agensia hayati untuk pengendalian hama masih rendah dilakukan oleh petani di Indonesia. Aplikasi agensia hayati tidak bersifat instan namun membutuhkan proses untuk melihat hasilnya. Namun jika dilakukan secara benar maka pengendalian menggunakan agensia hayati dapat memberikan hasil yang optimal dan juga ramah lingkungan. Maka kami menganjurkan dalam pengendalian hama untuk menggunakan agensia hayati sebagai langkah pengendaliannya, dikarenakan telah terbukti pengaplikasian virus sebagai agen hayati dapat menyebabkan mortalitas hingga 100% pada hama tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Bedjo., 2018. Pemanfaatan Spodoptera litura Nuclear Polyhedrosis Virus (SINPV) Untuk Pengendalian Ulat Grayak (Spodoptera litura Fabricius) Pada Tanaman Kedelai, di Bul. Palawija No. 7 & 8: 1–9.
- BVET., 2019. Isolasi Virus Dengan Tissue Culture.
<http://bvetbukittinggi.ditjenpkh.pertanian.go.id/artikel-25-isolasi-virus-dengan-tissue-culture.html> [Diakses pada 3 Januari 2022].
- Campbell & Neil, A., 2013. Biologi jilid 1. Rajawali Pers. Halaman 345-346.
- Dwi Suprobawati, Ocky & Iis Kurniati. 2018. Virologi. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Erni, M., 2019. e-Modul Biologi. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.
- Evan, P. R., Mulyo, I. A. & Risnawati., 2019. Identifikasi Dan Uji Virulesi Mikovirus Pada Tanaman Cabai
- Hafiz, F. & Rusli, R., 2019. Patogenisitas Baculovirus oryctes lokal Riau terhadap Kumbang Tanduk (*Oryctes rhinoceros* L.) Pada Kelapa Sawit.
- Heviyanti. M., 2016. Pengendalian Hayati (Biological Control) Sebagai Salah Satu Komponen Pengendalian Hama Terpadu (PHT). *AGROSAMUDRA*. 3(1). 27-38.
- Holivia, A. S., 2020. Modul pegantar virologi dan reproduksi virus.
<https://www.scribd.com/document/492266005/Tugas-Virologi-Holivia-019> [Diakses pada 3 Januari 2022].
- I Gusti Ayu Ketut Rachmi Handayani, Edi As'Adi, Guntur Hamzah, Tommy Leonard and Gunarto Gunarto, "Relationship Between Energy Consumption in International Market and Indonesia Prices Regulation", *International Journal of Energy Economics and Policy*, Vol.7, Issue 5 (2017).
- Joko, S. & Merry, A., 2014. Pengaruh agensia pengendali biologi virus Helicoverpa armigera nuclear polyhedrosis (HaNPV) terhadap mortalitas hama ulat jengkal (*Ectropis bhurmitra* Wlk.), Universitas Bale Bandung.
- Melanie, M., Rustama, M. M., Kasmara, H., Sejati, S. A., Fitriani, N., & Madihah, M. (2017). Patogenesitas Helicoverpa Armigera Polyhedrosis Virus Sub Kultur (HaNPV1) Terhadap Spodoptera Litura Fabricius. *Prosiding SNaPP: Sains, Teknologi*, 7(1), 144-155.
- Oetami, D., 2012. Mikrobiologi Pertanian, (Yogyakarta: Graha Ilmu, 2012), hlm.54-55.

- Samsudin, S., 2017. Prospek pengembangan bioinsektisida Nucleopolyhedrovirus (NPV) untuk pengendalian/prospect of development of Nucleopolyhedrovirus (NPV) bioinsecticide against. *Perspektif: Review Penelitian Tanaman Industri*, 15(1), 18-30.
- Silitonga, D. E., Bakti, D., & Marheni, M. (2014). Penggunaan Suspensi Baculovirus Terhadap *Oryctes Rhinoceros* L.(Coleoptera: Scarabaeidae) Di Laboratorium. *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara*, 1(4), 95677.
- Sopialena, S., 2018. Pengendalian Hayati dengan memberdayakan potensi mikroba.
- Subandi., 2010. Mikrobiologi Perkembangan Kajian dan Pengamatan dalam Perspektif Islam. PT Remaja Rossakarya
- Supyani, S., 2017. Mikovirus, Pengembangannya sebagai Agens Pengendali Hayati. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, 21(1), 1-9.
- Syahroni, M. N. G. & Haryadi, N. T. (2019). Uji Efektivitas Konsentrasi Spodoptera litura-Nuclear Polyhedrosis Virus (SINPV) JTM 97C Formulasi Bubuk Terhadap Larva Spodoptera litura Fabricius (Lepidoptera: Noctuidae) Pada Tanaman Kedelai. *Jurnal Pengendalian Hayati*, 2(2), 46-52.
- Yos F. da Lopes., & Abdul, K. D., 2020. Modul Pengendalian Hama Terpadu. https://mplk.politanikoe.ac.id/images/pdf/BA_Kuliah_Perlintan/010.Pengendalian_Hama_Terpadu.pdf [Diakses pada 4 Januari 2022].

TENTANG PENULIS PERTAMA



Dr. Ir. Yenny Muliani, M.P. Wanita kelahiran Bandung, 27 April 1962. Sebagai Dosen dengan jabatan fungsional Lektor Kepala dan bertugas sebagai Ketua Program Studi Agroteknologi di Fakultas Pertanian Universitas Islam Nusantara.

Penulis berperan aktif dalam kegiatan Pengajaran, Pengabdian Kepada Masyarakat, Penelitian, serta kegiatan lainnya sebagai penunjang kegiatan dosen.

Riwayat Pendidikan Perguruan Tinggi, sebagai berikut:

1. Strata 1 (S1) di Universitas Padjajaran Bandung, Fakultas Pertanian, Bidang Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan.
2. Strata 2 (S2) di Universitas Gadjah Mada, Fakultas Pertanian, dengan Bidang Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan.
3. Strata 3 (S3) di Universitas Padjajaran Bandung, Fakultas Pertanian, Bidang Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan dan memperoleh beasiswa Sandwich Like Programe di Queensland University Australia.

Untuk lebih lanjut bisa menghubungi melalui:

E-mail : yennymuliani62@gmail.com
Google Scholar : leikpY8qEe8C
Orchid ID : 0000-000106541-5440
Scopus ID : 57194644012
ID Sinta : 6092620
WOS Researcher ID : GOV-4192-2022
Garuda ID : 324330

TENTANG PENULIS KEDUA



Rafika Ratik Srimurni, S.TP., M.Si. kelahiran Karawang, 14 Oktober 1991. Saat ini memiliki jabatan fungsional sebagai Asisten Ahli merupakan salah satu dosen di Fakultas Teknik pada Program Studi Teknik Industri sekaligus sebagai dosen Pengampu matakuliah Teknologi Produksi Tanaman di Fakultas Pertanian (Program Studi Agroteknologi). Sejak berkarir menjadi Dosen di Universitas Islam Nusantara mulai tahun 2019, penulis aktif dalam kegiatan ilmiah dan penunjang.

Riwayat Pendidikan Perguruan Tinggi, sebagai berikut:

1. Strata 1 (S1) di Universitas Jenderal Soedirman, dengan Bidang Ilmu Teknik Pertanian, Fakultas Teknik.
2. Starata 2 (S2) di Intitut Pertanian Bogor, dengan Bidang Ilmu Teknologi Industri Pertanian

Penulis berperan aktif dalam kegiatan pertanian yaitu pada Pusat Pelatihan Pertanian dan Pedesaan Swadaya (P4S) Wira Tani Karawang sebagai pelaksana lapangan.

Untuk lebih lanjut bisa menghubungi melalui:

E-mail : rafika.ratik@uninus.ac.id
Instagram : @rafikaratik
LinkedIn : Rafika Ratik Srimurni
Google Scholar : 8fdpn94AAAAJ
ID Sinta : 6755137
ORCID : 0000-0001-7052-0747
WOS Researcher ID : ACC-2638-2022
Garuda ID : 3440406

CV Jejak akan terus bertransformasi untuk
menjadi media penerbitan dengan visi
memajukan dunia literasi di Indonesia. Kami
menerima berbagai naskah untuk diterbitkan.

Silakan kunjungi *web* **jejakpublisher.com** untuk
info lebih lanjut
