EFEKTIVITAS *Bacillus* sp. ISOLAT BT-RG01 SEBAGAI AGEN BIOKONTROL TERHADAP SERANGGA *Helicoverpa armigera* PADA TANAMAN JAGUNG

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna Memperoleh Sarjana Sains dalam Ilmu Biologi

Oleh : **DWI RYAN NUGROHO**

NIM : 1908016043

PROGRAM STUDI BIOLOGI

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO

SEMARANG

2025

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Dwi Ryan Nugroho

NIM : 1908016043

Jurusan : S1 Biologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

EFEKTIVITAS *Bacillus* sp. ISOLAT BT-RG01 SEBAGAI AGEN BIOKONTROL TERHADAP SERANGGA *Helicoverpa armigera* PADA TANAMAN JAGUNG

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian/karya saya sendiri, kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 6 Juli 2025



Dwi Ryan Nugroho

1908016043

KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Prof. Dr. Hamka Ngaliyan Semarang
Telp.024-7601295 Fax.7615387

LEMBAR PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : **EFEKTIVITAS *Bacillus* sp. ISOLAT BT-RG01 SEBAGAI AGEN BIOKONTROL TERHADAP SERANGGA *Helicoverpa armigera* PADA TANAMAN JAGUNG**

Penulis : Dwi Ryan Nugroho
NIM : 1908016043
Program Studi : S1 Biologi

Telah diujikan dalam sidang tugas akhir oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang dan dapat diterima sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar sarjana dalam ilmu biologi.

Semarang, 25 Agustus 2025

DEWAN PENGUJI

Penguji I	Penguji II
Dr. Siti Mukhlishoh Setyawati, S.Si., M.Si.	**Hafidha Asni Akmalia, M.Sc.**
NIP: 197611172009122001	NIP: 198908212019032013

Pembimbing I	Pembimbing II
Andang Syaifuddin, M.Sc.	**Galih Kholifatun Nisa', M.Sc.**
NIP: 198907192019031010	NIP: 199006132019032018

NOTA DINAS

Semarang, 06/07/2025

Yth. Ketua Program Studi Biologi
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum. wr. wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : **EFEKTIVITAS *Bacillus* sp. ISOLAT BT-RG01 SEBAGAI AGEN BIOKONTROL TERHADAP SERANGGA *Helicoverpa armigera* PADA TANAMAN JAGUNG**
Nama : **Dwi Ryan Nugroho**
NIM : 1908016043
Program Studi : S1 Biologi

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Munaqasyah.

Wassalamu'alaikum. wr. wb

Pembimbing I,

Andang Syaifuddin, M.Sc.
NIP: 198907192019031010

NOTA DINAS

Semarang, 06/07/2025

Yth. Ketua Program Studi Biologi
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum. wr. wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : **EFEKTIVITAS *Bacillus* sp. ISOLAT BT-RG01 SEBAGAI AGEN BIOKONTROL TERHADAP SERANGGA *Helicoverpa armigera* PADA TANAMAN JAGUNG**
Nama : **Dwi Ryan Nugroho**
NIM : 1908016043
Program Studi : S1 Biologi

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Munaqasyah.

Wassalamu'alaikum. wr. wb

Pembimbing II,

Galih Kholifatun Nisa', M.Sc.
NIP: 199006132019032018

ABSTRAK

Serangan hama *Helicoverpa armigera* merupakan salah satu penyebab utama penurunan produksi tanaman jagung di Indonesia. Penggunaan insektisida kimia yang berlebihan menimbulkan dampak negatif, sehingga diperlukan alternatif pengendalian yang lebih ramah lingkungan, salah satunya dengan menggunakan agen biokontrol hayati seperti *Bacillus thuringiensis* (Bt). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas *Bacillus thuringiensis* isolat BT-RG01 sebagai agen biokontrol terhadap *Helicoverpa armigera* pada tanaman jagung, serta membandingkannya dengan Bt komersial dan insektisida kimia. Penelitian dilakukan secara eksperimental menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan empat perlakuan dan lima ulangan, menggunakan larva instar tiga. Data dianalisis menggunakan uji Kruskal-Wallis karena tidak memenuhi asumsi normalitas, kemudian dilanjutkan dengan uji post-hoc Dunn's Test. Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antar perlakuan terhadap mortalitas larva ($p = 0{,}004$). Perlakuan Bt isolat BT-RG01 menunjukkan perbedaan signifikan dibandingkan kontrol ($p = 0{,}004$) dan Bt komersial ($p = 0{,}040$), namun tidak berbeda signifikan dibandingkan insektisida kimia. Mekanisme kerja Bt diketahui melalui toksin kristal (*δ-endotoksin*) yang merusak sel epitel usus larva sehingga menyebabkan kelumpuhan dan kematian. Dapat disimpulkan bahwa *Bacillus thuringiensis* isolat BT-RG01 memiliki efektivitas tinggi sebagai agen biokontrol dan berpotensi menjadi alternatif pengendalian hama *Helicoverpa armigera* yang ramah lingkungan pada tanaman jagung.

Kata kunci: *Bacillus thuringiensis*, bioinsektisida, biokontrol, *Helicoverpa armigera*, jagung.

ABSTRACT

The infestation of *Helicoverpa armigera* is one of the major causes of reduced maize production in Indonesia. Excessive use of chemical insecticides poses negative impacts on the environment and non-target organisms, thus requiring environmentally friendly alternatives such as biological control agents like *Bacillus thuringiensis* (Bt). This study aimed to evaluate the effectiveness of *Bacillus thuringiensis* isolate BT-RG01 as a biocontrol agent against *Helicoverpa armigera* in maize crops, and to compare its performance with commercial Bt and chemical insecticides. The experiment was conducted using a Randomized Block Design (RBD) with four treatments and five replications, employing third-instar larvae as the test organisms. Data were analyzed using the Kruskal-Wallis test due to non-normal distribution, followed by Dunn's post-hoc test. The results showed significant differences among treatments in larval mortality ($p = 0.004$). The Bt isolate BT-RG01 treatment showed a significant difference compared to the control ($p = 0.004$) and commercial Bt ($p = 0.040$), but not significantly different from chemical insecticides. The mode of action of Bt involves crystal toxins (*δ-endotoxins*) that damage the larval midgut epithelial cells, causing paralysis and death. It can be concluded that *Bacillus thuringiensis* isolate BT-RG01 has high effectiveness as a biocontrol agent and has strong potential as an environmentally friendly alternative to control *Helicoverpa armigera* in maize cultivation.

Keywords: *Bacillus thuringiensis*, biocontrol, bioinsecticide, *Helicoverpa armigera*, maize.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat dan nikmat-Nya penulis dapat menyelesaikan naskah skripsi dengan judul "EFEKTIVITAS *Bacillus* sp. ISOLAT BT-RG01 SEBAGAI AGEN BIOKONTROL TERHADAP SERANGGA *Helicoverpa armigera* PADA TANAMAN JAGUNG". Skripsi ini ditujukan sebagai salah satu syarat guna menyelesaikan Program Sarjana (S1) pada Program Studi Biologi UIN Walisongo Semarang dan sebagai bentuk tanggungjawab sebagai mahasiswa biologi yang diharuskan memiliki kontribusi kepada masyarakat maupun lingkungan dari ilmu yang telah diterima di bangku perkuliahan.

Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada baginda Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan inspirasi dan menuntun umat manusia dari zaman yang gelap ke jalan yang terang benderang seperti pada saat ini. Skripsi ini adalah bukti nyata bahwa penulis telah bersungguh-sungguh dalam menjalankan amanat sebagai seorang mahasiswa dalam memberikan kontribusi yang maksimal sesuai kapasitas penulis kepada masyarakat melalui penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada

kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terimakasih yang tidak ternilai kepada:

1. Prof. Dr. Nizar Ali, M.Ag., Rektor UIN Walisongo Semarang.
2. Prof. Dr. H. Musahadi, M.Ag., Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang;
3. Ibu Dian Ayuning Tyas, M.Biotech., selaku Ketua Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Walisongo Semarang;
4. Andang Syaifuddin, M.Sc., dosen pembimbing I yang selalu sabar dan menyenangkan ketika diajak diskusi dan bimbingan terkait skripsi terutama di bidang mikrobiologi serta hal lain di luar skripsi seperti sharing meme kocak, anime dan film yang keren. Terimakasih yang sangat mendalam atas ilmu yang telah dicurahkan kepada penulis selama masa perkuliahan dan selalu sabar dalam menyampaikan materi tentang mikrobiologi, sehingga penulis dapat memahami dengan baik dan memotivasi penulis untuk menyukai ilmu mikrobiologi;
5. Galih Kholifatun Nisa', M.Sc., dosen pembimbing II yang telah berkenan memberikan tambahan ilmu dan solusi pada permasalahan dalam penulisan skripsi, terutama dalam bidang zoologinya. Terimakasih yang paling dalam penulis sampaikan atas ilmu yang telah diberikan kepada penulis selama masa perkuliahan dan terimakasih

penyampaian ilmunya sungguh mudah dimengerti oleh penulis sehingga membuat peneliti semakin suka terhadap mata kuliah yang berkaitan dengan zoologi;

6. Bu Sum dan segenap laboran, staff serta asisten Laboratorium Kampus 3 UIN Walisongo Semarang yang telah mengizinkan penulis melakukan riset di Laboratorium;
7. Asri Febriana, M.Si., selaku dosen wali yang telah membimbing dan membantu penulis dari awal perkuliahan sampai selesai perkuliahan;
8. Dosen dan segenap civitas akademik Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang yang telah memberikan banyak ilmu dan senantiasa memotivasi penulis dalam menyelesaikan skripsi;
9. Keluarga penulis, Bapak Suranto, Ibu Kurilah, serta kedua adik penulis Rama Qodrianto dan Cahya Kiran Ayuningtyas yang senantiasa selalu memberikan dukungan baik moral dan materi serta selalu mendoakan kelancaran selama masa perkuliahan dan penulisan skripsi dan tidak lupa selalu menjadi motivasi bagi penulis agar bisa bermanfaat bagi keluarga tercinta;
10. Salah satu orang spesial, Intan Oktaviawati yang juga memberikan bantuan, dukungan dan doa untuk penulis dalam melewati berbagai macam rintangan dari mulai

pencarian judul, penyusunan proposal, pelaksanaan penelitian dan sampai penulisan skripsi;

11. Faishal, Ibnu, Mamat dan Robi, teman biologi 2019 yang masih menemani penulis sampai akhir dan selalu menyemangati penulis dalam pembuatan skripsi ini;
12. Mas Yud, Bang Joy, Febri, Dimas, Inam dan segenap Jemaat Kontrakan Goa Hiro lainnya yang dengan sabar dan penuh perhatian selalu mengingatkan penulis untuk mengerjakan skripsi agar cepat lulus dan dapat bermanfaat bagi masyarakat.

Semoga apa yang telah diberikan kepada penulis mendapatkan hidayah dan manfaat balasan dari Allah SWT. penulis menyadari skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, namun penulis berharap bahwa hal tersebut tidak menghalangi para pembaca dan penulis sendiri akan kebermanfaatan skripsi ini.

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN ii
LEMBAR PENGESAHAN iii
NOTA DINAS iv
NOTA DINAS v
ABSTRAK vi
ABSTRACT vii
KATA PENGANTAR viii
DAFTAR ISI xii
DAFTAR GAMBAR xv
DAFTAR TABEL xvii
DAFTAR LAMPIRAN xviii
PENDAHULUAN 1
A. Latar Belakang 1
B. Rumusan Masalah 9
C. Tujuan Penelitian 9
D. Manfaat Penelitian 10
KAJIAN PUSTAKA 11
A. Bakteri 11
B. *Bacillus thuringiensis* 13
C. Agen Biokontrol 16
D. Serangga Hama 20
E. *Helicoverpa armigera* (Penggerek Tongkol) 23

F. Jagung (*Zea mays*) 27
G. *Unity of Science* (UOS) 30
H. Penelitian Relevan 33
I. Kerangka Berpikir 41
J. Hipotesis 42
METODE PENELITIAN 43
A. Tempat dan Waktu Penelitian 43
B. Alat dan Bahan 43
C. Rancangan Penelitan 44
D. Metode Penelitian 45
1. Sterilisasi 45
2. Pengambilan Sampel Tanah dan Sampel Serangga .45
3. Pembiakkan dan Isolasi 48
4. Identifikasi dan Karakterisasi *Bacillus thuringiensis* 50
5. Pemeliharaan Serangga *Helicoverpa armigera* 53
6. Uji Aktivitas Insektisida 54
7. Aplikasi di Lapangan Semi-Terkendali 56
8. Perhitungan Rumus Total Kematian Larva 57
9. Perubahan yang Terjadi Setelah dipaparkan 57
10. Waktu Kematian 58
11. Analisis Data 58
HASIL DAN PEMBAHASAN 59
A. Deskripsi Hasil Penelitian 59

1. Isolasi dan Karakterisasi Bakteri *Bacillus thuringiensis* 59
2. Pemeliharaan Larva Serangga Penggerek Tongkol Jagung (*Helicoverpa armigera*) 63
3. Uji Efikasi *Bacillus thuringiensis* terhadap *Helicoverpa armigera* pada Skala Laboratorium.....70
4. Uji Efikasi Skala Lapangan Semi-Terkendali.....74
5. Pengaruh Pengaplikasian *Bacillus thuringiensis* pada pH Tanah.....76

B. Pembahasan Hasil Penelitian.....78

1. Isolasi dan Karakterisasi Bakteri *Bacillus thuringiensis* 78
2. Pemeliharaan Larva Serangga Penggerek Tongkol Jagung (*Helicoverpa armigera*) 80
3. Uji Efikasi *Bacillus thuringiensis* terhadap *Helicoverpa armigera* pada Skala Laboratorium.....81
4. Uji Efikasi Skala Lapangan Semi-Terkendali.....88
5. Pengaruh Pengaplikasian *Bacillus thuringiensis* pada pH Tanah.....93

PENUTUP.....96

A. Kesimpulan.....96

B. Saran.....97

DAFTAR PUSTAKA.....99

LAMPIRAN 120

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sel *B. thuringiensis*	14
Gambar 2.2	Siklus hidup *H. armigera*	23
Gambar 2.3	(a) Ulat *H. armigera*, (b) *H. armigera* dewasa	24
Gambar 2.4	*Cadaver H. armigera*	26
Gambar 2.5	Bagan alir kerangka berpikir	40
Gambar 3.1	Peta pengambilan sampel tanah dan serangga	45
Gambar 3.2	(a) Sel bakteri Bt, (b) Endospora Bt	50
Gambar 3.3	Pengecetan spora	52
Gambar 3.4	Skema wadah uji	54
Gambar 4.1	(a) Hasil pemurnian, (b) Bakteri *Bacillus thuringiensis*, (c) Gambar perbandingan Bt dari jurnal	59
Gambar 4.2	(a) Spora Bt pada dasar tabung reaksi, (b) Endospora Bt, (c) Gambar perbandingan dari jurnal	61
Gambar 4.3	(a) Bercak kotoran Ha pada jagung, (b) Pupa yang terbalut selaput	63
Gambar 4.4	(a) Wadah pemeliharaan ngengat, (b) Telur Ha pada kain kasa	65

Gambar 4.5	(a) Ha pada fase dewasa, (b) Tanda berbentuk bulat hitam pada ngengat jantan, (c) Telur Ha, (d) Panjang maksimal larva Ha	67
Gambar 4.6	Warna pupa pada tahap awal	68
Gambar 4.7	Wadah uji larva skala laboratorium	70
Gambar 4.8	Wadah uji larva skala lapangan	74
Gambar 4.9	Skenario pemrosesan toksin Bt oleh protease usus tengah setelah dikonsumsi dan pelarutan	85
Gambar 4.10	Perbandingan morfologi larva setelah perlakuan	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Penelitian relevan	32
Tabel 4.1	Jumlah total mortaliras larva pada masing-masing perlakuan	71
Tabel 4.2	Ringkasan Efek yang Diamati pada Bangkai *Helicoverpa armigera* Berdasarkan Perlakuan	75
Tabel 4.3	Pengukuran pH tanah menggunakan *soil* meter dan pH meter merk Hanna	77

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Persentase mortalitas	119
Lampiran 2	Gambar pengamatan	120
Tabel Lampiran 1	Rata-rata kematian larva	121
Tabel Lampiran 2	Hasil uji normalitas	122
Tabel Lampiran 3	Hasil uji homogenitas	122
Tabel Lampiran 4	Hasil uji Kruskal-Wallis	123
Tabel Lampiran 5	Hasil uji Post-Hoc	124

BAB I
PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Ditinjau dari segi letak dan iklimnya, Indonesia merupakan negara agraris yang membuat tanaman tumbuh dengan mudahnya di negara ini (Lubis, 2021). Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber daya alamnya berkat tanah yang subur, sehingga berbagai jenis tanaman dapat tumbuh dengan mudah di seluruh wilayah. Kesuburan ini juga menjadikan sebagian besar masyarakat Indonesia memiliki mata pencaharian sebagai petani, mengukuhkan sebutan negara agraris bagi Indonesia. Potensi ini menjadikan Indonesia sebagai lahan yang ideal untuk berbagai komoditas pangan, termasuk jagung, yang merupakan salah satu tanaman pangan penting setelah padi (Zulkifli Sjamsir & Suhartina R, 2023).

Di Indonesia, jagung memegang peranan penting sebagai tanaman pangan kedua setelah padi, terutama sebagai bahan makanan bagi manusia. Selain menjadi bahan makanan pokok bagi manusia, jagung juga dimanfaatkan secara luas sebagai pakan ternak. Hingga saat ini, jagung diolah dalam berbagai bentuk,

mulai dari tepung (maizena), minyak jagung, hingga bahan makanan dan pakan ternak (Fadhillah *et al*., 2021). Sehingga menjadikan jagung sebagai komoditas yang diminati pasar dunia hingga saat ini (Aldillah, 2017).

Berdasarkan data tahun 2016, kebutuhan jagung di Indonesia didominasi oleh sektor pangan dan pakan. Dari total penggunaan jagung sebanyak 23,84 juta ton, diperkirakan 41% dialokasikan untuk pangan dan 28% untuk pakan. Sementara itu, sisa 31% digunakan untuk keperluan lain seperti benih dan susut pascapanen (Hudoyo & Nurmayasari, 2019). Produksi yang tinggi ini menjadikan Indonesia sebagai produsen jagung nomor satu di tingkat ASEAN (Mantau, 2016). Oleh karena itu, untuk menunjang perekonomian dan ketahanan pangan nasional, penting untuk menjaga stabilitas hasil produksi jagung agar tidak mengalami penurunan signifikan akibat faktor eksternal. Salah satu tantangan utama yang dihadapi adalah serangan hama serangga, baik yang merusak fisik tanaman secara langsung maupun yang bertindak sebagai pembawa patogen (Sarumaha, 2020).

Serangan hama merupakan salah satu faktor krusial yang dapat menyebabkan penurunan produksi yang sangat berarti (Anjani *et al*., 2021). Hal ini terjadi karena jumlah serangga yang ada di alam memiliki jumlah yang tinggi. Serangga berhasil dalam mempertahankan hidupnya di alam pada habitat yang variatif, memiliki nilai reproduksi yang sangat tinggi dan kemampuan dalam menghindari diri dari predatornya. Serangga memiliki ciri umum seperti mempunyai *appendage* atau disebut juga alat tambahan yang beruas, zat kitin yang membungkus tubuh yang disebut sebagai eksoskeleton (Meilin & Nasamsir, 2016). Beberapa serangga yang sering menyerang tanaman kebanyakan berasal dari ordo *Lepidoptera*, *Diptera*, *Coleoptera* dan *Hymenoptera* (Bahri *et al*., 2021). Salah satu dari ordo *Lepidoptera* yang sering dijumpai menjadi serangga hama adalah *Helicoverpa armigera* (Penggerek tongkol) (Fadhillah *et al*., 2021).

Salah satu hama serangga yang menjadi ancaman serius bagi produksi jagung adalah *Helicoverpa armigera*. Serangga ini dikenal luas menyerang berbagai tanaman budidaya, termasuk jagung manis (Muslihat & Desita Salbiah, 2020). Larva

dari hama ini menyerang dengan cara melubangi buah atau tongkol, kemudian berpindah dari satu lubang ke lubang lain untuk menghindari paparan insektisida kimia (Malinga & Laing, 2022). Lubang yang dibuat larva tidak hanya merusak fisik, tetapi juga menjadi jalan masuk bagi infeksi yang menyebabkan buah membusuk. Serangan hama ini sering terjadi di musim kemarau dan dapat mengakibatkan penurunan hasil produksi hingga mencapai 80%, menjadikannya ancaman signifikan terhadap stabilitas pasokan jagung nasional (Zulaiha *et al*., 2012).

Helicoverpa armigera tersebar luas pada seluruh daerah Asia, Eropa, Australia dan Afrika (Gulzar *et al*., 2017). Serangga dewasa mempunyai kelebihan ketahanan dalam kemampuan bermigrasi dengan kemampuan migrasi mencapai 2000 km. mereka juga sangat subur dan memiliki nilai reproduksi yang cepat. *Helicoverpa armigera* dianggap sebagai salah satu hama serangga yang paling merusak secara global. Diperkirakan mencapai lebih dari 3 miliar dollar kerugian global yang disebabkan oleh spesies ini (Riaz *et al*., 2021).

Munculnya serangga hama pada tanaman jagung mendorong para petani untuk melakukan

pengendalian agar tidak terjadi penurunan produksi akibat serangga hama (Mulyasari, 2022). 96% petani di Indonesia masih menggunakan pestisida kimia yang dianggap sangat efektif (Situmorang *et al*., 2021). Hal ini sejalan dengan data dari (Anugrah, 2022) Petani di Indonesia mayoritas menggunakan pestisida kimia untuk mengendalikan hama atau organisme pengganggu tanaman (OPT) karena dianggap efektif, mudah digunakan, dan menguntungkan secara ekonomi, dengan persentase sekitar 96%. Diketahui para petani menggunakan pestisida kimia dengan cara yang tidak bijaksana, dan tindakan ini akan berakibat kepada matinya serangga non-hama baik yang bersifat predator, parasitoid dan patogen. Matinya serangga predator yang menjadi musuh alami serangga hama ini akan menyebabkan serangga hama menjadi resisten terhadap insektisida kimia (Sarumaha, 2020).

Masih ada dampak negatif lain ketika menggunakan insektisida kimia secara berlebihan dan terus-menerus antara lain memberikan dampak buruk bagi kandungan nutrisi buah, mengakibatkan keracunan yang kronis maupun akut, menimbulkan iritasi pada kulit bahkan yang parah adalah

menimbulkan kebutaan (Krisna *et al*., 2022). Menurut (Krishanti *et al*., 2017) penggunaan insektisida secara terus-menerus juga berakibat buruk bagi lingkungan antara lain meningkatnya jumlah residu yang berbahaya bagi lingkungan dan kerusakan komposisi struktur tanah.

Mempertimbangkan metode alternatif untuk mengendalikan hama serangga yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan sangatlah diperlukan. Bioteknologi dengan menggunakan agen hayati sebagai biokontrol adalah salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk mengendalikan serangga hama yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan penggunaan insektisida kimia. Salah satu jenis agen hayati yang masuk ke dalam patogen yang memiliki potensi untuk mengendalikan serangga hama adalah berbagai strain bakteri anggota spesies *Bacillus thuringiensis* (Pujiastuti *et al.*, 2024), terutama strain non-komersial yang dapat diperoleh dari alam.

Bakteri ini bersifat entomopatogenik, memiliki hospes yang spesifik, tidak berbahaya bagi serangga yang berguna ataupun serangga yang bukan sasarannya (Christina L Salaki *et al.*, 2019), dapat didaur ulang sehingga menjadikannya ramah

lingkungan dan tidak menyebabkan dampak buruk jika digunakan dalam dosis yang banyak (Bahri *et al*., 2021; Zhang *et al*., 2016). Bioinsektisida yang paling umum digunakan dibandingkan dengan jenis yang dihasilkan oleh mikroba lainnya adalah *B. thuringiensis*. Bakteri ini adalah bakteri Gram positif yang berbentuk batang dan mampu menghasilkan protein kristal selama masa sporulasinya. Spora dan kristal protein ini memiliki sifat racun bagi sistem pencernaan serangga, sehingga digunakan sebagai pengendali hama secara biologis (Purnawati *et al*., 2015). *B. thuringiensis* isolat lokal BT-RG01 diharapkan mampu bersaing dengan Bt komersial (B-TOX) dan insektisida kimia (Sidamethrin) serta mampu dalam mengendalikan serangga hama yang ada pada tanaman budidaya dengan uji coba di dalam laboratorium.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian terdahulu tentang pengendalian hama serangga *Helicoverpa armigera* memang sudah banyak dilakukan, seperti pada penelitian Widajati *et al*., 2020, yang menggunakan *Bacillus thuringiensis* komersial untuk mengendalikan hama *Helicoverpa armigera*. Tetapi perbandingan dalam menggunakan

Bacillus thuringiensis isolat lokal, komersial dan juga insektisida kimia belum pernah dilakukan. Padahal perbandingan ini perlu dilakukan untuk meninjau sejauh mana *Bacillus thuringiensis* isolat lokal dalam mengendalikan hama serangga *Helicoverpa armigera* dan juga melihat efek penggunaan insektisida kimia bagi lingkungan sekitar.

Pada penelitian ini digunakan bakteri *Bacillus thuringiensis* dikarenakan bakteri ini bersifat entomopatogenik, memiliki hospes yang spesifik dan juga tidak berbahaya bagi serangga lain seperti yang sudah dipaparkan di atas. Selain itu bakteri ini mampu melakukan pengendalian hingga 80%. Pemilihan serangga *Helicoverpa armigera* tidak lain karena serangga ini mudah ditemukan dan juga merupakan salah satu hospes yang sering diserang oleh bakteri *Bacillus thuringiensis*. Dalam melakukan perbandingan pengendalian menggunakan Bt hasil isolasi sendiri, isolat komersial dan juga insektisida kimia digunakan serangga yang memang target khusus dari bakteri *Bacillus thuringiensis* agar memudahkan untuk melakukan penelitian.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimanakah karakter morfologi dari *Bacillus thuringiensis* isolat BT-RG01 dari tanah kebun jagung di Desa Beringin Gondoriyo sebagai agen biokontrol terhadap *Helicoverpa armigera*?
2. Bagaimanakah potensi *Bacillus thuringiensis* isolat BT-RG01 dalam mengendalikan *Helicoverpa armigera* pada tanaman jagung dibandingkan dengan *Bacillus thuringiensis* komersial dan insektisida kimia?

C. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui dan mendeskripsikan karakter morfologi *Bacillus thuringiensis* isolat BT-RG01 dari tanah kebun jagung di Desa Beringin Gondoriyo sebagai agen biokontrol terhadap *Helicoverpa armigera*.
2. Mengetahui dan Mendeskripsikan potensi *Bacillus thuringiensis* isolat BT-RG01 dalam mengendalikan serangga hama *Helicoverpa armigera* pada tanaman jagung, serta membandingkannya dengan efektivitas *Bacillus thuringiensis* komersial dan insektisida kimia.

D.Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis
    a. Sebagai bahan penulisan skripsi untuk melengkapi persyaratan dalam menempuh ujian sarjana di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo, Semarang.
    b. Menambah ilmu bagi penulis tentang bakteri yang bermanfaat dan juga musuh alami para serangga serta menambah keterampilan dalam penelitian di laboratorium tentang isolasi bakteri, identifikasi dan pengaplikasiannya.
    c. Menjadi acuan untuk penelitian selanjutnya dalam peranan bakteri menguntungkan dan juga musuh alami para serangga.
2. Manfaat Praktis
    a. Sebagai sumber informasi bagi orang yang membutuhkan di bidang pertanian berkelanjutan dengan mengusung bahan ramah lingkungan.
    b. Sebagai sumber belajar untuk siswa ataupun mahasiswa dengan bahan ajar musuh alami para serangga.

BAB II
KAJIAN PUSTAKA

A. Bakteri

Bakteri berasal dari bahasa Latin *bacterium*, yaitu kelompok dari makhluk hidup yang artinya *small stick* atau tongkat kecil (Mahariesti, 2011). Bakteri adalah mikroorganisme yang pertama muncul di bumi ini. Bakteri adalah sel biologi yang sebagian besar mengisi domain mikroorganisme prokariotik, yaitu organisme yang tidak memiliki membran inti sel. Umumnya memiliki bentuk bola (*coccus*), batang (*bacillus*) bahkan sampai spiral (*spirillus*). Bakteri dapat ditemukan pada tanah, air, mata air panas asam yang ekstrem, limbah radioaktif, dan biosfer dalam kerak bumi (Effendi, 2020). Menurut (Boleng, 2015) bakteri adalah suatu organisme dengan organel dinding sel. Dahulu para peneliti beranggapan bahwa bakteri ini adalah tumbuhan dikarenakan memiliki dinding sel ini, namun ada peneliti lain yang beranggapan bahwa bakteri ini adalah hewan dikarenakan beberapa sel bakteri ini dapat berpindah tempat. Akhirnya Whittaker pada tahun 1969 mengelompokkan bakteri ini ke dalam kingdom monera pada sistem klasifikasi lima dunia. Sel bakteri

mencakup struktur yang ada pada dalam bakteri dan juga luar bakteri. Struktur ini disebut sebagai organel sel yang mana meliputi flagellum, pilus, fimbriae, kapsul, dinding sel, membran sel, mesosom, ribosom, nucleoid dan juga spora.

Bakteri memiliki banyak peran untuk tanaman antara lain, memicu pertumbuhan tanaman, dekomposer, bakteri pelarut fosfat dan menjadi agen biokontrol (Aprianti *et al*., 2018) entomopatogen (Widariyanto *et al*., 2017). Bakteri yang termasuk entomopatogen telah lama dikenal mampu mengendalikan berbagai hama serangga yang menyerang tanaman budidaya atau serangga penyebab penyakit (Melanie *et al*., 2018). Bakteri entomopatogen adalah bakteri yang memiliki kemampuan untuk menimbulkan penyakit pada serangga dengan cara menginfeksi serangga tersebut. Sumber bakteri entomopatogen dapat berasal dari serangga terinfeksi yang sudah mati (*cadaver*) ataupun dari tanah pada bagian rhizosfer (Rahayu *et al*., 2021). Salah satu bakteri entomopatogen yang sangat penting dan mudah dijumpai di alam adalah bakteri *Bacillus thuringiensis* (Ch. L. Salaki & Tarore, 2018).

B.*Bacillus thuringiensis*

Bacillus thuringiensis (Bt) adalah bakteri Gram positif berbentuk batang (*bacillus*), aerobik, dan membentuk endospora yang menghasilkan kristal protein (Melanie *et al*., 2018). Terdapat banyak jenis *Bacillus thuringiensis* yang menghasilkan protein beracun bagi serangga. Bakteri ini memiliki inang serangga yang spesifik, tidak berbahaya bagi musuh alami dan organisme bukan sasaran, dan dapat meningkatkan kepatogenannya melalui rekayasa genetik. *Bacillus thuringiensis* termasuk dalam famili bakteri yang menghasilkan protein kristal dalam inklusi tubuhnya saat bersporulasi yang bekerja sebagai racun perut alami (Gazali *et al*., 2017). Racun perut tersebut akan membunuh serangga hama sasaran ketika masuk ke dalam saluran pencernaan lalu diserap oleh dinding saluran pencernaan (Lestari *et al*., 2013).

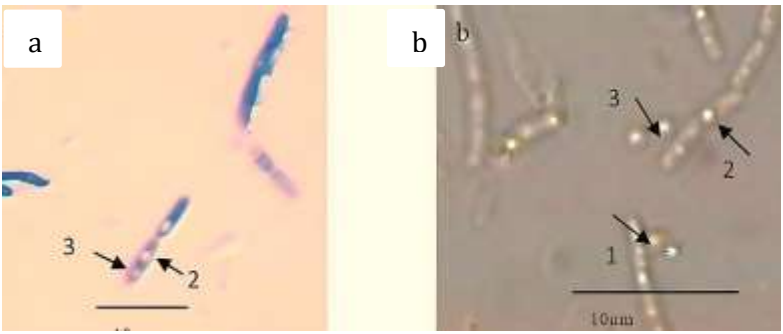
Menurut Berliner, 1915 yang diakses melalui itis.gov (*Bacterial Nomenclature up-to-date*, *website* Jun 2012) bakteri *Bacillus thuringiensis* (Bt) ini memiliki kedudukan klasifikasi sebagai berikut,

Kingdom : Bacteria

Phylum : Firmicutes

Class : Bacilli
Order : Bacillales
Family : Bacillaceae
Genus : *Bacillus*
Species : *Bacillus thuringiensis*

Bakteri ini memiliki spora dengan panjang 2-5 µm dan bergerak secara aktif atau motil menggunakan *peritrichous flagella* (flagela peritrik) (Arsov *et al*., 2023) pada semua dinding sel, memiliki sifat fakultatif aerob dan bisa ditemukan di semua benua pada ketinggian 0 sampai 2000 meter di atas permukaan laut pada zona tropis sampai arktika. Bakteri ini dapat ditemukan secara alami di berbagai habitat seperti tanah, pohon, debu penyimpanan biji-bijian, pakan ternak, dan serangga mati. *Bacillus thuringiensis* adalah bakteri mesofil yang tumbuh dalam rentang suhu 15-45°C, dengan suhu optimal antara 26-37°C. pH pertumbuhan berkisar antara 5,5 hingga 8,5, dengan pH optimal antara 6,5 hingga 7,5. Spora berbentuk oval berwarna hijau kebiruan (Gambar 2.1) dengan ukuran sekitar 1,0-1,3 µm dan berada di ujung. Ukuran protein kristal bervariasi antara 0,6 hingga 2,0 µm tergantung pada jenisnya (Zeigler, 1999).



Gambar 2.1. Sel bakteri *Bacillus thuringiensis*. (a) Pengamatan dengan perwarnaan kristal violet perbesaran 1000x, (b) Pengamatan dengan mikroskop fase kontras dengan perbesaran 1000×. Keterangan: (1) endospora yang terlepas, (2) endospora dalam sel, dan (3) kristal protein.
(Sumber:(Sukmawati, 2014))

Bakteri *Bacillus thuringiensis* (Bt) adalah salah satu jenis yang paling umum digunakan sebagai insektisida mikrobial. Beberapa varietas yang populer digunakan mencakup varietas *kurstaki* yang efektif dalam membunuh serangga ordo *Lepidoptera* pada tanaman pangan, buah-buahan, sayuran, dan tanaman hutan; varietas *israelensis* yang efektif dalam membunuh serangga ordo *Diptera* seperti nyamuk dan lalat; varietas *aizawai* yang efektif dalam membunuh serangga ordo *Lepidoptera* tertentu (Hilmanto, 2010).

C. Agen Biokontrol

Pada Peraturan Pemerintah Nomor 7 Tahun 1973 tentang Pengawasan atas Pengedaran, Penyimpanan, dan Penggunaan Insektisida dijelaskan bahwa insektisida kesehatan masyarakat adalah insektisida yang digunakan untuk mengendalikan vektor penyakit dan hama permukiman, seperti nyamuk, lalat, kecoa, dan ulat (Kemenkes-RI, 2012). Insektisida kimia merupakan bahan kimia beracun yang umumnya digunakan untuk mengendalikan dan membasmi serangga hama pada tanaman maupun serangga yang membahayakan manusia. Namun, dalam praktiknya, penggunaan insektisida kimia memiliki efek samping jangka panjang yang signifikan, seperti meracuni dan membahayakan makhluk hidup lainnya, termasuk serangga bermanfaat (*beneficial insects*), hewan peliharaan, dan manusia. Meskipun insektisida kimia berbahaya bagi manusia dan lingkungan, faktanya tingkat penggunaan di lapangan masih tergolong tinggi (Hasibuan, 2012).

Penggunaan Insektisida secara tidak selektif menyebabkan ketidakseimbangan dan seringkali mencemari lingkungan serta merusak biosfer secara permanen. Untuk memperbaiki kondisi lingkungan

dan mendukung pengembangan pertanian organik, diperlukan langkah bertahap dalam mengurangi penggunaan produk kimia dan beralih ke penggunaan agen biokontrol yang lebih ramah lingkungan (Ismailov *et al*., 2020). Biokontrol didefinisikan sebagai pengendalian menggunakan pendekatan organisme hidup untuk menurunkan jumlah kepadatan populasi organisme hidup spesifik yang bersifat hama dan merusak (Amrullah, 2019). Tujuan dari biokontrol ini adalah untuk mencegah keresistensian hama, matinya musuh alami dan mengurangi dampak kerusakan pada lingkungan (Waluyo *et al*., 2022).

Berbeda dengan definisi tentang biokontrol, agen biokontrol merupakan turunan dari makhluk hidup dan juga penginduksi resistensi serta pengendali makhluk hidup yang tidak diinginkan dengan makhluk hidup lain yang menjadi musuh alami (Raymaekers *et al*., 2020). Beberapa mikroba yang digunakan sebagai agen biokontrol meliputi *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Aspergillus*, *Trichoderma*, dan beberapa jenis mikroba dari kelompok *Actinobacteria* (Prabawati *et al*., 2019). Agen biokontrol dapat membasmi hama tanaman melalui mekanisme

antagonis antara lain: parasitisme, antibiosis dan persaingan atau kompetisi (Pasalo *et al*., 2022).

Parasitisme adalah hubungan antara dua organisme di mana salah satu organisme secara langsung memperoleh nutrisi dari yang lain. Mekanisme kedua, antibiosis, terjadi antara dua organisme ketika salah satu organisme menghasilkan metabolit antimikroba yang secara langsung memengaruhi pertumbuhan atau metabolisme organisme lain. Produk antimikroba ini diproduksi dalam konsentrasi sangat rendah, hanya didistribusikan secara lokal, dan memiliki masa hidup yang singkat; oleh karena itu, risiko toksikologi bagi manusia rendah (Köhl *et al*., 2019). Terakhir adalah persaingan antara dua organisme yang membutuhkan nutrisi dan ruang yang terbatas, sehingga salah satu yang terkuat akan bertahan dan yang lain akan mati (Raymaekers *et al*., 2020).

Menurut (Karya & Supriyadi, 2021), mikroorganisme dari jenis bakteri yang sering digunakan sebagai agen biokontrol adalah *Bacillus thuringiensis*. *Bacillus thuringiensis* atau yang disingkat Bt telah lama diketahui menjadi pembunuh serangga selama kurang lebih satu abad. Bakteri ini

mempunyai kemampuan memproduksi kristal parasporal besar selama sporulasi yang disebut *delta-endotoksin* (*δ-endotoxin*). Kristal ini memiliki aktivitas insektisida spesifik terhadap hama dari ordo *Lepidoptera*, *Diptera*, *Coleoptera* dan *Hymenoptera* (Caballero *et al*., 2020). Spora dan protein kristal ini dapat bersifat racun pada sistem pencernaan serangga (Purnawati *et al*., 2015). Protein kristal ini terdapat endotoksin di dalamnya yang bisa menyebabkan saluran pencernaan pada serangga jenis *Lepidoptera* menjadi paralisis. Spora pada bakteri ini jika tertelan serangga, maka sporanya akan tumbuh dan berkecambah di dalam saluran pencernaan serangga dan akan memenuhi rongga tubuh pada serangga (Gazali *et al*., 2017).

Bakteri ini tidak secara langsung mematikan larva, terkadang larva yang terinfeksi ini mampu bertahan hidup dan menjadi pupa sampai keluar dan menjadi serangga dewasa. Serangga dewasa (ngengat) yang terinfeksi biasanya memiliki ciri yang berbeda dibandingkan dengan ngengat yang sehat, biasanya serangga dewasa terinfeksi berukuran kecil, cacat, masa hidupnya yang lebih singkat dan mandul (Wibowo, 2017). Menurut Rahmawati &

Luqiyarrohman, (2024) Bt bekerja pada saluran pencernaan serangga hama yang menyebabkan larva yang terinfeksi menjadi pasif, berhenti makan, memiliki kotoran yang encer dan kepala serangga lebih besar daripada tubuh sehingga larva menjadi lunak dan mati.

D.Serangga Hama

Serangga adalah organisme yang mempunyai peranan yang sangat penting bagi ilmu pengetahuan dan juga bagi kehidupan. Di dunia hewan sebanyak 80% spesies adalah berasal dari kelompok Arthropoda. Kelompok ini dapat ditemukan di berbagai habitat dan belahan dunia yang berbeda. Dalam fungsi maupun bentuk, serangga ini memiliki keanekaragaman yang sangat luar biasa. Serangga mampu bersaing dengan manusia yang membuat serangga ini sering dijadikan bahan penelitian, khususnya dalam penelitian untuk perlindungan tanaman, pengelolaan sumber daya alam dan kesehatan bahkan dalam ilmu kedokteran hewan (Oktarima, 2015).

Serangga (Insekta atau *Insecta* atau *Hexapoda*) masuk ke dalam golongan filum Arthropoda yang mana *Arthror* adalah buku-buku dan *podos* adalah

kaki serta *hexapoda* yang berarti *hexa* = enam. Serangga memiliki ciri-ciri yang khusus yaitu tungkai terdiri dari 6 buah atau bisa juga 3 pasang, tubuhnya terdiri dari kepala, dada (*thoraks*) dan perut (*abdomen*), bagian dada terdiri dari tiga ruas yang mana masing-masing ruas terdapat sepasang tungkai yang juga memiliki ruas, terdapat dua macam mata yaitu majemuk (*faset*) dan mata tunggal (*ocellus*, jamak: *ocelli*), sering memiliki antena walaupun beberapa tidak memiliki antena, serangga dewasa kebanyakan memiliki sayap, dan mengalami metamorfosis selama siklus hidupnya (Nuraeni, 2020). Serangga adalah faktor biologis yang paling sering membuat kerusakan pada hutan, sehingga ketika ada pembahasan tentang hama hutan yang sering disebut adalah serangga.

Hama adalah pendefinisian yang bersifat "antroposentrik" yang mana berarti bahwa manusia ini adalah pusat dari semuanya. Ilmu tentang dasar-dasar biologi yang mana herbivora, jasad pemakan tumbuhan adalah suatu kumpulan organisme yang memang memiliki tugas dalam mengatur populasi tumbuhan (secara metabolis adalah jasad heterotrof). Disebut hama karena memakan tumbuhan yang

memang dikelola oleh manusia untuk kebutuhan ekonomi dan substansi lainnya. Semua binatang yang dapat menyebabkan kerugian dan kerusakan pada tanaman disebut sebagai hama. Kebanyakan hama yang menyerang tanaman dan membuat tanaman rusak dan tidak dapat tumbuh adalah dari kelompok serangga (Kuswardani & Maimunah, 2013).

Menurut (Kuswardani & Maimunah, 2013) dalam bahasa jawa hama disebut sebagai "*omo*" dan "*pest*" dalam bahasa inggris. Dalam pengendalian hama, racun hama disebut sebagai pestisida (*sida* yaitu racun). Definisi hama adalah semua binatang yang sering merugikan maupun mengganggu tanaman yang ditanam atau dibudidayakan oleh manusia. Suatu binatang disebut sebagai hama jika menyebabkan kerusakan pada ekosistem alami di habitat manusia (Ramadhan *et al*., 2020). Dalam pengertian ini jika binatang pengganggu yang ada pada ekosistem populasinya sedikit dan tidak mengganggu maka tidak bisa disebut sebagai hama, justru sebaliknya jika sama sekali tidak ada binatang pengganggu di ekosistem maka dapat dikatakan bahwa ekosistem itu tidak stabil. Ekosistem dikatakan stabil jika adanya

interaksi yang kompleks di dalam jaring-jaring makanan (Qonita *et al*., 2021).

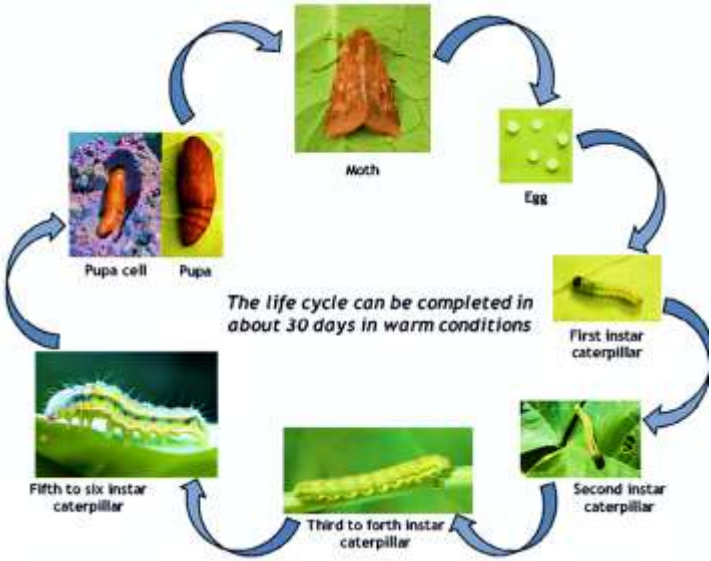
E. *Helicoverpa armigera* (Serangga Penggerek Tongkol)

Menurut Hubner, 1808 yang diakses melalui laman NCBI pada tanggal 26 Juli 2023, hama penggerek tongkol *Helicoverpa armigera* ini diklasifikasikan sebagai berikut,

Kingdom : Animalia
Phylum : Arthropoda
Class : Insecta
Order : Lepidoptera
Family : Noctuidae
Genus : *Helicoverpa*
Spesies : *Helicoverpa armigera*

Helicoverpa armigera atau *the cotton bollworm* berasal dari Dunia Lama (*Old World*) dan tersebar pada Asia, Eropa, Afrika dan Australia (Klai *et al*., 2022). Larva *Helicoverpa armigera* ini memiliki warna kuning muda dan akan berubah warna, namun antara satu larva dengan larva lainnya biasanya memiliki variasi warna yang berbeda. Fase larva ini dapat terjadi selama 12-25 hari dengan panjang maksimum dapat mencapai 30 mm dengan lebar kepala mencapai

3 mm. Pupa H*. armigera* ini terbentuk di dalam tanah selama 15-21 hari lalu setelah itu ngengat akan menetas dan keluar dari dalam tanah (Gambar 2.2) (Harnowo *et al*., 2015).



Gambar 2.2. Siklus hidup serangga *Helicoverpa armigera*

(Sumber: (Riaz *et al.*, 2021)).

Ciri yang dimiliki ngengat H. armigera adalah warna coklat dengan satu bintik hitam pada sayap depan, sedangkan sayap belakang ada warna hitam pada tepinya dan pangkal sayap yang berwarna putih kecoklatan (Gambar 2.3b) (Meytiana *et al*., 2017). Ulat ini memiliki kapsul kepala berwarna coklat muda dan

garis-garis putih di sisi tubuhnya serta memiliki rambut-rambut tipis (Gambar 2.3a). ngengat akan meletakkan telur di permukaan atas daun atau pada permukaan yang kasar dengan telur diletakkan terisolasi (Bueno *et al*., 2014).



Gambar 2.3. (a) Ulat *Helicoverpa armigera*, dan (b) Serangga *Helicoverpa armigera* dewasa.

(Sumber: (Marwoto *et al.*, 2017))

Ulat *H. armigera* ini memiliki ciri khusus ketika makan yaitu kepala dan sebagian tubuh akan masuk ke dalam polong untuk menghindari semprotan insektisida kimia (Malinga & Laing, 2022). Selain polong, daun dan bunga juga merupakan makanan utama ulat muda ini. Serangga hama ini memiliki banyak tanaman yang akan diserang yaitu kacang hijau, buncis, kacang tanah, kentang, tomat, kapas, jagung, sorgum, jeruk dan bunga matahari (Marwoto *et al*., 2017).

Helicoverpa armigera merupakan salah satu hama ulat yang sangat merusak (Amrullah, 2019) terutama bagi tanaman jagung (Widajati *et al*., 2020). Dalam pengendalian serangga hama ini salah satunya adalah menggunakan agen biokontrol seperti bakteri *Bacillus thuringiensis* (Yanti *et al*., 2017). Larva yang terinfeksi oleh *Bacillus thuringiensis* ini memiliki ciri-ciri yang khusus, yaitu tubuh berwarna coklat kehitaman (Gambar 2.4) dan mengalami paralisis usus, ciri lainnya adalah pada perilaku serangga yang mana tingkat aktivitas makan menurun bahkan dapat berhenti total, larva kurang tanggap terhadap sentuhan dan menjadi lemah.



Gambar 2.4. *Cadaver H. armigera* yang terinfeksi *B. thuringiensis*
(Sumber: (Pinos *et al*., 2021)).

F. Jagung (*Zea mays*)

Menurut situs itis.gov (*Poaceae update, database version Sept, 2010*) jagung memiliki kedudukan klasifikasi sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
Division : Tracheophyta
Class : Magnoliopsida
Ordor : Poales
Family : Poaceae
Genus : *Zea* L.
Spesies : *Zea mays* L.

Tanaman jagung adalah tanaman yang termasuk ke dalam bahan pangan pokok yang sangat potensial dan menjadi komoditas penting dalam agribisnis (Latuharhary & Saputro, 2017). Tanaman jagung adalah tanaman semusim yang masuk ke dalam famili rumput-rumputan (*Graminae*) (Sinaga, 2018). Jagung menempati kedudukan kedua setelah beras sebagai sumber utama karbohidrat dan protein yang menjadikannya memiliki nilai ekonomi yang tinggi dan salah satu serelia yang strategis. Jagung sebagai bahan pangan pokok dipanen ketika masih muda dan biasanya dikonsumsi ketika masih segar, dikalengkan ataupun dibekukan (Fatmawati *et al*., 2017).

Jagung masuk ke dalam ordo *Poales* yang berarti tanaman ini berumah satu (*monoius*), masih dalam satu tanaman namun bunga jantan dan bunga betinanya terpisah. Jagung juga merupakan tanaman protandus, yang mana bunga jantan mekar dengan pelepasan tepung sari terjadi satu atau dua hari sebelum munculnya bunga betina (Suleman *et al*., 2019). Jagung memiliki warna daun yang relatif hijau dengan bentuk ujung daun adalah runcing, arah helaian daun dan batang sedikit melengkung, warna

batang hijau-ungu-kemerahan, bentuk tongkol silindris mengerucut, susunan baris biji melengkung dan bentuk ujung permukaan butir meruncing (Indhirawati *et al*., 2015).

Jagung memiliki potensi yang tinggi dalam terkena serangan penyakit dan hama kapan saja. Penyakit yang sering menyerang tanaman jagung antara lain karat daun yang disebabkan oleh jamur *Puccinia sorghi*, penyakit hawar daun yang disebabkan oleh jamur *Helmithosporium turcicum* (Iswantoro & Handayani UN, 2022), dan bercak daun oleh jamur *Cercospora zea-maydis* (Sarah & Guntoro, 2023). Selain penyakit, tanaman jagung juga rentan terkena serangan serangga hama yang membuat produksi pada tanaman jagung ini menurun sangat signifikan (Suherman, 2021).

Menurut (Salelua & Maryam, 2018), kendala biotik yang dihadapi para petani dalam budidaya jagung salah satunya adalah organisme pengganggu tanaman (OPT) yaitu serangga. Indonesia sendiri dilaporkan memiliki sekitar 70 spesies serangga hama yang menginfeksi tanaman jagung (Thamrin & Sudartik, 2019). Jenis serangga yang banyak berada di sekitar tanaman jagung adalah dari ordo *Hemiptera*,

Coleoptera, dan *Lepidoptera*. Namun, yang merupakan hama utama dari tanaman jagung kebanyakan adalah dari ordo *Lepidoptera* yaitu *Helicoverpa armigera* (Kurnia *et al*., 2020) dan juga *Spodoptera frugiperda* yang merupakan hama baru yang muncul pada tahun 2018 (Purnomo *et al*., 2023).

G. *Unity of Science* (UOS)

Unity of Science dari penelitian ini mengambil salah satu ayat Al-Qur'an bahwa Allah saja tidak segan menyebut nyamuk dalam kitab suci atau bahkan lebih rendah dari itu seperti pada surat Al- Baqarah ayat 26 yang berbunyi:

اِنَّ اللّٰهَ لَا يَسْتَحْيٖٓ اَنْ يَّضْرِبَ مَثَلًا مَّا بَعُوْضَةً فَمَا فَوْقَهَا ۗفَاَمَّا الَّذِيْنَ اٰمَنُوْا فَيَعْلَمُوْنَ اَنَّهُ الْحَقُّ مِنْ رَّبِّهِمْ ۚ وَاَمَّا الَّذِيْنَ كَفَرُوْا فَيَقُوْلُوْنَ مَاذَآ اَرَادَ اللّٰهُ بِهٰذَا مَثَلًا ۘ يُضِلُّ بِهٖ كَثِيْرًا وَّيَهْدِيْ بِهٖ كَثِيْرًا ۗوَمَا يُضِلُّ بِهٖٓ اِلَّا الْفٰسِقِيْنَ ۙ

Artinya: Sesungguhnya Allah tidak segan membuat perumpamaan seekor nyamuk atau yang lebih kecil daripada itu. Adapun orang-orang yang

beriman mengetahui bahwa itu kebenaran dari Tuhannya. Akan tetapi, orang-orang kafir berkata, "Apa maksud Allah dengan perumpamaan ini?" Dengan (perumpamaan) itu banyak orang yang disesatkan-Nya. Dengan itu pula banyak orang yang diberi-Nya petunjuk. Namun, tidak ada yang Dia sesatkan dengan (perumpamaan) itu, selain orang-orang fasik.

Pada kata *fama fauqaha*, Ahmad Mustafa al-Marghi menjelaskan bahwa kata ini memiliki makna yang lebih kecil daripada nyamuk, yaitu makhluk yang bahkan lebih kecil dari nyamuk yang tidak diremehkan. Demikian maksudnya ialah makhluk yang hanya bisa dilihat oleh mikroskop atau alat pembesar seperti kuman atau bakteri (Saputra, 2021). Hal ini menjelaskan bahwa Allah saja tidak segan untuk menyebut makhluk seperti nyamuk atau bahkan yang lebih kecil dari itu seperti halnya bakteri. Sesuatu yang kecil seperti bakteri yang dianggap remeh bagi manusia bahkan bisa berguna sebagai agen biokontrol dalam mengendalikan serangga hama (Permata et al., 2024). Salah satu bakteri sebagai agen biokontrol adalah *Bacillus thuringiensis* yang dapat

mengendalikan serangga hama serta aman bagi manusia (Sukirno *et al*., 2022).

H. Penelitian Relevan

Tabel 2.1. Penelitian Relevan

Author	Judul	Metode	Hasil	Gap Penelitian
Raden Jani, Samharinto, Elly Liestiany (2023)	Kemampuan *Bacillus thuringiensis* untuk Mengendalikan *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith	Larva diberi pakan daun jagung, pupa dipindahkan ke wadah beralas serbuk gergaji dan kertas buram, sedangkan imago diberi cairan madu 10% dan air pada kapas. Telur yang dihasilkan dipindahkan ke gelas plastik, dan larva instar keempat digunakan untuk uji toksisitas. Uji dilakukan dengan mencelupkan daun jagung ke dalam larutan *Bacillus thuringiensis* dan diberikan ke larva, dengan empat perlakuan dan satu kontrol.	*B. thuringiensis* dari selokan Tahura Sultan Adam efektif terhadap *S. frugiperda*, dengan dosis 3 mL menghasilkan mortalitas tertinggi (23,3%) dalam LT_{50} 9,3 hari, diikuti dosis 2,5 mL (20%, 9,8 hari) dan 2 mL (15%, 10,7 hari).	Bakteri yang digunakan hanya bakteri isolasi sendiri dan serangga targetnya berbeda

Tabel 2.1. Lanjutan

Author	Judul	Metode	Hasil	Gap Penelitian
Suhartono Suhartono, Yekki Yasmin, Nur Azizah (2022)	Biopotensi Bakteri Entomopatogen Isolat Lokal sebagai Pengendali Hayati Larva *Helicoverpa armigera*	Larva yang diperoleh dari pasar dipelihara dengan pakan biji jagung hingga mencapai fase pupa dan imago. Imago dipindahkan dan diberi madu 10% untuk bertelur, lalu larva instar 1 yang menetas dipelihara hingga instar 3 untuk uji toksisitas. Uji dilakukan dengan metode pencelupan, yaitu biji jagung direndam dalam kultur *B. thuringiensis* selama 10 menit, dikering-anginkan, dan diletakkan di cawan petri beralas kertas saring bersama 4 larva uji (4 ulangan). Kontrol menggunakan biji yang direndam NB. Pakan diganti setiap hari dan kelangsungan hidup larva diamati selama 12 hari.	Semua isolat bakteri ini menyebabkan kematian >50% larva, dengan ciri umum larva berwarna hitam, lunak, dan berbau. Namun, satu isolat menunjukkan ciri berbeda yaitu warna kemerahan.	Bakteri yang digunakan hanya isolasi sendiri dari serangga yang sakit atau mati, namun bakteri ini belum teridentifikasi jenisnya hanya dari morfologi.

Tabel 2.1. Lanjutan

Author	Judul	Metode	Hasil	Gap Penelitian
Satriono, Intan Zahar (2022)	Perbandingan Efektivitas *Bacillus thuringiensis* dengan Teknologi Ozon dalam Pengendalian Hama *Spodoptera litura* pada Daun Cabai (*Capsicum annum*)	Larva dipelihara hingga menjadi pupa, imago, dan bertelur, kemudian larva hasil penetasan digunakan untuk uji. Uji toksisitas pertama dilakukan dengan injeksi ozon selama 5, 10, dan 15 menit setiap hari. Uji kedua dilakukan dengan menyemprotkan *B. thuringiensis* pada serangga uji menggunakan kepadatan spora 10^8, 10^9, dan 10^{10}, yang berasal dari campuran 10, 20, dan 30 gram kultur dalam 1 liter air, dikocok pada 175 rpm selama 20 menit.	*B. thuringiensis* efektif mengendalikan *S. litura* dengan kematian hama terjadi pada 1 HSA, sedangkan ozon baru menunjukkan kematian pada 3 HSA. Penggunaan *B. thuringiensis* lebih efektif mengurangi jumlah ulat *S. litura* dibandingkan ozon. Pada HSA ke-4, *B. thuringiensis* mencapai 0% ulat hidup, sementara ozon masih memiliki 20% ulat yang tersisa hingga HSA ke-10.	Bakteri yang digunakan hanyalah bakteri komersial dan dengan serangga target yang berbeda

Tabel 2.1. Lanjutan

Author	Judul	Metode	Hasil	Gap Penelitian
Syamsul Bahri, Lalu Zulkifli, Dewa Ayu Citra Rasmi, Prapti Sedijani (2021)	Isolation, Purification, and Toxicity Test of *Bacillus thuringiensis* from Cows Cage Soil Againts *Drosophila melanogaster*	Sampel diambil dari tanah kandang sapi, kemudian dilakukan identifikasi, isolasi, purifikasi, serta pengecatan Gram dan spora di laboratorium. Bt yang telah tersporulasi dicampur homogen dengan medium lalat buah (bubur pisang, gula merah, agar, dan ragi), lalu dimasukkan ke dalam botol uji berisi 20 imago untuk mengamati tingkat mortalitasnya.	Hasil uji toksisitas isolat *B. thuringiensis* murni yang dicampurkan pada media lalat buah pada semua konsentrasi tidak menunjukkan efek toksik pada imago *Drosophila melanogaster* hingga hari ke 15 pengamatan. Hal ini terjadi karena serangga ini bukan termasuk target dari isolat *B. thuringiensis*	Gap research pada jurnal ini adalah bahwa yang digunakan bukanlah *Helicoverpa armigera* dan juga di sini hanya digunakan Bt hasil isolasi sendiri

Tabel 2.1. Lanjutan

Author	Judul	Metode	Hasil	Gap Penelitian
Bruno V. Daquila, Fabio C. A. Dossi, Dieison A. Moi, Daiani R Moreira, Ronaldo R. T. Caleffe, Joao A. Pamphile, Helio Conte (2020)	Bioactivity of *Bacillus thuringiensis* on *Diatraea saccharalis* (*Lepidoptera*: Crambidae) eggs	Telur serangga *Diatraea saccharalis* disediakan oleh Laboratorium Pengendalian Biologi, State University of Maringa, Parana, Brazil. Enam konsentrasi larutan diuji tingkat toksisitasnya dengan cara mengencerkan larutan, lalu mencelupkan gelas kaca yang berisi telur ke dalam masing-masing konsentrasi selama 30 detik. Setelah dicelup, gelas kaca tersebut disimpan di dalam cawan petri untuk diamati selama 24 jam. Selanjutnya, jumlah telur yang tidak menetas dihitung setelah 144 jam untuk mengetahui efektivitas masing-masing konsentrasi terhadap daya hidup telur.	Bt mempengaruhi perkembangan embrionik dan kelangsungan hidup telur yang diberi perlakuan. Bt dapat berfungsi sebagai model untuk mempelajari efek Bt pada telur serangga dan digunakan sebagai alat untuk pengelolaan hama terpadu.	Pada penelitian ini yang digunakan adalah telur dan bukan dalam masa larva, lalu serangga yang digunakan juga berbeda

Tabel 2.1. Lanjutan

Author	Judul	Metode	Hasil	Gap Penelitian
Angelica Plata-Rueda, Hughes Antonio Quintero, José Eduardo Serrão and Luis Carlos Martínez (2020)	Insecticidal Activity of *Bacillus thuringiensis* Strain on the Nettle Caterpillar, *Euprosterna elaeasa* (*Lepidoptera*: Limacodidae)	Serangga dikumpulkan dari lapangan dan dipelihara hingga menghasilkan telur yang menetas menjadi larva instar 3, yang kemudian digunakan untuk uji. Uji toksisitas dilakukan menggunakan *Bacillus thuringiensis* (Bt) komersial dari beberapa strain yang telah diencerkan, lalu diberikan secara oral melalui daun kelapa sawit. Uji lapangan dalam kondisi terkontrol dilakukan dengan menempatkan 50 larva pada tanaman yang diisolasi menggunakan perangkap nilon, kemudian diaplikasikan 100 mL larutan Bt menggunakan pompa manual. Jumlah larva yang mati diamati dan dicatat selama 15 hari.	Empat strain Bt efektif kendalikan *E. elaeasa*: insektisida, kurangi kelangsungan hidup & makan serangga. Potensial atasi populasi & kerusakan pohon kelapa sawit serta jamur *Pestalotiopsis*.	Menggunakan Bt komersial saja dengan serangga yang berbeda dan juga diaplikasikan ke tanaman kelapa sawit

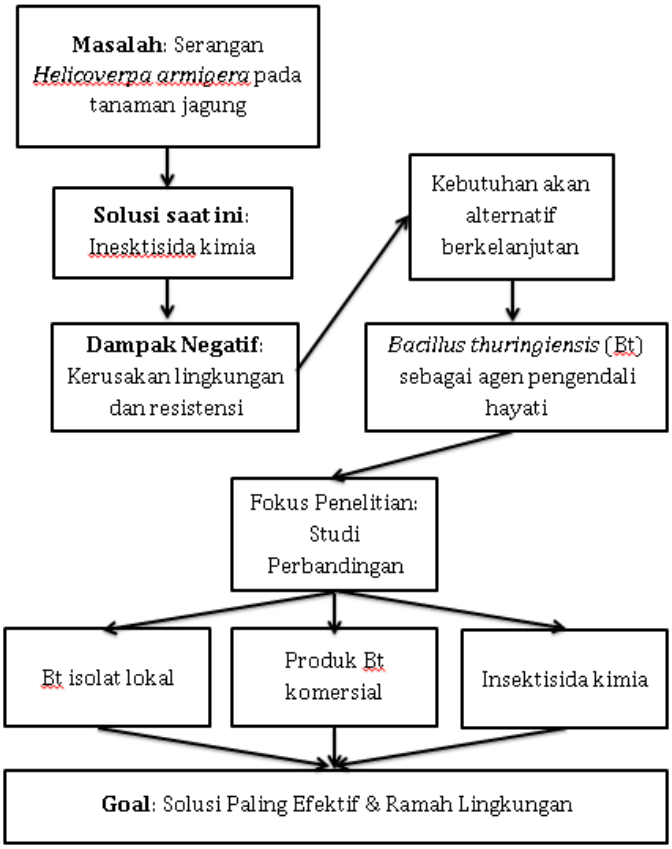
Tabel 2.1. Lanjutan

Author	Judul	Metode	Hasil	Gap Penelitian
Jocelyn L. Smith, Yasmine Farhan and Arthur W. Schaafsma (2019)	Practical Resistance of *Ostrinia nubilalis* (*Lepidoptera*: Crambidae) to Cry1F *Bacillus thuringiensis* maize discovered in Nova Scotia, Canada	Uji toksisitas dilakukan dengan memberi 1 mL pakan berisi Cry1F atau kontrol ke tiap larva, diamati selama 7 hari untuk mortalitas dan pertambahan berat, dan diulang tiga kali. Uji lanjutan menggunakan daun jagung hasil ekspresi Cry1F dari rumah kaca untuk larva neonatus, dengan pengamatan kelangsungan hidup dan defoliasi secara berkala..	Lebih dari 80% larva NS UXI dan non-UXI bertahan hidup setelah 7 hari pada konsentrasi 200 ng Cry1F/cm^2. Sementara itu, kematian 100% terjadi pada koleksi Delaware, ON pada konsentrasi 30 ng/cm^2 dan koleksi Winger, ON pada 25 ng/cm^2. Kelangsungan hidup larva *Ostrinia nubilalis* dipengaruhi oleh jenis perlakuan, lokasi koleksi, dan hari setelah infeksi (DAI), dengan hasil signifikan ($F_{12,2330}$ = 11,31; p < 0,0001). Pada 2–3 DAI, kelangsungan hidup larva koleksi UXI mencapai 66–84% dengan Cry1F dan 37–72% dengan Cry1Ab, sedangkan pada 4–5 DAI persentasenya menurun.	Penelitian ini menggunakan serangga yang berbeda dan juga menggunakan Bt yang khusus

Tabel 2.1. Lanjutan

Author	Judul	Metode	Hasil	Gap Penelitian
Monaliza Sekar Rini, Rully Rahadian, Mochammad Hadi, Deni Zulfiana (2018)	Uji Efikasi Beberapa Isolat Bakteri Entomopatogen terhadap Kecoa (*Orthoptera*) *Periplaneta americana* (L.) dan *Blatella germanica* (L.) dalam Skala Laboratorium	Uji efikasi metode semprot dilakukan dengan menyemprotkan 5 mL kultur bakteri secara merata ke tubuh masing-masing imago kecoa, lalu dimasukkan ke dalam toples berisi lima ekor dengan pakan pelet dan air minum. Pada metode umpan, bakteri dicampur dalam media semi-solid (agar, gula, NB, atau akuades), dikocok, dituangkan ke cawan petri, dan diinkubasi 48 jam. Imago kecoa dilaparkan selama 7 hari, lalu dimasukkan ke toples (5 ekor/toples) dan diberi roti yang telah dioles media semi-solid, kemudian diamati hasilnya.	Pada metode semprot, isolat bakteri SP4 menunjukkan mortalitas kecoa tertinggi, disusul SP3 dan Bt. Pada metode umpan, Bt memberikan pengaruh tertinggi. Secara keseluruhan, uji kurang efektif karena kecoa bukan serangga target.	Pada penelitian ini digunakan serangga seperti kecoa dari famili *Blattidae* dan juga menggunakan isolat bakteri yang hanya diperoleh dari koleksi institusi (komersial)

I. Kerangka Berpikir



Gambar 2.5. Bagan Alir Kerangka Berpikir

J. Hipotesis

Rumusan hipotesis pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

H1=*Bacillus thuringiensis* isolat lokal BT-RG01 memiliki efektivitas yang signifikan dalam meningkatkan mortalitas larva *Helicoverpa armigera* pada tanaman jagung dibandingkan dengan Bt komersial dan insektisida kimia.

H0=Tidak terdapat perbedaan efektivitas yang signifikan antara *Bacillus thuringiensis* isolat lokal BT-RG01, Bt komersial, dan insektisida kimia dalam memengaruhi mortalitas larva *Helicoverpa armigera* pada tanaman jagung.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi, *Integrated Laboratory* yang berada di Kampus 3 Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang. Kurun waktu penelitian ini dilakukan dari bulan Januari sampai dengan bulan Juli 2024. Sampel tanah dan serangga uji diambil dari kebun jagung yang ada di Daerah Beringin Gondoriyo, Kecamatan Ngaliyan, Kota Semarang. Hal ini sesuai dengan acuan bahwa pada tanah di sekitar akar tanaman jagung terdapat bakteri *Bacillus thuringiensis* (Christian Prasgi & Avilla Jessica Puspitasari, 2022) dan pada kebun jagung terdapat serangga hama *Helicoverpa armigera* (Kleden et al., 2021).

B. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah botol kecil, wadah plastik dengan beberapa ukuran, cawan petri (OneLab), jarum ose (USBECK.5460), gelas beker (HARIO), tabung reaksi (HERMA), erlenmeyer (PYREX Narrow-Mouth), gelas

pengaduk, mikropipet (BIO-RAD), pipet ukur (Pipette PUMP), timbangan digital (Fujitsu FSR-B), *vortex* (SOJIKYO SVM300S), *waterbath* (Stuart Swb24), inkubator (Memmert), ruang pendingin/kulkas, autoklaf (OneMed), mikroskop (Euromex), gelas objek (OneMed), pipet tetes (OneMed) dan pembakar spiritus.

Bahan yang digunakan antara lain akuades, cairan hipoklorat 5% (Bayclin), etanol 90%, media NA, larutan LB, *chrystal violet*, *lugol's iodine*, etanol 90%, *safranin*, *malachite green*, *Bacillus thuringiensis* komersial (B-TOX), dan Insektisida Kimia (Sidamethrin).

C. Rancangan Penelitan

Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan rancangan acak kelompok (Hadiyani *et al*, 2003), terdiri dari empat perlakuan dan juga dengan 5 ulangan, yaitu:

1. Pengaplikasian dengan menggunakan *Bacillus thuringiensis* isolat BT-RG01 dengan konsentrasi 1% (1mL spora Bt dicampur dengan 100mL akuades)
2. Pengaplikasian dengan menggunakan *Bacillus thuringiensis* komersial (B-TOX) dengan

konsentrasi 1% (1gr B-TOX dicampur dengan 100mL akuades)

3. Pengaplikasian dengan menggunakan insektisida kimia merk Sidamethrin sesuai takaran pada label (2mL Sidamethrin dicampur dengan 1000mL akuades)
4. Pengaplikasian dengan menggunakan akuades sebagai kontrol.

D. Metode Penelitian

1. Sterilisasi

   Alat-alat yang akan digunakan dalam penelitian seperti gelas beker, cawan petri, erlenmeyer, tabung reaksi, jarum ose, gelas ukur, batang pengaduk, dan spatula di sterilisasi menggunakan *autoclave*. Media untuk inokulasi pertumbuhan juga di sterilasi menggunakan *autoclave*. Suhu optimum untuk sterilisasi alat dan media yaitu 121°C selama 15 menit (Istini, 2020).

2. Pengambilan Sampel Tanah dan Sampel Serangga

   Sampel tanah yang akan diisolasi diambil dari tanah di kebun jagung daerah Beringin Gondoriyo (Gambar 3.1). Tanah digali sedalam 20 cm lalu diambil sebanyak 100 gr menggunakan spatula

steril yang sudah diautoklaf dan dimasukkan ke dalam botol plastik lalu diberi label tanggal dan lokasi pengambilan sampel tanah dan dimasukkan ke dalam *ice box*. Dibawa ke laboratorium dan sebelum digunakan untuk isolasi dan pemurnian sampel tanah disimpan dalam ruangan dingin yang bersuhu 4˚C (Bahri *et al*, 2021).



Gambar 3.1. Peta pengambilan sampel tanah dan serangga
(koordinat: 6°59'48"S 110°19'18"E)
(Sumber: Google Earth, 2025).

Sampel serangga diambil dari kebun jagung yang berada di daerah Beringin Gondoriyo,

Semarang (Gambar 3.1). Metode pengambilan sampel serangga adalah *hand sorting* (Suin, 2003) yaitu memilah-milah larva serangga yang ada di daerah tersebut secara langsung menggunakan tangan kosong yang disesuaikan dengan karakteristik serangga *Helicoverpa armigera* dan diambil larva pada instar 4 sampai 6. Pengambilan sampel juga dilakukan dengan teknik *random sampling* yang mana sampel diambil secara acak pada daerah tertentu. Setelah larva serangga didapatkan maka dimasukkan ke dalam wadah plastik berbentuk persegi bervolume 1L dan dibawa ke Laboratorium UIN Walisongo untuk dilakukan pemeliharaan.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Queiroz-Santos *et al*., 2018 *Helicoverpa armigera* memiliki dua pola warna yang berbeda pada tahap larva. Pola pertama didominasi warna cokelat dengan garis-garis sempit cokelat tua di bagian punggung yang berselang-seling dengan garis kuning muda berukuran serupa. Bagian samping tubuh berwarna cokelat tua yang berpadu dengan kuning tua, sedangkan area di sekitar spirakel berwarna kuning muda dengan sedikit bayangan

cokelat. Bagian bawah tubuh berwarna putih krem, kaki dada dan kaki perut berwarna hijau muda, dan benjolan (*chalazae*) berwarna cokelat tua dengan rambut abu-abu lurus tak bercabang. Pola kedua didominasi warna hijau muda dengan bintik-bintik putih kecil (*spicules*). Bagian punggung memiliki garis putih sempit yang dibatasi bintik hijau lumut, sedangkan area supraspirakular berwarna hijau tua dengan bagian tengah tubuh lebih muda. Area spirakel berwarna hijau muda, diapit pita putih krem di bagian atas dan bawahnya; benjolan berwarna hitam pada beberapa bagian tubuh, sedangkan lainnya berwarna putih; kaki dada dan kaki perut berwarna hijau muda.

3. Pembiakkan dan Isolasi

Habitat alami dari bakteri *Bacillus thuringiensis* adalah pada tanah. Perlakuan pertama adalah dengan cara menimbang sampel tanah sebanyak 1gr kemudian dicampur dengan 9ml akuades dan di*vortex* hingga homogen. Lalu dipanaskan dalam *waterbath* pada suhu 80˚C selama 5 menit. Selanjutnya dibuat pengenceran dengan konsentrasi 10^{-1} – 10^{-5}. Lalu dilanjutkan

dengan cara menginokulasi bakteri dari seri pengenceran ke dalam media agar NA. diinokulasikan dengan menggunakan teknik *pour plate* dan diinkubasi selama satu hari dengan suhu 30˚C. Jika dirasa koloni yang didapatkan masih sangat padat dan menumpuk maka perlu dikultur untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

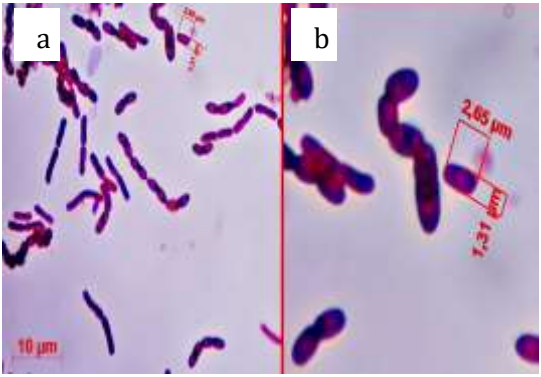
Untuk memastikan itu *Bacillus thuringiensis*, diambil beberapa koloni yang terpisah pada media NA dan dimasukkan ke dalam media Luria Bertani yang merupakan media selektif untuk menumbuhkan bakteri Bt, selanjutnya diinkubasi selama 1 hari. Terlihat hasil koloni berada di dasar tabung lalu panaskan pada suhu 80˚C selama 5 menit lalu di *vortex* agar homogen. Setelah itu dilakukan pemurnian dengan cara ditumbuhkan dengan metode *streak plate* ke media NA yang ditambah dengan media Luria Bertani lalu inkubasi selama 1 hari untuk dapat melihat koloni yang tumbuh. Setiap koloni hasil pemurnian diidentifikasi untuk menentukan koloni yang diduga sebagai *Bacillus thuringiensis*

Koloni yang diduga Bt dipindahkan ke media Luria Bertani baru dan diinkubasi selama 4 hari

untuk menginduksi sporulasi. Spora yang terbentuk di dasar tabung digunakan sebagai formulasi uji aktivitas bakteri *Bacillus thuringiensis* terhadap serangga *Helicoverpa armigera* dengan cara mencampurkan 1mL spora bakteri Bt dengan 100mL akuades.

4. Identifikasi dan Karakterisasi *Bacillus thuringiensis*

   Koloni dari bakteri Bt memiliki ciri-ciri yaitu berbentuk circular berwarna putih kekuningan, kenampakan dari koloni mengkilap dan sedikit kasar. Bakteri Bt ini termasuk ke dalam bakteri gram positif dengan menunjukkan warna keunguan dan berbentuk basil (Gambar 3.2a). Selain itu untuk menandakan bahwa bakteri ini tepat sasaran yaitu Bt jika diamati di bawah mikroskop dengan pewarnaan yang sesuai maka akan terlihat spora di dalam bakteri (Gambar 3.2b) dengan letak subterminal.

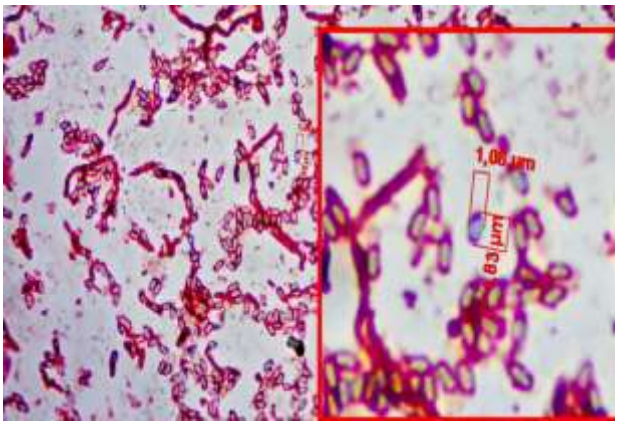


Gambar 3.2. (a) Sel bakteri Bt dengan bentuk basil dan warna keunguan, dan (b) Spora di dalam bakteri Bt (endospora).
(Sumber: Bahri *et al*, 2021).

Isolat yang diduga adalah Bt dipilih lalu dilakukan pengulasan pada gelas objek dan difiksasi dengan cara dilewatkan di atas pembakar spiritus. Hal pertama yang dilakukan adalah ulasan ditetesi dengan Gram A (*chrystal violet*) selama 60 detik dan dicuci menggunakan akuades kemudian dikering anginkan, kemudian ditetesi dengan Gram B (*lugol's iodine*) selama 1 menit dan dicuci dengan akuades dan dikering anginkan, selanjutnya ditetesi dengan Gram C (*ethanol* 96%) sampai tetesan berwarna jernih dan dicuci menggunakan akuades kemudian dikering anginkan. Terakhir ulasan ditetesi Gram D

(*safranin*) selama 45 detik dan dicuci menggunakan akuades mengalir kemudian dikering anginkan (Bria et al., 2022). Lalu ulasan diamati menggunakan mikroskop. Bakteri Bt merupakan bakteri Gram positif yang ditandai dengan adanya warna sel yang berwarna ungu, bentuk sel batang dan endospora berbentuk oval.

Selain pengecatan gram, pengecatan spora juga dilakukan untuk melihat adanya spora pada bakteri Bt. Spora akan terlihat berwarna hijau dengan larutan *malachite green* (Gambar 3.3) dikarenakan pewarna ini mampu menembus dinding spora bakteri. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Rabinovitch *et al*., (2017), Spora Bt umumnya berbentuk silindris dan terletak di bagian tengah hingga *paracentral* dalam sel induk. Bt merupakan bakteri Gram-positif berbentuk batang (*rod-shaped*) dengan ukuran sel vegetatif lebar 1,0–1,2 μm dan panjang 3,0–5,0 μm, bersifat aerob dan biasanya motil dengan flagela peritrikus yang jumlahnya tidak banyak.



Gambar 3.3. Hasil pengecatan spora dengan *malachite green*.
(Sumber: Bahri *et al*, 2021).

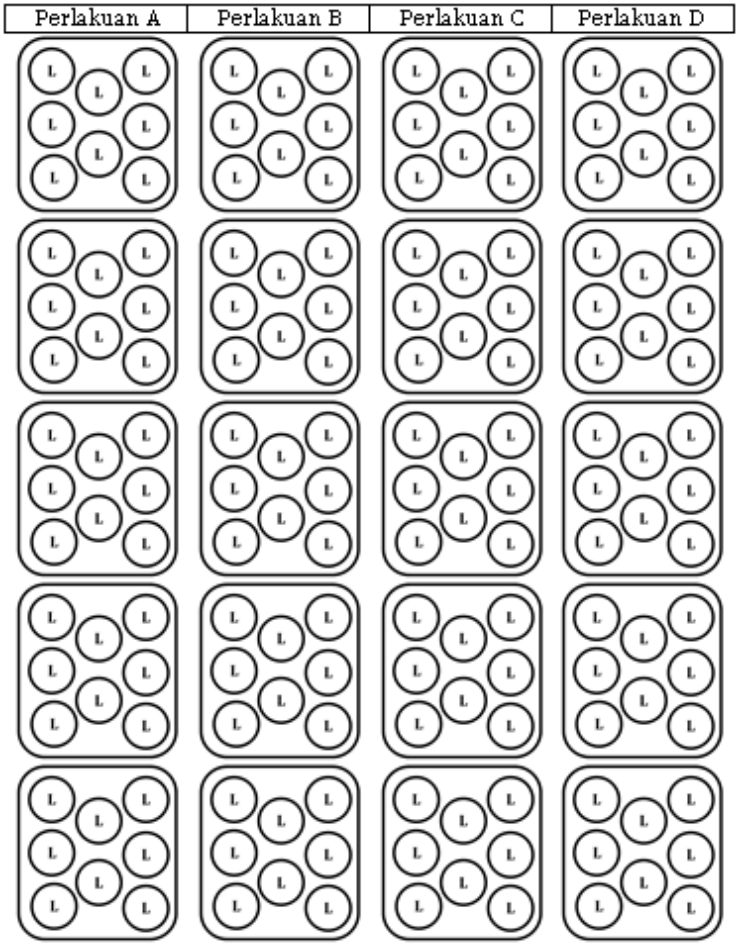
5. Pemeliharaan Serangga *Helicoverpa armigera*

Larva yang didapatkan dari kebun jagung di daerah Beringin Gondoriyo, Ngaliyan, Semarang diletakkan ke dalam wadah plastik tertutup bervolume 1L berisi serbuk gergaji (Jani et al., 2023). Diberi pakan berupa biji jagung yang diganti setiap harinya hingga menjadi pupa. Selanjutnya pupa dipelihara dan dipindahkan ke wadah toples tertutup dengan tinggi 25cm dan lebar 20cm hingga menjadi imago (serangga dewasa). Imago diberi pakan madu 10% hingga bertelur dan telur ditunggu hingga menetas

menjadi larva instar satu. Lalu larva instar 1 masing-masing dipindahkan ke dalam wadah plastik tertutup bervolume 200mL dan ditunggu hingga larva menjadi instar tiga sebagai serangga uji pada skala laboratorium (Suhartono *et al*, 2022). Untuk uji lapangan semi-terkendali larva dipelihara hingga menjadi pupa.

6. Uji Aktivitas Insektisida

   Masing-masing serangga uji (larva instar 3) diletakkan pada wadah plastik bening tertutup bervolume 25mL. Lalu masing-masing wadah berisi serangga uji (larva instar 3) dimasukkan lagi ke dalam wadah plastik bening yang terbuka dengan volume 1L (Gambar 3.4). Wadah untuk uji harus sudah disesuaikan dengan tempat hidup larva seperti di lingkungannya. Setiap wadah bervolume 1L terdapat 8 serangga uji (larva instar 3).



Gambar 3.4. Skema wadah uji larva instar 3 terhadap masing-masing perlakuan.

Pengaplikasian dilakukan dengan cara menyemprotkan formulasi *B. thuringiensis* isolat lokal (1mL spora dan 100mL akuades), *B.*

thuringiensis komersial (1gr B-TOX dan 100mL akuades) dan juga insektisida kimia (2mL Sidamethrin dan 1L akuades). Penyemprotan dilakukan ke dalam wadah yang berisi jagung dan juga larva *H. armigera* ini. Masing-masing perlakuan dilakukan 5 kali ulangan.

7. Aplikasi di Lapangan Semi-Terkendali

Uji *bioassay* dilakukan di rumah kaca atau *green house*. Hal pertama yang dilakukan adalah menanam tanaman jagung dari biji (tanpa merk) yang dibeli di *market place* sampai berumur 3 minggu. Setiap tanaman jagung yang sudah berumur 3 minggu diletakkan sepasang pupa jantan dan betina yang sebelumnya dipelihara dari larva instar 1, lalu diisolasi dengan perangkap nilon. Perlakuan dapat diaplikasikan ketika pupa sudah berubah menjadi serangga dewasa atau ngengat.

Perlakuan terdiri dari Bt isolat BT-RG01, Bt komersial dan juga insektisida kimia serta tanpa perlakuan untuk kontrol dengan masing-masing empat ulangan. Aplikasi dilakukan sebanyak 100ml per tanaman jagung dan disemprotkan ke bagian daun paling atas menggunakan pompa

manual. Setelah hari ke-7 diamati dan dicatat apa yang terjadi pada ngengat yang mati, lingkungan sekitar tempat pengaplikasian dan serangga non-target yang hadir.

8. Perhitungan Rumus Total Kematian Larva

   Persentase mortalitas larva digunakan untuk membandingkan hasil kematian akhir setiap perlakuan (Jani et al., 2023). Sehingga rumusnya menjadi:

   $$P = \frac{a}{a+b} \times 100\%$$

   Keterangan :

   P : Persentase mortalitas larva

   a : Jumlah larva yang mati

   b : Jumlah larva yang hidup

9. Perubahan yang Terjadi Setelah dipaparkan

   Diamati perubahan warna tubuh, bentuk tubuh, bau yang dikeluarkan, dan tingkat keaktifan pada setiap larva dengan masing-masing perlakuan *B. thuringiensis* isolat lokal BT-RG01, komersial dan juga dengan insektisida kimia.

10. Waktu Kematian

    Diamati waktu kematian pada larva *H. armigera* setelah pengaplikasian dengan masing-masing perlakuan.

11. Analisis Data

    Data perbandingan pengaruh *Bacillus thuringiensis* isolat lokal BT-RG01, komersial dan insektisida kimia terhadap Persentase Mortalitas ulat *Helicoverpa armigera* pada pengaplikasian di laboratorium menggunakan analisis varians (ANOVA) jika asumsi terpenuhi seperti data yang homogen, namun tidak tepat jika asumsi homogenitas ini tidak ada. Uji Kruskal-Wallis dapat diterapkan pada analisis jika terdapat data yang tidak homogen (H. Liu, 2015). Dilanjutkan dengan uji lanjutan Post-Hoc (Dinno, 2015).

    Pengaplikasian di lapangan semi-terkendali diamati secara kualitatif seperti bentuk ngengat yang mati pada tiap perlakuan, keadaan dan kondisi lingkungan tiap perlakuan, kehadiran serangga non-target pada tiap perlakuan dan terakhir perubahan pH tanah yang terjadi pada tiap perlakuan setelah aplikasi.

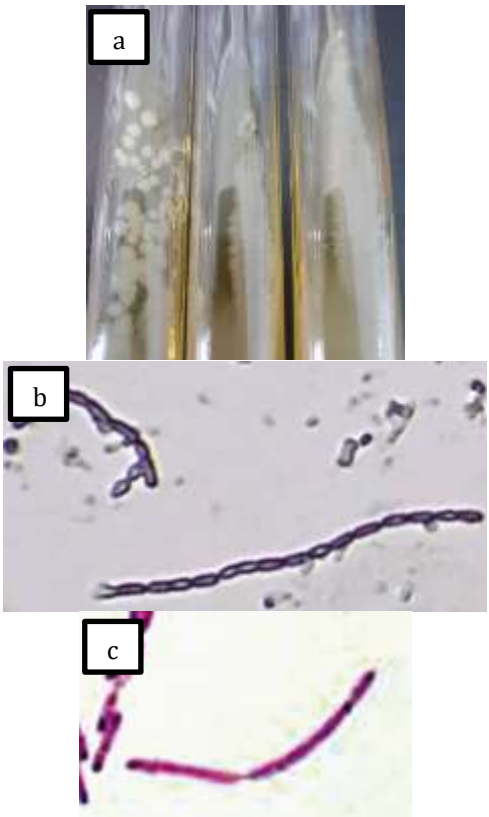
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Deskripsi Hasil Penelitian

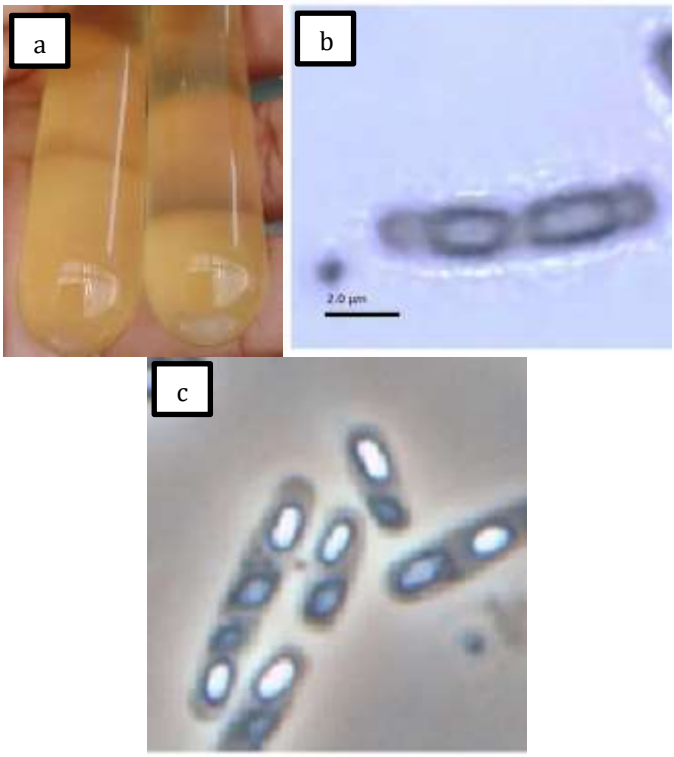
1. Isolasi dan Karakterisasi Bakteri *Bacillus thuringiensis*

Sampel tanah dikoleksi dari kebun jagung di daerah Beringin, Ngaliyan, Semarang, khususnya dari bagian tanah sekitar akar (*rhizosphere*). Tanah digali sedalam 10 cm dan diambil 20 g, lalu diencerkan berseri hingga 10^{-5}. Suspensi tanah kemudian dipanaskan pada 80°C untuk mengeliminasi bakteri non-Bt. Hasil isolasi pada media *Nutrient Agar* menunjukkan beberapa koloni dengan morfologi berbeda. Dari pengamatan, diperoleh tiga koloni yang memiliki perbedaan warna dan bentuk (**Gambar 4.1a**). Ketiganya kemudian dimurnikan pada media selektif Luria Bertani Broth + NA. Setelah pemurnian, dilakukan pewarnaan Gram dan ditemukan satu koloni dengan morfologi sesuai *Bacillus thuringiensis* (**Gambar 4.1b**).



Gambar 4.1. (a) Hasil pemurnian dari tiga koloni yang berbeda, (b) bakteri dengan morfologi sama seperti *Bacillus thuringiensis* perbesaran 400x, (c) perbandingan morfologi sel Bt perbesaran 1000x dari jurnal (Mehrabi et al., 2015)
(Sumber (a) dan (b): Dokumentasi Penelitian, 2024).

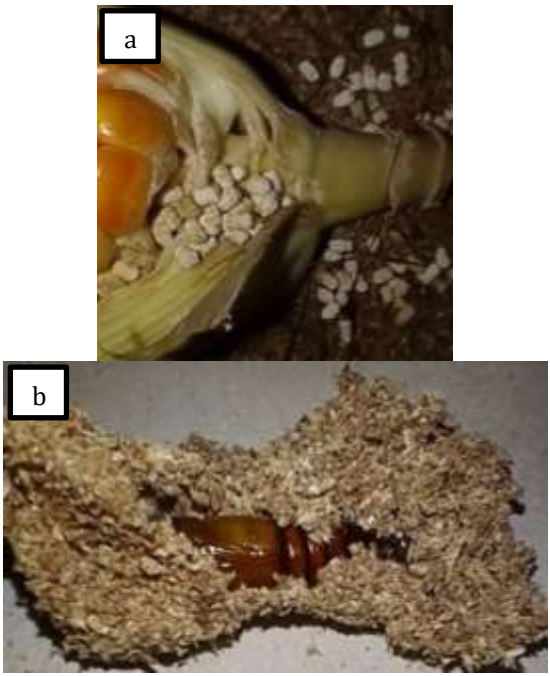
Koloni ini selanjutnya diperbanyak dalam media Luria Bertani untuk menginduksi sporulasi. Setelah 4 hari terbentuk endapan putih pada dasar tabung yang mengandung spora Bt (**Gambar 4.2a**). Spora tersebut kemudian diformulasikan sebagai isolat BT-RG01. Hasil uji morfologi menunjukkan sel Bt berwarna ungu/biru pada pewarnaan Gram, menandakan Gram positif. Pewarnaan endospora dengan malachite green menghasilkan endospora berwarna hijau yang terlihat jelas di bawah mikroskop (**Gambar 4.2b**).



Gambar 4.2. (a) Spora dari *Bacillus thuringiensis* yang mengendap di dasar tabung reaksi, (b) Endospora *Bacillus thuringiensis* perbesaran 400x, (c) Perbandingan endospora Bt perbesaran 1000x dari jurnal (X. Liu *et al*., 2015)
(Sumber (a) dan (b): Dokumentasi Penelitian, 2024).

2. Pemeliharaan Larva Serangga Penggerek Tongkol Jagung (*Helicoverpa armigera*)

Pada penelitian ini, pengambilan larva dilakukan di kebun jagung yang terletak di daerah Gondoriyo Beringin, Ngaliyan, Semarang. Larva dikoleksi dengan mencari tongkol jagung yang rusak akibat serangan larva, ditandai dengan adanya lubang bekas gigitan dan serbuk kotoran (**Gambar 4.3a**), serta rambut jagung yang mudah lepas (Kleden *et al*., 2021). Larva yang diperoleh ditempatkan dalam wadah plastik tertutup bervolume 1 L dengan alas serbuk kayu secara satu persatu demi menghindari kanibalisme (Widajati *et al*., 2020). Larva diberi pakan butir jagung yang diganti setiap hari (Suhartono *et al*., 2022). Pada tahap akhir, larva menggali ke serbuk kayu untuk membentuk pupa (**Gambar 4.3b**), sesuai teori bahwa pupa biasanya terbentuk di dalam tanah pada kedalaman 2–17 cm (Rahmayuni, 2014).

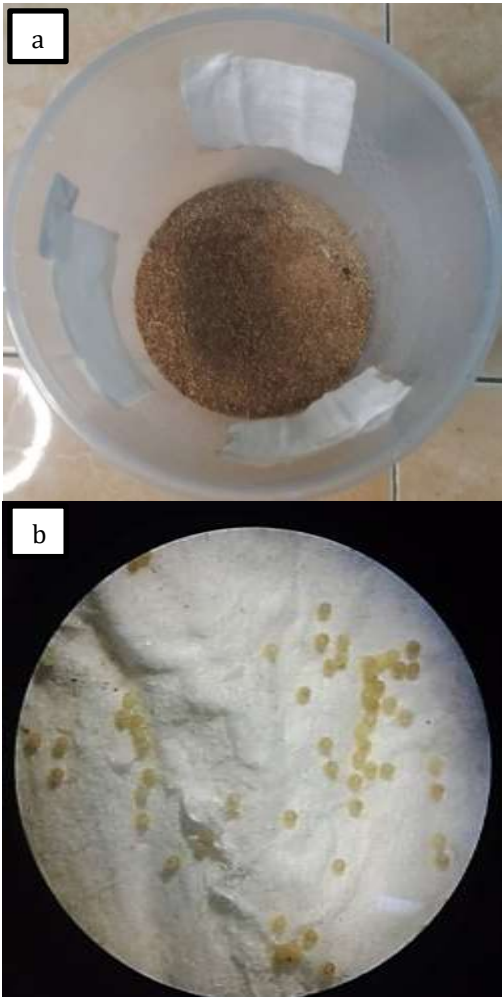


Gambar 4.3. (a) Kotoran *Helicoverpa armigera* pada tongkol jagung, (b) Pupa terbentuk di dalam serbuk kayu dan terbalut selaput

(Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2024).

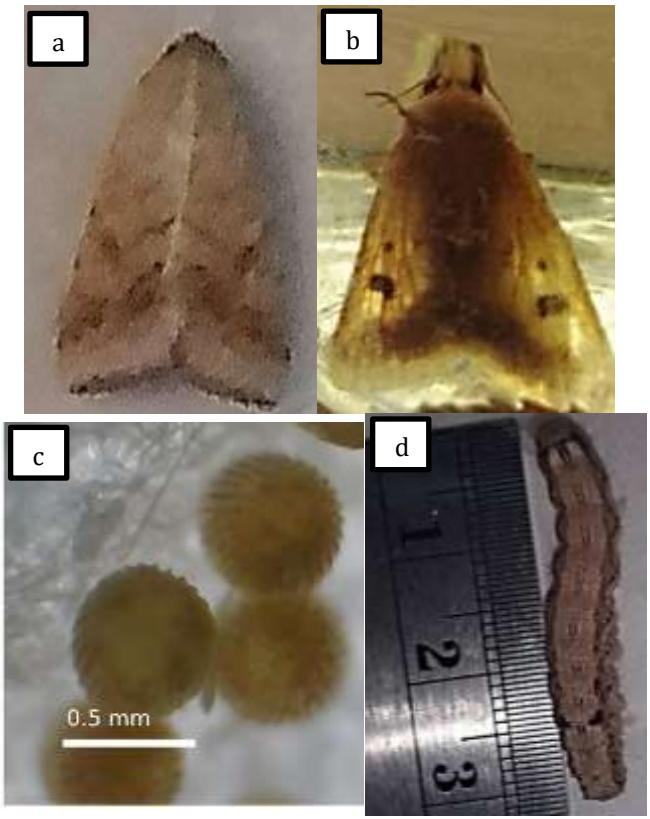
Larva yang telah menjadi pupa kemudian dipindahkan ke toples plastik berlubang berdiameter 20 cm dan tinggi 25 cm (**Gambar 4.4a**). Dinding wadah dilapisi kain kasa sebagai tempat hinggap sekaligus meletakkan telur (**Gambar 4.4b**) (Gulzar *et al*., 2017). Pupa yang menetas menjadi ngengat diberi pakan larutan madu 10% pada kapas (Krishanti *et al*.,

2017). Ngengat dibiarkan berkembang biak di dalam toples plastik hingga menghasilkan telur dan menetas. Selanjutnya telur yang sudah menetas menjadi larva instar satu diambil dan dipelihara masing-masing ke dalam wadah plastik tertutup berukuran 250mL, diberi pakan butir jagung hingga menjadi larva instar 3, yaitu fase dengan keaktifan makan yang tertinggi (Meytiana *et al*., 2017). Larva pada instar 3 adalah larva yang siap digunakan untuk uji perlakuan dengan *B. thuringiensis* isolat BT-RG01, B-TOX, dan insektisida kimia.



Gambar 4.4. (a) Wadah pemeliharaan ngengat, (b) telur *Helicoverpa armigera* pada kain kasa menggunakan mikroskop stereo
(Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2024)

Ngengat dewasa *H. armigera* memiliki lebar sayap ±40 mm (Bueno *et al*., 2014) dengan warna abu-abu zaitun hingga coklat kemerahan (**Gambar 4.5a**) (Aman *et al*., 2022). Jantan berwarna coklat cerah dengan tanda bulat hitam pada sayap depan (**Gambar 4.5b**), sedangkan betina tidak memilikinya (Rahmayuni, 2014). Masa hidup ngengat ±12 hari dan betina mampu bertelur hingga ±250 butir (Riaz *et al*., 2021). Telur berdiameter ±0,5 mm berbentuk bulat dan berwarna putih kekuningan (**Gambar 4.5c**), berubah menjadi kuning tua hingga berbintik hitam saat menetas (Setiawati, 2018). Fase telur berlangsung 2–4 hari. Larva bervariasi warnanya (hijau, coklat kemerahan, kehitaman) (Sharma, 2005), berbentuk silinder, sedikit berbulu, dan memiliki garis pucat pada sisi tubuh (Kleden *et al*., 2021). Panjang maksimal ±30 mm (**Gambar 4.5d**), lebar kepala 3 mm (Harnowo *et al*., 2015), dengan masa hidup ±13,5 hari.



Gambar 4.5. (a) *Helicoverpa armigera* pada fase dewasa, (b) tanda berbentuk bulat hitam pada ngengat jantan, (c) Telur *Helicoverpa armigera* perbesaran 10x, (d) Panjang maksimal larva *H. armigera*

(Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2024).

Tahap pre-pupa ditandai berkurangnya aktivitas makan, tubuh lebih pendek dan lemah, lalu

larva masuk ke dalam tanah 5–15 cm untuk membentuk pupa. Fase pre-pupa berlangsung 2–4 hari (Sharma, 2005; Sudarmo, 1987). Pupa awalnya berwarna putih kekuningan (**Gambar 4.6**), lalu hijau, dan akhirnya coklat gelap (Setiawati, 2018), dengan lama fase ±11 hari. Siklus hidup *H. armigera* bervariasi, pada suhu 25°C berlangsung 25–30 hari, sedangkan pada suhu dingin 55–70 hari. Di iklim tropis dapat mencapai 11 generasi per tahun, sementara di Amerika Utara hanya 2 generasi dan di Kanada 1 generasi. Suhu yang hangat mempercepat perkembangan, sedangkan suhu ekstrem (15°C atau 38°C) memicu hibernasi atau aestivasi (Kurnia et al., 2020).



Gambar 4.6. Warna pupa pada tahap awal pembentukan.
(Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2024).

3. Uji Efikasi *Bacillus thuringiensis* terhadap *Helicoverpa armigera* pada Skala Laboratorium

Serangga *Helicoverpa armigera* yang digunakan untuk uji adalah pada fase larva karena pada fase ini serangga sangat rentan (Kuswardani & Maimunah, 2013) dan pada instar 3, yaitu 4 hari setelah larva menetas dari telur. Digunakan larva pada instar 3 karena pada fase instar 3 larva menunjukkan keaktifan makan yang paling tinggi dibandingkan instar lainnya (Meytiana *et al*., 2017). Pengujian larva dilakukan dengan 4 perlakuan (A sebagai kontrol, B sebagai perlakuan dengan *Bacillus thuringiensis* isolat BT-RG01, C sebagai perlakuan dengan bioinsektisida merk B-TOX dan D sebagai perlakuan dengan insektisida kimia merk sidamethrin) dengan masing-masing perlakuan terdapat 5 ulangan dan masing-masing ulangan berisi 8 larva uji. Masing-masing larva uji dipelihara di dalam wadah plastik tertutup berbentuk tabung bervolume 25mL dan setiap 8 larva uji dikelompokkan lagi ke dalam wadah plastik tertutup berbentuk persegi panjang bervolume 1L (**Gambar 4.7**).

Bioinsektisida B-TOX dipilih karena merupakan produk komersial berbasis *Bacillus*

thuringiensis yang sudah banyak digunakan, sehingga efektivitas isolat lokal (BT-RG01) bisa dibandingkan dengan produk yang sudah dikenal. Sedangkan insektisida kimia Sidamethrin dipilih karena termasuk piretroid sintetis yang umum dipakai petani, bekerja efektif, dan dapat menjadi pembanding yang tepat dengan bioinsektisida.



Gambar 4.7. Wadah uji larva skala laboratorium
(Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2024).

Pengaplikasian terhadap larva uji dilakukan dengan metode semprot lalu dilakukan pengamatan selama 7 hari (Vajri, 2022). Selama 7 hari pengamatan, pakan tetap diganti setiap hari, lalu pada hari terakhir dicatat total mortalitas larva dan diamati juga morfologi larva yang mati pada setiap perlakuan. Jumlah mortalitas larva pada setiap perlakuan dapat

dilihat pada **Tabel 4.1**, dapat dilihat kematian tertinggi terjadi pada perlakuan B, yaitu dengan menggunakan Bt isolat BT-RG01 dengan total mortalitas larva sebanyak 72.5%, disusul dengan perlakuan D sebanyak 40%, lalu Perlakuan C sebanyak 22.5% dan terakhir perlakuan A atau kontrol sebanyak 12.5%.

Tabel 4.1. Jumlah total mortalitas larva pada masing-masing perlakuan selama 7 hari.

Perlakuan	Jumlah Mortalitas Larva	Mean Rank
A. Kontrol	12.5%	5.00
B. Bt isolat BT-RG01	72.5%	17.60
C. B-TOX	22.5%	7.60
D. Insektisida kimia	40%	11.80

*__Keterangan__: Asymp.Sig. = 0.004 (berbeda nyata)

Analisis statistik pada mortalitas larva *Helicoverpa armigera* menunjukkan adanya perbedaan yang nyata antara keempat perlakuan dalam membunuh larva. Hasil perbandingan data menunjukkan bahwa perlakuan B (72.5%) adalah perlakuan yang paling efektif dengan dibandingkan dengan perlakuan yang lainnya dalam mengendalikan hama *Helicoverpa armigera*. Persentase setiap perlakuan terhadap jumlah mortalitas larva

Helicoverpa armigera menunjukkan keberagaman. Jumlah mortalitas yang tertinggi terjadi pada perlakuan B dengan total larva yang mati sebanyak 29 larva dan yang terendah ada pada perlakuan A atau kontrol dengan total larva yang mati sebanyak 5 larva dari total 40 larva dengan pengamatan selama kurun waktu 7 hari.

Berdasarkan hasil analisis menggunakan uji Kruskal-Wallis yang ditunjukkan pada **Tabel Lampiran 4.** Hasil menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,004 (< 0,05), yang berarti terdapat perbedaan yang signifikan antara perlakuan terhadap mortalitas larva. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa perlakuan yang diberikan berpengaruh nyata terhadap jumlah mortalitas larva. Selanjutnya uji Post-Hoc dilakukan karena pada uji Kruskal-Wallis menunjukkan adanya perbedaan signifikan antar perlakuan dan perlu dicari tahu pasangan perlakuan mana yang memiliki perbedaan yang nyata (Dinno, 2015).

Selanjutnya, berdasarkan hasil uji lanjut (Post-Hoc) yang ditunjukkan pada **Tabel Lampiran 5** terdapat dua pasang perlakuan yang memiliki perbedaan nyata. Perbedaan signifikansi ini terjadi

antara kontrol dengan perlakuan Bt isolat BT-RG01 dengan nilai (0.004 < 0.05) dan perlakuan Bt isolat BT-RG01 dengan Bt komersial dengan nilai (0.04 < 0.05). Sementara pasangan perlakuan lainnya tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan (p > 0,05). Hal ini menunjukkan bahwa Bt isolasi memberikan efek yang signifikan dalam meningkatkan mortalitas larva dibandingkan dengan kontrol maupun Bt komersial.

4. Uji Efikasi Skala Lapangan Semi-Terkendali

Serangga *Helicoverpa armigera* yang digunakan pada pengaplikasian di lapangan ini digunakan pada tahap ngengat (imago). Pada mulanya dilakukan seleksi terhadap ngengat jantan dan betina dengan cara melihat perbedaan bentuk dan letak lubang genitalnya di bawah mikroskop. Seleksi tersebut dapat dilakukan ketika *Helicoverpa armigera* masuk ke dalam tahap pupa. Abdomen dari pupa *H. armigera* terbagi ke dalam 10 segmen, lubang genital jantan terletak pada segmen ke-9 sedangkan lubang genital betina terletak pada segmen ke-8 (Queiroz-Santos *et al*., 2018). Sepasang pupa jantan dan betina ini diletakkan masing-masing ke dalam 4 perlakuan (Perlakuan A (kontrol), perlakuan B (Bt isolat BT-

RG01), perlakuan C (B-TOX) dan perlakuan D (insektisida kimia berbahan aktif sipermemtrin)) dengan masing-masing perlakuan adalah 3 ulangan (**Gambar 4.8**). Uji lapangan semi terkendali ini bertujuan untuk melakukan evaluasi dengan cara membandingkan antara insektisida kimia (sipermetrin), produk *Bacillus thuringiensis* komersial (B-TOX), dan strain *Bacillus thuringiensis* yang diisolasi secara lokal untuk pengelolaan hama *H. armigera*.



Gambar 4.8. Wadah atau media uji ngengat *Helicoverpa armigera* pada skala lapangan semi-terkendali di *Green House* Kampus 2 UIN Walisongo, Semarang

(Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2024).

Pengaplikasian dilakukan dengan metode semprot dengan masing-masing perlakuan disemprotkan pada daun tanaman jagung bagian atas dan dilihat hasilnya seminggu kemudian. Observasi pasca-perlakuan difokuskan pada kecepatan membunuh masing-masing perlakuan, keberadaan serangga non-target, ciri fisik yang terlihat pada ngengat dan adanya pertumbuhan jamur mikroskopik pada *cadaver* ngengat. Hasil pengamatan setelah perlakuan dapat dilihat pada **Tabel 4.2**.

Tabel 4.2. Ringkasan Efek yang Diamati pada Bangkai *Helicoverpa armigera* Berdasarkan Perlakuan

Perlakuan	Tekstur Bangkai	Bentuk Bangkai	Pertumbuhan Jamur	Serangga Non-Target
Kontrol	Halus	Alami	Ada	Ada
BT-RG01	Halus	Lembek	Ada	Ada
Bt Komersial	Halus	Lembek	Ada	Ada
Sipermetrin	Kasar	Kaku	Tidak ada	Tidak ada

5. Pengaruh Pengaplikasian *Bacillus thuringiensis* pada pH Tanah

Pengukuran pH tanah menggunakan dua instrumen yaitu pH meter merk Hanna dan *soil meter*. Penggunaan dua instrumen ini dilakukan untuk

mengamati adanya perbedaan perubahan pH tanah antara perlakuan dengan metode yang simpel seperti penggunaan *soil meter* dan metode yang sedikit rumit menggunakan pH meter. Penggunaan *soil meter* dapat dikatakan mudah karena dalam praktiknya peneliti tinggal menancapkan *soil meter* ke dalam tanah secara langsung dan didiamkan selama 1 menit agar alat dapat membaca dengan baik (Juliansyah *et al*., 2022). Penggunaan pH meter merk Hanna diawali dengan melakukan pengkalibrasian dengan minimal 2 larutan penyangga (buffer), lalu setelah selesai bilas ujung pH meter (elektroda) dengan aquades steril dan dikeringkan dengan tisu, celupkan elektroda ke dalam masing-masing sampel tanah yang sudah dilarutkan dengan aquades (1:5), ditunggu sampai menunjukkan angka yang stabil atau berhenti. Setiap pencelupan ke sampel dengan perlakuan berbeda terlebih dahulu dilakukan pembilasan dengan aquades dan dikeringkan (Ismaini *et al*., 2023).

Hasil pengukuran pada **Tabel 4.3** menunjukkan bahwa perlakuan B (*B. thuringiensis* isolat BT-RG01) dan C (B-TOX) memiliki pH tanah yang relatif netral, sedangkan perlakuan A (kontrol) dan D (insektisida kimia Sidamethrin) menunjukkan

pH lebih asam. Kesamaan pH pada perlakuan A dan D diduga karena tanah yang digunakan sebagai kontrol berasal dari kebun jagung yang sebelumnya sudah terkontaminasi insektisida kimia. Pada pengukuran menggunakan pH meter merk Hanna, hasil yang diperoleh cenderung sama dengan soil meter, meskipun terdapat perbedaan angka karena metode yang digunakan berbeda, di mana soil meter diukur langsung pada tanah di lapangan, sedangkan pH meter merk Hanna menggunakan metode pelarutan tanah dengan akuades (1:5) di laboratorium.

Tabel 4.3. Pengukuran pH tanah menggunakan *soil* meter dan pH meter merk Hanna.

Perlakuan	*Soil Meter*	pH meter (Hanna)
A. Kontrol	6.5	4.93
B. Bt isolat BT-RG01	7.0	5.01
C. B-TOX	7.0	4.94
D. Insektisida kimia	6.5	4.93

B. Pembahasan Hasil Penelitian

1. Isolasi dan Karakterisasi Bakteri *Bacillus thuringiensis*

Metode pengambilan sampel tanah dari rhizosphere dipilih karena area ini kaya akan

mikroba, termasuk *Bacillus thuringiensis* (Arsov *et al*., 2023). Teknik pengenceran berseri penting untuk mengurangi kepadatan mikroba sehingga koloni dapat tumbuh terpisah (Permata *et al*., 2024). Pemanasan pada 80°C menjadi langkah selektif karena hanya Bt yang mampu bertahan pada kondisi tersebut (Bahri *et al*., 2021). Hasil isolasi menunjukkan adanya beberapa koloni dengan morfologi berbeda. Hal ini wajar karena setiap isolat Bt dapat memiliki variasi bentuk koloni, mulai dari bulat, putih, bertepi kerut, hingga licin kekuningan (Krishanti *et al*., 2017; Prameswari, 2016). Dari tiga koloni yang diperoleh, hanya satu yang sesuai dengan karakteristik Bt.

Pewarnaan Gram mengonfirmasi sifat Gram positif dengan warna ungu/biru akibat lapisan peptidoglikan yang tebal dan kandungan asam teikoat (Christian Prasgi & Avilla, 2022). Pewarnaan endospora menggunakan malachite green juga berhasil memperlihatkan adanya endospora, menunjukkan kemampuan Bt bertahan di kondisi lingkungan ekstrem (Pelealu *et al*., 2024). Dengan demikian, isolat yang diperoleh dan diformulasikan sebagai BT-RG01 dapat dipastikan sebagai *Bacillus*

thuringiensis dan siap digunakan untuk uji bioinsektisida terhadap larva *Helicoverpa armigera*.

2. Pemeliharaan Larva Serangga Penggerek Tongkol Jagung (*Helicoverpa armigera*)

Berdasarkan Ibrahim & Rustam, (2020), larva *Helicoverpa armigera* dapat ditemukan di lahan budidaya jagung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemeliharaan larva *H. armigera* dapat dilakukan dengan baik menggunakan wadah plastik yang diberi alas serbuk kayu serta pakan butir jagung. Penggunaan serbuk kayu penting untuk mencegah kanibalisme serta memberikan media bagi larva dalam membentuk pupa, sesuai teori bahwa pupa secara alami terbentuk di dalam tanah (Rahmayuni, 2014). Pemeliharaan hingga fase ngengat juga berhasil dilakukan dengan pemberian madu 10% sebagai pakan tambahan. Hal ini mendukung laporan Krishanti *et al*., (2017) bahwa pakan madu memperpanjang masa hidup ngengat serta meningkatkan keberhasilan reproduksi.

Siklus hidup yang diamati pada penelitian ini konsisten dengan literatur, yaitu fase telur 2–4 hari, fase larva 12–25 hari, fase pupa 10–16 hari, dan masa hidup ngengat 12–15 hari. Variasi lama siklus hidup

sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, terutama suhu (Riaz *et al*., 2021; Sharma, 2005). Pemeliharaan dari telur hingga instar 3 sangat penting, karena larva pada fase ini memiliki aktivitas makan paling tinggi (Meytiana *et al*., 2017), sehingga sesuai digunakan untuk pengujian efektivitas *B. thuringiensis* isolat BT-RG01, B-TOX, maupun insektisida kimia. Dengan demikian, metode pemeliharaan yang dilakukan telah mendukung ketersediaan larva uji dalam jumlah cukup dan kondisi yang seragam.

3. Uji Efikasi *Bacillus thuringiensis* terhadap *Helicoverpa armigera* pada Skala Laboratorium

Tingginya persentase mortalitas larva pada perlakuan B menunjukkan bahwa *Bacillus thuringiensis* isolat BT-RG01 memiliki tingkat virulensi yang tinggi dengan nilai rank 17,60. Pada perlakuan C, nilai rank hanya sebesar 7,60 dengan mortalitas larva 22,5%. Perbedaan ini diduga berkaitan dengan perbedaan konsentrasi spora antara isolat BT-RG01 dan Bt komersial B-TOX. Hal ini sejalan dengan pernyataan Ch. L. Salaki & Tarore, (2018), bahwa semakin tinggi konsentrasi spora, semakin efektif bakteri dalam membunuh serangga uji. Selain itu Celiandra *et al*., (2022) juga melaporkan

bahwa bioinsektisida merk B-TOX menunjukkan efektivitas lebih rendah dibandingkan bioinsektisida berbahan aktif Bt merek lain. Pada penelitian ini konsentrasi spora tidak dianalisis secara langsung, sehingga dugaan tersebut didasarkan pada temuan penelitian sebelumnya..

Pada perlakuan D, persentase mortalitas larva menunjukkan angka 40% dengan nilai rank 11.80 yang mana hal ini masih dibawah persentase mortalitas larva dari perlakuan B, namun tidak berbeda nyata. Hal ini dapat terjadi karena pada perlakuan D (menggunakan insektisida kimia) *Helicoverpa armigera* yang diujikan sudah memiliki ketahanan terhadap insektisida kimia. Penggunaan insektisida kimia yang dilakukan oleh petani secara tidak bijaksana dapat menjadi penyebab serangga hama seperti *Helicoverpa armigera* resisten terhadap insektisida kimia (Ibrahim & Rustam, 2020; Rahmayuni, 2014; Sarumaha, 2020) terutama insektisida dari merk sidamethrin dengan bahan aktif sipermetrin (Ballari & Udikeri, 2022).

Berdasarkan pengamatan kecepatan waktu kematian larva, pada perlakuan D adalah yang tercepat yaitu satu hari setelah perlakuan larva

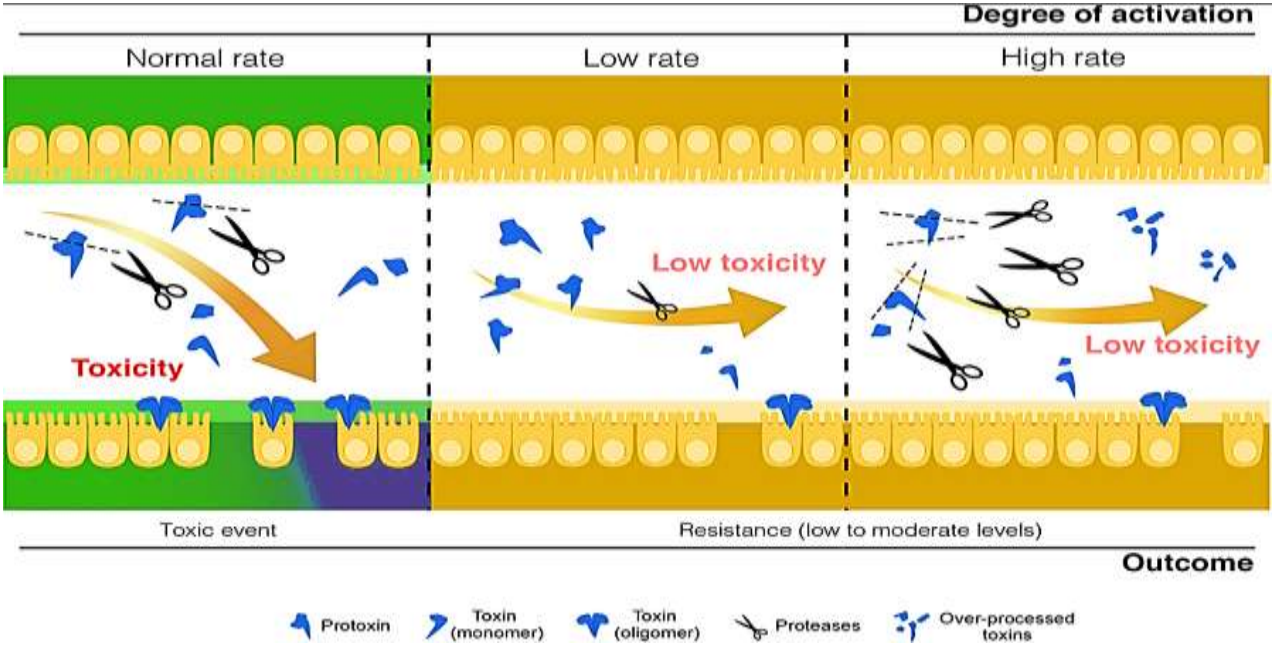
terlihat sudah ada yang mati. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Waluyo *et al*., 2022) yang mana larva uji mati pada hari pertama setelah perlakuan dikarenakan insektisida yang mengandung sipermetrin bekerja langsung secara intens yang jalur masuknya dapat melalui lambung (Paisey *et al*., 2023). Insektisida sipermetrin juga dikenal sebagai insektisida piretroid yaitu insektisida yang bekerja mengganggu sistem saraf (neurotoksis). Cara kerja insektisida ini adalah mengganggu proses transduksi sinyal pada sistem saraf dengan memengaruhi perpindahan ion yang melewati membran sel (Damayanti, 2020).

Pada perlakuan B dan C kematian larva mulai terlihat pada umur 2 hari setelah perlakuan. Hal ini terjadi karena bakteri *Bacillus thuringiensis* perlu masuk dahulu ke dalam saluran pencernaan dari serangga *Helicoverpa armigera* dan menghasilkan kristal protein (Setiadi *et al*., 2021). Kristal protein ini bersifat membunuh serangga (insektisidal) pada saat proses sporulasinya dan disebut juga dengan *δ-endotoksin*. Kristal protein yang dihasilkan oleh *B. thuringiensis* ini di alam sebenarnya bersifat protoksin (tidak aktif secara biologis), namun karena adanya

aktivitas proteolisis dalam sistem pencernaan serangga, protoksin ini diubah menjadi bentuk aktifnya yaitu polipeptida yang lebih pendek dan bersifat toksin (Prameswari, 2016).

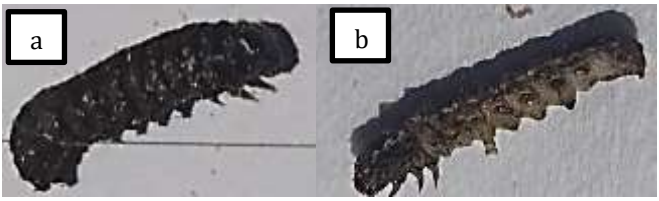
Kristal protein *B. thuringiensis* ini menargetkan sel epitel usus tengah (*midgut epithelium*) dari inang (Pinos *et al*., 2021) menyebabkan gangguan transportasi membran dan menyebabkan kematian pada serangga setelah 48 jam (Arsov *et al*., 2023). Menurut (Rahardianingtyas & Wianto, 2014) interaksi antara toksin aktif dan sel-sel epitel usus tengah mengakibatkan terbentuknya lubang pori-pori pada sel membran saluran pencernaan dan mengganggu keseimbangan osmotik sel membran tersebut yang menyebabkan pembengkakan dan pecah lalu kematian pada serangga. Singkatnya untuk dapat membunuh *Helicoverpa armigera*, bakteri *Bacillus thuringiensis* ini perlu tertelan dan masuk ke dalam serangga lalu melakukan proses sporulasi untuk menghasilkan kristal protein yang bersifat toksin, sehingga membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan insektisida berbahan dasar sipermetrin (Setiadi *et al*., 2021).

Walaupun perlakuan B adalah perlakuan dengan kematian serangga *H. armigera* yang tertinggi, namun tetap terdapat serangga yang masih dapat bertahan hidup (resisten) bahkan hingga menjadi pupa dan ngengat. Resistensi larva ini berkaitan dengan peran enzim protease yang terdapat pada organ usus tengah serangga dalam proses pengaktifan protoksin menjadi toksin aktif (Zalunin *et al*., 2015). Pada penelitian (Jin *et al*., 2019), serangga *Helicoverpa armigera* yang resisten terhadap bakteri *B. thuringiensis* ditemukan mengalami penurunan regulasi enzim protease. Begitupun sebaliknya serangga yang resisten terhadap *B. thuringiensis* juga menunjukkan peningkatan regulasi enzim protease dibandingkan dengan serangga yang tidak resisten (Behrens *et al*., 2014). Tingginya enzim protease menyebabkan protoksin yang dihasilkan oleh *B. thuringiensis* menjadi terdegradasi (Sukmawati, 2014), sedangkan rendahnya enzim protease menyebabkan terganggunya pemotongan protoksin menjadi toksin aktif (Regode *et al*., 2016) (**Gambar 4.9**).



Gambar 4.9. Skenario pemrosesan toksin Bt oleh protease usus tengah setelah dikonsumsi dan pelarutan (Sumber: (Pinos *et al*., 2021).

Larva yang terinfeksi *B. thuringiensis* menunjukkan tanda-tanda seperti larva menjadi gelisah, berkurangnya nafsu makan (Celiandra *et al*., 2022), muntah, menjauhi makan, kotoran berair, tubuh mengecil dan kepala yang besar (Rahmawati & Luqiyarrohman, 2024) yang lama-kelamaan tubuh larva menjadi mengkerut, lunak dan menghitam (**Gambar 4.10a**)(Karya *et al*., 2019). Setelah munculnya tanda-tanda fisik ini, larva akan mati karena disebabkan oleh paralisis usus dan kelaparan. Larva yang mati ini jika disentuh akan hancur dan mengeluarkan cairan kental yang berwarna coklat kemerahan (Widajati *et al*., 2020). Secara keseluruhan tanda-tanda pra-kematian pada larva yang diaplikasikan oleh sipermetrin dan *B. thuringiensis* adalah sama, hanya saja proses ini terjadi secara langsung dan singkat dikarenakan sipermetrin memiliki daya bunuh yang cepat (Damayanti, 2020). Larva yang mati karena insektisida sipermetrin ini menunjukkan perubahan warna yang menjadi pucat (**Gambar 4.10b**), tubuhnya kering dan kaku dikarenakan efek neurotoksik yang menyebabkan kontraksi otot berlebihan(Labade *et al*., 2018).



Gambar 4.10. (a) Morfologi larva yang mati karena *Bacillus thuringiensis*, (b) morfologi larva yang mati karena insektisida kimia
(Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2024).

4. Uji Efikasi Skala Lapangan Semi-Terkendali

Hasil menunjukkan bahwa meskipun sipermetrin memberikan perlindungan cepat terhadap hama, efek Bt yang bekerja lebih lambat tidak menimbulkan bioakumulasi atau biomagnifikasi, aman untuk manusia dan lingkungan (Saud *et al*., 2024). Meskipun hal ini lebih relevan pada tahap larva dan tidak dijelaskan secara spesifik untuk ngengat dewasa dalam sumber yang digunakan, karakteristik tersebut merupakan ciri khas entomopatogen. Untuk penanganan yang cepat dan instan, bahan kimia seperti sipermetrin dapat digunakan. Namun, dalam jangka panjang dan berkelanjutan, penggunaan agen biologis yang tepat seperti Bt lebih disarankan karena memprioritaskan keamanan lingkungan serta

pelestarian organisme bermanfaat. (Sembiring *et al*., 2024).

Percobaan menunjukkan bahwa ngengat yang diberi sipermetrin memiliki bangkai yang tampak "kasar," sedangkan ngengat yang diberi Bt, baik isolat alami maupun produk komersial, cenderung menghasilkan bangkai yang "halus." Sipermetrin bekerja sebagai neurotoksin yang menyebabkan kejang, kelumpuhan, dan kekakuan otot, sehingga tubuh serangga tampak kaku, melilit, atau keras (Arslan *et al*., 2017). Efek ini juga dapat memperlambat pembusukan alami, menyebabkan tekstur seperti kulit (Ali *et al*., 2020). Sebaliknya, Bt bekerja dengan merusak usus serangga dari dalam, memungkinkan bakteri berkembang dan mengurai jaringan tubuh. Proses ini membuat bangkai jadi lebih lunak, fleksibel, dan tampak "halus" (Sharaby & El-Bendary, 2017) tanpa bentuk yang kaku atau terdistorsi. Temuan ini menunjukkan bahwa bentuk dan tekstur bangkai serangga bisa digunakan sebagai petunjuk cepat di lapangan untuk mengenali jenis insektisida yang digunakan, bahkan tanpa perlu analisis laboratorium langsung.

Percobaan menunjukkan keberadaan serangga non-target pada perlakuan kontrol, Bt isolat BT-RG01, dan Bt komersial, sementara pada perlakuan sipermetrin tidak ditemukan serangga non-target. Bt dikenal sangat spesifik terhadap jenis serangga tertentu karena toksinnya hanya bekerja jika ada reseptor khusus di usus, yang biasanya hanya dimiliki oleh ordo seperti *Lepidoptera*, *Diptera*, atau *Coleoptera* (Fernández-Chapa *et al*., 2019). Karena itu, serangga non-target seperti predator alami dan penyerbuk umumnya aman, seperti yang terlihat dari masih adanya serangga lain di perlakuan Bt. Sebaliknya, sipermetrin bersifat spektrum luas dan menyerang sistem saraf banyak jenis serangga, tanpa membedakan antara hama dan serangga bermanfaat (Loetti & Bellocq, 2017). Tidak ditemukannya serangga non-target pada perlakuan sipermetrin menunjukkan dampak buruknya terhadap keanekaragaman hayati serangga di sekitar *(Faly et al*., 2023).

Perbedaan antara perlakuan *Bacillus thuringiensis* dan sipermetrin dalam hal keberadaan serangga non-target menunjukkan dampak ekologis yang penting. Bt bekerja secara spesifik hanya pada

hama target seperti *Helicoverpa armigera*, sehingga serangga bermanfaat seperti predator alami, parasitoid, dan penyerbuk tetap terlindungi. Serangga-serangga ini memiliki peran besar dalam menjaga keseimbangan alam dan membantu meningkatkan hasil panen secara alami (Jarpla *et al*., 2024). Sebaliknya, sipermetrin adalah insektisida kimia yang bersifat spektrum luas, sehingga membunuh berbagai jenis serangga tanpa membedakan, termasuk yang bermanfaat. Akibatnya, bisa terjadi ledakan hama sekunder karena musuh alaminya ikut mati, serta penurunan hasil panen karena gangguan pada proses penyerbukan. Hasil ini mendukung prinsip Pengelolaan Hama Terpadu (PHT), yang menekankan pentingnya menjaga keberadaan organisme bermanfaat demi pertanian yang sehat dan berkelanjutan (Ndakidemi *et al*., 2016). Ketergantungan berlebihan pada insektisida kimia justru bisa merusak ekosistem, memicu resistensi hama, dan membuat sistem pertanian rentan. Sebaliknya, penggunaan biopestisida seperti Bt menawarkan solusi yang lebih ramah lingkungan dan mendukung keberlanjutan pertanian dalam jangka panjang.

Dalam percobaan, bangkai ngengat *Helicoverpa armigera* pada perlakuan kontrol, Bt isolat BT-RG01, dan Bt komersial menunjukkan pertumbuhan jamur mikroskopis, sementara pada perlakuan sipermetrin tidak ditemukan jamur. Hal ini terjadi karena bangkai serangga, seperti halnya bahan organik lainnya, biasanya menjadi bagian dari *necrobiome* yaitu komunitas organisme seperti bakteri, jamur, dan serangga kecil yang membantu proses pembusukan (Cai *et al*., 2018). Jamur, terutama dari genus *Aspergillus*, *Penicillium*, *Candida*, dan *Mucor*, sering muncul sebagai pengurai utama dan biasanya membentuk bercak jamur yang tampak pada tubuh serangga yang membusuk, terutama setelah beberapa hari. Tidak ditemukannya jamur pada perlakuan sipermetrin kemungkinan disebabkan oleh kematian yang cepat dan sifat toksiknya yang mungkin juga menghambat pertumbuhan mikroorganisme (Borowik *et al*., 2023).

Bacillus thuringiensis (Bt) adalah bakteri alami pembentuk endospora yang umum ditemukan di tanah dan pada serangga mati. Bakteri ini bersifat nekrotrofik, artinya berkembang biak dalam bangkai inang setelah kematian, sambil mengeluarkan enzim

seperti protease dan kitinase untuk menghancurkan jaringan tubuh. Meskipun Bt dapat menghasilkan senyawa antijamur seperti kurstakin, proses pembusukan yang dipicu justru menciptakan lingkungan kaya nutrisi yang mendukung tumbuhnya jamur mikroskopis sebagai bagian dari dekomposisi alami (Guerrero M, 2023). Sebaliknya, sipermetrin sebagai insektisida kimia dapat memperlambat pembusukan. Zat ini membuat bangkai tetap utuh lebih lama, dengan kulit yang mengeras dan kondisi yang kurang ramah bagi mikroba. Meski bukan antijamur secara langsung, sifat toksik dan stabilitas kimia sipermetrin kemungkinan besar menghambat pertumbuhan jamur, baik karena efek racunnya maupun karena bangkai menjadi substrat yang tidak cocok bagi kolonisasi mikroba(Borowik *et al*., 2023).

5. Pengaruh Pengaplikasian *Bacillus thuringiensis* pada pH Tanah

Hasil menunjukkan bahwa perlakuan dengan insektisida kimia (D) maupun kontrol (A) menghasilkan pH tanah yang lebih asam. Hal ini sejalan dengan fakta bahwa insektisida kimia, khususnya Sidamethrin berbahan aktif sipermetrin yang termasuk golongan piretroid, bersifat asam

(Shadrina, 2023). Bahan anorganik seperti insektisida kimia dapat menurunkan pH tanah secara langsung (Pratama *et al*., 2023) sekaligus mematikan mikroorganisme tanah yang berperan dalam meningkatkan akumulasi bahan organik (Benu *et al*., 2019). Rendahnya kandungan bahan organik berakibat pada penurunan pH tanah (Brady & Weil, 2002).

Sebaliknya, pada perlakuan dengan *B. thuringiensis* isolat BT-RG01 (B) dan B-TOX (C), pH tanah menjadi netral. Hal ini sesuai dengan penelitian Widawati *et al.*, (2015) yang melaporkan bahwa pupuk hayati berbasis Bt dapat menaikkan pH tanah dari kondisi asam ke netral. *B. thuringiensis* merupakan bakteri yang tergolong Pl*ant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) (Sondang *et al*., 2023), yang berperan dalam dekomposisi bahan organik. Proses dekomposisi ini menghasilkan ion OH^- yang menetralkan ion H^+ dalam tanah, sehingga pH meningkat. Selain itu, bahan organik juga memiliki sifat amfoter yang dapat menyeimbangkan pH tanah (Abdillah & Setiawati, 2023; Siregar *et al*., 2017).

Perbedaan hasil antara pengukuran dengan soil meter dan pH meter merk Hanna terutama

disebabkan oleh metode yang digunakan. Soil meter memberikan pembacaan langsung di lapangan, sedangkan pH meter merk Hanna memerlukan pelarutan sampel dengan akuades. Faktor metode ini berpengaruh terhadap perbedaan nilai pH yang diperoleh, meskipun pola hasil tetap konsisten, yaitu perlakuan Bt (B dan C) cenderung menetralkan pH tanah, sementara kontrol (A) dan insektisida kimia (D) membuat pH tanah lebih asam.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Isolat *Bacillus thuringiensis* BT-RG01 yang diperoleh dari tanah kebun jagung di Desa Beringin Gondoriyo berhasil diidentifikasi secara morfologi sebagai bakteri Gram positif dengan selnya yang berwarna biru/ungu, berbentuk batang (*bacil*), dan membentuk endospora. Hasil pewarnaan spora menggunakan *malachite green* menunjukkan adanya spora yang letaknya subterminal, dan sesuai dengan ciri khas genus *Bacillus*. Secara makroskopis, koloni *B. thuringiensis* yang tumbuh pada media selektif memiliki bentuk koloni bulat dengan tepi yang rata hingga agak berombak, berwarna putih kekuningan, serta permukaan agak kasar. Karakteristik tersebut menguatkan bahwa isolat BT-RG01 memiliki kesesuaian dengan deskripsi umum *Bacillus thuringiensis* sehingga layak diuji lebih lanjut sebagai agen biokontrol.
2. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan tentang efektivitas *Bacillus thuringiensis* isolat BT-RG01 sebagai agen biokontrol terhadap serangga

Helicoverpa armigera pada tanaman jagung, dapat disimpulkan perlakuan berpengaruh signifikan terhadap mortalitas larva *Helicoverpa armigera* (p = 0,004). Hasil uji lanjut menunjukkan bahwa *Bacillus thuringiensis* isolat BT-RG01 memberikan mortalitas yang berbeda nyata dibandingkan kontrol (p = 0,004) dan Bt komersial (p = 0,040), meskipun tidak berbeda signifikan dengan insektisida kimia (p > 0,05). Temuan ini menunjukkan bahwa *Bacillus thuringiensis* isolat BT-RG01 memiliki efektivitas tinggi dalam mengendalikan *H. armigera*, lebih unggul dibandingkan formulasi komersial, serta berpotensi menjadi alternatif hayati yang dapat mengurangi ketergantungan pada insektisida kimia.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian mengenai efektivitas *Bacillus thuringiensis* isolat BT-RG01 sebagai agen biokontrol terhadap *Helicoverpa armigera* pada tanaman jagung, maka beberapa saran yang dapat disampaikan adalah sebagai berikut:

1. Pengembangan dan pemanfaatan lebih lanjut terhadap *Bacillus thuringiensis* isolat BT-RG01 perlu dilakukan, baik melalui formulasi bioinsektisida maupun uji aplikasi dalam skala

lapangan yang lebih luas, agar dapat dimanfaatkan sebagai alternatif ramah lingkungan pengganti insektisida kimia.

2. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengidentifikasi toksin spesifik dan profil genetik dari isolat Bt lokal, guna mengetahui strain terbaik yang memiliki efektivitas tinggi serta stabilitas lingkungan yang baik.
3. Bagi peneliti selanjutnya, disarankan agar mengamati efek jangka panjang penggunaan Bt isolat lokal terhadap populasi hama dan ekosistem sekitar, serta mengevaluasi pengaruhnya terhadap produktivitas tanaman dan kesehatan tanah.

DAFTAR PUSTAKA

Abdillah, M. M., & Setiawati, T. C. (2023). Pemanfaatan *Serratia marcescens* untuk Meningkatkan Ketersediaan Fosfat dan Produksi Tanaman Mentimun Pada Tanah Alfisol. *Jurnal Ilmu Dasar*, *24*(1), 9–18. https://jurnal.unej.ac.id/index.php/JID

Aldillah, R. (2017). Strategi Pengembangan Agribisnis Jagung di Indonesia. *Analisis Kebijakan Pertanian*, *15*(1), 43. https://doi.org/10.21082/akp.v15n1.2017.43-66

Ali, H. F. H., El-Sayed, N. M., khodeer, D. M., Ahmed, A. A. M., Hanna, P. A., & Moustafa, Y. M. A. (2020). Nano selenium ameliorates oxidative stress and inflammatory response associated with cypermethrin-induced neurotoxicity in rats. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *195*, 110479. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110479

Aman, A. S., Kumar, A., Kumar, D., & Mishra, P. (2022). Management of *Helicoverpa armigera* (Hubner) with Respect to Integrated Pest Management (Vol. 3).

Amrullah, S. H. (2019). Pengendalian Hayati (*Biocontrol*): Pemanfaatan Serangga Predator sebagai Musuh Alami untuk Serangga Hama (Sebuah *Review*). *Jurnal UIN Alauddin*, 87–90. https://doi.org/10.5994/jei.13.2.81

Anjani, A., Pribadi, T., & B, A. K. (2021). Identifikasi Serangan Serangga Hama di Pertanaman Padi (*Oryza sativa* L.) di Lahan Persawahan Tinggarjaya. *Proceedings Series on Physical & Formal Sciences*, *2*, 212–218. https://doi.org/10.30595/pspfs.v2i.184

Anugrah, M. (2022). *Kiat Mengurangi Kadar Residu Pestisida*. Dinas Tanaman Pangan Dan Hortikultura Provinsi Sulawesi Tengah. https://pertanian.sultengprov.go.id/

kiat-mengurangi-kadar-residu-pestisida/

Aprianti, R., Laili, N., & Handayanto, D. E. (2018). Pengaruh Aplikasi *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) pada Pertumbuhan Tanaman Kacang Hijau dengan Media Tanam yang Berbeda. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, *5*(December), 2549–9793. http://jtsl.ub.ac.id

Arslan, H., Özdemir, S., & Altun, S. (2017). Cypermethrin toxication leads to histopathological lesions and induces inflammation and apoptosis in common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Chemosphere*, *180*, 491–499. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.04.057

Arsov, A., Gerginova, M., Paunova-Krasteva, T., Petrov, K., & Petrova, P. (2023). Multiple <I>cry</I> Genes in <I>Bacillus thuringiensis</I> Strain BTG Suggest a Broad-Spectrum Insecticidal Activity. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(13). https://doi.org/10.3390/ijms241311137

Bahri, S., Zulkifli, L., Citra Rasmi, D. A., & Sedijani, P. (2021). Isolation, Purification, and Toxicity Test of *Bacillus thuringiensis* from Cows Cage Soil Againts *Drosophila melanogaster*. *Jurnal Biologi Tropis*, *21*(3), 1106–1114. https://doi.org/10.29303/jbt.v21i3.3221

Ballari, H. S., & Udikeri, S. S. (2022). Persisting Resistance of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) to Pyrethroid, Organophosphate and Carbamate Insecticides. *Pakistan Journal of Zoology*, *54*(4), 1649–1656. https://doi.org/10.17582/journal.pjz/20200822140857

Behrens, S., Peuß, R., Milutinović, B., Eggert, H., Esser, D., Rosenstiel, P., Schulenburg, H., Bornberg-Bauer, E., &

Kurtz, J. (2014). Infection routes matter in population-specific responses of the red flour beetle to the entomopathogen *Bacillus thuringiensis*. *BMC Genomics*, *15*(1). https://doi.org/10.1186/1471-2164-15-445

Benu, M., Adutae, A. S. ., & Mukkun, L. (2019). Dampak Residu Pestisida Terhadap Kepadatan dan Keanekaragaman Jamur Tanah pada Lahan Sayuran. *Bumi Lestari Journal of Environment*, *19*(2), 20. https://doi.org/10.24843/blje.2019.v19.i02.p03

Boleng, D. T. (2015). *Bakteriologi: Konsep-Konsep Dasar*. Malang: UMM Press.

Borowik, A., Wyszkowska, J., Zaborowska, M., & Kucharski, J. (2023). The Impact of Permethrin and Cypermethrin on Plants, Soil Enzyme Activity, and Microbial Communities. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(3), 2892. https://doi.org/10.3390/ijms24032892

Brady, N. C., & Weil, R. R. (2002). *The Nature and Properties of Soils* (13th Editi). Prentice Hall.

Bria, D. I., Missa, H., & Sombo, I. T. (2022). Isolasi dan Karakterisasi Bakteri *Escherichia coli* pada Bahan Pangan Berbasis Daging di Kota Kupang. *Jurnal Sains Dan Terapan*, *1*(2), 82–89.

Bueno, R. C. O. de F., Yamamoto, P. T., Carvalho, M. M., & Bueno, N. M. (2014). Occurrence of *Helicoverpa armigera* (hÜbner, 1808) on Citrus in The State of Sao Paulo, Brazil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, *36*(2), 520–523. https://doi.org/10.1590/0100-2945-357/13

Caballero, J., Jiménez-Moreno, N., Orera, I., Williams, T., Fernández, A. B., Villanueva, M., Ferré, J., Caballero, P., & Ancín-Azpilicueta, C. (2020). Unraveling the Composition of Insecticidal Crystal Proteins in *Bacillus thuringiensis*: a

Proteomics Approach. *Applied and Environmental Microbiology*, *86*(12). https://doi.org/10.1128/AEM.00476-20

Cai, J., Guo, Y., Zha, L., & Guo, J. (2018). The Role of the Microbiome in PMI Estimation. In *Forensic Ecogenomics* (pp. 113–131). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809360-3.00005-9

Celiandra, I. K., Akhmad Rizali, M., & Nugraha, I. (2022). Uji Toksisitas *Bacillus thuringiensis* terhadap Ulat Kubis (*Plutella xylostella*) pada Tanaman Sawi (*Brassica juncea* L.). *Jurnal Agrotek View*, *5*(1), 7–15.

Christian Prasgi, H., & Avilla Jessica Puspitasari, T. (2022). Isolasi dan Karakterisasi Amilolitik *Bacillus* Sp. dari Tanah Rhizosfer Desa Tegalwaton Kabupaten Semarang. *Pendidikan Dan Sains Biologi*, *5*(2), 63–72. https://doi.org/10.33323/indigenous.v5i2.302

Damayanti, O. (2020). Pengujian Lapang Efikasi Insektisida Sipermetrin 200g/l terhadap Hama Thrips (*Thrips* sp.) pada Tanaman Cabai (*Capsicum annum* L.) [Universitas Brawijaya]. In *Universitas Brawijaya*.

Dinno, A. (2015). Nonparametric pairwise multiple comparisons in independent groups using Dunn's test. *Stata Journal*, *15*(1), 292–300. https://doi.org/10.1177/1536867x1501500117

Effendi, I. (2020). *Metode Identifikasi dan Klasifikasi Bakteri* (1st ed.). Oceanum Press.

Fadhillah, W., Susanti, R., Novita, A., & Lisdayani, L. (2021). Pengendalian Hama Tongkol Jagung (*Helicoverpa armigera* Hubner) dan Penggerek Batang (*Spodoptera frugiferda*) dengan Menggunakan Jamur Entomopatogen pada Tanaman Jagung Manis di Desa Banjaran

Deliserdang. *Jurnal Agroteknosains*, *5*(2), 48. https://doi.org/10.36764/ja.v5i2.589

Faly, L. I., Brygadyrenko, V. V., Orzekauskaite, A., & Paulauskas, A. (2023). Sensitivity of Non-Target Groups of Invertebrates to Cypermethrin. *Biosystems Diversity*, *31*(3), 393–400. https://doi.org/10.15421/012347

Fatmawati, Y., Purwantoro, A., & Basunanda, P. (2017). Keragaman Morfologi dan Molekuler Empat Kelompok Kultivar Jagung (*Zea mays* L.). *Vegetalika*, *6*(3), 50–64.

Fernández-Chapa, D., Ramírez-Villalobos, J., & Galán-Wong, L. (2019). Toxic Potential of Bacillus thuringiensis: An Overview. In *Protecting Rice Grains in the Post-Genomic Era* (Vol. 11, Issue tourism, p. 13). IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.85756

Gazali, A., Ilhamiyah, & Jaelani, A. (2017). Bacillus thuringiensis*: Biologi, Isolasi, Perbanyakan dan Cara Aplikasinya* (1st ed.). Pustaka Banua. http://eprints.ulm.ac.id/eprint/4082

Guerrero M, G. G. (2023). Sporulation, Structure Assembly, and Germination in the Soil Bacterium *Bacillus thuringiensis*: Survival and Success in the Environment and the Insect Host. *Microbiology Research*, *14*(2), 466–491. https://doi.org/10.3390/microbiolres14020035

Gulzar, A., Maqsood, A., Ahmed, M., Tariq, M., Ali, M., & Qureshi, R. (2017). Toxicity, Antifeedant and Sub-Lethal Effects of *Citrullus colocynthis* Extracts on Cotton Bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Pakistan Journal of Zoology*, *49*(6), 2019–2026. https://doi.org/10.17582/journal.pjz/2017.49.6.2019.2026

Harnowo, D., Marwoto, M. A., Sundari, T., & Nugrahaeni, N.

(2015). Prinsip-prinsip produksi benih kedelai. In *Malang (Indones): Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi*.

Hasibuan, R. (2012). *Insektisida Pertanian*. Penerbit Lembaga Penelitian Universitas Lampung.

Hilmanto, R. (2010). Etnoekologi. In *Penerbit Universitas Lampung*. Penerbit Universitas Lampung.

Hudoyo, A., & Nurmayasari, I. (2019). Peningkatan Produktivitas Jagung di. *Indonesia Indonesian Journal of Socio Economics*, *1*(2), 102–108.

Ibrahim, M., & Rustam, R. (2020). Uji Beberapa Konsentrasi Ekstrak Tepung Akar Tuba (*Derris elliptica* Benth.) terhadap Mortalitas Larva *Helicoverpa armigera* Hubner (Lepidoptera: Noctuidae) Hama pada Jagung Manis. *Jurnal Agroekoteknologi*, *12*(2), 165. https://doi.org/10.33512/jur.agroekotetek.v12i2.11495

Indhirawati, R., Purwantoro, A., & Basunanda, P. (2015). Karakterisasi Morfologi dan Molekuler Jagung Berondong Stroberi dan Kuning (*Zea mays* L. Kelompok Everta). *Vegetalika*, *4*(1), 102–114.

Ismailov, V., Agasjeva, I., Ananko, G., & Kolosov, A. (2020). Virin HSK and Helicovex SK – efficacy and safety of baculovirus-based bioinsecticides. *BIO Web of Conferences*, *21*, 00022. https://doi.org/10.1051/bioconf/20202100022

Ismaini, I., Tosani, N., & Sutanto, D. (2023). Perbandingan Unjuk Kinerja Berbagai Tipe pH Meter Digital pada Pengujian Sampel Tanah dan Air Berdasarkan Iso 17025:2017. *Jurnal Penelitian Sains*, *25*(1), 24. https://doi.org/10.56064/jps.v25i1.727

Istini, I. (2020). Pemanfaatan Plastik Polipropilen *Standing Pouch* Sebagai Salah Satu Kemasan Sterilisasi Peralatan Laboratorium. *Indonesian Journal of Laboratory*, *2*(3), 41. https://doi.org/10.22146/ijl.v2i3.57424

Iswantoro, D., & Handayani UN, D. (2022). Klasifikasi Penyakit Tanaman Jagung Menggunakan Metode *Convolutional Neural Network* (CNN). *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, *22*(2), 900–905. https://doi.org/10.33087/jiubj.v22i2.2065

Jani, R., Soedijo, S., & Liestiany, E. (2023). Kemampuan *Bacillus thuringiensis* untuk Mengendalikan *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith. *Jurnal Proteksi Tanaman Tropika*, *6*(2), 630–637. https://doi.org/10.20527/jptt.v6i2.1844

Jarpla, M., Kumari, P., Pawar, P., Reddy, N. A., Bhargavi, C., Samreen, Aniket, & E, V. (2024). A Review on Role of Beneficial Insects in Sustainable Crop Production Systems. *Journal of Experimental Agriculture International*, *46*(10), 687–699. https://doi.org/10.9734/jeai/2024/v46i102992

Jin, M., Liao, C., Chakrabarty, S., Wu, K., & Xiao, Y. (2019). Comparative Proteomics of Peritrophic Matrix Provides an Insight into its Role in Cry1Ac Resistance of Cotton Bollworm *Helicoverpa armigera*. *Toxins*, *11*(2), 1–14. https://doi.org/10.3390/toxins11020092

Juliansyah, H., Khairisma, K., Andriyani, D., Bakar, J., & Yurina, Y. (2022). Pelatihan Pengukuran PH Tanah (Mitra Desa Blang Gurah). *Jurnal Pengabdian Kreativitas (JPeK)*, *1*, 24. https://doi.org/10.29103/jpek.v1i1.8271

Karya, Kantikowati, E., & Supriyadi, W. G. (2019). Uji Efikasi Insektisida Berbahan Aktif *Bacillus thuringiensis* dan *Emamektin benzoat* terhadap *Spodoptera exigua* Serta

Pengaruhnya terhadap Keragaan Tanaman Bawang Daun. *Jurnal AgroTatanen*, *2*(1), 15–26.

Karya, & Supriyadi, W. G. (2021). Efikasi Konsentrasi Insektisida Berbahan Aktif *Bacillus thuringiensis* dan *Emamektin Benzoat* terhadap Ulat Bawang (*Spodoptera exigua*) pada Tanaman Bawang Daun (*Allium fistulosum* L.). *AGRO TATANEN | Jurnal Ilmiah Pertanian*, *3*(1), 23–28. https://doi.org/10.55222/agrotatanen.v3i1.356

Kemenkes-RI. (2012). *Pedoman Penggunaan Insektisida (Pestisida) dalam Pengendalian Vektor*. Jakarta : Direktorat Jenderal Pengendalian Penyakit dan Penyehatan Lingkungan.

Klai, K., Zidi, M., Chénais, B., Denis, F., Caruso, A., Casse, N., & Khemakhem, M. M. (2022). Miniature Inverted-Repeat Transposable Elements (MITEs) in the Two Lepidopteran Genomes of *Helicoverpa armigera* and *Helicoverpa zea*. *Insects*, *13*(4), 1–11. https://doi.org/10.3390/insects13040313

Kleden, Y. L., Ludji, R., & Koten, G. H. (2021). Deteksi Dini Keberadaan Serangga Hama Penting pada Tanaman Jagung di Desa Muruona, Kecamatan Ile Ape, Kambupaten Lembata. *Agrisa*, *10*(2), 63–78.

Köhl, J., Kolnaar, R., & Ravensberg, W. J. (2019). Mode of action of microbial biological control agents against plant diseases: Relevance beyond efficacy. *Frontiers in Plant Science*, *10*(July), 1–19. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00845

Krishanti, N. P. R. A., Wikantyoso, B., Zulfitri, A., & Zulfiana, D. (2017). Entomopathogenic Bacteria as Biocontrol Agent Against *Spodoptera litura* (F.) Larvae. *Jurnal Ilmu-Ilmu Hayati*, *16*(1), 13–21. https://media.neliti.com/media/

publications/68684-ID-bakteri-entomopatogen-sebagai-agen-bioko.pdf

Krisna, K. N. P., Yusnaeni, Y., Lika, A. G., & Sudirman, S. (2022). Uji Efektivitas Ekstrak Daun Bandotan (*Ageratum conyzoides*) sebagai Biopestisida Hama Ulat Buah (*Helicoverpa armigera*). *EduBiologia: Biological Science and Education Journal*, *2*(1), 35. https://doi.org/10.30998/edubiologia.v2i1.10541

Kurnia, A., Harsanti, E. S., Sutraidi, M. T., & Hartini, S. (2020). Keanekaragaman Serangga pada Pertanaman Jagung di Lahan Tadah Hujan Kabupaten Pati-Jawa Tengah. *Agrikultura*, *31*(3), 157–165. https://doi.org/10.24198/agrikultura.v31i3.28138

Kuswardani, R. A., & Maimunah. (2013). Buku Ajar: Hama Tanaman Pertanian. In *Medan Area University Press*. Medan Area University Press.

Labade, C. P., Jadhav, A. R., Ahire, M., Zinjarde, S. S., & Tamhane, V. A. (2018). Role of induced glutathione-S-transferase from *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) HaGST-8 in detoxification of pesticides. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *147*(September 2017), 612–621. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.028

Latuharhary, R. A., & Saputro, T. B. (2017). Respon Morfologi Tanaman Jagung (*Zea mays*) Varietas Bisma dan Srikandi Kuning pada Kondisi Cekaman Salinitas Tinggi. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, *6*(2), 28–31. https://doi.org/10.12962/j23373520.v6i2.25194

Lestari, F., Rahmanto, B., & Suryanto, E. (2013). *Karakteristik dan Cara Pengendalian Hama Ulat pada Tanaman Penghasil Gaharu*. Balai Penelitian Kehutanan

Banjarbaru.

Liu, H. (2015). Comparing Welch Anova, a Kruskal-Wallis Test, and Traditional Anova in Case of Heterogeneity of Variance [Virginia Commonwealth University]. In *Virginia Commonwealth University*. https://scholarscompass.vcu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=5026&context=etd

Liu, X., Zuo, M., Wang, T., Sun, Y., Liu, S., Hu, S., He, H., Yang, Q., Rang, J., Quan, M., Xia, L., & Ding, X. (2015). Proteomic analysis of the influence of Cu2+ on the crystal protein production of *Bacillus thuringiensis* X022. *Microbial Cell Factories*, *14*(1), 1–14. https://doi.org/10.1186/s12934-015-0339-9

Loetti, V., & Bellocq, I. (2017). Effects of the Insecticides Methoxyfenozide and Cypermethrin on Non-Target Arthropods: a Field Experiment. *Austral Entomology*, *56*(3), 255–260. https://doi.org/10.1111/aen.12230

Lubis, E. R. (2021). *Untung Berlimpah Budi Daya Pisang* (p. 134). Penerbit Bhuana Ilmu Populer Kelompok Gramedia. https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=NTYzEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=buku+tanaman+pisang&ots=sKU7HbxIyI&sig=oMiqmHUJOKcY0GzIBJE8YM91d1o&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Mahariesti, D. (2011). *Apa itu Bakteri*. Kenanga Pustaka Indonesia.

Malinga, L. N., & Laing, M. D. (2022). Efficacy of Biopesticides in the Management of the Cotton Bollworm, *Helicoverpa armigera* (Noctuidae), under Field Conditions. *Insects*, *13*(8). https://doi.org/10.3390/insects13080673

Mantau, Z. (2016). Daya Saing Komoditas Jagung Indonesia Menghadapi Era Masyarakat Ekonomi Asean. *Jurnal*

Penelitian Dan Pengembangan Pertanian, *35*(2), 89. https://doi.org/10.21082/jp3.v35n2.2016.p89-97

Marwoto, Sri Hardaningsih, & Abdullah Taufiq. (2017). Hama dan Penyakit Tanaman Kedelai Identifikasi dan Pengendaliannya. In *Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. https://balitkabi.litbang.pertanian.go.id/wp-content/uploads/2018/03/booklet_hama_kedelai-.pdf

Mehrabi, M. R., Zoghimofrad, L., Mazinani, M., Akbarzadeh, A., & Rahimi, A. (2015). A study of the effect of Bacillus thuringiensis serotype H14 (subspecies israelensis) delta endotoxin on Musca larva. *Turkish Journal of Medical Sciences*, *45*(4), 794–799. https://doi.org/10.3906/sag-1406-91

Meilin, A., & Nasamsir. (2016). Serangga dan Peranannya dalam Bidang Pertanian dan Kehidupan. *Jurnal Media Pertanian*, *1*(1), 18. https://doi.org/10.33087/jagro.v1i1.12

Melanie, M., Rustama, M. M., Sihotang, I. S., & Kasmara, H. (2018). Effectiveness of Storage Time Formulation of *Bacillus thuringiensis* Against *Aedes aegypti* Larvae (Linnaeus, 1757). *Cropsaver*, *1*(1), 48–52. https://doi.org/10.24198/cs.v1i1.16999

Meytiana, A. D., Kurnia, N., & Ngitung, R. (2017). Kajian Awal Siklus Hidup dan Konversi Pakan *Helicoverpa armigera* di Laboratorium. *Proceedings of National Seminar UNM*, 722–725.

Mulyasari, J. G. (2022). *Rancangan Penyuluahan Efektifitas Agensia Hayati* Beauveria bassiana *Bagi Ulat Grayak (*Spodoptera frugiperda*.) pada Tanaman Jagung (*Zea

mays*) Secara* In vitro *di Desa Patokpicis Kecamatan Wajak Kabupaten Malang Provinsi Jawa Timu*. Politeknik Pembangunan Pertanian Malang.

Muslihat, & Desita Salbiah. (2020). Uji Beberapa Konsentrasi Ekstrak Tepung Daun Bintaro (*Cerbera manghas* L.) terhadap Hama Penggerek Tongkol Jagung Manis (*Helicoverpa armigera* Hubner). *Dinamika Pertanian*, *36*(1), 21–28. https://doi.org/10.25299/dp.2020.vol36(1).5364

Ndakidemi, B., Mtei, K., & Ndakidemi, P. A. (2016). Impacts of Synthetic and Botanical Pesticides on Beneficial Insects. *Agricultural Sciences*, *07*(06), 364–372. https://doi.org/10.4236/as.2016.76038

Nuraeni, S. (2020). Perlindungan dan Pengamanan Hutan. In *Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin*. Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin.

Oktarima, D. W. (2015). *Pedoman Mengoleksi, Preservasi serta Kurasi Serangga & Arthropoda Lain*.

Paisey, E. K., Santosa, E., Matra, D. D., Kurniawati, A., & Supijatno, S. (2023). Self-pruning in lime (*Citrus aurantifolia* Swingle) after treatments with ichiphon, abscisic acid and nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers. *Acta Agrobotanica*, *76*, 1–14. https://doi.org/10.5586/aa/168236

Pasalo, N. M., Kandou, F. E. F., & Singkoh, M. F. O. (2022). Uji Antagonisme Jamur *Trichoderma* sp. terhadap Patogen *Fusarium* sp. pada Tanaman Bawang Merah *Allium cepa* Isolat Lokal Tonsewer Secara *In vitro*. *Jurnal Ilmu Alam Dan Lingkungan*, *13*(2), 1–7.

Pelealu, I. W., Lawalata, H. J., Tengker, A. C., & Sumampow, H. M. (2024). Suksesi Bakteri pada Fermentasi Kulit Buah

Nanas (*Ananas comosus* (L.) *Merr*). *Soscied*, *7*(2), 629–640.

Permata, A. H. D., Purnawati, A., & Suharto. (2024). Eksplorasi Isolasi dan Identifikasi Bakteri Antagonis dari Lapisan Rizosfer Tanaman Bambu (*Bambusoideae* sp.). *Seminar Nasional Kedaulatan Pertanian 2024*, *1*(1), 469–481.

Pinos, D., Andrés-Garrido, A., Ferré, J., & Hernández-Martínez, P. (2021). Response Mechanisms of Invertebrates to *Bacillus thuringiensis* and Its Pesticidal Proteins. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, *85*(1). https://doi.org/10.1128/mmbr.00007-20

Prabawati, A., Susilowati, A., & Sugiyarto. (2019). Bakteri Filosfer Padi sebagai Kandidat Agen Biokontrol terhadap Xanthomonas oryzae pv. oryzae (Xoo) Penyebab Penyakit Hawar Daun Bakteri. *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon*, *5*(2), 256–262. https://doi.org/10.13057/psnmbi/m050219

Prameswari, A. (2016). *Uji Efektivitas Isolat* Bacillus thuringiensis *dari Tanah Naungan Beringin di Lingkungan Universitas Lampung sebagai Larvasida* Aedes aegypti. Universitas Lampung.

Pratama, A., Afany, M. R., & Kundarto, M. (2023). Pengaruh Praktik Pertanian Organik dan Semi Organik Terhadap Beberapa Sifat Tanah di Lereng Selatan Gunung Merapi. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, *10*(1), 165–173. https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2023.010.1.19

Pujiastuti, Y., Gunawan, B., & Suparman, A. (2024). Pengendalian Hama Terpadu pada Pertanaman Cabai dengan Fokus Aplikasi Bioinsektisida Berbahan Aktif Bacillus thuringiensis Integrated Pest Control in Chili Plantations with a Focus on Bioinsecticide Applications

with Active Ingredients Bacillus thuringien. *PRIMA: Journal of Community Empowering and Services*, *8*(1), 1–6.

Purnawati, R., Sunarti, T. C., Syamsu, K., & Rahayuningsih, M. (2015). Produksi Bioinsektisida oleh *Bacillus thuringiensis* Menggunakan Kultivasi Media Padat. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, *25*(3), 205–214.

Purnomo, P., Ananda, E. A., Fajar, A. Al, Wibowo, L., Lestari, P., & Swibawa, I. G. (2023). Hama-hama Tanaman Jagung dan Keragaman Artropoda pada Pertanaman Jagung di Kabupaten Pesawaran dan Lampung Selatan, Provinsi Lampung. *Jurnal Agrotek Tropika*, *11*(2), 337. https://doi.org/10.23960/jat.v11i2.7139

Qonita, N. T., Partaya, & Setiati, N. (2021). Keanekaragaman Jenis *Collembola* di Jatibarang Kecamatan Ngaliyan Kota Semarang. *Prosiding Semnas Biologi*, 214–218.

Queiroz-Santos, L., Casagrande, M. M., & Specht, A. (2018). Morphological Characterization of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae: Heliothinae). *Neotropical Entomology*, *47*(4), 517–542. https://doi.org/10.1007/s13744-017-0581-4

Rabinovitch, L., Vivoni, A. M., Machado, V., Knaak, N., Berlitz, D. L., Polanczyk, R. A., & Fiuza, L. M. (2017). *Bacillus thuringiensis* Characterization: Morphology, Physiology, Biochemistry, Pathotype, Cellular, and Molecular Aspects. In *Bacillus thuringiensis and Lysinibacillus sphaericus* (Issue June, pp. 1–18). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56678-8_1

Rahardianingtyas, E., & Wianto, E. (2014). Isolasi *Bacillus thuringiensis* dari Berbagai Habitat di Kabupaten dan

Kota Magelang dan Patogenitas terhadap Jentik Nyamuk *Aedes aegypti*. *Jurnal Vektora*, *6*(1), 13–18.

Rahayu, M., Susanna, S., & Hasnah, H. (2021). Potensi Cendawan Entomopatogen *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Isolat Lokal) dalam Mengendalikan Hama Ordo Coleoptera. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, *6*(2), 155–165. https://doi.org/10.17969/jimfp.v6i2.17183

Rahmawati, A., & Luqiyarrohman. (2024). Uji Efektivitas Beberapa Konsentrasi Bioinsektisida *Bacillus thuringiensis* dalam Mengendalikan Hama Ulat Kantong (*Metisa plana*) pada Tanaman Kelapa Sawit. *Jurnal Budidaya Perkebunan Kelapa Sawit Dan Karet*, *8*(1), 26–34.

Rahmayuni, A. (2014). *Pengaruh Cendawan* Beauveria bassiana *Vuillemin. terhadap Mortalitas dan Parasitisasi Telur* Helicoverpa armigera *Hubner. pada Tanaman Jagung*. Universitas Hasanuddin.

Ramadhan, M., Naemah, D., & Yamani, A. (2020). Analisis Intensitas Kerusakan Mahoni (*Swietenia mahagoni*) Akibat Serangan Hama dan Penyakit Tumbuhan. *Jurnal Sylva Scienteae*, *3*(4), 667. https://doi.org/10.20527/jss.v3i4.2350

Raymaekers, K., Ponet, L., Holtappels, D., Berckmans, B., & Cammue, B. P. A. (2020). Screening for novel biocontrol agents applicable in plant disease management – A review. *Biological Control*, *144*(September 2019), 104240. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104240

Regode, V., Kuruba, S., Mohammad, A. S., & Sharma, H. C. (2016). Isolation and Characterization of Gut Bacterial

Proteases Involved in Inducing Pathogenicity of *Bacillus thuringiensis* Toxin in Cotton Bollworm, *Helicoverpa armigera*. *Frontiers in Microbiology*, *7*(OCT), 1–11. https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01567

Riaz, S., Johnson, J. B., Ahmad, M., Fitt, G. P., & Naiker, M. (2021). A Review on Biological Interactions and Management of the Cotton Bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Applied Entomology*, *145*(6), 467–498. https://doi.org/10.1111/jen.12880

Salaki, Ch. L., & Tarore, D. (2018). Prospek Pemanfaatan Biopestisida Bakteri Entomopatogenik Isolat Lokal Sebagai Agen Pengendali Hayati Hama Tanaman Sayuran. *Eugenia*, *24*(2), 97–105. https://doi.org/10.35791/eug.19.1.2013.8375

Salaki, Christina L, Situmorang, J., Sembiring, L., & Handayani, N. (2019). Uji Patogenisitas Isolat Bakteri Indigenous (*Bacillus thuringiensis*) terhadap Serangga Hama Kubis (*Crocidolomia binotalis* Zell). *Biota : Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*, *14*(3), 192–197. https://doi.org/10.24002/biota.v14i3.2582

Salelua, S. A., & Maryam, S. (2018). Potensi dan Prospek Pengembangan Produksi Jagung (*Zea mays* L.) di Kota Samarinda. *Jurnal Agribisnis Dan Komunikasi Pertanian (Journal of Agribusiness and Agricultural Communication)*, *1*(1), 47–53. https://doi.org/10.35941/jakp.1.1.2018.1703.47-53

Saputra, N. (2021). *Mikroorganisme dalam Al-Qur'an (Analisis Penafsiran Mustafa al-Maraghi terhadap Kata* Famâ Fauqahâ *pada Surat Al-Baqarah Ayat 26)*. UIN Syarif Syarif Kasim Riau.

Sarah, S., & Guntoro. (2023). Identifikasi Penyakit Tanaman Jagung Berdasarkan Citra Daun Tinjauan Literatur Sistematis (SLR). *Semaster*, *2*(1), 278–289.

Sarumaha, M. (2020). Identifikasi Serangga Hama pada Tanaman Budidaya Holtikultura di Desa Bawolowalani. *Jurnal Education and Development*, *8*(3), 86–91.

Saud, S., Thapa, A., Kaphle, S., Khadka, D., & Pun, B. (2024). Sustainable Approaches for Fruit Fly Management in Bitter Ground Cultivation. *I TECH MAG*, *6*(1), 13–20. https://doi.org/10.26480/itechmag.06.2024.13.20

Sembiring, J., Pongkendek, J. J., Kusumah, R., & Mendes, J. (2024). Aplikasi Bakteri *Bacillus thuringiensis* dan Petrogenol pada Tanaman Buah di Kampung Sukamaju Distrik Malind Kabupaten Merauke Papua Selatan. *Journal of Human and Education*, *4*(5), 835–842. https://doi.org/https://doi.org/10.31004/jh.v4i5.1515

Setiadi, D., Tarmadja, S., & Wilisiani, F. (2021). Efektivitas *Bacillus Thuringiensis Berliner* dan Sipermetrin serta Campuran Keduanya dalam Mengendalikan *Tirathaba* di Perkebunan Kelapa Sawit. *AGROISTA : Journal Agrotechnology*, *5*(1), 18–28.

Setiawati, W. (2018). Hama-hama Penting pada Tanaman Cabai Merah. In *Junal Pertanian* (Vol. 1, Issue 2).

Shadrina, N. (2023). *Perbandingan Pelarut HCl dan NaOH pada Katalis Magnetit-TiO2 untuk Fotodegradasi Pestisida*. Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.

Sharaby, A., & El-Bendary, M. (2017). Assessment of mode of action and histopathological changes induces by *Bacillus thurengiensis* in Various tissues and organs of *Spodoptera littoralis* larvae. *World Journal of Innovative Research*, *3*(3), 1–6.

Sharma, H. C. (2005). Heliothis/Helicoverpa Management (Emerging Trends and Strategies for Future Research). In *Science Publisher, Inc*. Science Publishers, Inc.

Sinaga, A. H. (2018). Analisis Komoditi Jagung (*Zea mays* L). *Jurnal Darma Agung*, *26*(1), 319–325.

Siregar, P., Fauzi, & Suproadi. (2017). Pengaruh Pemberian Beberapa Sumber Bahan Organik dan Masa Inkubasi Terhadap Beberapa Aspek Kimia Kesuburan Tanah Ultisol. *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara*, *5*(2), 256–264.

Situmorang, H., Noveri, N., Putrina, M., & Fitri, E. R. (2021). Perilaku Petani Padi Sawah dalam Menggunakan Pestisida Kimia di Kecamatan Harau, Kabupaten Lima Puluh Kota, Sumatera Barat, Indonesia. *Agro Bali : Agricultural Journal*, *4*(3), 418–424. https://doi.org/10.37637/ab.v4i3.743

Sondang, Y., Muflihayati, Anty, K., & Siregar, R. (2023). Kompatibilitas Beberapa Spesies *Bacillus* sebagai Bioaktivator Pupuk Organik Hayati. *Jurnal Agroteknologi*, *13*(2), 53–60. https://ejournal.uin-suska.ac.id/index.php/agroteknologi/article/viewFile/19526/8875

Sudarmo, S. (1987). *Tembakau: pengendalian hama dan penyakit*. Yogyakarta: Kanisius.

Suhartono, S., Yasmin, Y., & Azizah, N. (2022). Biopotensi Bakteri Entomopatogen Isolat Lokal sebagai Pengendali Hayati Larva Helicoverpa armigera (Hübner). *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, *27*(2), 182–190. https://doi.org/10.8343/jipi.27.2.182

Suherman, B. B. (2021). Sistem Pakar Diagnosa Penyakit Dan Hama pada Tanaman Jagung Menggunakan Metode *Naive Bayes*. *Jurnal Informatika Dan Rekayasa Perangkat*

Lunak, *2*(3), 390–398.

Suin, N. M. (2003). *Ekologi Hewan Tanah*. Jakarta: Bumi Aksara.

Sukirno, S., Atmojo, W., Perdhana, D., Haekal, M., & Aldawood, A. (2022). Coconut Shell and Straw Charcoals to Protect *Bacillus thuringiensis* Against Ultraviolet B and Sunlight to Control Tobacco Armyworm, *Spodoptera litura* (Fabricius, 1775) (Lepidoptera: Noctuidae). *Serangga*, *27*, 106–118. https://ejournal.ukm.my/serangga/article/view/55056

Sukmawati, E. (2014). Efektivitas Campuran Protoksin *Bacillus thuringiensis* subsp. Aizawai dan Konidia *Beauveria bassiana* terhadap Ulat Grayak *Spodoptera litura* F. *Jurnal Teknosains*, *8*(1), 19–30.

Suleman, R., Kandowangko, N. Y., & Abdul, A. (2019). Karakterisasi Morfologi dan Analisis Proksimat Jagung (*Zea mays*, L.) Varietas Momala Gorontalo. *Jambura Edu Biosfer Journal*, *1*(2), 72–81. https://doi.org/10.34312/jebj.v1i2.2432

Thamrin, N. T., & Sudartik, E. (2019). Kepadatan Populasi Hama Utama pada 2 Varietas Tanaman Jagung di Kecamatan Malangke Kabupaten Luwu Utara. *AGROVITAL : Jurnal Ilmu Pertanian*, *4*(2), 52. https://doi.org/10.35329/agrovital.v4i2.496

Vajri, I. Y. (2022). Efektivitas Beberapa Bakteri Rizosfer Penghasil Kristal Protein dari Beberapa Jenis Tanaman terhadap Hama *Spodoptera litura* F. (Lepidoptera: Noctuidae). *Jurnal SOMASI (Sosial Humaniora Komunikasi)*, *3*(2), 47–62. https://doi.org/10.53695/js.v3i2.817

Waluyo, L., Hikmah, L., & Wahyuni, S. (2022). Pengaruh

Insektisida Nabati Ekstrak Rimpang Kencur (*Kaempferia galanga* L.) terhadap Mortalitas Hama Ulat Grayak (*Spodoptera frugiperda*) pada Tanaman Jagung (*Zea mays*). *Jurnal Pertanian Agros*, *24*(2), 1069–1077.

Wibowo, C. I. (2017). Efektivitas *Bacillus thuringiensis* dalam Pengendalian Larva Nyamuk *Anopheles* sp. *Biosfera*, *34*(1), 39. https://doi.org/10.20884/1.mib.2017.34.1.469

Widajati, W., Windriyanti, W., & Santoso, W. (2020). Pengaruh Insektisida Mikroba *Bacillus thuringiensis* terhadap Mortalitas *Heliothis armigera* pada Tongkol Jagung. *Plumula : Berkala Ilmiah Agroteknologi*, *8*(1), 1–8. https://doi.org/10.33005/plumula.v8i1.29

Widariyanto, R., Pinem, M. I., & Zahara, F. (2017). Patogenitas Beberapa Cendawan Entomopatogen (*Lecanicillium lecanii*, *Metarhizium anisopliae*, dan *Beauveria bassiana*) terhadap *Aphis glycines* pada Tanaman Kedelai. *Agroekoteknologi FP USU*, *5*(1), 8–16.

Widawati, S., Suliasih, & Saefudin. (2015). Isolasi dan uji efektivitas *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* di lahan marginal pada pertumbuhan tanaman kedelai (*Glycine max* L. Merr.) var. Wilis. *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon*, *1*(1), 59–65. https://doi.org/10.13057/psnmbi/m010109

Yanti, Y., Habazar, T., & Resti, Z. (2017). Formulasi Padat Rhizobakteria Indigenus *Bacillus thuringiensis* Ts2 dan Waktu Penyimpanan untuk Mengendalikan Penyakit Pustul Bakteri *Xanthomonas axonopodis* Pv. *Glycines*. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, *17*(1), 9. https://doi.org/10.23960/j.hptt.1179-18

Zalunin, I. A., Elpidina, E., & Oppert, B. (2015). The role of

proteolysis in the biological activity of Bt insecticidal crystal proteins. *Bt Resistance: Characterization and Strategies for GM Crops Producing Bacillus Thuringiensis Toxins*, 107–118.

Zeigler, D. R. (1999). *Bacillus* Genetic Stock Center Catalog of Strains, Seventh Edition, Part 2: *Bacillus thuringiensis* and *Bacillus cereus*. In *Bacterial Genomes* (Vol. 2). The Ohio State University. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6369-3_49

Zhang, L., Zhang, X., Zhang, Y., Wu, S., Gelbiĉ, I., Xu, L., & Guan, X. (2016). A new formulation of *Bacillus thuringiensis*: UV protection and sustained release mosquito larvae studies. *Scientific Reports*, *6*(December), 1–8. https://doi.org/10.1038/srep39425

Zulaiha, S., Suprapto, & Dwinardi, A. (2012). Infestasi Beberapa Hama Penting terhadap Jagung Hibrida Pengembangan dari Jagung Lokal Bengkulu pada Kondisi Input Rendah di Dataran Tinggi Andisol. *Jurnal Penelitian Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, *1*(1), 15–28.

Zulkifli Sjamsir, & R, S. (2023). *Globalisasi pertanian menuju kemandirian pangan berkearifan lokal di Indonesia*. CV Azka Pustka. https://books.google.co.id/books?id=cdXMEAAAQBAJ

LAMPIRAN

Lampiran 1. Persentase mortalitas larva pada masing-masing perlakuan

$$P = \frac{a}{a+b} \times 100\%$$

P : Persentase mortalitas larva
a : Jumlah larva yang mati
b : Jumlah larva yang hidup

a. Kontrol

$$P = \frac{5}{40} \times 100\%$$

$$P = 12.5\%$$

b. Bt isolat BT-RG01

$$P = \frac{29}{40} \times 100\%$$

$$P = 72.5\%$$

c. Bt komersial

$$P = \frac{9}{40} \times 100\%$$

$$P = 22.5\%$$

d. Insektisida kimia

$$P = \frac{16}{40} \times 100\%$$

$$P = 40\%$$

Lampiran 2. Gambar pengamatan













Tabel Lampiran 1. Rata-rata kematian larva pada masing-masing perlakuan

Perlakuan	Jumlah Kematian Larva	Rata-rata
A1	0	1
A2	0	
A3	1	
A4	1	
A5	3	
B1	7	5.8
B2	6	
B3	4	
B4	5	
B5	7	
C1	0	1.8
C2	4	
C3	2	
C4	2	
C5	1	
D1	2	3.2
D2	4	
D3	2	
D4	4	
D5	4	

Tabel Lampiran 2. Hasil uji normalitas

Tests of Normality

	Perlakuan	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Jumlah Mortalitas Larva	A	.300	5	.161	.833	5	.146
	B	.221	5	.200*	.902	5	.421
	C	.246	5	.200*	.956	5	.777
	D	.367	5	.026	.684	5	.006

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Tabel Lampiran 3. Hasil uji homogenitas

Test of Homogeneity of Variances

Jumlah Mortalitas Larva

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.132	3	16	.940

Tabel Lampiran 4. Hasil uji Kruskal-Wallis

Ranks

	Perlakuan	N	Mean Rank
Jumlah Mortalitas Larva	A	5	5.00
	B	5	17.60
	C	5	7.60
	D	5	11.80
	Total	20	

Test Statistics[a,b]

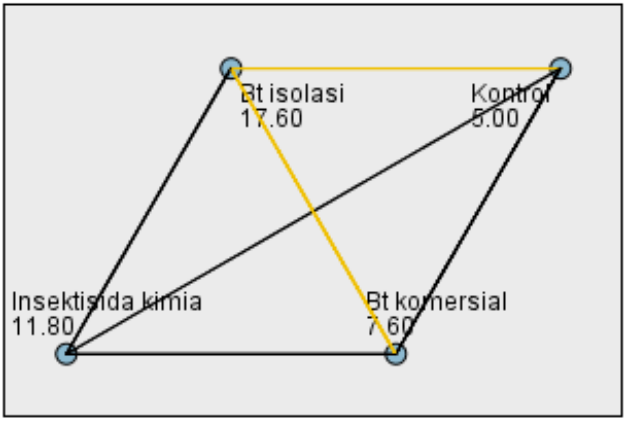
	Jumlah Mortalitas Larva
Chi-Square	13.357
df	3
Asymp. Sig.	.004

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Perlakuan

Tabel Lampiran 5. Hasil uji Post-Hoc

Pairwise Comparisons of Perlakuan



Each node shows the sample average rank of Perlakuan.

Sample1-Sample2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj.Sig.
Kontrol-Bt komersial	-2.600	3.686	-.705	.481	1.000
Kontrol-Insektisida kimia	-6.800	3.686	-1.845	.065	.391
Kontrol-Bt isolasi	-12.600	3.686	-3.418	.001	.004
Bt komersial-Insektisida kimia	-4.200	3.686	-1.139	.255	1.000
Bt komersial-Bt isolasi	10.000	3.686	2.713	.007	.040
Insektisida kimia-Bt isolasi	5.800	3.686	1.573	.116	.694

Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same.
Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is .05.