

**KARAKTERISASI BIOLOGI DAN EFEKTIVITAS PROTEKSI  
SILANG STRAIN LEMAH TERHADAP SUPER INFEKSI STRAIN  
GANAS *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV) PADA  
CABAI RAWIT (*Capsicum frutescens* L.)**

(Tesis)

Oleh

**MAI SARI**



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER BIOLOGI  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

## ABSTRAK

# KARAKTERISASI BIOLOGI DAN EFEKTIVITAS PROTEKSI SILANG STRAIN LEMAH TERHADAP SUPER INFEKSI STRAIN GANAS *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV) PADA CABAI RAWIT (*Capsicum frutescens* L.)

Oleh

## MAI SARI

Cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) merupakan salah satu tanaman hortikultura yang memiliki nilai ekonomi cukup tinggi. Cabai rawit banyak digunakan sebagai bumbu dan penambah cita rasa makanan karena rasa pedas yang berasal dari kandungan capsaicin. Salah satu virus yang menginfeksi cabai rawit yaitu *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV). Infeksi PepYLCV dapat menyebabkan kegagalan panen serta menimbulkan kerugian besar pada petani cabai rawit. Salah satu alternatif pengendalian yaitu dengan proteksi silang menggunakan strain lemah. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan strain lemah PepYLCV yang menginfeksi populasi alami pada cabai rawit, mengetahui karakter biologi dan molekuler PepYLCV pada cabai rawit, dan mengetahui efektivitas proteksi silang strain lemah PepYLCV terhadap super infeksi strain ganas pada cabai rawit. Hipotesis yang diajukan dalam penelitian adalah infeksi proteksi silang yang berasosiasi dengan strain lemah PepYLCV dapat memproteksi tanaman cabai rawit dari super infeksi strain ganas PepYLCV. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Bioteknologi, Fakultas Pertanian, dan Laboratorium Botani Fakultas FMIPA Universitas Lampung, bulan Juli 2022 - Februari 2023. Penelitian ini menggunakan 3 tahapan yaitu inokulasi PepYLCV, analisis karakterisasi molekuler dan morfologi, serta analisis fisiologi. Data diolah dengan ANOVA dan dilanjutkan dengan uji BNJ pada taraf nyata 5%. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh isolat C1 asal Desa Dadapan sebagai isolat lemah PepYLCV dan isolat C2 asal Desa Srikaton sebagai isolat ganas PepYLCV. Hasil isolat strain lemah menginfeksi populasi alami menunjukkan sampel terinfeksi PepYLCV berdasarkan hasil amplifikasi pita DNA spesifik. Hasil karakter biologi menunjukkan strain lemah asal Dadapan dan strain ganas asal Srikaton berdasarkan intensitas gejala, sedangkan karakter molekuler strain lemah dan ganas berbeda berdasarkan jarak genetik. Serta strain lemah mampu menekan laju infeksi strain ganas PepYLCV, berdasarkan variasi gejala, keparahan penyakit, ketahanan tanaman, kandungan klorofil, dan karbohidrat.

**Kata kunci:** Biologi, cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.), *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV), proteksi silang

## ABSTRACT

# CHARACTERIZATION BIOLOGY AND EFFECTIVENESS CROSS PROTECTION WEAK STRAINS AGAINST SUPER INFECTION FIERCE STRAINS *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV) ON CAYENNE PEPPER (*Capsicum frutescens* L.)

By

MAI SARI

Cayenne pepper (*Capsicum frutescens* L.) is a horticultural crop that has high economic value. Cayenne pepper is widely used as a spice and food flavor enhancer because of the spicy taste that comes from the capsaicin content. One of the viruses that infect cayenne pepper is *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV). Infection PepYLCV can cause crop failure and cause big losses to farmers Cayenne pepper. One control alternative is cross protection using weak strains. This study aims to obtain weak strains PepYLCV that infect natural populations Cayenne pepper., know the biological and molecular characters PepYLCV on Cayenne pepper, and determine the effectiveness of weak strain cross protection PepYLCV against superinfection of malignant strains in cayenne pepper. The hypothesis proposed in this study is cross-protection infection associated with weak strains PepYLCV can protect cayenne pepper plants from super-infection of malignant strains PepYLCV. This research was conducted in Laboratory Bioteknologi, Fakultas Pertanian, and Laboratory Botani Fakultas FMIPA Universitas Lampung, month July 2022 - February 2023. This study used 3 stages, namely PepYLCV inoculation, molecular and morphological characterization analysis, and physiological analysis. The data was processed using ANOVA and continued with the BNJ test at the real level 5%. Based on the research results, it was found that C1 isolate from the village Dadapan as a weak isolate PepYLCV and isolate C2 village origin Srikaton as a malignant isolate PepYLCV. The results of isolates of weak strains infecting natural populations indicate infected samples PepYLCV based on the amplification of specific DNA bands. The results of the biological characters showed a weak strain of origin Dadapan and malignant strains of origin Srikaton based on the intensity of symptoms, while the molecular characters of weak and malignant strains differ based on genetic distance. As well as weak strains capable of suppressing the rate of infection of malignant strains PepYLCV, based on a variety of symptoms, disease severity, plant resistance, chlorophyll and carbohydrate content.

**Keywords:** Biology, cayenne pepper (*Capsicum frutescens* L.), *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV), cross protection

**KARAKTERISASI BIOLOGI DAN EFEKTIVITAS PROTEKSI  
SILANG STRAIN LEMAH TERHADAP SUPER INFEKSI STRAIN  
GANAS *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV) PADA  
CABAI RAWIT (*Capsicum frutescens* L.)**

Oleh

**Mai Sari**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
**MAGISTER SAINS**

Pada

**Program Studi Magister Biologi  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Lampung**



**PROGRAM STUDI MAGISTER BIOLOGI  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

Judul Tesis : **Karakterisasi Biologi dan Efektivitas Proteksi Silang Strain Lemah Terhadap Super Infeksi Strain Ganas *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV) pada Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.)**

Nama Mahasiswa : **Mai Sari**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2127021009

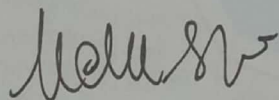
Program Studi : Magister Biologi

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**MENYETUJUI,**

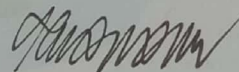
1. Komisi Pembimbing

**Pembimbing I**



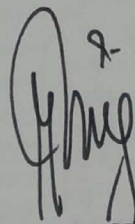
**Dr. Mahfut, S. Si, M. Sc.**  
NIP. 198109092014041001

**Pembimbing II**



**Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M. P.**  
NIP. 195705291986031002

2. Ketua Program Studi Magister Biologi

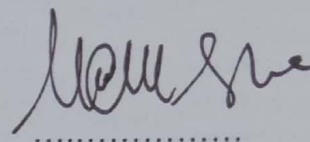


**Dr. Nuning Nurcahyani, M.Sc.**  
NIP. 196603051991032001

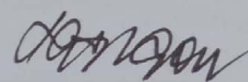
**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

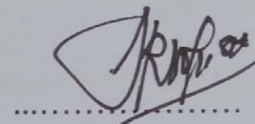
Ketua : **Dr. Mahfut, S.Si., M.Sc.**



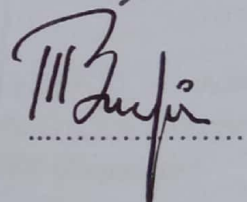
Sekretaris : **Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M.P.** .....



Penguji,  
Bukan Pembimbing 1 : **Dr. Sri Wahyuningsih, M.Si.**



Bukan Pembimbing 1 : **Dr. Bambang Irawan, M.Sc.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.**  
NIP. 197110012005011002

3. Direktur Program Pascasarjana



**Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.**  
NIP.196403261989021001

4. Tanggal Lulus Ujian : **15 Juni 2023**

**SURAT PERNYATAAN  
KEASLIAN TESIS**

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mai Sari  
NPM : 2127021009  
Prodi : Magister Biologi  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa tesis saya berjudul:

**” KARAKTERISASI BIOLOGI DAN EFEKTIVITAS PROTEKSI SILANG  
STRAIN LEMAH TERHADAP SUPER INFEKSI STRAIN GANAS *Pepper  
yellow leaf curl virus (PepYLCV)* PADA CABAI RAWIT (*Capsicum  
frutescens L.*) ”**

Dengan ini menyatakan bahwa baik gagasan, tulisan, data, maupun pembahasannya adalah **benar** karya saya sendiri yang saya susun dengan mengikuti norma dan etika akademik yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terbukti pernyataan saya ini tidak benar, maka saya bersedia mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 21 Juni 2023  
Yang Menyatakan,



Mai Sari  
NPM:2127021009

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Negara Batin pada tanggal 07 Mei 1997, sebagai putri delapan dari delapan bersaudara, lahir dari pasangan Bapak Sa'ani dan Ibu Rosmiyati (Alm).

Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 1 Negara Batin lulus pada tahun 2010, dan melanjutkan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1

Negara Batin lulus pada tahun 2013, serta menyelesaikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Negara Batin lulus pada tahun 2016. Kemudian melanjutkan Srata-1 di Jurusan Biologi Fakultas Tarbiyah dan Keguruan Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung (UIN RIL) melalui Jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN), dan meraih gelar Sarjana Pendidikan (S.Pd.) pada tahun 2020. Pada tahun 2021, penulis tercatat sebagai Mahasiswa Program Studi Magister Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam di Universitas Lampung.



## *PERSEMBAHAN*

*Segala puji hanya milik Allah SWT., atas rahmat dan nikmat yang selalu dilimpahkan. Sholawat serta salam selalu tercurah kepada Rasulullah SAW.*

*Ku persembahkan karya ini sebagai tanda bakti dan cinta kasihku yang tulus kepada :*

*Ayahku Sa'ani dan ibuku Rosmiyati (Alm) yang telah mendidik dan membesarkanku dengan segala do'a terbaik mereka, kesabaran dan limpahan cinta dan kasih sayang, selalu mendukung segala langkahku Untuk mencapai kesuksesan.*

*Kakakku (Meliyus, Depi, Mansur S.P., Muhtar, Aprida, Tholib S.Pd., dan Ahmad Saleh), kakak Iparku (Junaini, Erwan Feri, Etia Lida Wati, S.Pd., Oktarina, Hairul Fikri, dan Fenti Kristina, S.H), ponakanku tersayang (Kezuya, Deva, Farid, Adit, Shakira, Dzaki, Aira, Najwa, Salwa, Keila, dan selin) serta keluarga besarku yang selalu mendo'akan, memberi dukungan, semangat dan motivasi serta kasih sayangnya untukku*

*Bapak dan Ibu Dosen yang selalu memberikanku ilmu yang bermanfaat, yang membuat diriku memahami akan kebesaran Allah SWT. Dan membantuku dalam menggapai kesuksesan.*

*Sahabat – sahabatku yang senantiasa menjadi penyemangat, selalu membantu, tempat berbagi cerita baik suka maupun duka, susah maupun senang.*

*Almamater tercinta, Universitas Lampung*

## MOTTO

وَإِنْ يَمْسَسْكَ اللَّهُ بِضُرٍّ فَلَا كَاشِفَ لَهُ إِلَّا هُوَ وَإِنْ يَمْسَسْكَ بِخَيْرٍ فَهُوَ عَلَىٰ كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ

**Artinya:** “Dan jika Allah menimpakan sesuatu kemudharatan kepadamu, maka tidak ada yang menghilangkannya melainkan Dia sendiri. Dan jika Dia mendatangkan kebaikan kepadamu, maka Dia Maha Kuasa atas tiap-tiap sesuatu”.  
(Q.S Al An’am:17)

## SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. atas berkat, rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “**Karakterisasi Biologi Dan Efektivitas Proteksi Silang Strain Lemah Terhadap Super Infeksi Strain Ganas *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV) Pada Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.)**”.

Penulisan tesis ini tidak terlepas dari perhatian, bimbingan, masukan, arahan, nasehat, curahan waktu, serta motivasi yang tiada henti selama dalam penelitian, penulisan, serta dalam proses menyelesaikan studi. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang tinggi kepada **Bapak, Dr. Mahfut, S.Si., M.Sc.** selaku pembimbing I, dan kepada **Bapak Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M.P.** selaku pembimbing II. Ucapan terima kasih penulis sampaikan juga kepada :

1. Ibu Dr. Sri Wahyuningsih M.Si., selaku pembahas I yang telah banyak memberikan masukan, arahan, nasehat, dan curahan waktu terhadap penulis dalam penyelesaian tesis ini.
2. Bapak Dr. Bambang Irawan, M.Sc. selaku pembahas II yang telah memberikan saran dan kritik serta koreksi selama penulis dalam penyelesaian tesis ini.
3. Kepala Laboratorium Botani, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung, yang telah memberikan izin kepada penulis untuk dapat melaksanakan penelitian ini.
4. Kepala Laboratorium Bioteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, yang telah memberikan izin kepada penulis untuk dapat melaksanakan penelitian ini.

5. Ketua Program Studi Magister Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung.
6. Ketua Jurusan Biologi, Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Direktur Program Pascasarjana dan Rektor Universitas Lampung atas semua fasilitas yang telah diberikan.
7. Bapak dan Ibu Dosen seluruh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung, terima kasih karena telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan kepada penulis.
8. Teman seperjuangan selama penelitian Ferisa Desi Aulia, terima kasih atas bantuan, kebersamaan dan kerjasamanya selama penelitian berlangsung.
9. Best friend till jannah (mba Eka Ayu, Rina Maryani, ka Yosi)
10. Teman-teman Magister Biologi 2021 terima kasih telah menemani dan menyemangati selama proses penelitian.
11. Teman senasib dan seperjuanganku (Veronica Elizabeth Sijabat)
12. Adik-adik S1 Biologi (Veronica Elizabeth Sijabat dan Vira Arrisha Putri Siregar) terima kasih telah menemani dan menyemangati selama proses penelitian.
13. Serta almamater Universitas Lampung yang tercinta.

Ucapan terima kasih disampaikan pula kepada semua pihak yang tidak dapat penulis sampaikan satu per satu atas semua bantuan selama berlangsungnya penelitian hingga sampai terselesaikannya tesis ini. Semoga Allah SWT. memberikan Rahmat dan Karunia-Nya kepada kita semua.

Akhir kata, penulis berharap semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan berguna bagi semua pihak, berguna bagi penulis khususnya dan pembaca umum.

Bandar Lampung, 21 Juni 2023

Penulis

*Mai Sari*

## DAFTAR ISI

|  | Halaman |
|--|---------|
| <b>ABSTRAK</b> .....                                       | i       |
| <b>HALAMAN JUDUL DALAM</b> .....                           | iii     |
| <b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....                           | iv      |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....                            | v       |
| <b>PERNYATAAN KEASLIHAN TESIS</b> .....                    | vi      |
| <b>RIWAYAT HIDUP</b> .....                                 | vii     |
| <b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....                           | viii    |
| <b>MOTTO</b> .....   | ix      |
| <b>SANWACANA</b> .....                                     | x       |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                                    | xii     |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                                  | xv      |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                                 | xvi     |
| <b>I. PENDAHULUAN</b> .....                                | 1       |
| 1.1 Latar belakang .....                                   | 1       |
| 1.2 Tujuan Penelitian .....                                | 4       |
| 1.3 Kerangka Pemikiran .....                               | 4       |
| 1.4 Hipotesis .....  | 6       |
| <b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....                          | 7       |
| 2.1 Cabai Rawit ( <i>Capsicum frutescens</i> L.) .....     | 7       |
| 2.1.1 Sejarah .....  | 7       |
| 2.1.2 Taksonomi .....                                      | 7       |
| 2.1.3 Morfologi .....                                      | 8       |
| 2.1.4 Manfaat .....  | 9       |
| 2.2 Virus .....  | 10      |
| 2.2.1 Virus Tumbuhan .....                                 | 10      |
| 2.2.2 <i>Pepper yellow leaf curl virus</i> (PepYLCV) ..... | 10      |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.3 Proteksi Silang.....   | 13        |
| 2.4 Gen <i>Coat Protein</i> (CP).....  | 14        |
| 2.5 Klorofil.....  | 15        |
| 2.6 Karbohidrat.....   | 16        |
| 2.7 Metabolisme Sekunder.....  | 16        |
| 2.7.1 Enzim Peroksidase.....   | 17        |
| 2.8 Karakterisasi morfologi virus dengan <i>Scanning Electron Microscop</i> (SEM)..... | 17        |
| 2.9 Karakterisasi molecular virus dengan Polymerase Chain Reaction (PCR).....          | 18        |
| <b>III. METODE PENELITIAN</b> .....  | <b>22</b> |
| 3.1 Waktu dan Tempat.....  | 22        |
| 3.2 Alat dan Bahan.....  | 22        |
| 3.2.1 Alat.....  | 22        |
| 3.2.2 Bahan.....   | 24        |
| 3.3 Rancangan Penelitian.....  | 24        |
| 3.4 Bagan Alir Penelitian.....   | 25        |
| 3.5 Prosedur Penelitian.....   | 26        |
| 3.5.1 Observasi Infeksi PepYLCV dilapangan.....  | 26        |
| 3.5.2 Pengambilan Sampel.....  | 26        |
| 3.5.3 Ekstraksi DNA Sampel.....  | 26        |
| 3.5.4 Uji Kuantitatif Hasil Ekstraksi Sampel DNA.....                                  | 28        |
| 3.5.5 Amplifikasi DNA dengan PCR.....  | 28        |
| 3.5.6 Visualisasi hasil PCR dengan Elektroforesis.....                                 | 30        |
| 3.5.7 Sekuensing.....  | 31        |
| 3.5.8 Efektivitas Strain Terhadap Infeksi PepYLCV.....                                 | 31        |
| 3.5.8.1 Inokulasi Virus.....   | 31        |
| 3.5.8.2 Pengamatan Hasil Inokulasi Virus.....  | 32        |
| 3.5.8.2.1 Analisis Gejala Penyakit.....  | 32        |
| 3.5.8.2.2 Analisis Perkembangan Penyakit.....  | 32        |
| 3.5.8.2.3 Analisis Klorofil.....   | 34        |
| 3.5.8.2.4 Analisis Karbohidrat.....  | 35        |
| 3.5.8.2.5 Analisis Metabolisme Sekunder.....   | 36        |
| 3.5.9 Analisis Data.....   | 36        |
| <b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....  | <b>38</b> |
| 4.1 Hasil dan Pembahasan.....  | 38        |
| 4.1.1 Survei dan Koleksi Sampel.....   | 38        |
| 4.1.2 Gejala infeksi PepYLCV dilapangan.....   | 40        |
| 4.1.3 Uji kuantitatif isolasi DNA.....   | 46        |
| 4.1.4 Amplifikasi sebagian gen CP dengan PCR.....                                      | 47        |
| 4.1.5 Analisis Filogenetik.....  | 49        |
| 4.1.6 Analisis Gejala Penyakit.....  | 63        |
| 4.1.7 Analisis Perkembangan Penyakit.....  | 71        |
| 4.1.8 Karakterisasi morfologi virus dengan SEM.....                                    | 75        |
| 4.1.9 Analisis Klorofil.....   | 76        |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.1.10 Analisis Karbohidrat .....       | 82        |
| 4.1.11 Analisis Enzim Peroksidase ..... | 85        |
| <b>V. SIMPULAN dan SARAN .....</b>      | <b>88</b> |
| A. Simpulan.....                        | 88        |
| B. Saran.....                           | 89        |

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

| Tabel   | Halaman |
|---|---------|
| 1. Primer mengamplifikasi gen <i>Coat Protein</i> pada virus PepYLCV .....          | 29      |
| 2. Komposisi reagen PCR untuk satu kali reaksi .....                                | 29      |
| 3. Optimasi suhu dan waktu reaksi PCR .....   | 29      |
| 4. Tingkat ketahanan tanaman terhadap infeksi PepYLCV .....                         | 34      |
| 5. Deteksi gejala infeksi PepYLCV .....   | 42      |
| 6. Nilai absorbansi dua sampel hasil uji kuantitatif isolasi DNA .....              | 45      |
| 7. Persentase kandungan basa isolate PepYLCV .....                                  | 52      |
| 8. Isolat nukleotida bagian gen CP untuk filogenetik .....                          | 52      |
| 9. Hasil analisis <i>alignment</i> 8 sekuen nukleotida yang menunjukkan mutasi..... | 54      |
| 10. Hasil analisis jumlah kejadian mutasi .....                                     | 57      |
| 11. Perubahan asam amino pada isolate PepYLCV .....                                 | 59      |
| 12. Frekuensi asam amino gen CP pada isolat PepYLCV .....                           | 60      |
| 13. Nilai jarak genetik gen CP pada isolate PepYLCV.....                            | 61      |
| 14. Variasi gejala PepYLCV hasil inokulasi virus.....                               | 64      |
| 15. Keparahan penyakit hasil inokulasi virus PepYLCV.....                           | 71      |
| 16. Tingkat ketahanan hasil inokulasi virus PepYLCV .....                           | 74      |
| 17. Hasil uji Tukey klorofil a .....  | 77      |
| 18. Hasil uji Tukey klorofil b .....  | 79      |
| 19. Hasil uji Tukey Klorofil total .....  | 81      |
| 20. Hasil uji Tukey Karbohidrat.....  | 83      |
| 21. Hasil uji Tukey Enzim Peroksidase.....  | 85      |



## DAFTAR GAMBAR

| Gambar  | Halaman |
|---|---------|
| 1. Morfologi cabai rawit .....  | 9       |
| 2. Organisasi genom PepYLCV .....   | 11      |
| 3. Variasi gejala infeksi PepYLCV .....                                   | 12      |
| 4. Struktur klorofil .....  | 15      |
| 5. Bagan alir penelitian .....  | 25      |
| 6. Tahapan ekstraksi DNA .....  | 28      |
| 7. Proses visualisasi hasil PCR dengan Elektroforesis .....               | 30      |
| 8. Peta pengambilan sampel .....  | 39      |
| 9. Variasi gejala cabai rawit yang diduga terinfeksi PepYLCV ...          | 41      |
| 10. Variasi gejala pada daun cabai yang diduga<br>terinfeksi PepYLC ..... | 43      |
| 11. Visualisasi hasil amplifikasi PCR DNA .....                           | 48      |
| 12. Sekuens nukleotida strain lemah PepYLCV .....                         | 49      |
| 13. Sekuens nukleotida strain ganas PepYLCV .....                         | 49      |
| 14. Hasil pencarian sekuen homolog strain lemah .....                     | 50      |
| 15. Hasil pencarian sekuen homolog strain ganas .....                     | 51      |
| 16. Pohon filogenetik isolat strain lemah dan ganas PepYLCV .....         | 62      |
| 17. Gejala infeksi isolat strain lemah PepYLCV .....                      | 66      |
| 18. Gejala infeksi isolat strain ganas PepYLCV .....                      | 68      |
| 19. Gejala infeksi isolat strain lemah+ganas PepYLCV .....                | 70      |
| 20. Pengamatan partikel PepYLCV menggunakan SEM .....                     | 76      |

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang dan Masalah

Cabai merupakan salah satu tanaman hortikultura yang memiliki nilai ekonomi yang cukup tinggi. Cabai banyak digunakan sebagai bumbu dan penambah cita rasa makanan karena rasa pedas yang berasal dari kandungan capsaicin (Ernawati dkk., 2021). Salah satu jenis cabai yang menjadi komoditas penting di pasaran yaitu cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.). Produksi cabai di Lampung sampai saat ini masih belum dapat memenuhi kebutuhan masyarakat secara luas. Hal ini disebabkan infeksi virus, bakteri, dan jamur yang menyebabkan penurunan produksi (Fitriani dan Febrianto, 2020).

Salah satunya jenis virus yang banyak dilaporkan menginfeksi cabai rawit yaitu *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV). PepYLCV termasuk dalam Geminivirus yang disebarkan melalui vektor serangga yaitu kutu kebul (*Bemisia tabaci* Genn.). Infeksi PepYLCV pada cabai rawit menunjukkan gejala mosaik pada bagian pucuk daun. Lebih lanjut, daun muda yang terinfeksi akan menunjukkan perubahan warna hijau normal atau hijau tua menjadi belang hijau muda kekuningan. Selain daun, buah juga menjadi lebih kecil dan terjadi penghambatan pembentukan buah pada bagian puncak batang. Infeksi virus ini tersebar cukup luas di Indonesia dan hampir ditemukan pada pertanaman cabai rawit dengan proporsi kejadian penyakit yang berbeda-beda (Halwiyah dkk., 2019).

Sampai saat ini pengendalian PepYLCV pada cabai rawit belum memberikan hasil yang diharapkan. Pengendalian penyakit virus pada cabai rawit relatif lebih sulit dibandingkan dengan patogen lain seperti jamur, bakteri, dan nematoda (Akin, 2022). Pengendalian PepYLCV menjadi sulit karena keragaman genetik PepYLCV yang tinggi sehingga sulit menemukan jenis cabai yang tahan, kisaran tanaman inang PepYLCV yang luas, dan PepYLCV dapat ditularkan oleh berbagai jenis kutu kebul secara nirpersisten (Akin, 2005). Oleh sebab itu diperlukan metode yang efektif dan efisien dalam pengendalian PepYLCV yang menginfeksi tanaman cabai rawit.

Proteksi silang adalah penggunaan isolat lemah suatu virus untuk melindungi tanaman dari kerusakan ekonomis yang ditimbulkan oleh infeksi isolat ganas virus yang sama. Mekanis proteksi silang merupakan penggunaan faktor tanaman inang yang diperlukan untuk bereplikasi di dalam sel, seperti penghambatan proses penyusunan partikel virus, hambatan translokasi virus dalam tanaman inang, serta induksi ketahanan bersifat sistemik strain lemah (Aranda *et al.*, 1995).

Prinsip dari proteksi silang salah satu caranya yaitu untuk mengendalikan virus PepYLCV menggunakan strain lemah. Pengaruh dari strain lemah yaitu potensitas virus *helper* PepYLCV, tetapi bergantung pada strain virus dan tanaman inang. Sehingga asosiasi antara strain lemah dengan virus *helper* dapat menyebabkan ketidak mampuan virus untuk mengimbas gejala pada inangnya (*attenuated strain*) dan dapat juga menyebabkan isolat virus tersebut bersifat antagonis terhadap isolat lain proteksi silang (*cross protection*). Teknik ini dapat secara efektif melindungi tanaman terhadap infeksi PepYLCV strain ganas di lapangan. Percobaan lapangan juga sudah pernah dilakukan pada tahun 1988 di tanaman tomat, pada tahun 1989 di tanaman cabai dan tahun 1990 di tanaman ketimun (McGarvey *et al.*, 1994).

Virus memiliki pengaruh sangat besar terhadap tumbuhan dikarenakan daya tularnya yang cukup tinggi sehingga virus dapat menjadi kendala utama

dalam memproduksi tanaman cabai rawit. Penyakit menguning pada daun, keriting, buah menjadi kerdil ini terjadi dikarenakan infeksi PepYLCV pada cabai rawit sehingga tidak dapat menghasilkan buah ataupun tetap berbuah meskipun hasil produksi cabainya berkurang (Semangun, 2008). Penelitian Asad *et al.* (2019) menunjukkan bahwa sekuen nukleotida spesifik *Coat Protein* dapat digunakan untuk mendeteksi PepYLCV pada tanaman timun dan cabai. Sehingga metode yang umumnya digunakan untuk mendeteksi infeksi PepYLCV ialah amplifikasi gen *coat protein* menggunakan teknik *Polymerase Chain Reaction* (PCR) dengan primer univeral PepYLCV (Veniar dkk., 2015). Berdasarkan hasil diagnosis molekuler menggunakan PCR menunjukkan bahwa penyakit menguning berasosiasi dengan penyakit keriting dan kerdil pada cabai rawit yang disebabkan infeksi PepYLCV. Penyakit keriting dan kerdil pada cabai rawit dapat menimbulkan kerugian bagi petani cabai rawit (Pranatayana dkk., 2014).

Infeksi PepYLCV pada cabai rawit di Lampung sudah banyak dilaporkan (Mardiyah dan Priyadi, 2021; Purnomo dan Sudiono, 2009; Sudiono dkk. 2005; Sudiono, 2012) namun belum banyak ada penelitian terkait dengan proteksi silang strain lemah dalam pengendalian infeksi PepYLCV. Infeksi PepYLCV juga dapat menyebabkan kerusakan kloroplas, sehingga mengakibatkan pembentukan klorofil menjadi rusak (Nio Song dan Yuni Banyo, 2011). Beberapa penelitian sebelumnya telah melaporkan bahwa infeksi virus dapat menurunkan kandungan klorofil a, b, maupun klorofil total, dan karbohidrat. Penurunan kandungan klorofil disebabkan akibat infeksi virus yang terjadi pada klorofil maupun kloroplas yang dimulai dari rusaknya makroskopis pada daun, sedangkan kerusakan pada karbohidrat disebabkan karena kandungan klorofil menurun sehingga kandungan karbohidrat akan terjadi penurunan. Sedangkan pada saat infeksi PepYLCV masuk ke dalam sel dan melakukan replikasi pada cabai rawit akan mengaktifkan respon ketahanan dengan membentuk metabolit sekunder berupa enzim peroksidase. Enzim peroksidase berperan untuk mengkatalis dalam reaksi pembentukan lignin yang berfungsi untuk memperkuat dan

mempertebal dinding sel sehingga sangat sulit untuk ditembus oleh vektor (Firgiyanto dkk., 2016). Analisis karakterisasi morfologi menggunakan SEM dan molekular, serta analisis fisiologi efektivitas terhadap PepYLCV yang menginfeksi cabai rawit perlu dilakukan sebagai informasi awal dalam upaya pengendalian infeksi PepYLCV. Penelitian terkait "Karakterisasi Biologi dan Efektivitas Proteksi Silang Strain Lemah terhadap Super Infeksi Strain Ganas *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV) pada Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.)" diarahkan untuk mencari strain lemah yang berasosiasi dengan PepYLCV yang menyebabkan gejala sangat ringan bahkan tanpa gejala dan mampu menggandakan proteksi silang terhadap isolat-isolat ganas yang umum ditemukan pada pertanaman cabai di Indonesia.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mendapatkan strain lemah *Pepper yellow leaf curl virus* yang menginfeksi populasi alami pada cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.).
2. Mengetahui karakter biologi dan molekuler *Pepper yellow leaf curl virus* pada cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.).
3. Mengetahui efektivitas proteksi silang strain lemah *Pepper yellow leaf curl virus* terhadap super infeksi strain ganas pada cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.).

## 1.3 Kerangka Pemikiran

Salah satu spesies virus yang menyerang cabai rawit adalah *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV). Virus ini ditularkan oleh vektor serangga yaitu kutu kebul (*Bemisia tabaci* Genn.). Gejala yang ditimbulkan oleh PepYLCV pada cabai rawit berupa daun menguning, keriting, ukuran daun mengecil, mosaik, buah cabai mengecil, klorosis pada tepi daun, serta tanaman cabai rawit akan

mengalami kekerdilan. Jika keberadaan ini dibiarkan akan menjadi salah satu masalah serius bagi produksi cabai rawit di Indonesia terutama di Lampung.

Strain lemah dapat memodifikasi replikasi dan patogenisitas PepYLCV melalui cara yang kompleks serta sangat tergantung pada strain PepYLCV, maupun spesies tanaman. Sejumlah varian strain lemah telah diidentifikasi mempunyai kemampuan untuk melemahkan gejala yang ditimbulkan oleh PepYLCV dan menekan akumulasi partikel PepYLCV pada tanaman inang. Beberapa strain lemah jenis ini telah digunakan untuk pengendalian penyakit yang diinfeksi oleh PepYLCV melalui sistem pengendalian secara proteksi silang.

Proteksi silang didefinisikan sebagai preinokulasi tanaman dengan strain virus lemah dan bersifat hipovirulen. Ketersediaan strain lemah yang tidak menurunkan hasil tanaman inang merupakan faktor kunci keberhasilan pengendalian virus menggunakan proteksi silang. Strain lemah virus dapat diperoleh melalui tiga cara yaitu mutasi yang diinduksi oleh bahan mutagenik seperti asam nitrat (*nitrous acid*), penularan virus melalui inang atau vektor yang selektif, serta seleksi virus dari populasi strain virus di lapangan. Seleksi virus dari lapangan merupakan cara yang paling aman terhadap lingkungan, karena strain yang didapatkan telah terseleksi dan beradaptasi dengan lingkungan.

Mekanisme proteksi silang merupakan penggunaan faktor tanaman inang untuk bereplikasi di dalam sel, seperti penghambatan proses penyusunan partikel virus, hambatan translokasi virus dalam tanaman inang, serta induksi ketahanan bersifat sistemik strain lemah. Dalam penelitian ini penanggulangan virus menggunakan teknik molekuler banyak digunakan untuk mendeteksi keberadaan suatu virus yang menginfeksi tanaman seperti PepYLCV. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui Karakterisasi Biologi dan Efektivitas Proteksi Silang Strain Lemah terhadap Super Infeksi Strain

Ganas *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV) pada Cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.).

#### 1.4 Hipotesis

Hipotesis pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Diperoleh isolat strain lemah dan strain ganas *Pepper yellow leaf curl virus* yang terdeteksi menginfeksi populasi alami pada cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.).
2. Diketahui karakter biologi dan molekuler isolat strain lemah dan strain ganas *Pepper yellow leaf curl* yang menginfeksi pada cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.).
3. Strain lemah *Pepper yellow leaf curl* efektif menekan infeksi strain ganas pada cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.).

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.)

#### 2.1.1 Sejarah

Awal mulanya cabai merupakan tanaman liar di hutan. Masyarakat yang pertama kali memanfaatkan dan membudidayakan cabai adalah suku Inca (Amerika Selatan), Maya (Amerika Tengah), dan Aztec (Meksiko) sekitar 2.500 SM. Pada masa itu, tanaman ini sudah dimanfaatkan sebagai bumbu masakan. Orang yang pertama kali berjasa dalam penyebaran cabai adalah Columbus pada tahun (1451-1506). Kemudian di tahun 1492, Columbus menemukan penduduk asli di sekitar Laut Karibia yang memanfaatkan cabai sebagai bumbu masakan. Dalam buku *Tropical Herbs and Spices of Indonesia* diketahui bahwa penyebaran cabai di Indonesia dilakukan oleh bangsa Spanyol dan Portugis pada awal abad ke-15 sampai ke-17. Tanaman ini mulai dibudidayakan di Indonesia Pada tahun 1918 dengan adanya pengiriman ribuan kilogram cabai dari pelabuhan di Jakarta, Cirebon, Semarang, dan Surabaya menuju Sumatera dan Kalimantan. Sekitar abad ke-19 dan ke-20, masyarakat Jawa sudah terbiasa mengolah cabai sebagai bumbu masakan dan juga obat (Aidah, 2020).

#### 2.1.2 Taksonomi

Cabai rawit tergolong dalam famili terong-terongan (*Solanaceae*) yang memiliki habitus berupa perdu. Cabai rawit termasuk tanaman semusim atau berumur pendek. Menurut Cronquist (1981) dalam

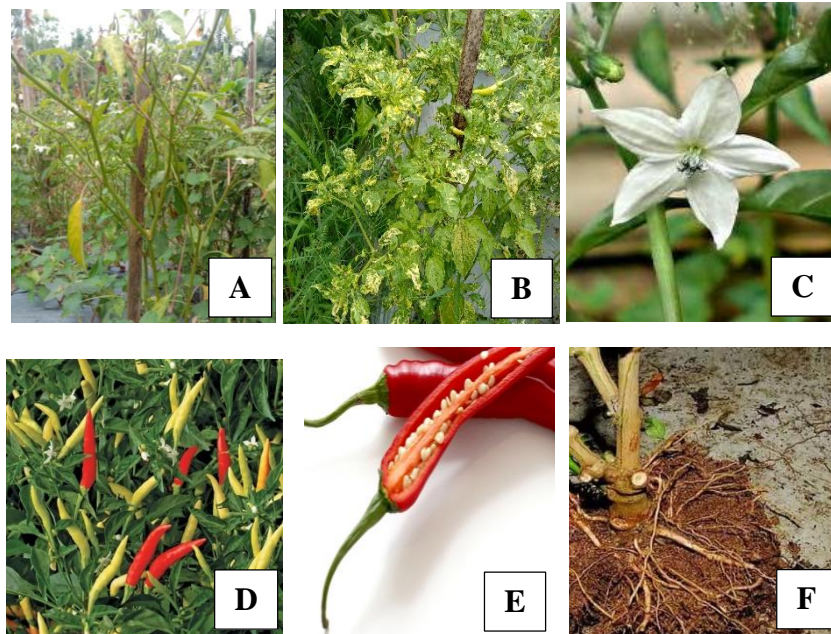


sistematika tumbuhan cabai rawit diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom : Plantae  
Divisio : Magnoliophyta  
Class : Magnoliopsida  
Order : Solanales  
Family : Solanaceae  
Genus : *Capsicum*  
Species : *Capsicum frutescens* L.

### 2.1.3 Morfologi

Cabai rawit memiliki bagian-bagian utama yaitu akar, batang, daun, bunga, buah, dan biji. Tanaman ini memiliki akar tunggang yang terdiri dari akar utama (primer) dan akar lateral (sekunder). Akar lateral selanjutnya bercabang membentuk serabut akar yang disebut akar tersier. Secara umum, batang cabai rawit berwarna hijau tua, berkayu, serta bercabang lebar. Panjang batang berkisar antara 30-37,5 cm dengan diameter 1,5-3 cm. Daun tunggal pada cabai rawit berwarna hijau muda hingga hijau tua dengan bentuk helai daun yang bervariasi. Bunga merupakan bunga tunggal dan muncul dibagian ujung ruas tunas. Mahkota bunga berwarna putih, kuning muda, kuning, ungu dengan dasar putih, putih dengan dasar ungu tergantung dari varietas cabai rawit. Bagian dalam buah terdapat plasenta yang berfungsi sebagai tempat melekatnya biji, sedangkan plasenta terdapat pada bagian dalam buah. Ukuran buah cabai rawit beragam, mulai dari pendek sampai panjang dengan ujung tumpul atau runcing. Biji berwarna putih kekuningan, berbentuk pipih, teksturnya sangat keras, dan saat tua bijinya berwarna coklat (Rosdiana dan Mantau, 2011). Morfologi cabai rawit secara lengkap ditampilkan pada **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Morfologi cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.): A) Batang, B) Daun, C) Bunga, D) Buah, E) Biji dan F) Akar (Marpaung dkk., 2019).

#### 2.1.4 Manfaat

Secara umum cabai rawit dimanfaatkan sebagai bahan penyedap berbagai macam masakan. Selain itu, cabai rawit digunakan sebagai bahan baku industri makanan, penghasil minyak atsiri, ramuan obat tradisional, serta bahan baku kosmetik (Utaminingsih dkk., 2019). Cabai rawit dapat dikonsumsi secara segar, kering ataupun dalam bentuk bubuk. Dimana cabai rawit ini juga kaya akan protein, lipid, karbohidrat, serat, garam mineral (Ca, P, Fe) dan vitamin A, D3, E, C, K, B2 dan B12. Buah dari cabai rawit merupakan sumber yang sangat baik dari senyawa fitokimia yang berhubungan dengan kesehatan, seperti asam askorbat (vitamin C), karotenoid (provitamin A), vitamin E, flavonoid, dan capsaicinoid yang sangat penting dalam mencegah penyakit kronis seperti kanker, asma, batuk, sakit tenggorokan, sakit gigi, serta diabetes. Cabai rawit juga memiliki sifat antioksidan, anti mutagenesis, hipokolesterolemia, immunosupresif, dan juga dapat menghambat pertumbuhan bakteri dan aglomerasi trombosit (Ratna *et al.*, 2018).

## 2.2 Virus

### 2.2.1 Virus Tumbuhan

Virus tumbuhan merupakan jasad yang hanya dapat menginfeksi tanaman dengan bantuan faktor lain seperti luka atau serangga vektor. Virus juga merupakan unit elemen yang masih menunjukkan tanda kehidupan, sehingga dapat didefinisikan sebagai organisme taksel mempunyai genom yang dapat direplikasi dalam sel inang dengan menggunakan perangkat metabolisme sel inang untuk membentuk seluruh komponen virus (Akin, 2006).

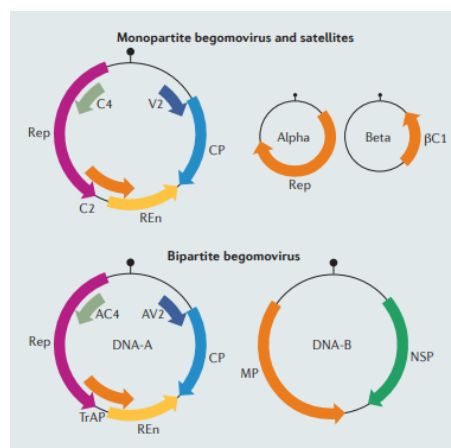
Virus tumbuhan dalam beberapa hal berbeda dengan virus yang menginfeksi hewan atau bakteri. Salah satu perbedaan tersebut adalah mekanis penetrasi virus tumbuhan ke dalam dinding sel inang. Virus tumbuhan hanya bisa masuk dalam sel melalui luka yang terjadi secara mekanis atau menggunakan serangga vektor. Infeksi virus pada tumbuhan memiliki beberapa virus salah satunya yang menginfeksi cabai rawit yaitu infeksi *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV) (Akin, 2006).

### 2.2.2 *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV)

*Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV) merupakan anggota famili Geminiviridae dan genus Begomovirus. Virus ini diketahui penyebab penyakit kuning pada tanaman cabai yang ditularkan oleh serangga vektor yaitu kutu kebul (*Bemisia tabaci* Genn.) secara persisten. Gejala umum tanaman cabai rawit yang terinfeksi PepYLCV yaitu adanya bercak kuning yang berada disekitar tulang daun, terjadi penebalan tulang daun, helaian daun yang menggulung ke atas (*cupping up*), terdapat selingan warna antara hijau muda dengan kuning cerah, dan daun-daun muda memiliki ukuran yang kecil. Infeksi virus ini dapat terjadi pada fase vegetatif dan generatif yang menurunkan hasil secara kuantitatif dan kualitatif. Sehingga akibat adanya penyakit virus

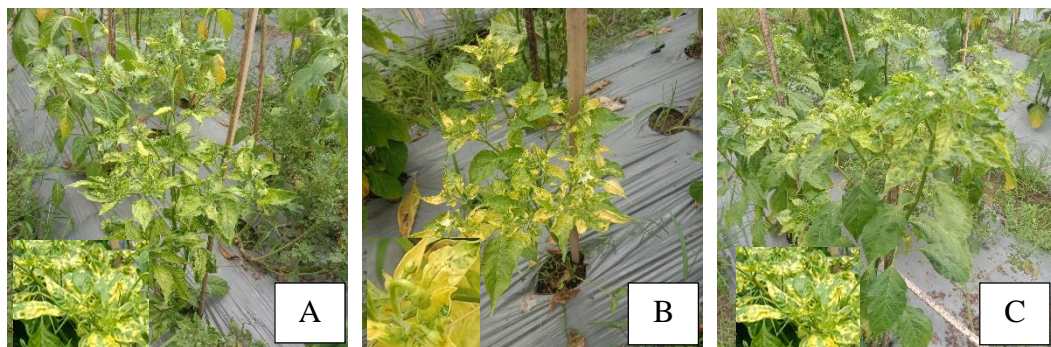
PepYLCV ini petani mengalami kerugian yang sangat besar (Sulandari, 2006).

Pada perspektif molekuler, menurut Nash *et al.* (2011) Geminivirus merupakan virus *single-stranded* DNA (ssDNA) berukuran 3.6 nt yang tersusun dari 5-7 jenis protein berbeda untuk menunjang mekanisme biologisnya dalam tubuh inang. Sejumlah protein tersebut berperan dalam melindungi partikel virus (*Coat Protein*), mobilisasi (*Protein Movement*), transmisi, dan menunjang proses replikasi material genetik yaitu *Replication Initiator* (Rep) dan *Replication Enhancer* (REn), serta patogenesis (Bernardo, 2013). Berdasarkan analisis pada tingkat DNA, protein Rep diekspresikan melalui transkripsi potongan untaian komplementernya. Protein Rep juga disebutkan sebagai kunci determinan dari patogenesis PepYLCV (Candra, 2019). Organisasi genom virus ini menurut Bowdoin *et al.* (2013) dikelompokkan menjadi monopartite dan bipartite yang ditentukan oleh jumlah komponen DNA, kemudian dikenal dengan istilah DNA-A dan DNA-B lalu berasosiasi dengan satelit alfa dan beta yang berperan dalam patogenesis virus (Gorter and Muller, 2015). Organisasi genom PepYLCV secara lengkap ditampilkan pada **Gambar 2**.



**Gambar 2.** Organisasi genom *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV) ( Hanley-Bowdoin *et al.*, 2013).

PepYLCV telah dilaporkan menginfeksi lebih dari 1.300 spesies tergolong ke dalam 500 genus dan 100 famili. Salah satu contoh spesies tanaman yang terinfeksi PepYLCV yaitu *Arabidopsis thaliana*. Spesies ini paling baik dicirikan pada tingkat molekuler dalam hal fisiologi, genetika, perkembangan, respons stres, dan evolusi (Ando *et al.*, 2019). Virus yang dapat menginfeksi cabai rawit diantaranya *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV), *Cucumber mosaic virus* (CMV), *Chilli puckery stunt virus* (CPSV), Geminivirus, *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV), *Tobacco mosaic virus* (TMV), *Chili vein mottle virus* (ChiVMV), dan *Tomato spotted wilt ringspot virus* (TSWRV). Pada akhir tahun 2002 hingga awal 2003 dilaporkan bahwa Geminivirus telah menjadi epidemi yang dapat menyebabkan hasil panen menurun di beberapa daerah seperti Yogyakarta, Magelang, Lampung, Sumatera Selatan, Jawa Barat dan Kalimantan Selatan. Gejala PepYLCV pada cabai rawit dapat menyebabkan daun mengerut, permukaan daun kasar, mosaik, daun menguning, klorosis, serta kerdil (Rendina *et al.*, 2019). Variasi gejala infeksi PepYLCV pada cabai rawit ditampilkan pada **Gambar 3**.



**Gambar 3.** Variasi gejala infeksi PepYLCV pada cabai rawit: A. Mosaik, B. *Yellow*, dan C. Klorosis (Dokumentasi Pribadi)

### 2.3 Proteksi Silang

Strain lemah dapat memodifikasi replikasi dan patogenesitas PepYLCV melalui cara yang kompleks serta sangat tergantung pada strain PepYLCV, strain lemah, maupun spesies tanaman. Sejumlah varian strain lemah telah diidentifikasi mempunyai kemampuan untuk melemahkan gejala yang ditimbulkan oleh PepYLCV dan menekan akumulasi partikel PepYLCV pada tanaman inang. Beberapa strain lemah jenis ini telah digunakan untuk pengendalian penyakit yang diinduksi oleh PepYLCV melalui sistem pengendalian secara proteksi silang (*cross protection*). Pada prinsipnya, proteksi silang adalah penggunaan isolat lemah suatu virus untuk melindungi tanaman dari kerusakan ekonomis yang ditimbulkan oleh infeksi isolat ganas virus yang sama (Aranda *et al.*, 1995).

Proteksi silang didefinisikan sebagai preinokulasi tanaman dengan strain virus lemah dan bersifat hipovirulen. Ketersediaan strain lemah yang tidak menurunkan hasil tanaman inang merupakan faktor kunci keberhasilan pengendalian virus menggunakan proteksi silang. Strain lemah virus dapat diperoleh melalui tiga cara yaitu mutasi yang diinduksi oleh bahan mutagenik seperti asam nitrat, penularan virus melalui inang atau vektor yang selektif, serta seleksi virus dari populasi strain virus di lapangan. Seleksi virus dari lapangan merupakan cara yang paling aman terhadap lingkungan, karena strain yang didapatkan telah terseleksi dan beradaptasi dengan lingkungan (Nyana *et al.*, 2012).

Mekanisme proteksi silang merupakan penggunaan faktor tanaman inang untuk bereplikasi di dalam sel, seperti penghambatan proses penyusunan partikel virus, hambatan translokasi virus dalam tanaman inang, serta induksi ketahanan bersifat sistemik strain lemah. Beberapa mekanisme proteksi silang yang terjadi pada asam nukleat yaitu proteksi silang pada viroid, proteksi silang pada mutan PepYLCV hanya terdiri atas asam nukleat, dan proteksi silang pada virus yang multipartikel. Hibridisasi antara antisen DNA virus strain lemah dan DNA strain kuat juga dihipotesiskan sebagai mekanisme

proteksi silang, tetapi mekanisme ketahanannya juga dapat terjadi pada sel yang terinfeksi (Akin, 2022).

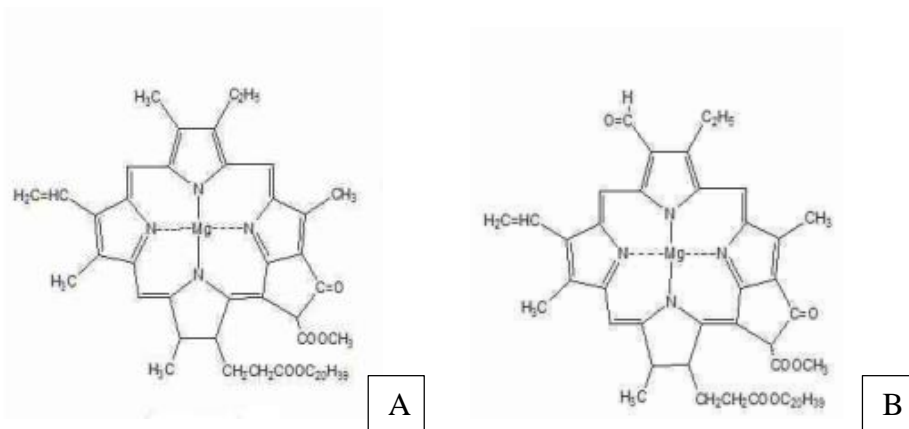
#### **2.4 Gen Coat Protein (CP)**

Gen *Coat Protein* (CP) merupakan gen yang paling banyak digunakan sebagai gen ketahanan dan dikonstruksi menjadi tanaman transgenik yang tahan terhadap virus. Reaksi dari ketahanan CP terhadap virus tumbuhan pada tanaman transgenik yang memproduksi protein struktural akan tetapi dapat juga terjadi pada tanaman transgenik yang hanya menyediakan asam nukleat (Akin, 2022). Gen CP juga merupakan daerah yang sangat *conserved* di dalam genom sehingga dapat digunakan sebagai deteksi *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV), dimana CP berperan dalam proses enkapsidasi partikel virus. Cara penularannya melalui serangga vektor, serta terlibat dalam proses pergerakan virus di dalam tanaman (Brown *et al.*, 2012).

Gen penyandi CP yang juga dapat digunakan sebagai dasar analisis taksonomi dari famili Geminiviridae karena memiliki derajat kesamaan yang tinggi pada beberapa anggota PepYLCV yang termasuk ke dalam satu genus. Sekuen CP saat ini semakin banyak digunakan untuk klasifikasi taksonomi karena relatif stabil, serta memiliki variasi basa yang dapat membedakan antara isolat virus yang hubungan kekerabatannya dekat (Windarningsih dkk., 2018). Gen lain yang menyusun tubuh Geminiviridae yaitu gen *Movement Protein* (MP), serta gen replikasi. Akan tetapi, yang paling menentukan virulensi dan patogenesitas Geminiviridae dalam sel inang tersebut yang diawali dari fungsi CP. Fungsi CP yaitu sebagai pintu masuk virus ke dalam inti sel inang. Selain itu CP juga bertanggung jawab dalam proses pendeteksian, penginfeksi, sampai virus bisa masuk ke dalam tubuh sel inang (Powell *et al.*, 1986).

## 2.5 Klorofil

Klorofil yaitu suatu magnesium-porfirin yang melekat pada protein. Klorofil juga merupakan katalisator fotosintesis penting yang terdapat pada membran tilakoid yang berperan sebagai pigmen hijau di dalam jaringan tumbuhan (Allabi, 2006). Menurut penelitian terdahulu Juanda dkk. (2003) menyebutkan bahwa klorofil merupakan salah satu pigmen utama yang terdapat pada tumbuhan dalam kloroplas dan menjadi salah satu faktor utama dalam mempengaruhi proses perubahan senyawa organik ( $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ ) menjadi senyawa organik dan  $\text{O}_2$  dengan bantuan cahaya matahari yang biasa disebut dengan fotosintesis. Klorofil juga memiliki konsentrasi berbeda setiap tanaman tergantung dengan gen, cahaya, air, dan umur tanaman (Yang *et al.*, 2014). Klorofil memiliki dua jenis, yaitu klorofil a dan klorofil b. Klorofil a merupakan senyawa kompleks diantara magnesium dan porfirin yang mengandung cincin siklontanon (cincin v), sedangkan klorofil b merupakan klorofil kedua yang terdapat di dalam tumbuhan. Struktur dari klorofil a dan klorofil b berbeda dikarenakan klorofil a memiliki penyulih metil, sedangkan klorofil b memiliki gugus aldehida yang terikat di kanan atas cincin pirol (Suntoro, 2002). Klorofil ini merupakan jenis klorofil yang paling kuat menyerap cahaya merah dengan panjang gelombang 600-700 nm. Akan tetapi keduanya merupakan klorofil yang paling sedikit menyerap warna hijau. Berikut ini adalah struktur klorofil a dan klorofil b ditampilkan pada **Gambar 4**.



**Gambar 4.** Struktur klorofil, A. klorofil a, dan B. klorofil b (Nio Song Ai and Banyo, 2011)



## 2.6 Karbohidrat

Karbohidrat merupakan senyawa organik yang terdiri dari hidrolisis menjadi polisakarida aldehyd dan keton (Nurcahyani dkk., 2019). Karbohidrat juga merupakan molekul kompleks ataupun molekul sederhana yang tersusun atas karbon, hidrogen, serta oksigen (Christian *et al.*, 2006). Karbohidrat di dalam tanaman berupa amilum atau pati. Amilum merupakan homopolimer dari glukosa digabungkan dengan mata rantai yang sama pada maltosa.

Karbohidrat adalah salah satu hasil alam yang memiliki banyak fungsi penting dalam tanaman maupun hewan. Pada proses fotosintesis tanaman akan merubah karbondioksida menjadi karbohidrat, dimana perubahan tersebut terjadi dalam bentuk selulosa, pati, dan gula. Karbohidrat termasuk golongan monosakarida dan disakarida yang memiliki sifat mereduksi, pada sifat tersebut disebabkan karena adanya gugus keton (Daud, 2012). Kadar karbohidrat dapat diukur menggunakan metode fenol sulfat, pada metode ini memiliki prinsip yaitu gula sederhana dan oligosakarida dapat bereaksi dengan fenol dalam asam sulfat pekat dapat menghasilkan warna jingga kekuningan yang stabil. (Rita dan Djajadi, 2009).

## 2.7 Metabolit Sekunder

Metabolit sekunder yaitu senyawa organik yang dihasilkan oleh tumbuhan, dan tidak memiliki fungsi secara langsung pada pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Croteau *et al.*, 2015). Metabolit sekunder memiliki peran yang penting bagi tumbuhan untuk membantu dalam proses mengatasi stres abiotik pada tanaman seperti peningkatan radiasi UV, meskipun mekanisme fungsinya belum sepenuhnya dipahami. Biosintesis metabolit sekunder dapat terjadi pada semua organ tanaman, mulai dari akar, pucuk, daun, bunga, buah, serta biji (Gutzeit *and* Muller, 2014). Penelitian terdahulu yaitu Ningsih dan Zusfahair (2016) menyatakan bahwa metabolit sekunder pada tanaman memiliki beberapa fungsi yaitu sebagai bentuk pertahanan terhadap virus, bakteri, fungi, tumbuhan kompetitor, dan herbivora sebagai

atraktan (bau, warna, dan rasa) untuk polinator dan hewan penyebar biji sebagai pelindung tanaman dari bahaya sinar UV dan sebagai penyimpan nitrogen. Adapun metabolit sekunder yang dibentuk sebagai respon ketahanan tanaman terhadap infeksi virus adalah enzim peroksidase.

### **2.7.1 Enzim Peroksidase**

Enzim peroksidase merupakan senyawa yang mengkatalis reaksi oksidasi hydrogen peroksida menggunakan monomer-monomer lignin (r-kumaril alkohol, koniferil alkohol, dan sinapsisi alkohol) menjadi polimer berupa lignin. Keberadaan lignin dalam enzim peroksidase dapat menyebabkan dinding sel tumbuhan menjadi lebih tebal sehingga sulit untuk dipenetrasi oleh patogen (Hopkins *et al.*, 2001).

Enzim peroksidase juga mempunyai fungsi yang berkaitan dengan proses ketahanan. Sedangkan pada sumber enzim peroksidase bisa didapatkan dari alam, seperti pada sumber pangan nabati yang diperoleh dari batang brokoli, bonggol jagung, daun mangkakan, dan lobak putih (Utami dkk., 2017). Loon *et al.* (1994) menjelaskan bahwa enzim peroksidase merupakan suatu kelompok pathogenesis related protein (PR-protein) dari golongan PR-9 yang terakumulasi pada saat tanaman terinfeksi oleh virus ataupun patogen lainnya.

## **2.8 Karakterisasi morfologi virus dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM)**

*Scanning Electron Microscope* (SEM) merupakan teknik statistik yang dapat digunakan untuk menganalisis pola hubungan antara variabel dan indikatornya, variabel yang satu dengan lainnya, serta kesalahan pengukuran secara langsung. SEM juga merupakan pendekatan terintegrasi antara dua analisis yaitu analisis faktor dan jalur (*path analysis*). Mikroskop merupakan alat bantu yang digunakan untuk mengamati benda-benda kecil yang tidak dapat dilihat dengan mata. Mikroskop yang paling umum digunakan adalah

mikroskop cahaya yang memanfaatkan berkas cahaya tampak dan lensa optik. Batas resolusi dari mikroskop cahaya dibatasi oleh panjang gelombang cahaya tampak yang digunakan yaitu setengah dari panjang gelombang.

Terdapat dua jenis mikroskop elektron yaitu *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Transmission Electron Microscope* (TEM). SEM digunakan untuk mengamati morfologi permukaan sampel dalam perbesaran tinggi sementara TEM digunakan untuk mengamati struktur internal sampel dalam perbesaran yang tinggi. Perbedaan fungsi ini menyebabkan perbedaan cara mempersiapkan sampel untuk SEM dan TEM. Untuk dimensi sampel SEM hanya dibatasi oleh ukuran bilik sampel dari alat SEM karena sampel tidak harus ditembus oleh berkas elektron. Komponen-komponen utama dari SEM diantaranya adalah elektron gun yang berfungsi untuk membangkitkan berkas elektron, beberapa lensa elektromagnetik untuk mengkondisikan berkas elektron, serta detektor untuk beberapa jenis berkas yang berbeda. Berkas elektron yang sampai ke sampel akan berinteraksi dengan sampel dan menghasilkan beberapa jenis berkas yang berbeda seperti *Secondary Electron* (SE), *Backscattered Electron* (BSE), dan *characteristic-xray*. SE dan BSE adalah berkas yang digunakan untuk mendapatkan citra SEM (Adhika dkk., 2018).

## **2.9 Amplifikasi DNA dengan *Polymerase Chain Reaction* (PCR)**

Deteksi ciri dan jenis patogen yang termasuk ke dalam virus merupakan salah satu langkah awal yang digunakan untuk menentukan keberhasilan suatu usaha dalam pengelolaan penyakit yang efektif, aman, dan sangat efisien digunakan. Beberapa metode dapat digunakan untuk mendeteksi virus yaitu secara morfologi, fisiologi, serodiagnosis, serta molekuler. Deteksi infeksi virus yang dilakukan secara molekuler telah banyak dikembangkan yaitu salah satunya dengan menggunakan teknik *Polymerase Chain Reaction* (PCR) dengan hasil akurat serta cepat (Revill *et al.*, 2003).

Keberhasilan suatu pengendalian penyakit pada tanaman sangat ditentukan dengan keberhasilan mediagnosis penyakit secara cepat dan akurat. Dimana tahapan dalam kegiatan diagnosis meliputi deteksi patogen secara lengkap yang meliputi faktor-faktor biologis dan non biologis yaitu dengan menggunakan metode PCR (Thomas *et al.*, 1989).

Salah satu jenis PCR yang menggunakan sampel genom berupa DNA yaitu *Polymerase Chain Reaction* (PCR) merupakan suatu teknik yang di dalamnya melibatkan beberapa tahap berulang (siklus). Di setiap siklus terjadi duplikasi jumlah target DNA untas ganda atau perbanyak DNA. Pada untas (unamplified DNA) akan dipisahkan dengan denaturasi ternal dan kemudian didinginkan sampai pada suhu tertentu dalam kurung waktu untuk bisa melakukan penempelan primer (*anneal primers*) pada daerah tertentu dari target DNA (Akin, 2022). Polimerase DNA digunakan untuk memperpanjang primer (*extend primers*) dengan adanya *deoxynucleotide triphosphates* (dNTPs) merupakan campuran yang terdiri atas *deoksiadenosin trifosfat* (dATP), *deoksisitidin trifosfat* (dCTP), *deoksiguanosin trifosfat* (dGTP), dan *deoksitimidin trifosfat* (dTTP), serta buffer yang sesuai. Umumnya keadaan ini dilakukan antara 20-40 siklus. Target DNA yang diinginkan (*short "target" product*) akan meningkat secara eksponensial setelah siklus keempat dan DNA non target (*long product*) akan meningkat secara linier (Yustinadewi dkk., 2018).

Tag DNA polimerase merupakan DNA polimerase I stabil pada suhu tinggi yang diisolasi dengan menggunakan bakteri termofilik *Thermus aquaticus*. Tag DNA dapat memperpanjang runutan DNA 1000 bp dalam waktu 10 detik dengan menggunakan suhu 72° C. Efisiensi tag polimerase yaitu semakin rendah pada suhu di atas atau di bawah 72° C. Sedangkan pada suhu di atas 72° C, maka untas DNA akan terpisah sehingga amplifikasi runutan nukleotida tidak dapat terjadi. Proses PCR melibatkan beberapa tahap yaitu: (1) pra-denaturasi DNA template; (2) denaturasi DNA template; (3) penempelan primer pada template (*annealing*); (4) pemanjangan primer (*extension*) dan (5) pemantapan (*post-extension*). Tahap (2) sampai dengan (4)

merupakan tahapan berulang (siklus), di mana pada setiap siklus terjadi duplikasi jumlah DNA (Handoyo dan Rudiretna, 2000). Menurut Yusuf (2010) proses PCR memiliki tiga tahapan penting yaitu sebagai berikut:

- a. Denaturasi (*denaturation*) merupakan proses pembukaan DNA utas ganda menjadi DNA utas tunggal. Umumnya terjadi pada suhu  $\geq 95^{\circ}\text{C}$ . Biasanya berlangsung sekitar 3 menit, untuk meyakinkan bahwa molekul DNA terdenaturasi menjadi DNA utas tunggal. Denaturasi yang tidak lengkap dapat menyebabkan DNA mengalami denaturasi (membentuk DNA utas ganda lagi) secara cepat dan mengakibatkan gagalnya proses PCR. Adapun waktu denaturasi yang terlalu lama dapat mengurangi aktifitas enzim Taq polymerase. Aktifitas enzim tersebut mempunyai waktu lebih dari 2 jam, 40 menit, 5 menit masing-masing menggunakan suhu  $92.5^{\circ}\text{C}$ ,  $95^{\circ}\text{C}$  dan  $97.5^{\circ}\text{C}$ .
- b. Pelekatan (*annealing*) merupakan proses pelekatan primer yang terjadi pada suhu  $\geq 35-65^{\circ}\text{C}$ , tergantung pada panjang pendeknya oligonukleotida primer yang digunakan. Kriteria umumnya digunakan untuk merancang primer yang baik yaitu primer sebaiknya berukuran 18-25 basa, mengandung 50-60 % G+C. Sekuens DNA dalam masing-masing primer sendiri juga sebaiknya tidak saling berkomplemen, karena dapat mengakibatkan terbentuknya struktur sekunder pada primer tersebut dan mengurangi efisiensi PCR. Waktu *annealing* yang biasa digunakan dalam PCR adalah 30-45 detik. Semakin panjang ukuran primer maka semakin tinggi temperaturnya.
- c. Pemanjangan (*extention*) atau elongasi primer terjadi sebagai hasil aktifitas polimerisasi oleh enzim Taq polimerase yang pada umumnya menggunakan suhu  $70^{\circ}\text{C}$ . Selama tahap Taq polymerase berlangsung aktifitasnya akan memperpanjang DNA primer dari ujung 3'. Kecepatan penyusunan nukleotida oleh enzim tersebut diperkirakan 35-100 nukleotida/ detik tergantung pada buffer, pH, konsentrasi garam, dan molekul DNA target. Dengan demikian untuk produk PCR dengan panjang 2000 pasang basa menggunakan waktu 1 menit sudah lebih dari cukup untuk tahap perpanjangan primer. Biasanya di akhir siklus

PCR waktu yang digunakan untuk tahap ini diperpanjang sampai 5 menit sehingga seluruh produk PCR diharapkan terbentuk DNA untai ganda.

### **III. METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Tempat**

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli 2022 - Februari 2023. Penelitian ini terbagi menjadi tiga tahap yaitu inokulasi virus, analisis molekuler dan morfologi, serta analisis fisiologi. Koleksi sampel yang dilakukan di tiga lokasi yaitu Desa Hajimena, Kabupaten Lampung Selatan; Desa Dadapan, Kabupaten Tanggamus; dan Desa Srikaton, Kabupaten Pringsewu. Koleksi sampel berupa daun cabai rawit yang menunjukkan gejala terinfeksi *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV). Tahap analisis molekuler dilakukan di Laboratorium Bioteknologi, Jurusan Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Tahap analisis fisiologi yaitu uji analisis klorofil, karbohidrat, dan enzim peroksidase dilakukan di Laboratorium Botani, Jurusan Biologi, Fakultas FMIPA, Universitas Lampung.

#### **3.2 Alat dan Bahan**

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

##### **3.2.1 Alat**

###### **a. Survei dan Koleksi Sampel**

Alat yang digunakan pada saat melaksanakan survei dan koleksi sampel daun cabai rawit yang diduga terinfeksi PepYLCV di Kabupaten Lampung Selatan, Kabupaten Tanggamus, dan Pringsewu yaitu gunting, *cutter*, dan kotak kecil bersekat (*storage box*)

### **b. Deteksi Molekuler di Laboratorium**

Alat yang digunakan pada proses deteksi dan identifikasi PepYLCV secara molekuler yaitu mesin *Polymerase Chain Reaction* (PCR) (T100 *Thermal Cycler* Bio-Rad), elektroforesis DNA (*Major Science*), waterbath (*Thermo Scientific*), mesin *centrifuge* (EZ-2 *Series Genevac*), rotamixer (Biosan TS-100, *Thermo Shaker*), mortar dan pestel, mikropipet 0,5 µl-10 µl (*Four E'S Scientific*), mikropipet 10 µl-100 µl (*Four E'S Scientific*), mikropipet 100 µl-1000 µl (*Four E'S Scientific*), gelas ukur (Iwaki), Erlenmeyer 250 ml (Herma), tabung mikrosentrifus tube (*Lumigenex*), *freezer* (*Thermo Scientific*), *microwave* (*Sharp*), kotak kecil bersekat (*storage box*), Digibox UV, spektrofotometri (Hitachi), timbangan analitik (*Ohaus Pioneer*), *autoklaf* (Mettler NS 55), dan kamera (Digital).

### **c. Analisis Filogenetik**

Alat yang digunakan pada saat melakukan analisis filogenetik yaitu *software* MEGA 11, Bioedit, dan *Basic Local Alignment Search Tool* (BLAST) di *National Center for Biotechnology Information* (NCBI).

### **d. Inokulasi**

Alat yang digunakan pada saat melakukan proses inokulasi yaitu polybag, mortar, pestel, mikropipet 10 µl-100 µl (*Four E'S Scientific*), mikropipet 100 µl-1000 µl (*Four E'S Scientific*), tip, botol spray, dan sarung tangan (*handscoon*).

### **e. Uji Klorofil**

Alat yang digunakan pada saat melakukan proses uji klorofil yaitu gunting, kertas saring (Whatman), tabung reaksi (Iwaki), gelas ukur (Iwaki), mortar, pestel, sentrifus (Kubota), dan spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu).



**f. Uji Karbohidrat**

Alat yang digunakan pada saat melakukan proses uji karbohidrat yaitu gunting, tabung erlenmeyer (Iwaki), mortar, pestel, kertas saring (Whatman), tabung reaksi (Iwaki), dan spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu).

**g. Uji Enzim Peroksidase**

Alat yang digunakan pada saat melakukan proses enzim peroksidase yaitu gunting, kain kasa, sentrifus (Kubota), tabung reaksi (Iwaki), dan spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu).

**3.2.2 Bahan****a. Survei dan Koleksi Sampel**

Bahan yang digunakan pada saat koleksi sampel daun cabai rawit di lapangan yaitu *silica gel*, amplop coklat, plastik *zip-lock*, tissue, dan kertas label.

**b. Deteksi Molekuler di Laboratorium**

Bahan yang digunakan pada proses deteksi molekuler yaitu daun cabai rawit yang terinfeksi PepYLCV, alkohol 96%, *Water for Infection* (WI), *Genomic DNA mini kit (plant) reaction* (Geneaid), , DEPC Buffer, dNTP Mix, Red Mix (*Ampliqon*), sepasang primer *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV) yaitu *Krusty-Forward* dan *Hommer-Reverse*, agarose (Bio-Helix), *Tris-Borate* (TBE) (*Solarbio life Sceinces*), *Ethidium Bromide* (EtBr), akuades, *loading dye* (Biolabs), marker ladder (*Simply*),  $\beta$ -mercaptoethanol (*Spectrum*), dan aluminium foil.

**c. Analisis Filogenetik**

Bahan yang digunakan pada proses analisis filogenetik yaitu data hasil sekuensing berupa urutan basa nukleotida.

**d. Inokulasi**

Bahan yang digunakan pada proses inokulasi yaitu benih cabai rawit, cabai merah besar, serta tomat (Cap panah merah : Pilar F1), tanah (Cap kuning), daun cabai rawit yang terinfeksi PepYLCV, akuades, karburondum, dan buffer fosfat (pH 7) (Nitra Kimia).

**e. Uji Klorofil**

Bahan yang digunakan pada saat melakukan proses uji klorofil yaitu daun cabai rawit, cabai merah besar, dan tomat yang terinfeksi PepYLCV, etanol (*Supelco*), dan akuades.

**f. Uji Karbohidrat**

Bahan yang digunakan pada saat melakukan proses uji karbohidrat yaitu daun cabai rawit, cabai merah besar, dan tomat yang terinfeksi PepYLCV, akuades, glukosa, asam sulfat (*Shagufta*), dan fenol (*Shagufta*).

**g. Uji Enzim Peroksidase**

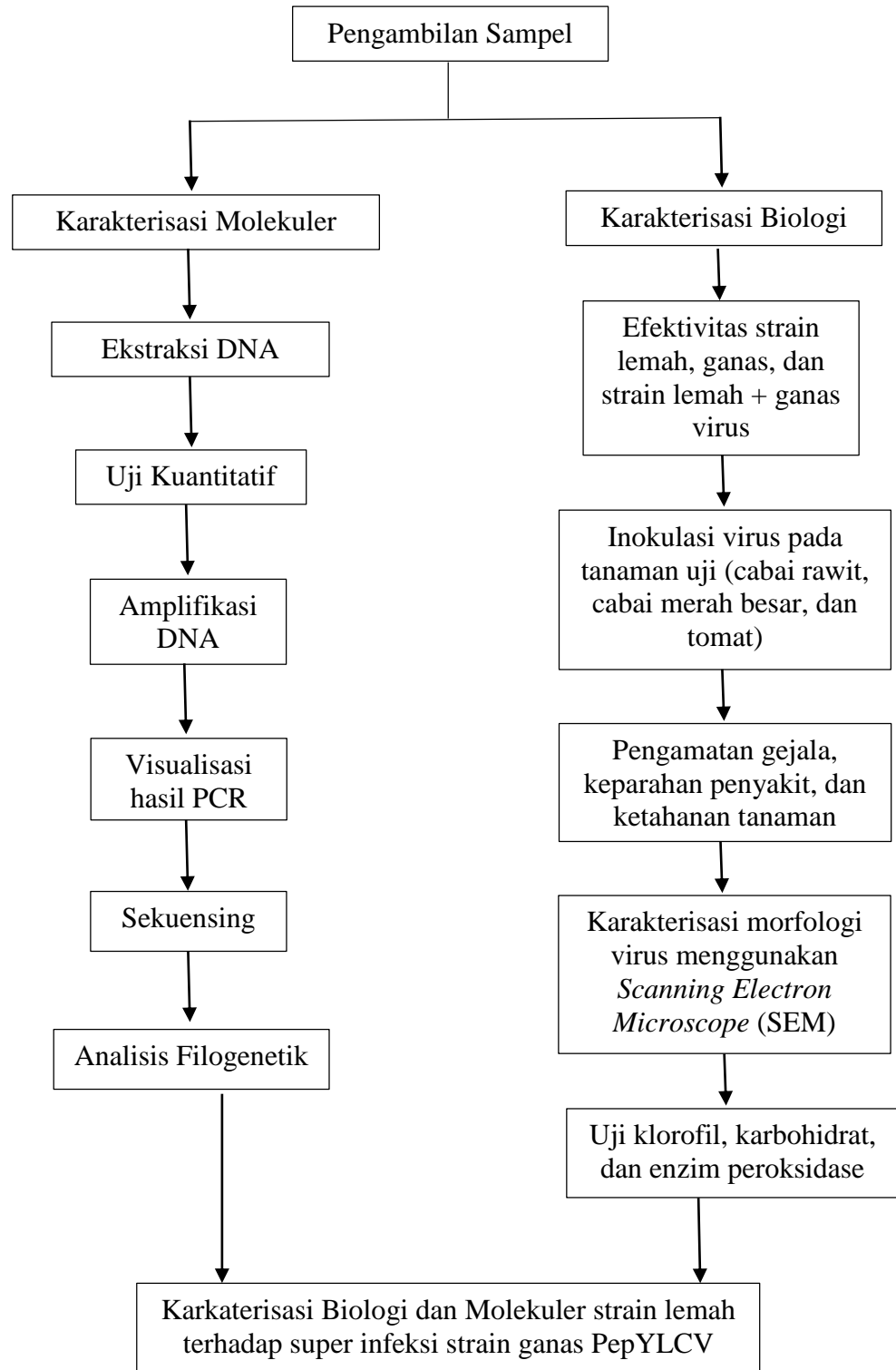
Bahan yang digunakan pada saat melakukan proses enzim peroksidase yaitu daun cabai rawit, cabai merah besar, dan tomat yang terinfeksi PepYLCV, kalium fosfat, Polyvinylpolypropirolidone (PVP), pirogalol, dan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

**3.3 Rancangan Penelitian**

Penelitian ini dilakukan menggunakan rancangan eksperimental dengan analisis secara molekuler, morfologi, dan fisiologi. Tahapan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas inokulasi PepYLCV dari tanaman cabai rawit, cabai merah besar, dan tomat sehat, inokulasi cabai rawit, cabai merah besar, dan tomat dengan strain lemah PepYLCV, inokulasi cabai rawit, cabai merah besar, dan tomat dengan menggunakan strain ganas PepYLCV, serta inokulasi cabai rawit, cabai merah besar, dan tomat dengan menggunakan strain lemah+ganas PepYLCV.

### 3.4 Bagan Alir Penelitian

Secara ringkas, rancangan penelitian ditampilkan dalam bentuk bagan alir penelitian seperti pada **Gambar 6**.



**Gambar 6.** Bagan alir penelitian

### 3.5 Prosedur Penelitian

#### 3.5.1 Observasi Infeksi *Pepper yellow leaf cutl virus* (PepYLCV) di Lapangan

Observasi dilakukan untuk mendapatkan daun dan tanaman inokulum cabai rawit (*sampling*) yang menunjukkan gejala seperti terinfeksi PepYLCV, serta menghitung keparahan penyakit. Gejala awal yang diamati antara lain daun menguning, keriting, buah kerdil dan keriting, serta mosaik pada permukaan daun muda cabai rawit.

#### 3.5.2 Pengambilan Sampel

Sampel tanaman yang dianalisis berupa daun tanaman cabai rawit yang menunjukkan gejala isolat lemah dan isolat ganas terinfeksi PepYLCV. Sampel diambil secara acak kemudian dimasukkan ke dalam amplop lalu dibungkus dengan menggunakan plastik, selanjutnya sampel dibawa ke laboratorium untuk dilakukan analisis.

#### 3.5.3 Ekstraksi DNA Sampel Isolat Lemah dan Isolat Ganas

Ekstraksi DNA pada sampel daun cabai rawit bergejala PepYLCV dilakukan mengikuti protokol *Genomic DNA Mini Kit (Plant)* dari Geneaid. Ekstraksi DNA terdapat lima tahapan berdasarkan penelitian terdahulu Sidik (2021) sebagai berikut:

##### 1. Penguraian Jaringan

Tahap penguraian merupakan tahap awal dimana sampel daun cabai rawit yang terinfeksi PepYLCV sebanyak 0.1 gram ditimbang dan ditambahkan GP1 buffer 400  $\mu$ l dan RNase A 5  $\mu$ l kemudian digerus hingga halus dengan menggunakan mortar dan pestel. Sampel yang sudah halus kemudian dipindahkan ke *microtube* ukuran 1 ml.

## 2. **Lisis**

Sampel dari tahap penguraian kemudian diinkubasi menggunakan waterbath dengan suhu 60°C selama 10 menit dengan dibolak-balik setiap 5 menit. Sambil menunggu inkubasi, 100 µl *elution buffer* dipindahkan pada *microtube* baru dan diinkubasi ke penangas air suhu 60°C hingga digunakan pada tahap DNA *elution*. Setelah diinkubasi, GP2 buffer 100 µl ditambahkan pada sampel dan di vortex selama 3 menit lalu dilanjutkan lagi dengan inkubasi dalam es selama 3 menit. Sampel kemudian dipindahkan dalam filter kolon *microtube* 2 ml dan disentrifus dengan kecepatan 1000 rpm selama 10 menit. Supernatan dan pelet akan terbentuk, dan supernatan dipindahkan dari *microtube* 2 ml ke tube 1.5 ml.

## 3. **DNA Binding**

Tahap selanjutnya adalah tahapan DNA binding. Pada tahap ini, dilakukan penambahan GP3 buffer 1.5 x volume supernatant pada supernatant hasil dari tahap lisis yang kemudian dicampur dengan cara *pipeting*. Larutan yang sudah tercampur kemudian dipindahkan ke GD kolon tube 2 ml dan disentrifus dengan kecepatan 10.000 rpm selama 5 menit. Supernatan bagian bawah saringan dibuang, GD kolon bagian atas dipindahkan ke tube 2 ml.

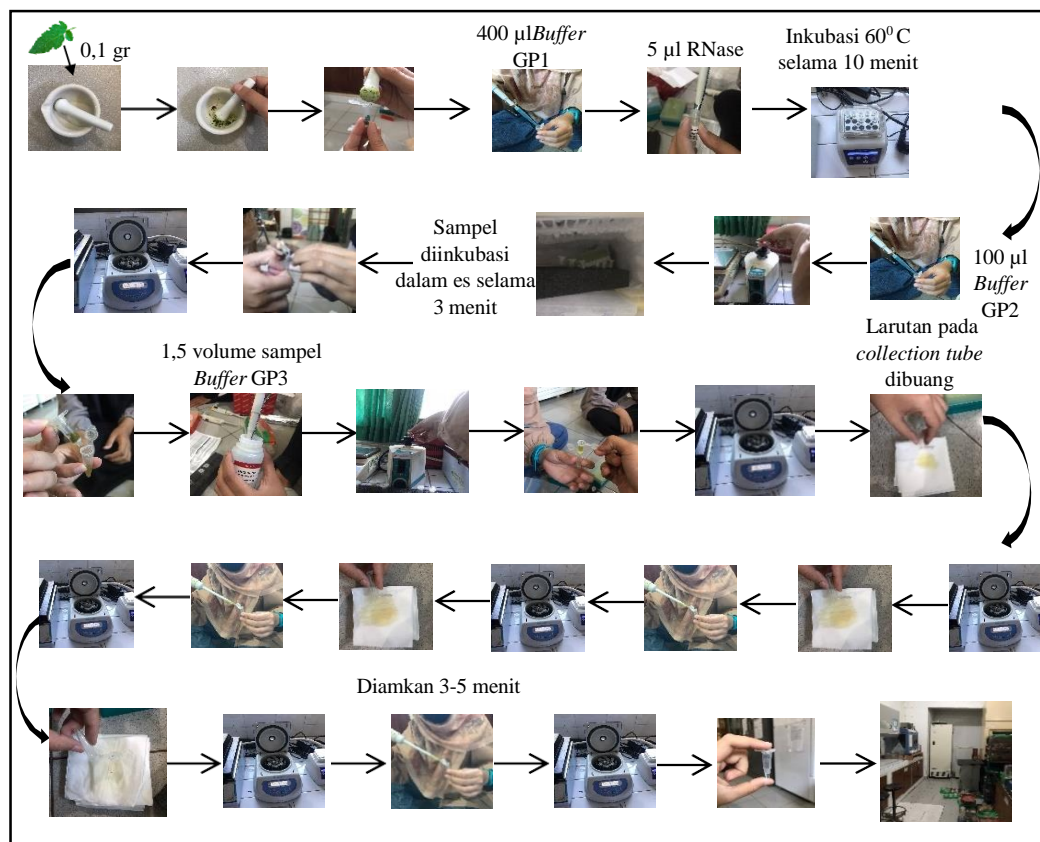
## 4. **DNA Wash**

Setelah melalui tahap DNA *binding*, dilanjutkan pada tahapan pencucian dengan menambahkan W1 buffer 400 µl ke dalam GD kolon, kemudian disentrifus dengan kecepatan 10.000 rpm selama 2 menit. Supernatan di bagian bawah dibuang lalu ditambahkan *wash buffer* 600 µl kemudian disentrifus dengan kecepatan 10.000 rpm selama 2 menit dan dilakukan dua kali. Sampel disentrifus kembali dengan dengan kecepatan 10.000 rpm selama 6 menit dan tidak ada penambahan apapun.

## 5. **DNA Elution**

DNA *elution* merupakan tahap terakhir dari ekstraksi DNA sampel. Pada tahap ini GD kolon dipindahkan ke *microtube* 1.5 ml.

Selanjutnya *elution buffer* 100  $\mu$ l ditambahkan hingga mencapai tepat di tengah kolon, kemudian diinkubasi selama 3-5 menit. Sampel yang sudah diinkubasi kemudian disentrifus dengan kecepatan 10.000 rpm selama 2 menit. GD kolon dibuang dari *microtube* 1.5 ml. Hasil ekstraksi disimpan di frezer dengan suhu -20° C. Adapun tahapan ekstraksi DNA sampel daun cabai rawit terinfeksi PepYLCV dapat dilihat pada **Gambar 7**.



**Gambar 7.** Tahapan ekstraksi DNA sampel daun cabai rawit terinfeksi PepYLCV (Dokumentasi Pribadi)

### 3.5.4 Uji Kuantitatif Hasil Ekstraksi Sampel DNA

Hasil ekstraksi sampel DNA selanjutnya akan dilakukan uji kemurnian menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan menganalisis sampel ekstraksi DNA pada panjang gelombang yaitu 260 nm dan 280 nm. Selanjutnya, proses analisis sampel ekstraksi DNA dengan

menggunakan akuades sebagai blanko yang berfungsi untuk mendapatkan nilai absorbansi pada panjang gelombang  $\lambda 260$  dan  $\lambda 280$  (Diningsih dkk., 2017).

### 3.5.5 Amplifikasi DNA dengan *Polymerase Chain Reaction* (PCR)

Amplifikasi sampel DNA virus PepYLCV dengan menggunakan metode *Polymerase Chain Reaction* (PCR) yang mengikuti prosedur dari Kandito *et al.* (2020). Dalam penelitian ini, dilakukan satu cara untuk mengamplifikasi DNA PepYLCV menggunakan pasangan primer PepYLCV yang telah di desain khusus untuk mengamplifikasi masing-masing virus secara terpisah pada **Tabel 1** serta komposisi reagen PCR dapat dilihat pada **Tabel 2**. Sedangkan optimasi waktu yang digunakan pada saat proses PCR dapat dilihat juga pada **Tabel 3**.

**Tabel 1.** Primer mengamplifikasi gen *coat protein* pada virus *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV)

| Virus   | Primer (5'-3')         | Produk PCR | Pustaka                       |
|---------|------------------------|------------|-------------------------------|
|         | <b>Krusty-Forward</b>  |            |                               |
| PepYLCV | CCNMRDGGHTGTGARGGNCC   | 550 bp     | (Revill <i>et al.</i> , 2003) |
|         | <b>Hommer-Reverse</b>  |            |                               |
|         | SVDGCRTGVGTRCANGCCAT-3 |            |                               |

**Tabel 2.** Komposisi reagen *Polymerase Chain Reaction* (PCR) untuk satu kali reaksi

| Komposisi                          | Volume ( $\mu$ L) |
|------------------------------------|-------------------|
| MyTaq <sup>TM</sup> HS Red Mix, 2x | 12,50             |
| Primer Krusty-F ( <i>Forward</i> ) | 1,00              |
| Primer Hommer-R ( <i>Reverse</i> ) | 1,00              |
| DNA Template                       | 1,00              |
| Water for Injection (WI)           | 9,50              |
| <b>Total volume</b>                | <b>25,00</b>      |

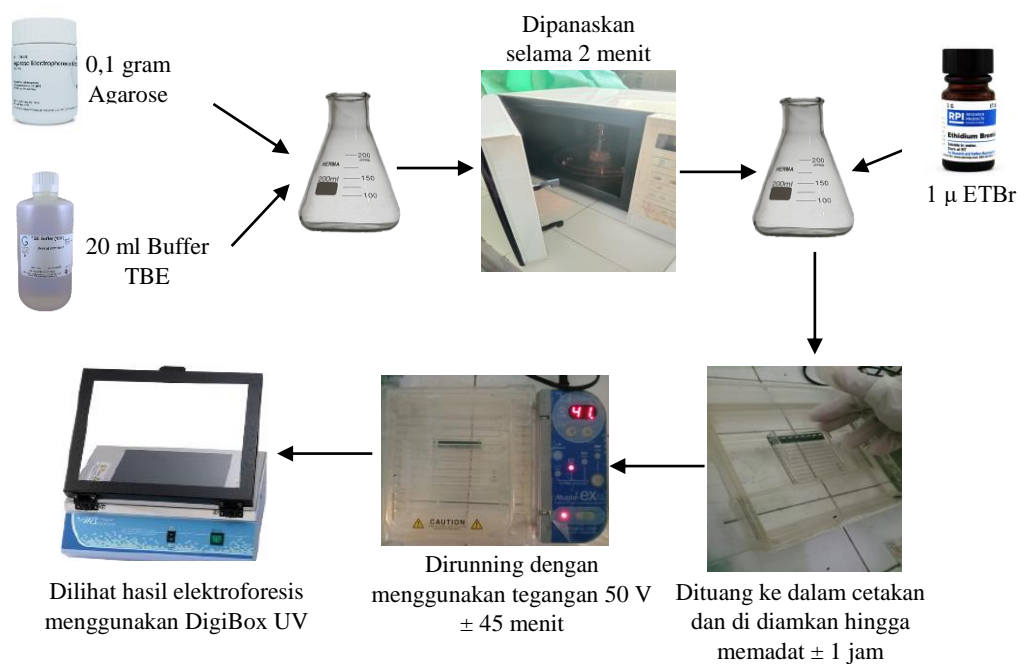
**Tabel 3.** Optimasi suhu dan waktu reaksi *Polymerase Chain Reaction* (PCR)

| <b>Tahapan Reaksi</b> | <b>Optimasi Suhu dan Waktu</b>            |             |
|-----------------------|---|-------------|
| Predenaturasi         | 95 <sup>0</sup> C selama 3 menit          |             |
| Denaturasi            | 95 <sup>0</sup> C selama 1 menit          | } 40 siklus |
| Annealing             | 55 <sup>0</sup> C selama 30 detik         |             |
| Elongasi              | 75 <sup>0</sup> C selama 1 menit 30 detik |             |
| Extention             | 72 <sup>0</sup> C selama 10 menit         |             |

### 3.5.6 Visualisasi Hasil PCR dengan Elektroforesis

Hasil PCR di visualisasi dengan menggunakan elektroforesis. Visualisasi dilakukan dengan menyiapkan terlebih dahulu pembuatan gel agarose dengan konsentrasi 1%. Agarose sebanyak 0,1 gram dimasukkan ke dalam tabung Erlenmeyer 100 ml, lalu ditambahkan 20 ml TBE. Kemudian campuran tersebut dipanaskan dalam *microwave* sampai agarose larut. Larutan agar di dinginkan hingga suhu 60<sup>0</sup> C selama 15 menit, lalu ditambahkan juga *ethidium bromida* (EtBr) sebanyak 1 µl. Selanjutnya, larutan gel agarose dituang ke dalam cetakan. Gel didiamkan sampai mengeras (30-45 menit). Setelah mengeras, gel diambil dan diletakkan ke dalam tangki elektroforesis yang berisi buffer TBE 0,5 ml. Pada sumuran gel elektroforesis yang berada di posisi sebelah kiri dimasukkan 3 µl marker ladder, lalu ditambahkan campuran dari 1 µl *loading dye* dan 3 µl sampel DNA ke dalam sumuran gel elektroforesis di sebelah kanan setelah marker ladder. Elektroforesis dilakukan dengan tegangan 50 volt selama 50 menit. Hasil elektroforesis divisualisasikan dengan *transluminator ultraviolet*. Kemudian dilihat pita DNA yang terbentuk pada hasil elektroforesis menggunakan DigiBox lalu dipotret dengan kamera digital, adapun proses visualisasi hasil PCR dengan elektroforesis dapat dilihat pada **Gambar 9**.





**Gambar 8.** Proses visualisasi hasil PCR dengan elektroforesis (Dokumentasi Pribadi)

### 3.5.7 Sekuensing

Hasil PCR dikirim menggunakan jasa PT. Genetika Science Indonesia ke 1<sup>st</sup> *Base Company* di Malaysia untuk dilakukan perunutn basa nukleotida (Mahfut *et al.*, 2020).

### 3.5.8 Efektivitas Strain terhadap Infeksi Strain Ganas *Pepper yellow leaf cutl virus (PepYLCV)*

Tanaman cabai rawit yang berumur ±20 Hari Setelah Tanam (HST) diinokulasikan isolat strain lemah PepYLCV, kemudian dilakukan pengamatan gejala. Apabila tanaman uji tidak menunjukkan gejala atau bergejala ringan, maka tanaman uji dapat dilanjutkan pada tahap selanjutnya yaitu dengan inokulasi cabai rawit yang berumur 30 HST tersebut menggunakan strain ganas PepYLCV. Pengamatan hasil inokulasi isolat strain ganas PepYLCV dilakukan kembali sampai dengan gejalanya muncul (Akin dkk., 2012).

### 3.5.8.1 Inokulasi virus

Tahap inokulasi PepYLCV isolat strain lemah dan isolat strain ganas pada cabai rawit ini mengikuti metode Akin (2005). Inokulasi PepYLCV isolat strain lemah dan ganas PepYLCV dipelihara dan diperbanyak pada tanaman cabai rawit. Persiapan inokulum PepYLCV isolat strain lemah dan ganas PepYLCV dilakukan dengan menimbang 1 gram daun cabai rawit yang terinfeksi PepYLCV, kemudian digerus menggunakan mortar dan pestel (dalam keadaan dingin) yang telah disterilkan dengan memasukkan terlebih dahulu tanaman uji kedalam flezzer selama 24 jam. Selanjutnya daun yang telah digerus ditambahkan dengan 5 ml buffer fosfat pH 7 (1:5 b/v) (Latifah dkk., 2008). Buffer fosfat ini berfungsi sebagai penghancur sel sehingga virus terlepas dari sel. Ekstrak daun tanaman sakit lalu diinokulasikan secara mekanis pada tanaman cabai yang berumur tiga Minggu Setelah Tanam (MST). Inokulasi dilakukan dengan cara menyemprotkan cairan inokulum menggunakan semprotan pada bagian atas permukaan daun cabai rawit yang sebelumnya di dalam cairan inokulum tersebut sudah ditambahkan karborundum 600 mesh (0,1 gram), pemberian karborundum ini berfungsi untuk membuat perlukaan pada daun sehingga memudahkan penetrasi pada virus. Selanjutnya dibiarkan sampai mengering, setelah mengering daunnya disiram atau disemprot kembali menggunakan air steril secara merata dan perlahan untuk menghilangkan karborundum hingga dipastikan inokulum virusnya tetap ada pada daun (Subekti dkk., 2006). Jika tidak dibilas dengan air steril maka dapat menyebabkan kerusakan daun saat proses inokulasi berlangsung, karena jika karborundum terkena sinar matahari secara langsung dapat menyebabkan daun tanaman uji akan terbakar. Tanaman uji selanjutnya dipelihara kembali dan dilakukan pengamatan gejala infeksi PepYLCV selama masa inokulasi berlangsung sampai gejala tersebut muncul (Akin, 2005).

### **3.5.8.2 Pengamatan Hasil Inokulasi Virus**

Efektivitas isolat strain lemah dan ganas PepYLCV dilakukan dengan pengamatan gejala penyakit, keparahan penyakit, serta ketahanan penyakit yaitu sebagai berikut:

#### **3.5.8.2.1 Analisis Gejala Penyakit**

Pengamatan gejala penyakit dilakukan dengan cara melihat secara langsung gejala awal sampai munculnya gejala setelah masa inokulasi pada tanaman uji yang terinfeksi. Analisis dilakukan dengan mencocokkan dokumentasi sampel dengan literatur yang sudah dilaporkan sebelumnya. Literatur yang digunakan yaitu Veniari dkk. (2015), Pranatayana dkk. (2014), dan Subekti dkk. (2006).

#### **3.5.8.2.2 Analisis Perkembangan Penyakit**

Pengamatan pada tahapan ini dilakukan untuk mengetahui perkembangan penyakit pada tanaman uji, dimana tahapan yang diamati adalah keparahan penyakit dan ketahanan penyakit. Keparahannya merupakan proporsi inang yang terinfeksi terhadap total luas permukaan inang yang diamati. Pengamatan keparahan penyakit dilakukan secara visual, perhitungan persentase tanaman yang terinfeksi dilakukan jika infeksi penyebab penyakit terjadi secara sistemik sehingga gejala internalnya dapat memungkinkan sudah menyebar ke seluruh bagian daun meskipun gejala eksternalnya hanya terlihat sedikit. Perhitungan keparahan penyakit dan ketahanan penyakit dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

#### **A. Keparahannya Penyakit**

Akin dkk. (2012) melaporkan bahwa analisis keparahan penyakit dapat dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$KP = \frac{\sum n \times v}{N \times V} \times 100\%$$

**Keterangan:**

- KP = Keparahan penyakit,  
 n = Jumlah tanaman pada setiap kategori gejala,  
 v = Nilai skor pada setiap kategori gejala,  
 N = Jumlah total tanaman yang diamati,  
 V = Nilai skor tertinggi dari kategori gejala.

Skor v ditentukan dengan kategori sebagai berikut:

- 0 = Tidak ada gejala,  
 1 = Gejala mosaik atau belang ringan, lesio lokal atau tidak ada penyebaran sistemik,  
 2 = Gejala mosaik atau belang sedang,  
 3 = Gejala mosaik atau belang berat tanpa penciutan atau kelainan bentuk (*malformation*) daun,  
 4 = Gejala mosaik atau belang sangat berat dengan penciutan atau kelainan bentuk; daun yang parah (*shoestring*), kerdil dan mati,  
 5 = Gejala mosaik yang berat, nekrosis batang, dan tanaman mati.

**B. Ketahanan Tanaman**

Penentuan tingkat ketahanan pada tanaman cabai rawit terhadap penyakit mengikuti metode Hasfiah (2018) yaitu ditampilkan pada **Tabel 4.**

**Tabel 4.** Tingkat ketahanan tanaman terhadap infeksi *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV)

| Tipe<br>Ketahanan | Reaksi Tanaman Inang |        |                   |                  |
|-------------------|----------------------|--------|-------------------|------------------|
|                   | Masa<br>Inkubasi     | Gejala | Tinggi<br>Tanaman | Jumlah<br>Cabang |
| Tahan             | -                    | -      | -                 | -                |
| Agak tahan        | +                    | +      | -                 | -                |
| Rentan            | +                    | +      | +                 | +                |
| Sangat<br>rentan  | ++                   | ++     | ++                | ++               |

**Keterangan :** + = Ada penghambatan pertumbuhan  
 - = Tidak ada penghambatan pertumbuhan  
 ++ = Penghambatan pertumbuhan sangat berat

### 3.5.8.2.3 Analisis Klorofil

Analisis klorofil diambil dari daun cabai rawit, cabai merah besar, dan tomat yang telah di inokulasi dengan virus PepYLCV. Pada pengamatan terakhir dari analisis klorofil menggunakan spektrofotometer mengikuti metode Miazek (2011). Adapun tahapan-tahapan yang digunakan pada proses analisis klorofil yaitu, tahapan pertama daun cabai rawit, cabai merah besar, dan tomat yang telah dihilangkan ibu tulang daun ditimbang sebanyak 0,01 gram, lalu digerus menggunakan mortar dan pestel ditambahkan 10 ml etanol. Selanjutnya hasil gerusan tersebut disaring menggunakan kertas Whatman No.1 dan dimasukkan ke dalam flakon lalu ditutup rapat. Kemudian dilakukan sentrifugasi selama 5 menit. 1 ml larutan sampel dan larutan standar (ethanol) dimasukkan ke dalam kuvet yang berbeda. Kemudian dilakukan pembacaan serapan dengan spektrofotometer UV pada panjang gelombang 648 nm dan 664 nm, proses tersebut dilakukan tiga kali ulangan pengukuran sampel. Kadar klorofil dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Klorofil a} &= 12,21 \lambda_{664} - 2,81 \lambda_{648} \text{ mg/L} \\ \text{Klorofil b} &= 20,13 \lambda_{648} - 5,03 \lambda_{664} \text{ mg/L} \\ \text{Klorofil total} &= 17,3 \lambda_{648} - 7,18 \lambda_{664} \text{ mg/L (Miazek, 2011)} \end{aligned}$$

### 3.5.8.2.4 Analisis Karbohidrat

Analisis pengukuran karbohidrat dilakukan mengikuti metode Qalsum dkk. (2015) diawali dengan penentuan kurva standar glukosa. Proses penentuan standar glukosa yang pertama yaitu glukosa ditimbang sebanyak 100 gram lalu dilarutkan dalam 100 ml aquades yang digunakan sebagai bahan pembuat stok glukosa. Larutan stok glukosa tersebut dibuat dengan menggunakan 6 konsentrasi yaitu 0, 20, 40, 60, 80, 100%. Masing-masing konsentrasi diambil 1 ml dan dimasukkan ke dalam tabung erlenmeyer, lalu ditambahkan 5 ml asam sulfat pekat dan 1 ml larutan fenol 5%, didiamkan selama 10 menit. Selanjutnya dilakukan perhitungan absorbansi menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 488 nm.

Proses selanjutnya daun cabai rawit, cabai merah besar, dan tomat yang terinfeksi PepYLCV ditimbang sebanyak 1 gram, kemudian digerus menggunakan mortar dan pestel untuk mendapatkan hasil ekstraknya. Setelah mendapatkan hasil ekstrak dimasukkan ke dalam tabung erlenmeyer ditambahkan 100 ml aquades, lalu disaring larutan sampel tersebut menggunakan kertas saring. Hasil ekstrak tersebut, kemudian dibuat dengan konsentrasi 0, 20, 40, 60, 80 dan 100%. Masing-masing konsentrasi diambil 1 ml dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi, kemudian ditambahkan 1 ml fenol 5% dan dikocok. Setelah itu ditambahkan 5 ml larutan asam sulfat pekat dan didiamkan selama 10 menit. Selanjutnya nilai absorbansi sampel diukur dengan spektrofotometer UV - Vis dengan panjang gelombang 488 nm. Kadar karbohidrat dihitung dengan menggunakan rumus dibawah ini (Qalsum dkk., 2015).

$$\text{Persentase glukosa (\%)} : G/W \times 100\%$$

**Keterangan :**

G : Konsentrasi glukosa

W: Berat sampel (g)

#### **3.5.8.2.5 Analisis Aktivitas Enzim Peroksidase**

Analisis aktivitas enzim peroksidase pada penelitian ini mengikuti metode Suswati dkk. (2015) yaitu daun cabai rawit, cabai merah besar, dan tomat ditimbang sebanyak 1 gram lalu digerus menggunakan mortar dan pestel. Hasil gerusan tersebut ditambahkan 2,5 ml kalium fosfat 0,5 M pH 7 dan 0,1 gram Polyvinylpolypropirolidone (PVP). Selanjutnya hasil ekstraksi disaring menggunakan 2 lapis kain kasa, kemudian disentrifugasi dengan kecepatan 6000 rpm pada suhu 4° C selama 15 menit. Supernatan yang dihasilkan tersebut merupakan ekstrak enzim yang kemudian akan digunakan untuk mengukur aktivitas enzim peroksidase. Untuk mengukur aktivitas enzim peroksidase, yaitu larutan pirogalol sebanyak 5

ml dimasukkan ke dalam tabung reaksi, lalu ditambahkan 0,2 ml ekstrak enzim (supernatan). Selanjutnya ditambahkan 0,5 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 1% dan diukur nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang maksimum 420 nm.

### 3.5.9 Analisis Data

Proses selanjutnya yaitu menentukan peruntukan basa nukleotida di 1<sup>st</sup> *Base Company* di Malaysia melalui PT. Genetika Science Indonesia. Setelah didapatkan hasil dari sekuensing, dilakukan pencarian sekuen homolog dengan *Basic Local Alignment Search Tool* (BLAST) pada *National Center for Biotechnology Information* (NCBI) untuk dipilih beberapa isolat yang mempunyai kekerabatan tinggi dengan sekuen sampel uji. Sekuen-sekuen homolog dipilih berasal dari dalam negeri maupun luar negeri dengan isolat lain sebagai isolat pembanding. Setelah sekuen-sekuen tersebut ditentukan, kemudian dilakukan penyejajaran menggunakan Clustal W. Selanjutnya, dibentuk pohon filogenetik untuk menunjukkan kekerabatan isolat-isolat dengan program MEGA 11 (Mahfut *et al.*, 2020). Hasil analisis klorofil, karbohidrat, dan enzim peroksidase, dihitung nilai rata-rata dan dilakukan uji homogenitas. Pengujian selanjutnya menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA), dan jika terdapat perbedaan nilai signifikan diantara perlakuan tersebut maka dapat dilanjutkan dengan uji *Tukey Honestly Significant Difference* (HSD).

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Simpulan yang didapatkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil deteksi isolat strain lemah dan strain ganas menunjukkan sampel terinfeksi *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV) berdasarkan hasil amplifikasi pita DNA spesifik.
2. Hasil karakter biologi isolat strain Begomovirus menunjukkan bahwa isolat dari Desa Dadapan diperoleh strain lemah dan dari Desa Srikaton diperoleh strain ganas PepYLCV. Berdasarkan intensitas gejala pada tanaman cabai rawit.
3. Hasil karakter molekuler strain lemah dan strain ganas *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV) berbeda berdasarkan jarak genetik.
4. Strain lemah mampu menekan laju infeksi strain ganas *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV). Berdasarkan variasi gejala infeksi virus, keparahan penyakit, ketahanan tanaman, kandungan klorofil, dan kandungan karbohidrat.

### 5.2 Saran

Perlu dilakukan pengamatan sampai tanaman panen untuk mengetahui hubungan tingkat kerusakan tanaman akibat infeksi *Pepper yellow leaf curl* (PepYLCV) dan pengaruh terhadap hasil panen.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abebe, D.A., Bentum, S. V., Suzuki, M. S., Ando, H.T., and Miyashita S. 2021. Plant death caused by inefficient induction of antiviral R-gene-mediated resistance may function as a suicidal population resistance mechanism. *Commun Biologi*. 4:1-12.
- Adi, A. A. A. M., Astawa, I. N. M., and Putra, I.G.A.A. 2019. The efficacy of BEI-inactivated vaccines of Gianyar-1/AK/2014 virulent strain in protecting chickens against Tabanan-1/ ARP/2017 virulent NDV isolate. *Vet World*. 12(6): 758-764.
- Aidah, S.N. 2020. *Ensiklopedi Cabai*. Karya Bakti Makmur (KBM) Indonesia : Jogjakarta. 1-2.
- Akin, H. M. 2022. *Aplikasi Bioteknologi dalam Pengendalian Penyakit Virus pada Tanaman Edisi Pertama*. Plantaxia : Yogyakarta. 81-82
- Akin, H. M., Nurdin, M., Simamora, P. B., dan Sitorus, M. 2012. Efektivitas Satelit RNA Yang Berasosiasi Dengan *Cucumber mosaic virus* (Carna-5) Untuk Mengendalikan Penyakit Virus Pada Tanaman Tomat. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 12(2) : 177-184.
- Akin, H. M. 2005. Kepatogenan Satelit RNA Yang Berasosiasi Dengan *Cucumber mosaic virus* (CMV-satRNA) Pada Tanaman Cabai. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan Tropika*. 5(1) : 37-41.
- Akin, H. M. 2006. *Virologi Tumbuhan Edisi Pertama*. Kanisius : Yogyakarta. 75-83.
- Akin, H. M. 2021. *Virologi Tumbuhan Edisi 2*. Graha Ilmu : Yogyakarta.
- Allabi, D. A. 2006. Effect of fertilizer phosphorus and poultry droppings treatments on growth and nutrient components of pepper (*Capsicum annum* L.) African. *Journal Biotech*. 5(8) : 671-677
- Ando, S., Miyashita, S., and Takahashi, H. 2019. Plant defense systems against cucumber mosaic virus: lessons learned from CMV-Arabidopsis interactions. *Journal of General Plant Pathology*. 85(3) : 174-181.

*Journal of General Plant Pathology*. 85(3) : 174–181.

- Aranda, F., Arenal, G., and Malpica. 1995. Experimental evaluation of the ribonuclease protection assay method for the assessment of genetic heterogeneity in populations of RNA viruses. *Archives of Virology*, 140(8) : 1373–1383.
- Asad, Z., Ashaq, M., and Ahsan, M. 2019. Serological and Molecular Identification Based on Coat Protein (CP) Gene of *Cucumber mosaic virus* (CMV) Infecting Cucumber (*Cucumis sativus* L) in Pothwar Region of Pakistan. *Journal Plant Biochem Physiology*. 7(1) : 2-5.
- Asniwita, H., Suastika, G., Sujiprihati, S., Susanto dan Hayati. 2012. Eksplorasi isolate lemah Chili Veinal Mottle Potyvirus pada pertanaman cabai di Jambi, Sumatera Barat, dan Jawa Barat. *Jurnal Hortikultura*. 22(2): 180-185
- Bernardo. 2013. Identification and characterisation of a highly divergent geminivirus: Evolutionary and taxonomic implications. *Virus Res*. 177(1) : 35–45
- Brown, J. K., Zerbini, F. M., Castillo, N. J., and Moriones, E. Revision Of Begomovirus Taxonomy Based On Pairwise Sequence Comparisons. *Archives of Virology*. 160 : 1593-1619.
- Candra. 2019. In Vitro Interaction between Geminivirus Replicase Protein and the Npr1 Gene Promoter from Chilli Pepper (*Capsicum annum*). Available: <http://milou.science.uu.nl/services/3DD-ART/>.
- Candra, A. I dan Syamsu, F. D. 2020. Interaksi Tanaman Pasca Infeksi Geminivirus Berdasarkan Perspektif Molekuler. *Jurnal Viabel Pertanian*. 14(2) : 34-41
- Christian, K. R., Nair, M. G and Jackson, J. C. 2006. Antioxidant and cyclooxygenase inhibitory activity of sorrel (*Hibiscus sabdariffa*). *Journal of food composition and analysis*. 19(8) : 778-783.
- Cronquist, A. 1981. *An Integrated System of Classification of Flowering Plants*. Columbia University Press. New York. hlm. 248-250.
- Croteau, R., Kutchen, T. M., and Lewis, N. G. 2015. *Natural products (Secondary metabolites) in biochemistry and molecular biology of plants*. Wiley and Blackwell : London. 1-20.
- Damayanti, T. A., Alabi, O.J., Naidu R. A., and Rauf, A. 2009. Severe outbreak of a yellow mosaic disease on the yard long bean in Bogor, West Java. *Hayati Journal Biosci*. 16(2):78–82.
- Daud, M. 2012. Biokonversi bahan berlignoselulosa menjadi bioethanol menggunakan aspergillus niger dan saccharomyces. *Jurnal Perennial*. 8(2) : 43-51.

- Diningsih, E., Suastika, G., Damayanti, T. S., dan Susanto, S. 2017. Deteksi Cepat Carnation mottle virus pada Tanaman Anyelir (*Dianthus caryophyllus* L.) [Rapid Detection of Carnation mottle virus on Carnation Plant (*Dianthus caryophyllus* L.)]. *Jurnal Hortikultura*. 27(1) : 95-104.
- Duffy, S. 2018. Why are RNA virus mutation rates so damn high?. *PLoS Biol.* 16(8) : 1-6
- Ernawati., Yusda., dan Putra. 2021. Analisis Penyakit Pada Tanaman Cabai Dengan Metode Case Based Reasoning Berbasis Web. *Journal of Computer*, 1(1) : 43-48.
- Fitriani, M. A., dan Febrianto, D. C. 2020. Penerapan Sistem Pakar untuk Diagnosa Penyakit dan Hama Tanaman Cabai dengan Metode Forward Chaining. *Sainteks*, 16(2) : 159–164
- Firgiyanto, R., Aziz, S. A., Sukma, D., dan Giyanto. 2016. Uji ketahanan anggrek hibrida phalaenopsis terhadap penyakit busuk lunak yang disebabkan oleh *Dickeya dadantii*. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Pertanian*. 1(2) : 1-12
- Ganefianti, D.W., S.H. Hidayat, and M. Syukur. 2017. Susceptible phase of chili pepper due to yellow leaf curl Begomovirus infection. *Int. Journal Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.* 7 : 594-601.
- Gaswanto, R., Syukur M, Purwoko BS, and Hidayat, SH. 2016. Induced mutation by gamma rays irradiation to increase chilli resistance to Begomovirus. *Agrivita*. 38(1) : 24-32.
- Gonçalves, MC, Vega, J, Oliveira, JG., and Gomes, M. M. A. 2005. Sugarcane yellow leaf virus infection leads to alterations in photosynthetic efficiency and carbohydrate accumulation in sugarcane leaves. *Fitopatol Bras.* 30(1)
- Gorter, F. A. Hall and Buckling. 2015. Dynamics of adaptation in experimental yeast populations exposed to gradual and abrupt change in heavy metal concentration. *Am. Nat.* 28 : 1119-1130
- Graff, Z.V. and V. Brault. 2008. Role of vector transmission protein. In G.D. Foster, I.E. Johansen, Y. Hong, and P.D. Nagy (eds.) *Plant Virology Protocols from Viral Sequence to Protein Function* 2ed. *Humana Press*, USA. p. 84-85.
- Gutzeit, H. O. and Muller, L. J. 2014. *Plant natural products : Synthesis, Biological functions and practical application*. Wiley-VCH Verlag GmbH and Co : New York. 1-434.
- Halwiyah, N., Ferniah, R. S., Raharjo, B., dan Purwantisari, S. 2019. Uji Antagonisme Jamur Patogen *Fusarium solani* Penyebab Penyakit Layu pada Tanaman Cabai dengan Menggunakan *Beauveria bassiana* Secara In Vitro. *Jurnal Akademika Biologi*, 8(2) : 8-17.

- Handoyo, D., dan Rudiretna, A. 2000. Prinsip Umum dan Pelaksanaan Polymerase Chain Reaction (PCR). *Jurnal Unitas*. 9(1): 1729.
- Hasfiah. 2018. Uji ketahanan cabai (*Capsicum spp.*) terhadap cucumber mosaic virus (CMV). *Jurnal Akademika*, 15(1) : 11–21.
- Hanley-Bowdoin, L., Bejarano, E. R., Robertson, D., and Mansoor, S. 2013. Geminiviruses: masters at redirecting and reprogramming plant processes. *Nature Reviews Microbiology*.
- Herison, C., Rustikawati, dan Sudarsono. 2007. Aktivitas peroksidase, skor ELISA dan respon ketahanan 29 genotipe cabai merah terhadap infeksi *Cucumber mozaic virus* (CMV). *Akta Agrosia*. 10(1) : 1-13.
- Herison, C., Rustikawati., Sujono, H. S., dan Syarifah, I. A. 2008. Induksi mutasi melalui sinar gamma terhadap benih untuk meningkatkan keragaman populasi dasar jagung (*Zea mays L.*). *Akta Agrosia*. 11(1) : 57-62.
- Hopkins, D. W., Webster, E. A., Chudek, J. A., and Halpin, C. 2001. Decomposition in soil of Tobacco plants with Genetic Modification to lignin biosynthesis. *Soil Biology and Biochemistry*. 33 : 1455-1462.
- Jamsari, J., Ferita, I., Noverta, A., Husada, E.D., Herberg, F.W., Nellen, W., and Syukriani, L. 2016. A pathogenic isolate of monopartite PepYLCV DNA a-like genome differs significantly in C1 gene and CR sequence, but not in their other genes. *Plant Pathology Journal*. 15 : 124–134.
- Juanda J.S.D., Assa'ad, N., dan Warsana. 2003. Kajian laju infiltrasi dan beberapa sifat fisik tanah pada tiga jenis tanaman pagar dalam sistem budidaya lorong. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*. 4(1) : 25-31
- Kandito, A., Hartono, S., Nash, S.R.I., Somowiyarjo, S. and Widyasari, Y.A. 2020. First report of naturally occurring recombinant non-coding DNA satellite associated with *Tomato yellow leaf curl Kanchanaburi virus* on eggplant in Indonesia. *Biodiversitas*, 21(1) : 129-136
- Kusumaningrum, F., Hartono, S., Sulandari, S., dan Somowiyarjo, S. 2015. Infeksi ganda Begomovirus dan Crinivirus pada tanaman tomat di Kabupaten Magelang, Jawa Tengah. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*. 19(2) : 60-64
- Latifah., Hidayat, S. H., dan Sujiprihati, S. 2008. Metode Penapisan Cabai (*Capsicum annum L.*) Untuk Ketahanan Terhadap *Chilli veinal mottle virus* (Chi Vmv) Dan *Cucumber mosaic virus* (CMV). *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika*. 8(2) : 146–153
- Lattanzio, V., and Cardinalia, A. 2006. Role of phenolics in the resistance mevhanism of plant against fungal pathogens and insect. *Phytochemistry : Advance in Research*. 37(2) : 23-67.
- Lin, S. S., Henriques, R, Wu, Yeh, S. D., and Chua, N. H. 2007. Strategies and mechanisms of plant virus resistance. *Plant Biotechnology*. 3(34) :125.

- Loon, L. C. V., Pierpoin, W. S., Boller, T., and Conejero, V. 1994. Recommendation for naming plant pathogenesis-related proteins. *Plant Molecular Biology Reporter*. 12 : 245-264.
- Mahfut., Indrianto, A., Somowiyarjo, S., and Daryono, B. S. 2020. Molecular phylogeny of orchids mycorrhiza isolated from native tropical orchids in Indonesia. *Malaysian Journal of Microbiology*. 16(1) : 68–72
- Mahfut. 2021. Morphological identification of mycorrhiza fungi isolated from native orchid in Indonesia. *Jordan Journal of Biological Sciences*. 14(5) : 1031-1034
- Mardiyah, A., dan Priyadi, P. 2021. Analisis Risiko Produksi Cabai Merah Di Desa Margototo Kecamatan Metro Kibang Kabupaten Lampung Timur. *Journal of Food System and Agribusiness*. 5(2) : 93-98
- Manzila, I., Sri, H. H., Mariska, I., and Sujiprihati, S. 2012. Analisis Gen Selubung Protein Chilli Veinal Mottle Potyvirus dari Beberapa Daerah di Indonesia. *Jurnal AgroBiogen*. 8(1) : 27-37
- Marianah, L. 2020. Serangga vektor dan intensitas penyakit virus pada tanaman cabai merah insect vector and virus disease intensity on red chili plants. *AgriHumanis: Journal of Agriculture and Human Resource Development Studies*. 1(2) : 127–134.
- Marpaung, A. E., Barus, S., dan Musaddad, D. 2019. Karakterisasi dan Keragaan Pertumbuhan Tiga Klon Cabai Merah (*Capsicum annuum* L.) Lokal (Characterization and Growth Performance of Three Clone of Local Hot Pepper). *Jurnal Hortikultura*. 29(1) : 33-34.
- Matthews, R.E.F. 1992. *Fundamentals of Plant Virology*. Academic Press Inc. San Diego. 403
- McGarvey, P. B., Montasser, M. S., and Kaper, J. M. 1994. Transgenic tomato plants expressing satellite RNA are tolerant to some strains of cucumber mosaic virus. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119(3) : 642–647.
- Miazek, K. 2011. Chlorophyll extraction from harvested plant material. Supervisor. Ha. Inz. Stainslaw Lekadowicz
- Nash, C. S., Sproule, J., and Horton, Peter. 2016. Excellence in Coaching: The Art and Skill of Elite Practitioners. 82(2) : 229-238.
- Niemann, J. U., Menssen, M., and Poehling, H. M. 2021. Manipulation of landing behaviour of two whitefly species by reflective foils. *Journal of Plant Diseases and Protection*. 128(1) : 97–108.
- Ningsih D. R dan Zufahair, K. 2016. Identifikasi Senyawa Metabolit Sekunder serta Uji Aktivitas Ekstrak Daun Sirsak sebagai Anti bakteri. *Jurnal Molekul*. 11(1).

- Nio Song dan Yuni Banyo. 2011. Konsentrasi klorofil daun sebagai indikator kekurangan air pada tanaman. *Jurnal Ilmiah Sains*. 11(2) : 166-173
- Noemi, L., Fuentes, A., Hernandez, M.V., and Montejo, S. J. R. 2022. Antiviral activity of TiO<sub>2</sub> NPs against *Tobacco mosaic virus* in chili pepper (*Capsicum annum* L.). *Journal Agriculture*. 12(2101) : 1-14
- Nurchayani, E., Aniqotun., Mutmainah, N., Farisi, S., dan Agustrina, R. 2019. Analisis kandungan karbohidrat terlarut total planlet buncis (*Phaseolus vulgaris* L.) menggunakan metode fenol-sulfur secara in vitro. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*. 4(01) : 73-80.
- Nyana, D. N., Suastika, G., Rai, I. G., Temaja, M., and Ngurah, D. 2012. Protective mild isolates of cucumber mosaic virus obtained from chili pepper in Bali. *Agricultural Science Research Journal*. 2(6) : 280-284.
- Osterbaan, L. J., and Fuchs, M. 2019. Dynamic interactions between plant viruses and their hosts for symptom development. *Journal of Plant Pathology*. 101 : 885–895.
- Palukaitis, P., Roossinck, M. J., Dietzgen, R. G., and Francki, R. I. B. 1992. Cucumber mosaic virus. *Adv Virus Res*. 41 : 281-384.
- Powell, A. P., Nelson, R. S., Hoffmann, N., Rogers, S. G., Fraley, R. T., and Beachy, R. N. 1986. Delay of disease development in transgenic plants that express the tobacco mosaic virus coat protein gene. *Science*. 232(4751) : 738-743.
- Pranatayana., Bagus, G. I., Temaja, R. M., Yuliadhi, A. K., Nyana, N. I. D., dan Suastika, G. 2014. Deteksi Molekuler *Cucumber mosaic virus* (CMV) Pada Tanaman Gamal (*Gliricidia Sepium*) Sebagai Barrier Pada Pertanaman Cabai. *Journal of Tropical Agroecotechnology*. 3(3) : 176–182.
- Priwiratama, H., Hidayat, S. H., dan Widodo. 2012. Pengaruh Empat Galur Bakteri Pemacu Pertumbuhan Tanaman dan Waktu Inokulasi Virus terhadap Keparahan Penyakit Daun Keriting Kuning Cabai. *Jurnal Fitopatol Indones*. 8(1) : 1-8.
- Purbani, D. C., Noerdjito, D. R., Purnaningsih, I., Yuliani, Y., dan Prabowo, D. A. 2021. Analisis Morfologi dan Filogenetik Molekuler Alga Hijau Coccoid Yang Diisolasi Dari Pulau Enggano. *Jurnal ilmi-ilmu hayati*. 20(3) : 301-312
- Purnamawati, I., Damayanti, T. A., dan Giyanto. 2019. Potensi Bakteri Agens Hayati untuk Menekan infeksi *Cucumber mosaic virus* (CMV) pada Melon (*Cucumis melo* L.). *Jurnal Agrovigor*. 12(2): 94-101
- Purnomo dan Sudiono. 2009. Hubungan antara Populasi Kutu Kebul dan Penyakit Kuning pada Cabai di Lampung Barat. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tanaman Tropika*. 9(2) : 1411-7525.

- Purnomo, E., dan Ferniah, R. S. 2018. Polimorfisme Cabai Rawit dan Cabai Gendot dengan Penanda RAPD ( Random Amplified Polymorphic DNA ) Menggunakan Primer OPA-8. *Berkala Bioteknologi*. 1(1) : 1-5.
- Qalsum, U., Diah, A. W. M., dan Supriadi. 2015. Analisis kadar karbohidrat, lemak dan protein dari tepung biji mangga (*Mangifera indica* L) jenis gadung. *Jurnal Akademik Kimia*. 4(4) : 168-174.
- Ratna, M., Sarker, R., Ara, R., Hossain, M. M., and Kamruzzaman, M. M. 2018. Performance of chilli (*Capsicum annum* L.) lines with different plantation time during rainy season. *Archives of Agriculture and Environmental Science*. 3(3) : 240–244
- Rendina, N., Nuzzaci, M., Scopa, A., Cuypers, A., and Sofo, A. 2019. Chitosan-elicited defense responses in Cucumber mosaic virus (CMV)-infected tomato plants. *Journal of Plant Physiology*. 23(25) : 9–17
- Revill, P.A., Ha, C.V., Porchun, S.C., Vu, M.T., and Dale, J.L. 2003. The Complete Nucleotide Sequence of Two Distinct Geminiviruses Infecting Cucurbite in Vietnam. *Archives of Virology*. 148 : 1523-1541
- Rita, H. dan Djajadi. 2009. Sifat-sifat tanah yang memengaruhi perkembangan patogen tular tanah pada tanaman tembakau. *Jurnal Perspektif*. 8(2) : 74–83
- Rosdiana., M. A., dan Mantau, Z. 2011. *Teknologi Budidaya Cabai rawit*. Balai Pengkajian Teknologi dan Pertanian : Gorontalo. 1-4
- Semangun, H. 2008. *Penyakit-Penyakit Tanaman Hortikultura di Indonesia*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press
- Sidik, E. A. 2021. Deteksi Molekuler Asosiasi Begomovirus dengan Penyakit Keriting Kuning Cabai di Pakis dan Banyu Urip, Magelang Indonesia. *Vigor: Jurnal Ilmu Pertanian Tropika dan Subtropika*. 6(1): 1-6
- Souza, I. R. P. D., Oliveira, E. D., Peres, M. A., Oliveria, A. C. D., and Purcino A. A. C. 2003. Peroxidase activity in maize inbred lines resistant or susceptible to Maize dwarf mosaic virus. *Rev Brasil Milho Sorgo*. 2(1) : 1-8
- Subekti, D. W. I., Hidayat, S. H., Nurhayati, E., dan Sujiprihati, S. 2006. Infeksi Cucumber Mosaic Virus dan Chili Veinal Mottle Virus terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Cabai. *Hayati Journal of Biosciences*. 13(2) : 53–57
- Sudiono. 2012. Penyebaran Penyakit Kuning pada Tanaman Cabai di Kabupaten Tanggamus Dan Lampung Barat. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*. 13(1) : 1-7
- Sudiono., Yasin., Hidayat, H., dan Hidayat. 2005. Penyebaran Dan Deteksi Molekuler Virus Gemini Penyebab Penyakit Kuning Pada Tanaman Cabai

- Di Sumatera. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan Tropika*. 5(2): 113-121
- Sulandari, Sri. 2006. Penyakit daun keriting kuning cabai di Indonesia. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*. 12(1) : 1-12
- Sulandari, S., Suseno, R., Hidayat, S. H., Harjosudarmo, dan Sosromarsono. 2006. Deteksi dan kajian kisara inang virus penyebab penyakit daun keriting kuning cabai. *Jurnal Hayati*. 1(13) : 1-6
- Suntoro. 2002. Pengaruh penambahan bahan organik, dolomit dan KCl terhadap kadar klorofil dan dampaknya pada hasil kacang tanah (*Arachis hypogaeae* L.). *Biologi SMART*. 4(2) : 36-40
- Suswati, L., Umniyatie, S., dan Henuhili, V. 2015. Aktivitas enzim peroksidase pisang kapok dengan aplikasi glomus tipe 1. *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika*. 15(2) : 141-151
- Suseno, R., Hidayat, S. S., Harjosudarmono, J., dan Sosromarsono, S. 2003. Respon Beberapa Kultivar Cabai terhadap Penyebab Penyakit Daun Keriting Kuning Cabai. Prosid. Konggres Nasional XVII. PFI. Bandung
- Sutrawati, M., Hidayat, S. H., Suastika, G., Sukarno, B. P. W., dan Nurmansyah, A. 2020. Penyakit mosaik kuning pada kedelai. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 16(1) : 30–36
- Sutrawati, M., Parwito, P., Agustin. Z., Supriyadi., Yenny, S., and Dwi, W. G. 2021. First Report of Begomovirus Infection on Papaya in Bengkulu, Indonesi. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan Tropika*. 21(1) : 49–55
- Sutrawati, M. 2010. Deteksi Serologi Virus Penyebab Penyakit Mosaik Pada Tanaman Cabai dengan DAS-ELISA. *Jurnal Agriculture*. 17(1) : 625-630
- Syafaruddin, S., and Santoso, T. J. 2011. Optimasi teknik isolasi dan purifikasi dna yang efisien dan efektif pada kemiri sunan (*Reutalis trisperma*). *Jurnal Littri*. 17 : 11-17.
- Taiz, L., and Zeiger, E. 2001. Plant physiology, The Benyamin/Cumming Publishing Company Inc, Tokyo, pp. 219–247
- Taufik, M., Hasan, A., Hidayat, S. H., Parawansa, A. K., dan Tasrif, A. 2023. Penilaian Keparahan Gejala Virus pada *Capsicum Frutescens* berbasis Indeks Vegetasi dan Pengamatan Visual di Lapangan. *Jurnal Agroteknology Tropika*. 11(1) : 7-14
- Taufik, M., Astuti, A. P., dan Hidayat, S. H. 2005. Survei Cucumber Mosaic Virus dan Chili Vein Mottle Virus pada Tanaman Cabai dan Seleksi Ketahanan Beberapa Kultivar Cabai. *Jurnal Agrikultur*. 16(3) : 146-152
- Thomas, J. E., Wong, W.C., and Goanlock, D.H. 1989. Modern methods for the detection of plant pathogens. *Queensland Agricultur Journal*. 49-53
- Trisno, J., Hidayat, S. H., Jamsari., Habazar, T., dan Manti, I. 2010. Identifikasi molekuler Begomovirus penyebab penyakit kuning keriting pada tanaman



- cabai (*Capsicum annum* L.) di Sumatera Barat. *Jurnal Natur Indonesia*. 13(1) : 41- 46
- Tsai, W.S., Huang, D.Y., Zhang, K., Reddy, S.H., Hidayat, W., Srithongchai, S.K., and Green. 2008. Molecular characterization of the CP gene and 3'UTR of chilli veinal mottle virus from South and Southeast Asia. *Plant Pathol.* 57 : 408-416
- Utaminingsih., Suharyanto., dan Sumardi, I. 2019. Mikrosporogenesis Cabai Merah Besar (*Capsicum annum* L.) Akibat Cekaman kekeringan. *Majalah Ilmiah Biologi Biosfera : A Scientific Journal*. 36(2) : 79-84
- Utami, T., Ahmad, N., Al-Baarri., dan Anang, M. L. 2017. Pengambilan enzim peroksidase dari daun tomat dengan menggunakan teknik pertukaran ion. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*. 6(2) : 85-88
- Veniari, N. K., Yuliadhi, K. A., Nyana, I. D. N., dan Suastika, G. 2015. Deteksi Cucumber Mosaic Virus (CMV) Dan Chili Veinal Mottle Virus (ChiVMV) pada Gulma *Commelina* spp. di Pertanaman Cabai (*Capsicum* spp.) Melalui Teknik Uji Serologi dan Molekuler. *E-Jurnal Agroekoteknologi Tropika*. 4(1) : 45–52
- Windarningsih, M., Fauzi, M.T., Rohyadi, A., dan Muthahanas, I. 2018. Penyebaran Penyakit Virus Daun Menguning dan Keriting Pada Cabai Rawit di Kabupaten Lombok Utara. *Jurnal Crop Agro*. 11(2) : 146-150
- Yang, H., Li, J., Wang, H., Zou, J., and He, J. 2014. Effects of nitrogen application rate and leaf age on the distribution pattern of leaf SPAD readings in the rice canopy. *Plos one*. 9(2) : 108-115
- Yusuf, Z. K. 2010. Polymerase Chain Reaction (PCR). *Jurnal Saintek*. 5(6): 1-6
- Yustinadewi, P.D., Yustiantara, P.S., dan Narayani, I. 2018. Perancangan Primer Untuk Sekuens Gen MDR-1 Varian 1199 pada Sampel *Buffy Coat* Pasien Anak dengan LLA. *Jurnal Metamorfosa*. 5(1): 105-111
- Yuwedly, A. M. 2018. Dampak Impor Cabai Dari Tiongkok Terhadap Perekonomian Indonesia Tahun 2010-2015. *JOM FISIP*. 5(1) : 1-15