

**DETEKSI SIMULTAN BERBAGAI VIRUS YANG MENGINFEKSI
TANAMAN TOMAT (*Solanum lycopersicum* L.) DAN CABAI RAWIT
(*Capsicum frutescens* L.) DI KABUPATEN PRINGSEWU DAN
KABUPATEN TANGGAMUS**

(Skripsi)

Oleh

VERONICA ELIZABETH SIJABAT

1957021004



JURUSAN BIOLOGI

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS LAMPUNG

2023

**DETEKSI SIMULTAN BERBAGAI VIRUS YANG MENGINFEKSI
TANAMAN TOMAT (*Solanum lycopersicum* L.) DAN CABAI RAWIT
(*Capsicum frutescens* L.) DI KABUPATEN PRINGSEWU DAN
KABUPATEN TANGGAMUS**

Oleh

VERONICA ELIZABETH SIJABAT

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

DETEKSI SIMULTAN BERBAGAI VIRUS YANG MENGINFEKSI TANAMAN TOMAT (*Solanum lycopersicum* L.) DAN CABAI RAWIT (*Capsicum frutescens* L.) DI KABUPATEN PRINGSEWU DAN KABUPATEN TANGGAMUS

Oleh

VERONICA ELIZABETH SIJABAT

Tanaman Solanaceae merupakan tanaman yang banyak dikonsumsi oleh mayoritas masyarakat Indonesia terutama tomat (*Solanum lycopersicum* L.) dan cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.). Namun, produksi tomat dan cabai rawit di Indonesia mengalami penurunan produksi yang disebabkan oleh penyakit yang diinfeksi virus. Beberapa jenis virus yang menginfeksi tomat dan cabai rawit diantaranya *Tomato yellow curl virus* (TYLCV), *Tomato infectious chlorosis virus* (TICV), *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV), dan *Cucumber mosaic virus* (CMV). Virus-virus ini dapat dideteksi dengan menggunakan teknik *Multiplex Polymerase Chain Reaction* (*Multiplex PCR*). Penelitian ini akan dilaksanakan dalam dua tahapan, yaitu koleksi sampel di Kabupaten Pringsewu dan Tanggamus serta penelitian molekuler di Laboratorium Bioteknologi, Jurusan Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada bulan Oktober 2022–Februari 2023. Tujuan penelitian ini adalah mendeteksi adanya berbagai virus yang menginfeksi tomat dan cabai rawit di Kabupaten Pringsewu dan Tanggamus, mengetahui karakteristik berbagai virus yang menginfeksi tomat dan cabai rawit dengan teknik *Multiplex PCR*, dan mengetahui kekerabatan isolat virus di Kabupaten Pringsewu dan Tanggamus dengan isolat virus daerah lain dengan analisis sekuensing. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu *Multiplex PCR* dengan desain untuk mengamplifikasi empat virus yang diduga menginfeksi tomat dan cabai rawit di Kabupaten Pringsewu dan Tanggamus, yaitu TYLCV, TICV, PepYLCV, dan CMV. Karakterisasi molekuler virus selanjutnya dilakukan dengan analisis sekuensing dan rekonstruksi filogenetik menggunakan *software* MEGA 11. Hasil deteksi menunjukkan 4 dari total 32 sampel tomat dan cabai rawit di Kabupaten Pringsewu dan Tanggamus positif terinfeksi TYLCV, TICV, PepYLCV, dan CMV dengan pita spesifik 898 bp, 852 bp, dan 428 bp. Karakterisasi molekuler pada masing-masing isolat Ca4 SPG (TYLCV), Ca2 SPG (PepYLCV), dan Ca4 KH (PepYLCV) menunjukkan jumlah sekuen 852 basa, 898 basa, dan 428 basa. Hasil analisis hubungan kekerabatan menunjukkan isolat Ca4 SPG (TYLCV) memiliki kedekatan dengan isolat asal Bali, isolat Ca2 SPG

memiliki kekerabatan dengan isolat asal Bengkulu, sedangkan isolat Ca4 KH (PepYLCV) berada pada cabang terpisah yang mengarah pada spesiasi.

Kata kunci : Tomat (*Solanum lycopersicum* L.), Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.), TYLCV, PepYLCV, CMV, TICV, *Multiplex* PCR, Lampung

ABSTRACT

SIMULTANEOUS DETECTION OF TOMATO (*Solanum lycopersicum* L.) AND CHILI PEPPER (*Capsicum frutescens* L.)-INFECTING VIRUSES IN PRINGSEWU AND TANGGAMUS REGENCY

By

VERONICA ELIZABETH SIJABAT

Solanaceae are plants that are widely consumed by the majority of Indonesians, especially tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) and chili pepper (*Capsicum frutescens* L.). However, the production of tomatoes and chili pepper in Indonesia has decreased due to viral infections. Various species of viruses that infected tomatoes and chili pepper, such as *Tomato yellow curl virus* (TYLCV), *Tomato infectious chlorosis virus* (TICV), *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV), and *Cucumber mosaic virus* (CMV). These viruses can be detected using the Multiplex Polymerase Chain Reaction (Multiplex PCR) technique. This research was carried out in two stages, beginning with sample collection in Pringsewu and Tanggamus Regencies and molecular detection at the Biotechnology Laboratory, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, University of Lampung, from October 2022 – February 2023. The purpose of this research is to detect the presence of various viruses that infect tomato and chili pepper in Pringsewu and Tanggamus Regencies, to find out the characteristics of several viruses that infect tomatoes and chili pepper using the Multiplex PCR technique, and to find out the kinship of virus isolates in Pringsewu and Tanggamus Regencies with virus isolates from other areas by sequencing analysis. The method used in this study was Multiplex PCR with four primers to amplify four viruses that were suspected of infecting tomatoes and chili pepper in Pringsewu and Tanggamus Regencies, namely TYLCV, TICV, PepYLCV, and CMV. The molecular characterization of the virus was then carried out by sequencing analysis and phylogenetic reconstruction using MEGA 11 software. The detection results showed that 4 out of 32 samples in a total of tomatoes and cayenne pepper in the Pringsewu and Tanggamus districts were positively infected with TYLCV, TICV, PepYLCV, and CMV with a specific band of 898 bp, 852 bp, and 428 bp. Molecular characterization of each isolate Ca4 SPG (TYLCV), Ca2 SPG (PepYLCV), and Ca4 KH (PepYLCV) showed the number of sequences of 852 bases, 898 bases,

and 428 bases. The results of the phylogenetic relationship analysis showed that the Ca4 SPG isolate (TYLCV) had a close relationship with the isolate from Bali, the Ca2 SPG isolate had a kinship with the isolate from Bengkulu, while the Ca4 KH isolate (PepYLCV) was in a separate branch leading to speciation.

Keywords : Chili paper (*Capsicum frutescens* L.), Lampung, *Multiplex* PCR, Tomato (*Solanum lycopersicum* L.), TYLCV, PepYLCV, CMV, TICV

Judul Skripsi

: **DETEKSI SIMULTAN BERBAGAI VIRUS
YANG MENGINFEKSI TANAMAN TOMAT
(*Solanum lycopersicum* L.) DAN CABAI
RAWIT (*Capsicum frutescens* L.) DI
KABUPATEN PRINGSEWU DAN
KABUPATEN TANGGAMUS**

Nama Mahasiswa

: **Veronica Elizabeth Sijabat**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1957021004

Jurusan

: Biologi

Fakultas

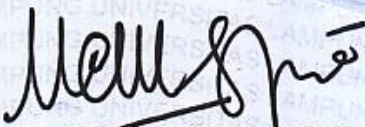
: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. Manfut, S.Si., M.Si.

NIP 19810909 201404 1 001



Dr. Sri Wahyuningsih, M.Si.

NIP 19611125 199003 2 001

2. Ketua Jurusan Biologi



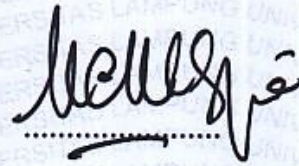
Dr. Jani Master, M.Si.

NIP 19830131 200812 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji


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



Sekretaris : Dr. Sri Wahyuningsih, M.Si.



Anggota : Drs. Suratman, M.Sc.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 11 Mei 2023

SURAT PERNYATAAN

KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Veronica Elizabeth Sijabat

NPM : 1957021004

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis di dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya penulis berdasarkan pengetahuan dan informasi yang telah penulis dapatkan. Karya ilmiah ini memuat materi dari karya ilmiah yang telah dipublikasikan sebelumnya yang sudah diolah melalui proses paraphrase dan bukan hasil plagiat karya orang lain.

Demikian pernyataan ini penulis buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila terdapat kekurangan dalam karya ilmiah ini, maka penulis siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 24 Mei 2023

Yang menyatakan,

Veronica Elizabeth Sijabat

NPM. 1957021004

RIWAYAT HIDUP



Veronica Elizabeth Sijabat, atau biasa dipanggil Vero atau Ika, lahir di Bandar Lampung, 31 Oktober 2000. Penulis merupakan anak kedua dari empat bersaudara pasangan Bapak Jusuf Pardingotan Sijabat dan Ibu Bertha Magdalena Situngkir, S.H.

Penulis menempuh pendidikan pertamanya di TK Fransiskus 1 Tanjung Karang pada tahun 2005-2007. Penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang Sekolah Dasar di SD Fransiskus 1 Tanjung Karang pada tahun 2007-2013. Selanjutnya, penulis melanjutkan pendidikan di SMPN 4 Bandar Lampung pada tahun 2013-2016. Kemudian, penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 4 Bandar Lampung pada tahun 2016-2019. Pada tahun 2019, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Biologi FMIPA Unila melalui jalur Seleksi Mandiri Masuk Perguruan Tinggi Negeri Wilayah Barat (SMMPTN-Barat).

Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi asisten praktikum Botani Tumbuhan Rendah (BTR), asisten praktikum Ekologi, asisten praktikum Fitopatologi, Participant of Virtual Mobility Program – Business And Accounting Practices In Malaysia- History, Language, and Culture 2021, semifinalis Debate Competition DIES NATALIS FMIPA Unila 2021, International Conference Tanaman Obat 2020, Participant of International Symposium Asia Youth International Model United Nation (AYIMUN) 2021, Delegate of Asia Youth International Model United Nation 2021 representing Sudan pada tahun 2021,

English Teaching Assistant of Applied Biology 2022, Delegate of SOCHUM Representing The Commonwealth of Australia pada tahun 2022, Delegate of Asia Women SDGs Convention at Global Goals Youth, dan Gold Medalist of World Youth Invention and Innovation Award (WYIIA) 2022. Penulis juga pernah tergabung dalam Himpunan Mahasiswa Biologi (HIMBIO) sebagai anggota Biro Dana dan Usaha (Danus) pada tahun 2020.

Penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Kebun Raya Bogor – BRIN tepatnya di Unit Pembibitan Direktorat Pengelolaan Koleksi Ilmiah – BRIN pada bulan Januari – Februari 2022 dengan judul “**Pertumbuhan Stek Batang *Pilea cadierei* Gagnep. & Guillaumin pada Berbagai Media Tanam di Unit Pembibitan Direktorat Pengelolaan Koleksi Ilmiah – BRIN**”. Selain itu, penulis juga melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Pekon Sinar Betung, Kecamatan Talang Padang, Kabupaten Tanggamus pada bulan Juni – Agustus 2022. Kemudian, penulis melaksanakan penelitian di Laboratorium Bioteknologi, Jurusan Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada bulan Oktober 2022 – Februari 2023.

PERSEMBAHAN

Segala puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkatnya sehingga penulis dapat mempersembahkan karya dan dedikasi ini dengan kesungguhan hati sebagai bentuk rasa syukur dan terima kasih kepada :

Kedua orangtua terkasih, Papa Jusuf Pardingotan Sijabat dan Mama Bertha Magdalena Situngkir, S.H. yang telah membesarkan, merawat, dan mendidik penulis dengan kasih sayang, dukungan, motivasi, serta selalu mendoakan penulis yang tak pernah putus hingga penulis dapat melangkah hingga saat ini;

Kakakku, Christin Nataline Sijabat, S.Ked. beserta kedua adikku, Monica Margaretha Sijabat dan Christian Immanuel Sijabat yang selalu memberikan dukungan, motivasi, dan doa yang terus menyertai penulis hingga penulis sampai pada tahap ini;

Bapak dan Ibu Dosen yang telah menjadi orangtua di kampus yang telah mengajar, membimbing, dan memberikan ilmu dengan sabar dan tulus selama penulis menempuh pendidikan di Jurusan Biologi hingga sampai pada tahap penulis memperoleh gelar sarjana;

Sahabat dan teman-teman terkasih, baik di dalam dan di luar kampus, yang telah senantiasa memberikan dukungan dan yang telah berjuang bersama-sama dari awal hingga saat ini;

Almamater tercinta, Universitas Lampung.

MOTTO

“For I can do all things through Christ, who gives me strength”.

(Philippians 4:13)

“Apapun juga yang kamu perbuat, perbuatlah dengan segenap hatimu seperti untuk Tuhan dan bukan untuk manusia”.

(Kolose 3:23)

“Life is neither a race nor a competition against anyone else. Stop acting like it does. Live your life happily and do your best. Once you’ll get to your own destination in your own time”.

(Penulis)

“Women and girls can do whatever they want. There’s no limit to what we as women can accomplish”.

(Michelle Obama)

“Fall down seven times, stand up eight. Someday, we’ll all succeed”.

(Jeon Wonwoo)

“Don’t study because you need to. Study because knowledge is power. Study because they can never take it away from you. Study because you want to know more. Study because it grows you”.

(Unknown)

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat, kasih karunia, serta penyertaan Tuhan Yesus, sehingga penulis akhirnya dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya.

Skripsi dengan judul **“Deteksi Simultan Berbagai Virus yang Menginfeksi Tanaman Solanaceae di Kabupaten Pringsewu dan Tanggamus”** ini ditulis sebagai pertanggungjawaban penulis dalam menempuh dan menyelesaikan pendidikan jenjang S1 serta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si.) di Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa tanpa adanya bantuan dan dorongan dari berbagai pihak, penyelesaian skripsi ini tidak akan terwujud. Oleh karena itu, dengan ketulusan dan kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan setinggi – tingginya kepada :

1. Kedua orang tua, Papa Jusuf Pardingotan Sijabat dan Mama Bertha Magdalena Situngkir, S.H. yang telah memberikan doa, dukungan, motivasi, semangat, serta terima kasih atas kerja keras, telah menjaga, mendidik, menyayangi, membimbing, dan mendoakan penulis. Gelar Sarjana Sains ini penulis persembahkan untuk kalian
2. Saudara – saudari, Christin Nataline Sijabat, S.Ked., Monica Margaretha Sijabat, dan Christian Immanuel Sijabat yang telah memberikan dukungan,

semangat, dan motivasi kepada penulis dalam menjalankan, menempuh serta menyelesaikan skripsi ini

3. Bapak Dr. Mahfut, S.Si., M.Sc., selaku Pembimbing I atas waktu, tenaga, bimbingan, arahan, ilmu, serta masukan kepada penulis selama menjalankan, menempuh, hingga menyelesaikan skripsi ini
4. Ibu Dr. Sri Wahyuningsih, M.Si., selaku Pembimbing II atas bimbingan, masukan, arahan, serta ilmu kepada penulis sehingga skripsi ini dapat tersusun dengan baik
5. Bapak Drs. Suratman Umar, M.Sc., selaku Pembahas yang telah memberikan masukan, kritik, dan saran kepada penulis sehingga skripsi ini dapat tersusun dengan baik
6. Ibu Dra. Yulianty, M.Si., selaku Pembimbing Akademik yang telah mengarahkan, memberi masukan dan membimbing penulis selama masa perkuliahan ini
7. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Biologi yang telah berbagi ilmu dan nasihat kehidupan kepada penulis selama bangku perkuliahan
8. Ibu Dr. Kusuma Handayani, M.Si., selaku Ketua Program Studi S1 Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung
9. Bapak Dr. Jani Master, M.Si., selaku Ketua Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung
10. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
11. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A.IPM., selaku Rektor Universitas Lampung
12. Sahabat-sahabat, Kishy Dhea Herlanda, Sarah, dan Vira Arrisha Putri Siregar, yang telah memberikan semangat dan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini
13. Teman-teman grup KKN Bernard Sinar Betung, Zikrina, Presillia, Kishy, Iwan, Adi, dan Cici yang telah berbagi kisah dan keceriaan dalam setiap situasi
14. Teman-teman Geng Sambel Cabe+Tomat, S1 Biologi Vira Arrisha Putri Siregar dan S2 Biologi Mbak Mai Sari dan Mbak Ferisa Desi Aulia atas

semangat, dukungan, serta kerjasamanya selama penelitian dan penulisan skripsi ini

15. Teman-teman Biologi 2019, atas kebersamaan, kekeluargaan, serta ceritanya selama ini
16. Seventeen, Choi Seungcheol, Yoon Jeonghan, Joshua Jisoo Hong, Wen Junhui, Kwon Soonyoung, Jeon Wonwoo, Lee Jihoon, Xu Minghao, Kim Mingyu, Lee Seokmin, Boo Seungkwan, Choi Hansol Vernon, dan Lee Chan atas hiburannya selama penulis menyelesaikan skripsi ini
17. Last but not least, I'd like to thank myself to not give up, stay strong, and stand tall in every circumstance. Thank you for every drop of blood, sweat, and tears you put here. You rock, you're the coolest, Veronica. I'm so proud of you.

Bandar Lampung, 24 Mei 2023

Penulis,

Veronica Elizabeth Sijabat

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN SAMPUL	i
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR GAMBAR	xx
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang dan Masalah	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
1.3 Manfaat Penelitian.....	5
1.4 Kerangka Pemikiran	5
1.5 Hipotesis Penelitian	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tanaman Solanaceae	7
2.2 Tomat (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	7
2.2.1 Sejarah	7
2.2.2 Klasifikasi.....	8
2.2.3 Deskripsi.....	9
2.2.4 Morfologi.....	10
2.2.5 Manfaat.....	13
2.3 Cabai Rawit (<i>Capsicum frutescens</i> L.).....	13
2.3.1 Sejarah	13
2.3.2 Klasifikasi.....	14
2.3.3 Deskripsi.....	14
2.3.4 Morfologi.....	15
2.3.5 Manfaat.....	16
2.4 Hama, Penyakit, dan Patogen.....	17
2.5 Jenis Virus yang Menginfeksi Tomat dan Cabai Rawit	18
2.5.1 <i>Tomato yellow leaf curl virus</i> (TYLCV)	18
2.5.2 <i>Tomato infectious chlorosis virus</i> (TICV).....	18
2.5.3 <i>Cucumber mosaic virus</i> (CMV)	19
2.5.4 <i>Pepper yellow leaf curl virus</i> (PepYLCV)	19
2.6 Gejala Infeksi.....	21
2.7 Gen <i>TrAP</i> dan <i>Rep</i>	23

2.8	Gen Coat Protein (CP)	24
2.9	Deteksi Virus dengan <i>Multiplex Polymerase Chain Reaction</i>	26
III. METODE PENELITIAN		29
3.1	Waktu dan Tempat	29
3.2	Alat dan Bahan	29
	3.4.1 Alat	29
	3.4.2 Bahan	30
3.3	Rancangan Penelitian	31
3.4	Prosedur Kerja	32
	3.4.1 Koleksi Sampel	32
	3.4.2 Ekstraksi RNA Sampel	32
	3.4.3 Ekstraksi DNA Sampel	36
	3.4.4 Uji Kuantitatif Hasil Ekstraksi RNA dan DNA Sampel	39
	3.4.5 Amplifikasi cDNA dengan Teknik <i>Reverse Transcriptase</i> (RT)	39
	3.4.6 Amplifikasi DNA dengan Teknik PCR	39
	3.4.7 Visualisasi Fragmen DNA dengan Elektroforesis	42
	3.4.8 Sekuensing DNA	42
	3.4.9 Analisis Data	43
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		44
4.1	Hasil Penelitian	44
	4.1.1 Lokasi Koleksi Sampel Penelitian	44
	4.1.2 Gejala Infeksi Virus di Lapangan	46
	4.1.3 Isolasi RNA dan DNA Virus	51
	4.1.3 Uji Kuantitatif Hasil Ekstraksi RNA dan DNA	52
	4.1.5 Amplifikasi DNA dengan <i>Multiplex Polymerase Chain Reaction</i> (PCR)	54
	4.1.6 Analisis Sekuensing	55
4.2	Pembahasan	74
V. KESIMPULAN		88
DAFTAR PUSTAKA		90

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Deskripsi gejala pada tanaman tomat terinfeksi pada beberapa.....	22
2. Deskripsi gejala pada tanaman cabai rawit terinfeksi pada beberapa	23
3. Sekuen nukleotida yang digunakan dalam Multiplex PCR.....	28
4. Sekuen nukleotida primer pertama yang digunakan dalam	40
5. Komposisi DNA hasil ekstraksi yang akan diamplifikasi	40
6. Reaksi PCR untuk amplifikasi Multiplex PCR dengan 3	41
7. Deskripsi gejala infeksi TYLCV, PepYLCV, TICV, dan CMV yang ditemukan pada tanaman tomat di Kabupaten Pringsewu dan Kabupaten	49
8. Deskripsi gejala infeksi TYLCV, PepYLCV, TICV, dan CMV yang ditemukan pada tanaman cabai rawit di Kabupaten Pringsewu dan	50
9. Nilai absorbansi hasil uji kuantitatif kemurnian kemurnian	53
10. Nilai absorbansi hasil uji kuantitatif kemurnian kemurnian	54
11. Persentase kandungan basa isolat PepYLCV dan TYLCV yang.....	59
12. Hasil analisis homology search PepYLCV berdasarkan sekuen.....	60
13. Hasil persejajaran (alignment) sepuluh isolat PepYLCV menggunakan program ClustalW	61

14. Hasil analisis kejadian mutasi pada isolat Ca2 SPG dan Ca4 KH.....	63
15. Hasil analisis perubahan asam amino pada isolat PepYLCV yang menginfeksi cabai rawit	64
16. Frekuensi asam amino gen CP pada isolat PepYLCV yang menginfeksi cabai rawit di Kabupaten Pringsewu dan Tanggamus	65
17. Nilai jarak genetik gen CP pada isolat PepYLCV yang menginfeksi cabai rawit.....	65
18. Hasil analisis homology search TYLCV berdasarkan sekuen	67
19. Hasil persejajaran (alignment) sepuluh isolat TYLCV menggunakan program ClustalW.....	68
20. Hasil analisis kejadian mutasi pada isolat Ca4 SPGTYLCV.....	70
21. Hasil analisis perubahan asam amino pada isolat TYLCV yang menginfeksi cabai rawit	71
22. Frekuensi asam amino gen CP pada isolat TYLCV yang menginfeksi cabai rawit di Kabupaten Tanggamus.....	72
23. Nilai jarak genetik gen CP pada isolat TYLCV yang menginfeksi cabai rawit	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Morfologi tanaman tomat	12
2. Variasi gejala infeksi virus pada tanaman tomat.....	21
3. Organisasi genom TYLCV isolat 1932.....	24
4. Spesifikasi deteksi isolat TYLCV dengan uniplex (IL dan Mld)	27
5. Diagram alir rancangan penelitian	31
6. Tahapan ekstraksi RNA	35
7. Tahapan ekstraksi DNA	38
8. Tahapan amplifikasi DNA dengan PCR	41
9. Peta lokasi koleksi sampel penelitian.....	43
10. Variasi gejala pada daun tomat yang diduga terinfeksi virus TYLCV, PepYLCV, CMV, dan TICV	47
11. Gejala pada daun cabai rawit yang diduga terinfeksi TYLCV, PepYLCVV, CMV, dan TICV	48
12. Hasil isolasi sampel (A) Hasil isolasi DNA; (B) Hasil isolasi RNA	52
13. Visualisasi hasil amplifikasi PCR DNA sampel tomat.....	55
14. Sekuen nukleotida Ca2 SPG PepYLCV (Mataram), Ca4 TYLCV SPG (Dadapan) dan Ca4 KH PepYLCV (Dadapan).....	56

15. Hasil pencarian homologi sekuen isolat Ca2 SPG (Mataram).....	59
16. Hasil pencarian homologi sekuen isolat Ca4 SPG (Dadapan).....	60
17. Hasil pencarian homologi sekuen isolat Ca4 KH (Dadapan).....	60
18. Pohon filogenetik isolat PepYLCV dengan <i>bootstrap</i> 1000 kali.....	66
19. Pohon filogenetik isolat TYLCV dengan <i>bootstrap</i> 1000 kali.....	75

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Tanaman Solanaceae merupakan salah satu tumbuhan yang berbunga, herba atau perdu, dan terkadang berupa pohon yang terbagi menjadi kurang lebih 80 genus dan 1.700 jenis. Persebaran tanaman Famili Solanaceae berada di daerah beriklim panas hingga daerah beriklim sedang (Tjitrosoepomo, 2007). Beberapa jenis tanaman yang tergolong ke dalam Famili Solanaceae adalah tomat dan cabai rawit. Tomat (*Solanum lycopersicum* L.) merupakan tanaman yang tergolong ke dalam Famili Solanaceae dan menjadi salah satu jenis sayuran yang disukai oleh mayoritas masyarakat Indonesia. Hal ini dikarenakan tomat mengandung vitamin yang bermanfaat bagi kesehatan dan mencegah penyakit. Kandungan yang paling menonjol pada tomat yaitu vitamin A dan vitamin C. Tomat dapat dibudidayakan di daerah dataran tinggi maupun rendah. Tomat termasuk tanaman semusim yang berumur sekitar 3-4 bulan (Surtinah, 2007). Tingginya permintaan tomat dikarenakan tomat memiliki rasa yang manis dan segar serta banyak digunakan dalam masakan masyarakat Indonesia (Totong dkk., 2016). Tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) merupakan salah satu jenis tanaman yang juga tergolong dalam Famili Solanaceae. Cabai rawit memiliki buah yang mengandung vitamin A yang bermanfaat untuk mencegah kebutaan. Selain itu, cabai rawit banyak digunakan sebagai bahan untuk penambah rasa pedas pada masakan Indonesia (Purwono, 2003).

Produksi tomat di Indonesia, khususnya di Pulau Sumatera mengalami kenaikan dan penurunan yang cukup besar. Provinsi Lampung menjadi salah

satu contoh yang mengalami kenaikan dan penurunan jumlah produksi tomat dari tahun ke tahun. Produksi tomat di Provinsi Lampung dari tahun 2019 mencapai 18.668,6 ton dan mengalami kenaikan pada tahun 2020 menjadi 19.095,7 ton. Namun, terjadi penurunan yang cukup besar pada tahun 2021 menjadi 15.933,8 ton. Sedangkan produksi cabai rawit pada tahun 2019 mencapai 12.795,8 ton namun terus mengalami penurunan yang cukup besar mencapai 10.558,1 ton pada tahun 2020 dan 10.921,3 ton pada tahun 2021 (Badan Pusat Statistik, 2022). Penurunan produksi tomat dan cabai rawit disebabkan oleh beberapa hal, salah satunya adalah infeksi virus. Virus yang menginfeksi tomat dan cabai rawit dan sudah teridentifikasi di Indonesia, diantaranya *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV), *Tobacco mosaic virus* (TMV), *Potato virus Y* (PVY), Potyvirus, *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV), *Cucumber mosaic virus* (CMV), *Potato virus X* (PVX), *Tomato infectious curl virus* (TICV), dan *Tomato ringspot virus* (TRSV) (Mahendra dkk., 2017; Sugiarmann dan Hidayat, 2000).

Penyebaran berbagai virus tomat dan cabai rawit yang terus meluas mengakibatkan penurunan jumlah produksi setiap tahunnya sehingga diperlukan adanya identifikasi terhadap virus. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mendeteksi virus yaitu dengan menggunakan teknik *Polymerase Chain Reaction* (PCR) (Mudmainah dan Purwanto, 2010). Teknik PCR dianggap valid karena memiliki kelebihan yaitu sangat sensitif dan spesifik untuk deteksi dan identifikasi virus yang menginfeksi tanaman. Teknik PCR juga dapat digunakan untuk mengetahui mengenai komposisi populasi patogen dan diversitas genetik virus (Santoso dkk., 2013). Salah satu metode PCR yaitu *Multiplex Polymerase Chain Reaction* (PCR) merupakan metode yang dapat digunakan untuk mengamplifikasi dua atau lebih sekuen target secara simultan (Markoulatos *et al.*, 2002).

Beberapa hasil penelitian di Indonesia menunjukkan bahwa infeksi virus pada tomat dari sentra produksi di Jawa Timur, Jawa Tengah, Jawa Barat, DI Yogyakarta, Sumatera, dan Bali yang menunjukkan gejala daun menguning dan keriting. Lefeuvre *et al.* (2007) menyatakan bahwa *Multiplex* PCR mampu mengidentifikasi antara *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV) dan TYLCV–Mid clades. Deteksi molekuler dengan *Multiplex* PCR belum banyak dilakukan di Indonesia, namun pernah dilakukan oleh Ningrum dkk. (2019) dan berhasil mendeteksi Crinivirus dari Famili Closteroviridae yang juga menginfeksi tomat sehingga menunjukkan gejala daun kuning dan keriting. Selain itu, genus lain yang teridentifikasi menginfeksi tomat diantaranya Potyvirus dan Cucumovirus. Deteksi simultan berbagai virus tomat dan cabai rawit dengan *Multiplex* PCR dapat dilakukan dengan menggunakan primer universal, diantaranya SPG1 dan SPG2, primer *degenerate* universal PAL1v1978-F dan PARc715-R, TICV-CF dan TICV-CR, dan primer universal Krusty-Hommer. Keseluruhan primer tersebut mampu mendeteksi keberadaan virus TYLCV (Kintasari dkk., 2013) dan TICV (Wahyudin, 2022).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kintasari dkk. (2013), deteksi molekuler menunjukkan isolat TYLCV asal Bogor, Pati, Rembang, dan Bantul memiliki tingkat kekerabatan yang sangat tinggi (>98%) dengan TYLCKaV asal Thailand. Nurulita dan Suastika (2013) melaporkan berdasarkan hasil analisis homologi sekuen nukleotida dan filogenetika isolat TICV asal Cipanas berkerabat dengan isolat TICV asal Jepang dan Spanyol. Isolat CMV Nilam, koleksi Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat (Balitro) menunjukkan kekerabatan dekat dengan isolat CMV asal Jepang dengan persentase kemiripan sebesar 97,1% dan 97,7% (Miftakhurohmah dkk., 2017).

Penelitian terkait deteksi molekuler virus tomat di Lampung, khususnya di Lampung Selatan sudah pernah dilakukan oleh Septiana dkk. (2022). Hasil penelitian menunjukkan Begomovirus telah menginfeksi tanaman tomat di lokasi tersebut dengan gejala kekerdilan (*stunting*), daun seperti mangkuk (*cupping*), daun mengeriting (*curling*), mosaik, menguning (*yellowing*), dan kering (mudah hancur ketika diremas). Hasil analisis filogenetik menunjukkan Begomovirus isolat Lampung Selatan memiliki hubungan kekerabatan yang dekat dengan isolat Indonesia (Bogor, Pati, dan Yogyakarta) dan negara lainnya (Thailand, China, dan Vietnam) (Septiana dkk., 2022). Sedangkan deteksi molekuler virus pada cabai rawit di Lampung sudah pernah dilakukan di Kabupaten Pringsewu oleh Anbiya dkk. (2022). Namun, laporan resmi terkait penelitian deteksi molekuler belum ada di Kabupaten Tanggamus. Sehingga, diperlukan penelitian terkait infeksi virus selain Begomovirus dan jenis lain (TICV dan CMV) di Kabupaten Pringsewu dan Kabupaten Tanggamus. Hal inilah yang melatarbelakangi penelitian ini dengan tujuan untuk mengetahui, meminimalisir penyebaran, dan pencegahan virus pada tomat dan cabai rawit di Kabupaten Pringsewu dan Kabupaten Tanggamus dengan *Multiplex PCR*.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini dirumuskan sebagai berikut.

1. Mendeteksi adanya berbagai virus yang menginfeksi tomat (*Solanum lycopersicum* L.) dan cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) di Kabupaten Pringsewu dan Tanggamus menggunakan *Multiplex PCR*.
2. Mengetahui karakteristik molekuler berbagai virus yang menginfeksi tomat dan cabai rawit dengan menggunakan analisis sekuensing.
3. Mengetahui hubungan kekerabatan isolat berbagai virus tomat dan cabai rawit di Kabupaten Pringsewu dan Tanggamus dengan isolat virus dari daerah dan negara lain berdasarkan analisis filogenetik.

1.3 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dalam deteksi berbagai virus yang menginfeksi tanaman tomat dan cabai rawit sehingga dapat dilakukan pengendalian dan penanganan yang cepat untuk menghindari penurunan produksi tomat dan cabai rawit di Kabupaten Pringsewu dan Tanggamus.

1.4 Kerangka Pemikiran

Tanaman Solanaceae merupakan salah satu Famili tumbuhan yang berbunga, herba atau perdu, dan terkadang berupa pohon yang tersebar di daerah beriklim panas hingga daerah beriklim sedang. Beberapa jenis anamna yang tergolong dalam Famili Solanaceae yaitu tomat dan cabai rawit. Tanaman tomat (*Solanum lycopersicum* L.) merupakan salah satu jenis sayuran yang banyak digemari dan dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia. Tomat memiliki kandungan seperti protein, lemak, kalsium, fosfor, zat besi, vitamin A (karoten), vitamin B (tiamin), dan vitamin C. Tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) merupakan salah satu jenis tanaman yang banyak digunakan masyarakat Indonesia sebagai penambah rasa pedas dalam masakan. Cabai rawit memiliki buah yang mengandung vitamin A yang bermanfaat untuk mencegah kebutaan. Tingginya peminat tomat cabai rawit di pasaran menyebabkan harus ada peningkatan produksi tanaman tomat untuk mencukupi permintaan tersebut. Namun, menurut laporan terjadi penurunan tingkat produksi tomat dan cabai rawit yang disebabkan oleh adanya infeksi penyakit tanaman oleh virus.

Virus yang menginfeksi tomat dan cabai rawit telah teridentifikasi di Indonesia, di antaranya *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV), *Tomato infectious chlorosis virus* (TICV), dan *Cucumber mosaic Virus* (CMV) (Mahendra dkk., 2017). Gejala yang ditimbulkan berupa daun menguning,

kerdil, arah cabang dan tangkai daun cenderung tegak, ukuran daun mengecil, penggulangan daun ke atas, klorosis pada tepi daun, burik (*mottling*), dan pengguguran bunga. Sehingga, jika dibiarkan akan menjadi masalah serius bagi produksi tomat dan cabai rawit di Indonesia terutama di Kabupaten Pringsewu dan Kabupaten Tanggamus.

Berdasarkan penelitian terkait deteksi molekuler virus pada tomat dan cabai rawit di Lampung sudah pernah dilakukan di Kabupaten Lampung Selatan. Namun, laporan resmi terkait penelitian deteksi molekuler belum ada di Kabupaten Tanggamus. Sehingga, diperlukan penelitian terkait infeksi virus selain Begomovirus dan jenis lain (TICV dan CMV) di Kabupaten Pringsewu dan Kabupaten Tanggamus dengan teknik *Multiplex* PCR.

1.5 Hipotesis Penelitian

Hipotesis penelitian yang dapat dirumuskan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Terdapat berbagai jenis virus dari genus berbeda terdeteksi menggunakan teknik *Multiplex* PCR pada tomat (*Solanum lycopersicum* L.) dan cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) di Kabupaten Pringsewu dan Kabupaten Tanggamus.
2. Didapatkan karakteristik molekuler virus tomat (*Solanum lycopersicum* L.) dan cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) dengan analisis sekuensing.
3. Terdapat hubungan kekerabatan antara isolat virus tomat (*Solanum lycopersicum* L.) dan cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) di Kabupaten Pringsewu dan Kabupaten Tanggamus dengan isolat virus daerah lain.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Solanaceae

Tanaman Solanaceae merupakan salah satu Famili yang tersebar luas di seluruh dunia yang mencakup lebih dari 90 genus dan 3.000 spesies. Spesies yang termasuk ke dalam famili ini memiliki banyak dimanfaatkan sebagai bahan makanan dan tanaman obat. Dua jenis tanaman Solanaceae yang termasuk ke dalam produksi penting pertanian, yaitu tomat dan cabai rawit. Selain itu, tanaman lain seperti cabai merah, kentang, terung, tembakau, dan lain sebagainya juga termasuk jenis tanaman Solanaceae dan merupakan produksi penting pertanian (Banfalvi *et al.*, 2021).

2.2 Tomat (*Solanum lycopersicum* L.)

2.2.1 Sejarah

Tanaman tomat (*Solanum lycopersicum* L.) merupakan tanaman asli yang berasal dari Amerika Tengah dan Selatan, yaitu daerah Andean yang merupakan bagian dari negara Bolivia, Chile, Kolombia, Ekuador, dan Peru. Penyebaran tanaman tomat terutama pada seluruh bagian tropis Amerika dimulai sejak Christophorus Columbus pulang berlayar dari Amerika dan tiba di Pantai San Salvador pada tanggal 12 Oktober 1492 (Pracaya, 1998). Awalnya tanaman tomat hanya dikenal sebagai tanaman gulma. Namun, seiring dengan perkembangan waktu, tomat mulai ditanam, baik di lapangan maupun di pekarangan rumah,

sebagai tanaman yang dibudidayakan atau tanaman yang dikonsumsi (Purwati dan Khairunisa, 2007).

Penyebaran tanaman tomat mulai masuk ke Eropa pada awal abad ke-16, sedangkan penyebarannya ke benua Asia dimulai dari Filipina melewati jalur Amerika Selatan. Tanaman ini sudah muncul di Malaysia sekitar tahun 1650. Meskipun tomat berasal dari Benua Amerika, namun pada awalnya masyarakat Amerika menganggap tomat sebagai cendawan beracun sehingga tanaman ini diabaikan dan tidak dikonsumsi. Saat ini daerah penanaman tomat sudah cukup luas hampir meliputi seluruh daerah tropis, mulai dari daerah tropis Asia seperti India, Malaysia, dan Filipina hingga mencapai daerah tengah, timur, dan barat Afrika, serta daerah tropis Amerika dan daerah Karibia.

Persebaran tomat ke Indonesia diperkirakan mulai dari tahun 1811. Indonesia merupakan negara tropis dimana persebaran tomat mencakup daerah yang cukup luas, seperti di dataran tinggi (≥ 700 m dpl), dataran medium tinggi (450-699 m dpl), dataran medium rendah (200-499 m dpl), dan dataran rendah (≤ 199 m dpl) (Purwati dan Khairunisa, 2007).

2.2.2 **Klasifikasi**

Berdasarkan sistem klasifikasi Cronquist (1981), klasifikasi tanaman tomat dari tingkat kingdom hingga spesies adalah sebagai berikut.

Regnum : Plantae
Divisio : Magnoliophyta
Classis : Magnoliopsida
Ordo : Solanales
Familia : Solanaceae

Genus : *Solanum*
Species : *Solanum lycopersicum* L.

Tanaman tomat merupakan tanaman yang diklasifikasikan ke dalam Famili Solanaceae yang berasal dari Amerika Selatan dan menyebar juga ke daerah Eropa. Tomat menjadi salah satu komoditas hortikultura dengan banyak peminat di masyarakat. Tanaman ini digemari karena memiliki banyak manfaat bagi tubuh (Knapp and Peralta, 2016). Buah ini banyak digunakan dalam bentuk olahan maupun segar serta memiliki banyak nutrisi seperti vitamin, mineral, antioksidan, kalium, dan lain – lain yang baik untuk kesehatan (Bhowmilk *et al.*, 2012).

2.2.3 Deskripsi

Tanaman tomat merupakan salah satu jenis sayuran yang dibudidayakan dan dikonsumsi di seluruh dunia yang berasal dari Peru, Ekuador, dan Bolivia dengan jumlah produksi yang melimpah baik yang dibudidayakan maupun yang liar. Tomat dapat dibudidayakan baik pada daerah beriklim sedang maupun tropis di seluruh bagian dunia. Banyak cara yang dapat dilakukan dalam mengonsumsi tomat, diantaranya diproses menjadi saus, jus, maupun dikonsumsi secara langsung sebagai isi dari *sandwich* (Singh *et al.*, 2018). Di dalam tomat terdapat kandungan asam sitrat yang menyebabkan tomat memiliki rasa asam dimana rasa asam ini dapat meningkatkan nafsu makan (Sari dkk., 2017). Tomat mengandung nutrisi yang kaya akan nutrisi, karotenoid, dan likopen dan memiliki banyak senyawa antioksidan yang bermanfaat bagi kesehatan manusia (Nkansah *et al.*, 2019). Selain itu, dalam 100 gram tomat mengandung protein (1 gr), karbohidrat (4,2 gr), lemak (0,3 gr), kalsium (5 mg), fosfor (27 mg), zat besi (0,5 mg), vitamin A (karoten) 1500 SI, vitamin B (tiamin) 60 ug, vitamin C 40 mg (Handrian dkk., 2013).

Adapun manfaat lain dari buah tomat diantaranya sebagai obat sembelit, sariawan, gusi berdarah, dan tekanan darah tinggi (hipertensi) (Sari dkk., 2017).

2.2.4 Morfologi

Seperti pada tanaman pada umumnya, tanaman tomat terdiri dari bagian-bagian yang meliputi akar, batang, bunga, daun, buah dan biji.

a. Akar

Akar merupakan salah satu bagian penting bagi tanaman karena berfungsi sebagai organ penyerap unsur hara dari media tanam. Tanaman tomat memiliki akar tunggang yang menembus kedalam tanah, akar cabang serta akar serabut. Akar tanaman tomat menyebar ke semua arah untuk menyerap unsur hara yang diperlukan dari tanah hingga kedalaman 30-40 cm (Cahyono, 2008).

b. Batang

Tanaman tomat memiliki batang berbentuk bulat dengan buku – buku yang membengkak, memiliki rambut halus di seluruh permukaannya dan ada juga yang berkelenjar, serta dapat naik bersandar pada turus maupun merambat pada tali tetapi perlu dibantu dengan beberapa ikatan. Namun, kekurangannya, batang tanaman tomat bersifat mudah patah. Batang tanaman tomat jika dibiarkan akan tumbuh merata, cukup rimbun hingga dapat menutupi tanah, serta memiliki banyak cabang sehingga jika dilihat secara keseluruhan berbentuk perdu (Rismunandar, 2001).

c. Bunga

Bunga tomat merupakan bunga yang dapat melakukan penyerbukan sendiri karena tipe bunganya berumah satu. Bunga tanaman tomat berwarna kuning yang tersusun dalam dompolan

dengan jumlah bunga pada satu dompolan sebanyak 5-10 bunga, namun hal ini juga bergantung pada varietasnya. Bunga tanaman tomat memiliki kuntum bunga yang terdiri dari lima helai daun kelopak dan lima helai mahkota. Terdapat kantung yang letaknya menjadi satu dan membentuk bumbung yang mengelilingi kepala putik pada serbuk sari bunga tanaman tomat (Wiryanta, 2004).

d. Daun

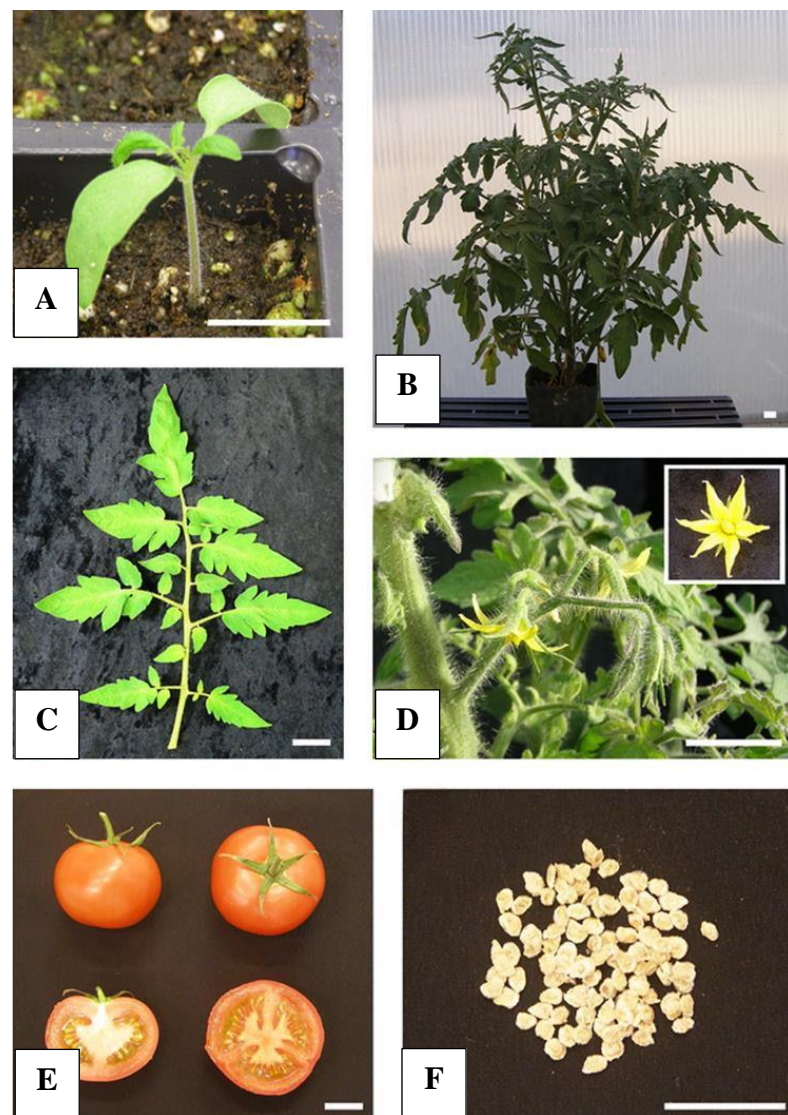
Tanaman tomat memiliki daun yang tumbuh di dekat ujung dahan atau cabang. Tanaman ini memiliki daun majemuk dengan tulang duan bercelah menyirip, berwarna hijau, serta berbulu. Panjang celah menyirip pada daun tanaman tomat yaitu sekitar 20-30 cm dengan lebar 15-20 cm. Tangkai daun berbentuk bulat memanjang sekitar 7-10 cm dan ketebalan 0,3-0,5 m (Wiryanta, 2004).

Menurut penelitian, daun tanaman tomat mengandung senyawa metabolit sekunder seperti flavonoid, alkaloid, saponin dan minyak atsiri sehingga dapat digunakan sebagai sebagai ovisida terhadap telur nyamuk *Aedes aegypti* (Madona dkk., 2020).

e. Buah dan Biji

Tanaman tomat memiliki warna buah yang bervariasi dari merah, kuning, dan oranye, bergantung pada pigmen dominan yang terdapat pada tomat. Tanaman tomat muda memiliki buah berwarna hijau dengan bulu yang keras, sedangkan saat tua buah akan berwarna merah muda, merah atau kuning mengkilat dan relatif lunak. Ukuran buah tomat juga bervariasi, mulai dari diameter berukuran sekitar 4-15 cm serta rasanya yang beragam, dari asam, hingga asam kemanisan. Selain terdapat daging dan mengandung banyak air, buah tomat memiliki biji berbentuk pipih berwarna coklat kekuningan dengan besar biji sekitar 3-5 mm panjangnya dan 2-4 mm lebarnya. Biji tomat saling melekat, diselubungi daging buah dan tersusun berkelompok dengan dibatasi daging buah.

Jumlah biji tomat setiap buah bervariasi, umumnya adalah 200 biji per buah. Tomat mengandung vitamin yakni alkaloid solanin, asam malat, asam sitrat, adenine, vitamin B1, B2, B6, C dan E yang berfungsi untuk mengobati beberapa penyakit seperti sariawan, beri-beri, radang syaraf dan sebagainya (Dalimartha dan Felix, 2011). Secara lengkap morfologi tanaman tomat ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Morfologi tanaman tomat (A) perkecambahan; (B) tanaman tomat usia 40 hari; (C) daun; (D) bunga; (E) buah; (F) biji. Bar = 2 cm (Kimura and Sinha, 2008)

2.2.5 Manfaat

Tanaman tomat memiliki rasa yang khas, saat masih muda cenderung asam namun saat sudah matang tidak terlalu asam. Tomat banyak dimanfaatkan sebagai bahan masakan, namun terdapat manfaat lain yang dimiliki oleh tomat. Tanaman ini memiliki kandungan likopen. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Novaldy dan Iyos (2016), menyatakan bahwa tomat dapat menurunkan risiko kanker prostat karena adanya kandungan likopen yang cukup tinggi serta phytochemical lain pada tomat seperti potasium, folat serta vitamin A, C, dan E yang ikut berperan dalam menurunkan risiko kanker prostat. Dalam beberapa penelitian dikatakan bahwa tomat dapat dimanfaatkan sebagai obat diare, infeksi empedu, gangguan pencernaan serta memulihkan fungsi hati.

2.3 Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.)

2.3.1 Sejarah

Tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) merupakan tanaman yang berasal dari Amerika. Hal ini ditunjukkan berdasarkan bukti-bukti sejarah dimana cabai rawit memiliki peranan penting dalam kultur budaya dan upacara keagamaan suku Indian pada zaman dahulu. Selain itu, cabai rawit merupakan salah satu tanaman yang dihargai dan menempati urutan kedua setelah jagung dan ubi kayu. Seiring berjalannya waktu, cabai rawit mengalami penyebaran ke daerah-daerah tropis seperti Asia Tenggara dan Afrika (Djarwiningsih, 2005).

Persebaran cabai ke Indonesia dibawa oleh Ferdinan Magellan, yang merupakan seorang pelaut Portugis pada awal abad XV. Selanjutnya, cabai semakin meluas karena banyaknya pedagang dan pelaut Eropa yang masuk ke Indonesia untuk mencari rempah-rempah. Cabai menjadi salah satu bumbu pemberi rasa pedas yang banyak digunakan sebagai penggugah selera masakan, selain lada dan jahe hingga saat ini (Agromedia, 2007).

2.3.2 Klasifikasi

Berdasarkan sistem klasifikasi Cronquist (1981), klasifikasi tanaman cabai rawit dari tingkat kingdom hingga spesies adalah sebagai berikut.

Regnum : Plantae

Divisio : Magnoliophyta

Classis : Magnoliopsida

Ordo : Solanales

Familia : Solanaceae

Genus : *Capsicum*

Species : *Capsicum frutescens* L.

2.3.3 Deskripsi

Tanaman cabai rawit merupakan tanaman yang berasal dari Amerika dan banyak dikonsumsi oleh suku Indian pada zaman dahulu. Cabai rawit mengandung banyak vitamin, seperti vitamin A, B, dan C (Tjandra, 2011). Selain itu, terdapat juga senyawa-senyawa alkaloid,

seperti kapsaisin, kapsantin, alkaloid, karotenoid, minyak atsiri, dan resin (Arifin, 2010).

2.3.4 Morfologi

Seperti pada tanaman pada umumnya, tanaman cabai rawit terdiri dari bagian-bagian yang meliputi akar, batang, bunga, daun, buah dan biji.

a. Akar

Tanaman cabai rawit memiliki akar tunggang yang umumnya berada dekat dengan permukaan tanah. Akar cabai rawit dapat menembus tanah hingga kedalaman 30-60 cm dan dapat melebar hingga sejauh 30-50 cm (Tjandra, 2011).

b. Batang

Batang merupakan salah satu bagian tubuh tumbuhan dan sebagai bagian melekatnya daun, bunga, dan buah. Tanaman cabai memiliki batang yang keras, berkayu, dan tegak. Batangnya berbentuk bulat, halus, memiliki banyak cabang, serta berwarna hijau gelap. Batang cabai rawit memiliki tinggi 50-150 cm yang terbagi dalam batang utama berukuran 20-120 cm dan cabang dikotom 30-45 cm (Cahyono, 2003).

c. Bunga

Tanaman cabai rawit memiliki bunga yang tumbuh dari ketiak daun dengan posisi tegak. Bunga ini terdiri dari beberapa bagian, yaitu kelopak bunga yang berjumlah lima helai, mahkota bunga, benang sari yang berjumlah 5-6 buah, putik, dan kepala sari (Tjandra, 2011). Bunga cabai rawit merupakan bunga tunggal yang berbentuk seperti bintang (Djarwaningsih, 2005).

d. Daun

Tanaman cabai rawit memiliki daun tunggal yang bertangkai, bentuknya bulat telur memanjang atau bulat telur bentuk lanset dengan pangkal runcing dan ujung yang menyempit. Tiap daun terletak pada posisi yang berselingan sehingga membentuk pola spiral (Tjandra, 2011).

e. Buah

Sama seperti tumbuhan lainnya, tanaman cabai rawit juga memiliki bunga, berbentuk bulat pendek dengan ujung runcing, bulat memanjang, atau berbentuk kerucut. Buahnya dapat berwarna putih, jingga, hijau, dan merah. Cabai rawit memiliki buah yang panjangnya 2—3,5 cm serta lebarnya 0,5—1,2 mm (Cahyono, 2003).

f. Biji

Tanaman cabai rawit memiliki biji yang memiliki waktu perkecambahan 6-21 hari pada suhu 25-30°C (Siemonsma and Piluek, 1994). Biji cabai rawit memiliki bentuk bulat pipih dengan warna putih kekuningan, dan saling melekat pada empulur (Cahyono, 2003).

2.3.5 Manfaat

Cabai rawit merupakan tanaman mengandung banyak manfaat mulai dari batang, daun, maupun akarnya, Manfaat yang dimiliki oleh cabai rawit diantaranya sebagai penambah cita rasa, bumbu masak, dan sebagai bahan kosmetik. Selain itu, bagian-bagian dari tanaman cabai rawit dapat digunakan sebagai obat-obatan (Ashari, 1995).

2.4 Hama, Penyakit, dan Patogen

Dalam budidaya tomat dan cabai rawit, terdapat kendala yang disebabkan oleh hama maupun mikroorganisme (virus, bakteri, dan jamur) yang mengakibatkan pertumbuhan tanaman menjadi terhambat. Kutu kebul, ulat, wereng, belalang, kumbang, tikus, dan walang sangit merupakan contoh hama dan penyakit yang dapat menyebabkan terhambatnya pertumbuhan tanaman sehingga produksi tanaman menjadi menurun. Hama mengganggu pertumbuhan tanaman dengan cara memakan bagian dari tumbuhan, contohnya daun. Sedangkan gangguan yang disebabkan oleh mikroorganisme seperti virus, bakteri, dan jamur tidak memakan bagian dari tanaman seperti hama. Namun, mereka merusak tumbuhan dengan mengganggu proses-proses dalam tubuh tumbuhan sehingga mematikan tumbuhan. Sehingga, ketika tumbuhan terserang penyakit maka bagian tubuhnya utuh tetapi aktivitas dalam tubuh tanaman menjadi terganggu hingga dapat menyebabkan kematian pada tanaman (Muzuna dkk., 2021). Infeksi virus menyebabkan penurunan jumlah hasil produksi yang sangat tajam. Virus yang banyak menginfeksi tanaman tomat dan cabai rawit adalah *Tobacco mosaic virus* (TMV), *Potato virus Y* (PVY), Potyvirus, *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV) dan *Cucumber mosaic virus* (CMV) (Mahendra dkk., 2017). Selain itu, terdapat satu famili virus yang mengakibatkan penyakit daun kuning dan keriting, yaitu Famili Geminiviridae. Famili ini terdiri dari 4 genus, salah satunya adalah Begomovirus. Begomovirus memiliki beberapa spesies, satu diantaranya adalah *Tomato yellow leaf curl* (TYLCV) dengan vektor serangga yaitu kutu kebul. Crinivirus juga termasuk virus yang banyak menginfeksi tanaman Famili Solanaceae, seperti tomat dan cabai.

2.5 Jenis Virus yang Menginfeksi Tomat dan Cabai Rawit

2.5.1 *Tomato yellow leaf curl virus (TYLCV)*

Salah satu penyakit yang menjadi kendala utama dalam budidaya tomat dan cabai rawit adalah penyakit kuning yang disebabkan oleh Geminivirus. Spesies virus dari Geminivirus yang menginfeksi tanaman tomat adalah spesies *Tomato yellow leaf curl virus (TYLCV)* yang termasuk kedalam genus Begomovirus (Narendra dkk., 2017). Tanaman tomat yang terinfeksi virus ini akan memunculkan gejala berupa tanaman kerdil, arah cabang dan tangkai daun cenderung tegak, anak daun kecil, mengerut dan cekung, serta pinggiran daun dengan atau tanpa warna kuning. Tercatat penurunan hasil produksi akibat infeksi TYLCV pada beberapa negara mencapai 50-80% dan bahkan diperkirakan dapat mencapai 100% (Rakib *et al.*, 2011). Umumnya tanaman yang menunjukkan gejala tidak menghasilkan buah. Namun, terdapat beberapa tanaman yang tetap menghasilkan buah, tetapi buah yang dihasilkannya memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan buah yang dihasilkan oleh tanaman sehat (Kintasari dkk., 2013).

Penyebaran dan penularan TYLCV dibawa oleh vektor yaitu kutu kebul (*Bemisia tabaci* Genn.) (Kashina *et al.*, 2007). Satu ekor kutu kebul yang viruliferus sudah dapat menularkan TYLCV. Penularan virus ini dibawa oleh kutu kebul dari tanaman sakit ke tanaman sehat sehingga penyebaran TYLCV semakin luas (Gunaeni dan Purwati, 2013).

2.5.2 *Tomato infectious chlorosis virus (TICV)*

Tomato infectious chlorosis virus (TICV) merupakan salah satu spesies virus yang menginfeksi tomat dan cabai rawit yang termasuk dalam

genus Crinivirus Famili Closteroviridae. Virus ini pertama kali ditemukan di Amerika Serikat pada tahun 1998 dan di Jepang pada tahun 2003 serta di beberapa negara Eropa. Penyebaran virus ini dibawa oleh vektor serangga kutu putih *Trialeurodes vaporariorum* (Hirota *et al.*, 2010). TICV terdiri dari dua untai tunggal RNA (dsRNA). RNA1 terdiri dari sekitar 7.800 nukleotida, sedangkan RNA2 terdiri dari sekitar 7.400 nukleotida (Kusumaningrum dkk., 2015).

2.5.3 *Cucumber mosaic virus* (CMV)

Cucumovirus mosaic virus (CMV) termasuk dalam Genus Cucumovirus yang teridentifikasi dapat menginfeksi tanaman dalam Famili Solanaceae. CMV bersifat terbawa benih (*seedborn*), dapat ditularkan dari induk ke keturunannya, secara mekanik, maupun melalui serangga vektor seperti kutu daun *Myzus persicae* (CABI, 2006). Gejala yang ditimbulkan CMV berbeda – beda pada setiap tanaman inang yang diinfeksi. Pada tomat, biasanya timbul gejala mosaik pada daun, penggulungan daun, reduksi lamina daun, dan tanaman menjadi kerdil (*stunt*) (Chupp *and* Sherf, 1960). Genom CMV terdiri dari tiga utas RNA yang memiliki 5 *Open Reading Frame* (ORF). CMV diklasifikasikan menjadi dua subgrup utama berdasarkan serologi, yaitu subgrup I dan II. Analisis lebih lanjut berdasarkan homologi nukleotida dan filogeni, subgrup I terbagi menjadi IA dan IB. Gen yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi CMV adalah 1a, 2a, 2b, *movement protein* (MP) dan *coat protein* (CP). Identifikasi CMV secara molekuler umumnya menggunakan gen CP (Miftakhurohmah dkk., 2017).

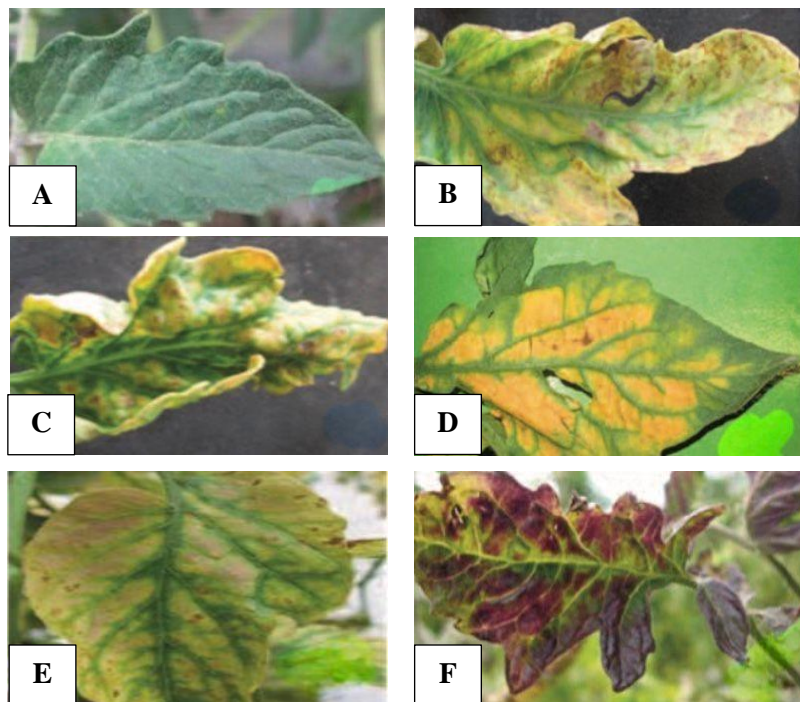
2.5.4 *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV)

Pepper yellow leaf curl virus (PepYLCV) merupakan salah satu jenis virus yang termasuk kedalam Geminivirus dan sudah banyak

menginfeksi Famili Solanaceae. Sejak awal tahun 2000, epidemi penyakit daun keriting kuning cabai telah terjadi di beberapa sentra penanaman cabai yang terletak di Jawa Tengah, Jawa Barat, dan Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY). Variasi gejala yang ditunjukkan oleh virus ini berupa tulang daun menebal, daun menguning (*yellowing*), tepi daun menggulung keatas (*cupping*), dan tulang daun menebal. PepYLCV ditularkan oleh serangga vektor, yaitu kutu kebul (*Bemisia tabaci* Genn.). Akibat yang ditimbulkan oleh virus ini terjadinya gagal panen pada beberapa sentra cabai di Indonesia sehingga menyebabkan kerugian bagi petani (Sulandari dkk., 2006).

2.6 Gejala Infeksi

Infeksi virus menunjukkan gejala spesifik pada daun. Variasi gejala infeksi berupa daun yang menguning, keriting, mosaik kuning, maupun daun mengecil. Secara jelas, gejala yang disebabkan oleh infeksi Begomovirus dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. (A) Daun sehat; (B) klorosis antar tulang daun, terdapat flek coklat tepi daun menggulung ke atas; (C) klorosis antar tulang daun, daun keriting, tebal, nekrotik; (D) klorosis antar tulang daun, warna kuning menyala dan tepi daun rata; (E) klorosis antar tulang daun kuning dan ungu pucat; (F) klorosis ungu tua antar tulang daun (Fajarfika dkk., 2015).

Tabel 1. Deskripsi gejala pada tanaman tomat terinfeksi pada beberapa daerah di Indonesia (Santoso, 2013; Narendra dkk., 2017; Kurniawati dkk., 2015).

Virus	Daerah pengambilan sampel		Gejala	
TYLCV	Jawa Barat	Bogor	Daun berbentuk bulat seperti mangkuk (<i>cupping</i>), kecil-kecil, sangat keriting dan tanaman kerdil	
		Lembang	Daun sedikit menggulung, mosaik dan tanaman cenderung kerdil	
		Sukabumi	Daun hijau pucat dan menguning pada tepinya, mosaik, dan tanaman kerdil	
	Jawa Tengah	Sragen	Daun keriting, menggulung ke bawah, mosaik dan tanaman kerdil	
		D.I. Yogyakarta	Kaliurang	Daun sangat menggulung ke atas, menguning, dan tanaman kerdil
	Jawa Timur	Blitar	Daun berbentuk seperti mangkuk (<i>cupping</i>), cenderung keriting dan tanaman kerdil	
		Malang	Daun menguning, berukuran kecil, keriting, dan klorosis, serta tanaman kerdil	
		Gianyar	Daun menguning, klorosis, daun menggulung ke bawah, daun mengering dan rapuh, serta <i>vein clearing</i>	
	Bali	Sumatera Utara	Brastagi	Daun menguning, klorosis dan daun menggulung ke bawah Daun menguning atau menjadi merah keunguan, klorosis.
			TICV	Jawa Barat
CMV	D.I. Yogyakarta	Sleman	Daun nekrosis, mosaik, dan terdapat bercak klorosis.	
TMV	D.I. Yogyakarta	Sleman	Daun nekrosis, mosaik, dan terdapat bercak klorosis.	

Tabel 2. Deskripsi gejala pada tanaman cabai rawit terinfeksi pada beberapa daerah di Indonesia (Sukada dkk., 2014; Sulandari dkk., 2006)

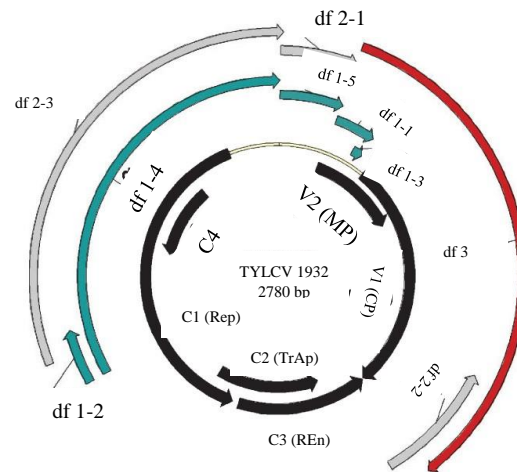
Virus	Daerah pengambilan sampel		Gejala
PepYLCV	Jawa Barat	Segunung	Daun menguning (<i>yellowing</i>), tulang daun menebal, dan daun menggulung ke atas (<i>cupping</i>).
	Bali	Gianyar	Daun menguning, klorosis, dan mosaik.
CMV	Bali	Gianyar	Daun menguning, mosaik, dan klorosis.
TMV	Bali	Gianyar	Daun nekrosis, mosaik, dan terdapat bercak klorosis.

2.7 Gen *TrAP* dan Rep

Gen *TrAP* dan Rep dapat dideteksi dengan menggunakan primer SPG1/SPG2 dan PAL1v1978-F dan PARc715-R. Virus dengan genom bipartite memiliki dua komponen DNA, yaitu DNA-A dan DNA-B dengan ukuran yang sama kurang lebih 2.5 hingga 3.0 kb. Selain itu, terdapat genom monopartite atau hanya memiliki satu genom yang mirip dengan DNA-A (Fauquet *et al.*, 2003). DNA A memiliki enam ORF, yaitu AV1, AV2, protein AC1, AC2, AC3, dan AC4. AV1 adalah *coat protein* (CP) yang berperan pada enkapsidasi ssDNA, virus pembentukan partikel, pergerakan virus, dan vektor transmisi. DNA B memiliki dua ORF, BV1 dan BC1. BV1 mengkode *nuclear shuttle protein* dan BC1 serta *movement protein*.

Transcriptional activator protein (*TrAp*) merupakan sekuens gen yang dikodekan oleh C2 atau AL2 ORF pada genom bipartit, sedangkan pada Begomovirus monopartit dikodekan oleh C2. Pada *Replication-associated protein* (Rep) merupakan sekuens gen yang dikodekan oleh AC1 ORF atau

AL1 dalam genom *bipartite*, sedangkan pada genom *monopartite* dikodekan oleh C1 atau L1.



Gambar 3. Organisasi genom TYLCV isolat 1932 (Van Brunshot *et al.*, 2010).

2.8 Gen Coat Protein (CP)

Selain gen *TrAP* dan *Rep*, terdapat gen lain, yaitu, gen *coat protein* (CP), yang merupakan salah satu gen yang paling banyak digunakan sebagai gen ketahanan. Selain itu, gen CP dapat dikonstruksi menjadi transgen tanaman yang tahan terhadap infeksi virus. Bentuk ketahanan yang dihasilkan oleh gen CP pada tanaman transgenik ditunjukkan dengan reaksi dalam memproduksi protein struktural dan beberapa dapat menghasilkan asam nukleat (Akin, 2022).

Gen CP *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV) dikodekan oleh V1, dimana gen ini merupakan satu-satunya komponen virus yang dikenali oleh kapsid. Pada TYLCV, gen CP berperan dalam transportasi ke inti sel inang dimana virus akan mengalami replikasi dan transkripsi (Zrachya *et al.*, 2007). Gen CP sangat berperan dalam infeksi dan pergerakan virus. Hal ini terjadi pada

Famili Geminivirus dengan genom monopartit, namun tidak dengan bipartit (Gafni, 1998; Gafni *and* Epel 2002). Mutasi yang terjadi pada gen CP TYLCV telah terbukti mengganggu infeksi sistemik, serta pembentukan partikel dan transmisi serangga (Noris *et al.* 1998). Pada infeksi *Cucumber mosaic virus* (CMV) gen CP mengamplifikasi DNA virus dan menunjukkan pita spesifik berukuran 650 bp. Selain itu, CMV dapat menginduksi gejala mosaik pada berbagai inang tanaman. Hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Qiu *et al.* (2018) menunjukkan bahwa gen CP dikonfirmasi sebagai gejala penentu dengan menukar CP antara strain CMV-M, yaitu strain lemah gejala klorosis daun, yang menginduksi klorosis dan mosaik hijau menginduksi strain CMV-Q, yang merupakan strain ganas yang menunjukkan gejala klorosis daun.

Deteksi molekuler dengan primer TICV mampu mengamplifikasi gen CP, *divergent coat protein* (CPd), dan *coat protein minor* (CPm). Gen ini merupakan ciri khas yang dimiliki oleh Famili Closteroviridae dan tidak dimiliki oleh kelompok virus lain (Martelli *et al.*, 2002). Berdasarkan penelitian Fajarfika dkk. (2015) menunjukkan hasil amplifikasi TICV dengan pita spesifik berukuran 416 bp. Hal ini didukung dengan sesuainya bagian dari *Open Reading Frame* (ORF) 7 yang teramplifikasi, dimana ORF 7 merupakan bagian dari genom TICV yang mengkode gen CP dan CPd (Fajarfika dkk., 2015). Penelitian yang dilakukan oleh Wilisiani dkk. (2014) menunjukkan hasil deteksi molekuler *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV) menggunakan primer *Krusty-Hommer* memberikan hasil positif terinfeksi virus dengan pita spesifik 580 bp. Hal ini sesuai dengan pernyataan Revill *et al.* (2003) yang menyatakan bahwa primer *Krusty-Hommer* dapat mengamplifikasi bagian gen CP PepYLCV.

2.9 Deteksi Virus dengan *Multiplex Polymerase Chain Reaction*

Multiplex PCR merupakan uji laboratorium molekuler yang digunakan untuk amplifikasi simultan yang memanfaatkan primer yang berbeda dalam satu tabung. Teknik ini telah diterapkan dalam diagnosis beberapa infeksi penyakit yang disebabkan oleh bakteri, jamur, parasit, dan virus. Kelebihan yang dimiliki oleh *Multiplex* PCR diantaranya dapat mendeteksi beberapa patogen dalam waktu yang bersamaan sehingga lebih cepat, efisien dan menghemat waktu (Sea-liang *et al.*, 2019). Kelebihan lain yang dimiliki oleh *Multiplex* PCR adalah murah dan hemat waktu pengerjaan karena dapat mengamplifikasi dua atau lebih sekuen target secara simultan dengan satu kali reaksi PCR sehingga dapat menghemat alat dan reagen yang digunakan. Seperti teknik PCR pada umumnya, *Multiplex* PCR juga melakukan amplifikasi DNA. Tahap amplifikasi atau perbanyakan DNA merupakan tahap dimana DNA target diperbanyak dengan tujuan untuk meningkatkan jumlah target yang ada. Dengan memperbanyak jumlah DNA target maka hal ini akan membantu deteksi dengan elektroforesis (Pranawaty dkk., 2012). DNA virus diamplifikasi menggunakan primer diantaranya adalah sebagai berikut.

a. Primer universal SPG1 dan SPG2

Primer universal SPG1 dan SPG2 merupakan pasangan primer yang banyak digunakan dalam identifikasi Begomovirus menggunakan teknik PCR. Terdapat sekuen basa primer SPG1 (Forward) (5'-CCCCCKGTGCGWRAATCCAT-3') dan SPG2 (Reverse) (5'-ATCCVAAYWTYCAGGGAGC TAA-3') yang mengamplifikasi bagian gen TrAP dan Rep dengan target ampikon berukuran \pm 912 pb (Kintasari dkk., 2013).

b. Primer degenerate universal PAL1v1978-F dan PARc715-R

Selain primer SPG1 dan SPG2, terdapat primer degenerate universal PAL1v1978 dan PAR1c715 yang juga berfungsi untuk mengidentifikasi virus ini. Sekuen basa primer PAL1v1978 (Forward):

5'-GCATCTGCAGGCCACATYGTCTTYCCNGT-3' dan PAR1c715 (Reverse): 5'-GATTTCTGCAGTTDATRRTTYTCRTCCATCCA3' (Rojas et al., 1993)

c. Primer TICV-CF dan TICV-CR

Primer TICV-CF dan TICV-CR dapat digunakan dalam deteksi TICV pada tomat. Sekuen basa primer TICV-CF (*Forward*):

5'-AATCGGTAGTGACACGAGTAGCATC-3' dan TICV-CR (*Reverse*): 5'-CTTCAAACATCCTCCATCTGCC-3' (Hartono, 2008)

d. Primer universal Krusty – Hommer

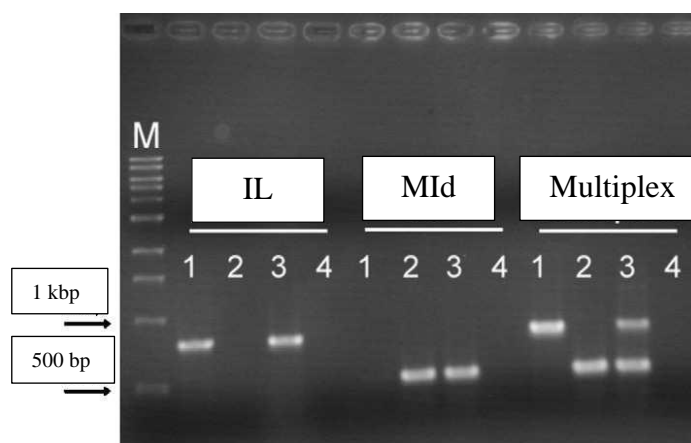
Primer universal Krusty – Hommer digunakan dalam deteksi molekuler Begomovirus untuk mengamplifikasi gen *coat protein* (CP) pada virus ini. Sekuen basa primer Krusty – Hommer :

Krusty (*Forward*): 5'-AATCGGTAGTGACACGAGTAGCATC'-3; dan Homer (*Reverse*): 5'-SVDGCRTGVGTRCANGCCAT-'3 (Revill *et al.*, 2003)

e. Primer CMV-F dan CMV-R

Primer CMV-F dan CMV-R digunakan dalam deteksi molekuler Famili Cucumovirus, seperti CMV untuk mengaplifikasi gen *coat protein* (CP) pada virus ini. Sekuen basa primer CMV-F dan CMV-R :

CMV-F : 5'-ATGGACAAATCTGAATCAAC-'3 CMV-R : 5'-TCAAAC TGGGAGCACCC-'3 (Miftakhurohmah dkk., 2020).



Gambar 4. Spesifikasi deteksi isolat TYLCV dengan uniplex (IL dan MId) serta deteksi TYLCV dengan Multiplex PCR (Lefeuvre *et al.* 2007)

Secara lengkap nama primer, sekuen nukleotida, serta produk PCR pada masing-masing primer ditampilkan pada **Tabel 2**.

Tabel 3. Sekuen nukleotida yang digunakan dalam *Multiplex* PCR

Nama Primer	Sekuen Nukleotida 5'-3'	Produk PCR
SPG1-Forward	5'-CCCCKGTGCGWRAATCCAT-3'	912 bp
SPG2-Reverse	5'-ATCCVAAAYWTYCAGGGAGCTAA-3'	
PAL1v 1978-F	5'GCATCTGCAGCCCACATYGTCTTYCCNGT-3'	1500 bp
PAR1c 715-R	5'GATTTCTGCAGTTDATRTTYTCRTCCATCCA-3'	
TICV-CF	5' AATCGGTAGTGACACGAGTAGCATC '3	416 bp
TICV-CR	5' CTTCAAACATCCTCCATCTGCC -3'	
Krusty (Forward)	5'CCNMRDGGHTGTGARGGNCC'3	550 bp
Hommer (Reverse)	5'-SVDGCRTGVGTRCANGCCAT-3'	
CMV-F	5'-ATGGACAAATCTGAATCAAC-3'	650 bp
CMV-R	5'-TCAAACCTGGGAGACCC-3'	

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2022 - Februari 2023 yang dilakukan di dua lokasi, koleksi sampel dilaksanakan di Kabupaten Pringsewu dan Kabupaten Tanggamus dengan mengoleksi sampel daun tanaman tomat dan cabai rawit yang menunjukkan gejala terinfeksi virus. Sedangkan tahap analisis molekuler dilaksanakan di Laboratorium Bioteknologi, Jurusan Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut.

3.4.1 Alat

a. Survei dan Koleksi Sampel

Alat yang digunakan pada saat melakukan survei dan koleksi sampel daun tomat dan cabai rawit yang terinfeksi virus di Kabupaten Pringsewu dan Kabupaten Tanggamus di antaranya gunting, alat tulis, kain hitam, label, *ice box*, *silica gel*, dan gawai.

b. Deteksi dan Identifikasi Virus di Laboratorium

Alat yang digunakan pada saat melakukan deteksi dan identifikasi virus di laboratorium terdiri dari mesin PCR, elektroforator, cetakan agar elektroforesis, tangki elektroforesis, sisir elektroforesis, *waterbath*, mesin sentrifus, *rotamixer*, mortar dan pestel, neraca, mikropipet 0,5 μ l-10 μ l, mikropipet 10 μ l-100 μ l, mikropipet 100 μ l-1000 μ l, gelas ukur, Erlenmeyer 250 ml (Pyrex), tabung mikrosentrifus, *tube* (1,5 ml dan 0,2 ml), Erlenmeyer, *freezer*, oven *microwave* (Samsung), dan *ice box*.

3.4.2 Bahan

a. Survei dan Koleksi Sampel

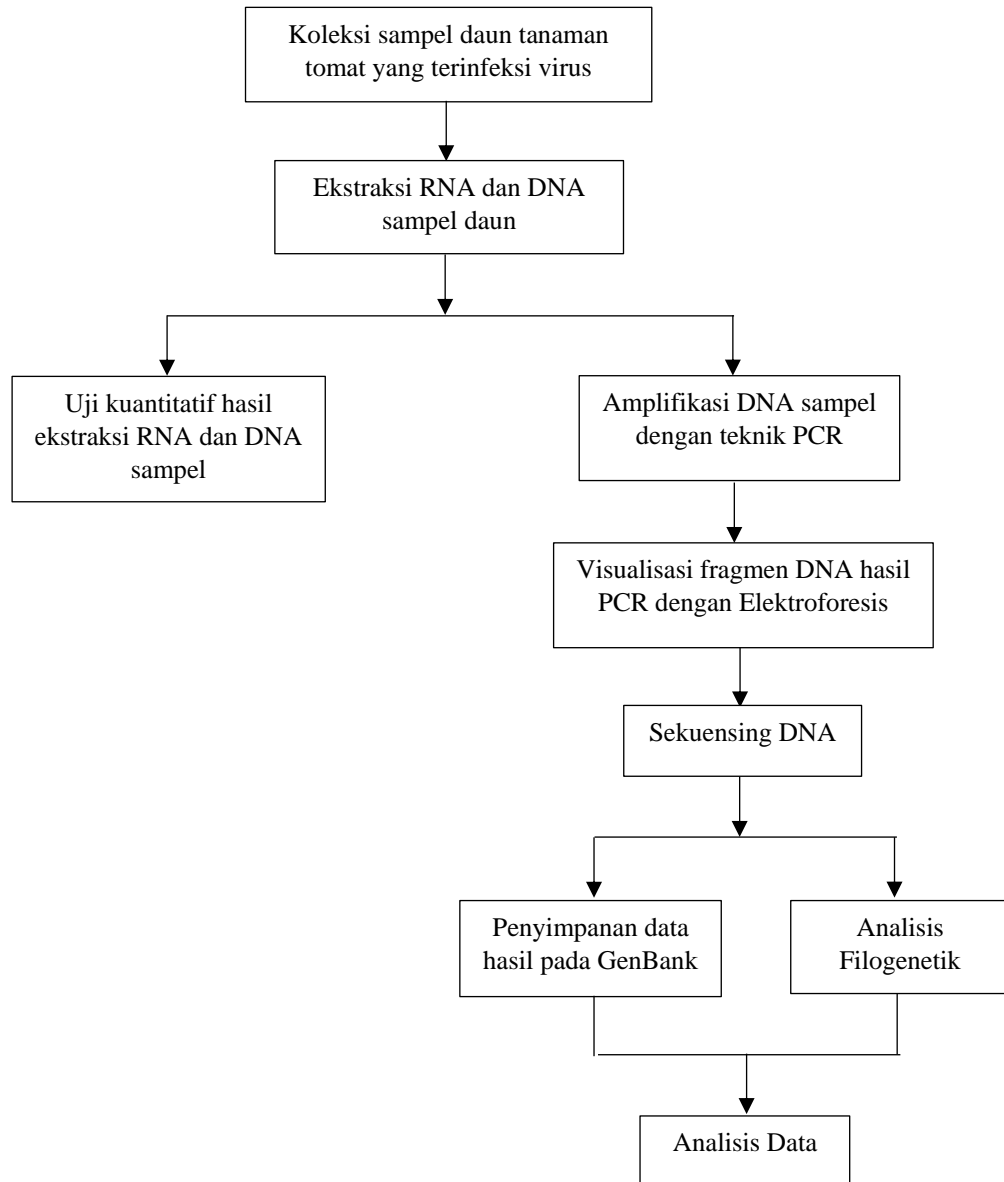
Bahan yang digunakan pada saat melakukan survei dan koleksi sampel di lapangan adalah amplop cokelat, label, *silica gel*, *ice box*, dan kantung plastik.

b. Deteksi dan Identifikasi Begomovirus di Laboratorium

Bahan yang digunakan pada saat melakukan deteksi dan identifikasi virus di laboratorium di antaranya sampel daun tanaman tomat dan cabai rawit, *Genomic DNA mini kit (plant) reaction* (Geneaid), primer SPG1 dan SPG2, primer CMV-F dan CMV-R, primer TICV-CF dan TICV-CR, aquades, *pipet tip (blue tip, yellow tip, white tip)*, redmix, DNA *loading dye*, DNA *ladder (marker)*, serbuk agarose, Tris-Borate (TBE), *Ethidium Bromide* (EtBr), kertas label, *parafilm*, *aluminium foil*, *gloves*, dan kertas tisu.

3.3 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini dapat dituliskan secara ringkas menggunakan bagan diagram alir sebagai berikut.



Gambar 5. Diagram alir rancangan penelitian

3.4 Prosedur Kerja

Adapun prosedur kerja yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

3.4.1 Koleksi Sampel

Penelitian ini menggunakan sampel yang dikoleksi dari beberapa lahan pertanian tomat dan cabai rawit yang ada daerah di Kabupaten Pringsewu dan Kabupaten Tanggamus. Sampel yang dikoleksi yaitu sampel daun yang menunjukkan gejala terinfeksi virus kemudian dimasukkan ke dalam amplop dan dibungkus dengan kantung plastik. Sampel kemudian diberi label dan selanjutnya dibawa ke laboratorium untuk dilakukan ekstraksi. Metode sampling yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan *Purposive Sampling* adalah teknik penentuan sampel dengan pertimbangan tertentu. Teknik ini digunakan karena sampel diambil secara acak berdasarkan kisi-kisi atau batas-batas yang telah ditentukan peneliti.

3.4.2 Ekstraksi RNA Sampel

Ekstraksi RNA sampel merupakan tahap awal sebelum dilakukannya deteksi virus. Ekstraksi RNA sampel tanaman tomat dan cabai rawit dilakukan dengan mengikuti protokol dari *Genomic RNA Mini Kit* (Geneaid). Tahap ekstraksi RNA dilakukan melalui 4 tahapan sebagai berikut.

1. Pemisahan Jaringan

Sampel daun segar yang telah dikoleksi dari lapangan ditimbang sebanyak 0.1 gram lalu dibungkus menggunakan *aluminium foil* berikut dengan mortar dan pestel. Sampel, mortar, dan pestel yang telah dibungkus dengan *aluminium foil* kemudian dimasukkan ke dalam *freezer* selama 24 jam. Setelah 24 jam, sampel digerus dan ditambahkan nitrogen cair atau etanol 96%. Selanjutnya, sampel

dimasukkan ke dalam *tube* mikrosentrifus 1.5 ml dan ditambahkan 1 ml PVR Buffer, 100 μ l PVRS Buffer dan 10 μ l β -mercaptoethanol, dan diinkubasi pada suhu 70° C selama 10 menit dengan dibolak-balik setiap 3 menit sekali. Kemudian, sampel disentrifugasi selama 5 menit dengan kecepatan 12.000 rpm.

2. RNA *Binding*

Sebanyak 450 μ l supernatant yang sudah terpisah kemudian dipindahkan ke dalam *tube* 1.5 ml yang baru dan ditambahkan 225 μ l etanol 96%. Selanjutnya, campuran tersebut dipindahkan PV kolom lalu disentrifugasi pada kecepatan 12.000 rpm selama 2 menit. Kemudian, *flow-through* dibuang dan PV *column* ditempatkan pada *collection tube* 2 ml yang baru.

3. RNA *Wash*

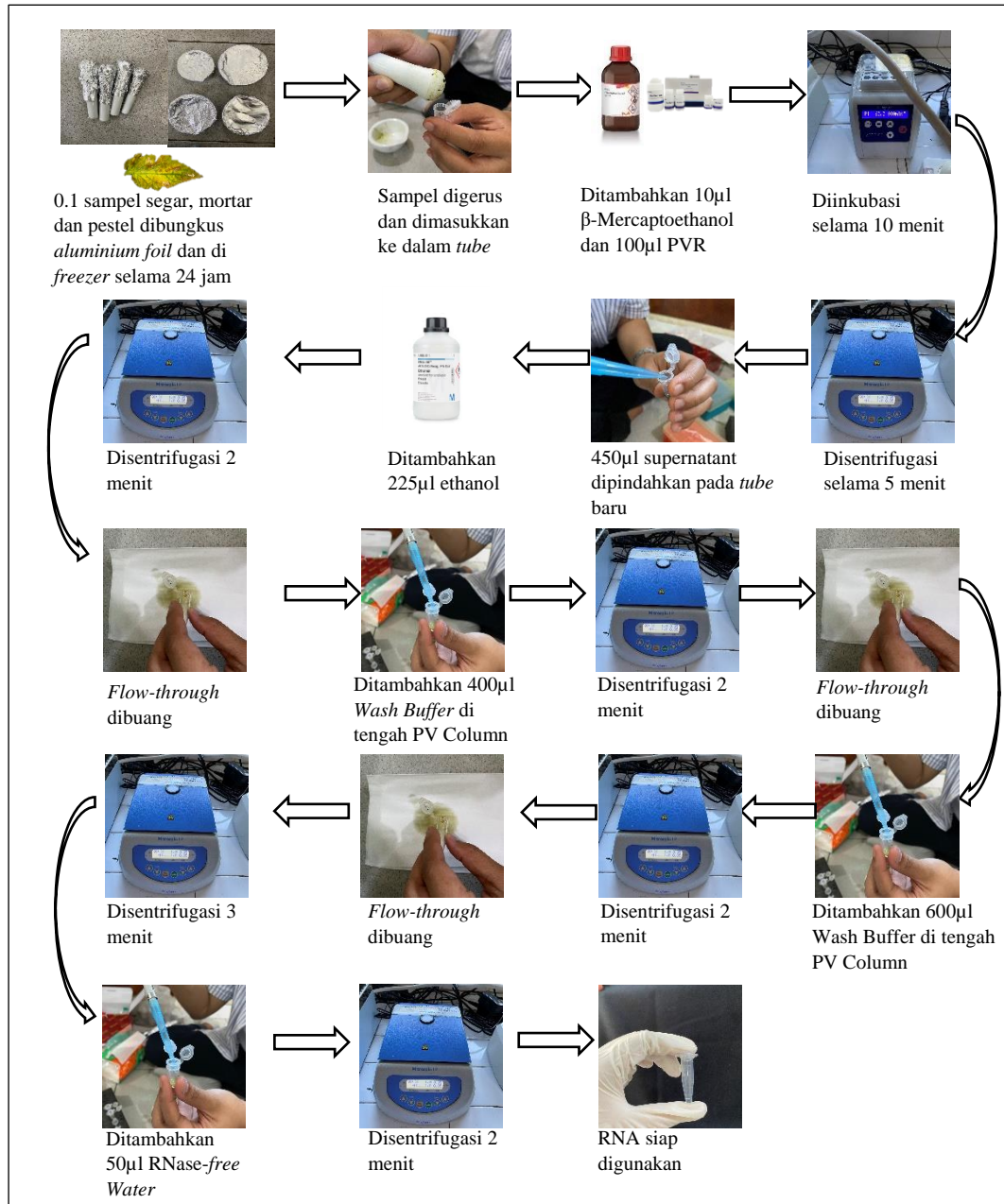
Setelah PV *column* diletakkan pada *collection tube* baru, ditambahkan 400 μ l W1 Buffer yang diletakkan tepat di tengah PV *column*. Setelah itu, disentrifugasi selama 2 menit dengan kecepatan 12.000 rpm. *Flow-through* dibuang dari PV *column* lalu PV *column* diletakkan kembali diatas *collection tube*. Kemudian, 600 μ l *Wash Buffer* ditambahkan (pastikan tambahkan etanol) dan diletakkan pada bagian tengah PV *column* dan disentrifugasi selama 2 menit dengan kecepatan 12.000 rpm. *Flow-through* yang dihasilkan kembali dibuang dan PV *column* diletakkan kembali diatas *collection tube*. Ditambahkan 600 μ l *Wash Buffer* (pastikan tambahkan etanol) ke tengah PV *column* lalu disentrifugasi kembali dengan kecepatan 12.000 rpm selama 1 menit. Kemudian, *flow-through* dibuang dan PV *column* diletakkan kembali di atas *collection tube*. *Tube* yang sudah kosong kemudian disentrifugasi kembali selama 3 menit dengan kecepatan 12.000 rpm yang bertujuan mengeringkan matriks *column*.

4. RNA Elution

Tahap terakhir dalam ekstraksi RNA yaitu RNA *elution*. Tahap ini diawali dengan PV *column* yang telah dikeringkan ke dalam diletakkan diatas *tube* 1.5 ml baru (bebas RNase). Selanjutnya, sebanyak 50 µl RNase-*free water* dimasukkan tepat di tengah matriks *column*, lalu didiamkan selama 3 menit atau sampai RNase (bebas RNase) terserap sempurna oleh matriks. Kemudian, disentrifugasi selama 2 menit dengan kecepatan 12.000 rpm untuk mengelusi RNA yang dimurnikan. Hasil ekstraksi RNA total yang telah dihasilkan nantinya akan digunakan sebagai *template* dalam reaksi *Reverse Transcriptase* (RT).

Hasil ekstraksi RNA kemudian dilanjutkan pada tahap transkripsi balik menjadi *complementary* DNA (cDNA) dengan RT.

Komponen reaktan dibuat dengan mencampurkan 2 ml RT *buffer*, 4,5 ml *Depc water*, 0,5 ml dNTP, 0,5 RNase, 0,5 Tetro RT, 0,5 Oligonukleotida, dan 1,5 sampel ekstraksi RNA total. Reaksi RT-PCR dilakukan dalam 1 siklus, diawali pada suhu 48°C selama 20 menit, 95°C selama 2 menit, dan pada suhu 72°C selama 10 menit. Produk cDNA yang telah dihasilkan kemudian digunakan sebagai *template* pada saat melakukan rekasi PCR.



Gambar 6. Tahapan ekstraksi RNA (Dokumentasi Pribadi, 2022)

3.4.3 Ekstraksi DNA Sampel

Ekstraksi DNA sampel merupakan tahap awal sebelum melakukan deteksi virus dengan PCR. Ekstraksi DNA sampel tanaman tomat dan cabai rawit dilakukan dengan menggunakan *Genomic DNA Mini Kit* (Geneaid). Berdasarkan Sidik (2021), tahap ini dilakukan melalui 5 tahapan sebagai berikut.

1. Penguraian jaringan

Tahap ini merupakan tahap awal dimana sampel daun segar sebanyak 0.1 gram ditimbang dan ditambahkan GP1 buffer 400 μ l dan RNase A 5 μ l kemudian digerus hingga halus dengan menggunakan mortar. 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 μ l *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 μ l 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

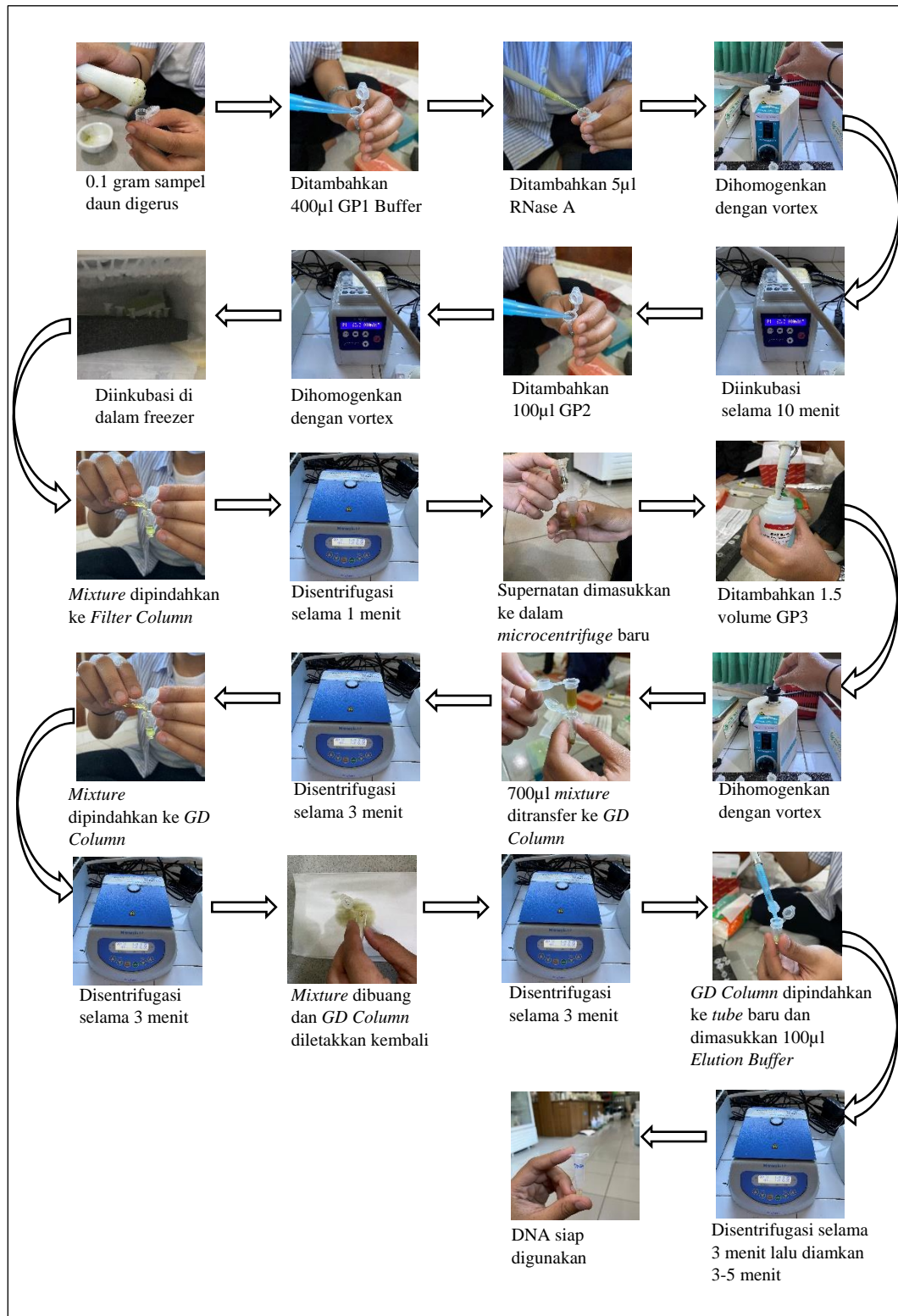
supernatant hasil dari tahap lisis yang kemudian dicampur dengan cara *pipeting*. Larutan yang sudah tercampur kemudian dipindahkan ke GD kolon tube 2 ml dan disentrifus dengan kecepatan 10.000 rpm selama 5 menit. Supernatan bagian bawah saringan dibuang, GD kolon bagian atas dipindahkan ke tube 2 ml.

4. DNA Wash

Setelah melalui tahap DNA *binding*, dilanjutkan pada tahapan pencucian dengan menambahkan W1 buffer 400 μ l ke dalam GD kolon, kemudian disentrifus dengan kecepatan 10.000 rpm selama 2 menit. Supernatan di bagian bawah dibuang lalu ditambahkan *wash buffer* 600 μ l 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. Selanjtnya *elution* buffer 100 μ 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 freezer dengan suhu -20°C . Secara lengkap, tahapan ekstraksi DNA disajikan pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Tahapan ekstraksi DNA (Dokumentasi Pribadi, 2022)

3.4.4 Uji Kuantitatif Hasil Ekstraksi RNA dan DNA Sampel

Uji kuantitatif hasil ekstraksi RNA sampel dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan menganalisis sampel pada dua panjang gelombang, yaitu 260 nm dan 280 nm. Pada saat menganalisis sampel digunakan aquades yang berfungsi sebagai blanko sehingga akan diperoleh nilai absorbansi pada masing-masing panjang gelombang. Hasil yang didapat kemudian dibandingkan sehingga diperoleh hasil rasio absorbansi pada masing-masing panjang gelombang λ_{260} dan λ_{280} .

3.4.5 Amplifikasi cDNA dengan Teknik *Reverse Transcriptase* (RT)

Hasil ekstraksi RNA yang telah diperoleh kemudian dilanjutkan pada tahap amplifikasi *complementary* DNA (cDNA) dengan teknik *Reverse Transcriptase* (RT). Pada tahap ini terdiri dari pembuatan reaktan yang akan di amplifikasi dengan komposisi 2 ml RT Buffer, 4,5 ml Depc water, 0,5 ml dNTP, 0,5 RNase, 0,5 Tetro RT, 0,5 Oligo (dt) dan 1,5 sampel ekstraksi RNA total. Reaktan yang telah siap selanjutnya dijalankan dengan reaksi RT menggunakan beberapa tahapan, dimulai dari suhu 48° C selama 20 menit, 95° C selama 2 menit, dan 72° C selama 10 menit. Reaksi ini berlangsung dalam satu siklus dan menghasilkan produk berupa cDNA.

3.4.6 Amplifikasi DNA dengan Teknik PCR

Amplifikasi DNA virus dengan teknik *Multiplex* PCR menggunakan empat pasang primer, yaitu SPG1/SPG2, Krusty-Hommer, CMV-F dan CMV-R, dan TICV-CF (*Forward*) dan TICV-CR (*Reverse*)

(Kintasari dkk., 2013; Rojas *et al.*, 1993; Hartono, 2008; Miftakhurohmah dkk., 2020).

Tabel 4. Sekuen nukleotida primer pertama yang digunakan dalam reaksi PCR

Nama Primer	Sekuen Nukleotida 5'-3'	Produk PCR
<i>Krusty-Forward</i>	5'CCNMRDGGHTGTGARGGNCC'3	550 bp
<i>Hommer-Reverse</i>	5'-SVDGCRTGVGTRCANGCCAT-3'	
CMV-F	5'-ATGGACAAATCTGAATCAAC-3'	657 bp
CMV-R	5'-TCAAACCTGGGAGCACCC-3'	
TICV-CF	5'-AATCGGTAGTGACACGAGTAGCATC-3'	416 bp
TICV-CR	5'-CTTCAAACATCCTCCATCTGCC-3'	
<i>SPG1-Forward</i>	5'-CCCCKGTGCGWRAATCCAT-3'	912 bp
<i>SPG2-Reverse</i>	5'-ATCCVAAWWTYCAGGGAGCTAA-3'	

Komposisi DNA hasil ekstraksi yang akan diamplifikasi dengan *Multiplex PCR* dijabarkan pada **Tabel 5.**

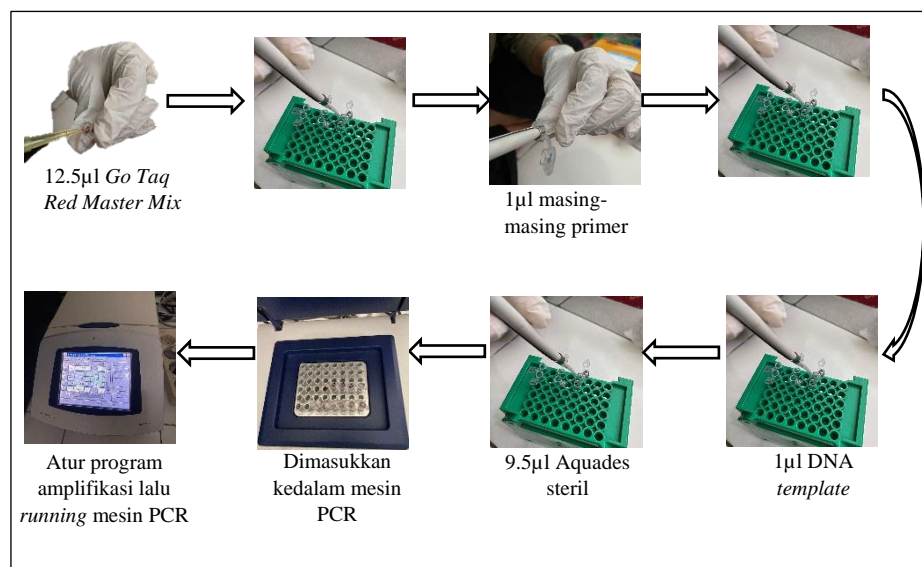
Tabel 5. Komposisi DNA hasil ekstraksi yang akan diamplifikasi

Komponen	Volume (µl)
DNA ekstraksi	1
Primer <i>Krusty-Forward</i>	1
Primer <i>Hommer-Reverse</i>	1
Primer <i>CMV-Forward</i>	1
Primer <i>CMV-Reverse</i>	1
Primer TICV-CF	1
Primer TICV-CR	1
<i>Go Taq Red Master Mix</i>	12.5
Aquades/ddH ₂ O	9.5
Total	25

Metode amplifikasi dengan tahapan, suhu, dan waktu yang diperlukan selama reaksi *Multiplex PCR* dengan 3 pasang primer adalah sebagai berikut.

Tabel 6. Reaksi PCR untuk amplifikasi *Multiplex* PCR dengan 3 pasang primer dengan optimasi suhu dan waktu yang digunakan

Tahapan Reaksi	Optimasi Suhu	Waktu
Pre-denaturasi	95°C	3 menit
Denaturasi	95°C	1 menit
<i>Annealing</i>	55°C	30 detik
<i>Extension</i>	72°C	1 menit 30 detik
Pasca <i>Extension</i>	72°C	10 menit
Total Siklus	40 Siklus	



Gambar 8. Tahapan amplifikasi DNA dengan PCR (Dokumentasi Pribadi, 2022)

3.4.7 Visualisasi Fragmen DNA dengan Elektroforesis

Menurut penelitian Sidik (2021), produk PCR yang telah melalui tahap amplifikasi selanjutnya divisualisasi dengan elektroforesis 1.5% gel agarose (Bio-Rad) dalam larutan penyangga 1X TBE (Tris Borate-EDTA) dengan total volume 15 ml. Masing-masing produk PCR diambil sebanyak 4 µl lalu ditambahkan 2 µl *loading dye* 6X dan dicampurkan. Setelah tercampur, dimasukkan pada sumuran gel agaros. Untuk menentukan ukuran fragmen DNA target digunakan marker 1. Alat elektroforesis dihidupkan pada tegangan 50 V selama 45 menit. Selanjutnya dilakukan pewarnaan dengan perendaman selama 2 menit dalam larutan etidium bromida, dan dicuci dalam aquades selama 10 menit. Visualisasi fragmen DNA menggunakan UV Transluminator, dan didokumentasikan untuk mengetahui hasil amplifikasi target yang diinginkan.

3.4.8 Sekuensing DNA

Data hasil PCR yang telah diperoleh kemudian dikirim melalui jasa PT. Genetika Science Indonesia ke 1st *Base Company* di Malaysia untuk selanjutnya menentukan peruntukan basa nukleotida (sekuensing). Basa nukleotida yang telah runut akan dianalisis menggunakan *software* DNA Baser dan BioEdit. Selanjutnya, dengan menggunakan *online software* BLAST dicari sekuen – sekuen virus lain yang homolog, kemudian sekuen berbagai jenis virus isolat Lampung dibandingkan dengan sekuen virus yang homolog. Setelah dibandingkan, dilanjutkan dengan menganalisis menggunakan *software* ClustalX dan MEGA11.

Data hasil sekuensing yang telah diperoleh selanjutnya dikirimkan ke GenBank untuk disimpan. Selanjutnya, jika sudah ditemukan sekuen DNA dari virus dilakukan Analisis filogenetika dilakukan dengan menggunakan *Molecular Evolutionary Genetics Analysis* (MEGA 11) untuk menentukan kekerabatan antara Begomovirus yang satu dengan Begomovirus lain yang homolog (Tamura *et al.*, 2013).

3.4.9 Analisis Data

Data hasil sekuensing dari 1st Base, Malaysia yang telah diperoleh kemudian dianalisis menggunakan *Basic Local Alignment Tool* (BLAST) dan *ClustalW multiple alignment* dengan *BioEdit V7.05*. Analisis filogenetika dilakukan dengan menggunakan MEGA 6 untuk menggambarkan hubungan kekerabatan sampel uji tanaman tomat dan cabai rawit dengan beberapa sekuen yang telah dipilih. Selanjutnya, dengan menggunakan metode *bootstrap-1000*, dianalisis lagi terkait hubungan kekerabatan antar cabang (Tamura *et al.*, 2013).

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil deteksi menunjukkan tanaman tomat dan cabai rawit di Kabupaten Pringsewu dan Tanggamus pada tiga desa, yaitu Desa Sri Katon, Mataram, dan Dadapan terinfeksi *Cucumber mosaic virus* (CMV) dan *Tomato infectious curl virus* (TICV) dengan pita spesifik berukuran ± 657 bp dan ± 416 bp. Sedangkan tanaman cabai rawit menunjukkan positif terinfeksi *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV) dan *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV) dengan pita spesifik berukuran ± 898 bp, ± 428 bp, dan ± 852 bp.
2. Hasil karakterisasi molekuler menggunakan gen *TrAP* dan *Rep* serta gen *Coat Protein* keempat isolat virus menunjukkan masing-masing jumlah pita DNA 898 basa untuk isolat cabai rawit dengan kode sampel Ca2 SPG (PepYLCV), pita DNA isolat Ca4 SPG (TYLCV) berjumlah 852 basa, isolat Ca4 KH (PepYLCV) menghasilkan pita DNA berjumlah 428 basa, isolat tomat dengan kode sampel To1 dan To2 CMV (CMV) berjumlah 657 basa, serta To1 TICV (TICV) berjumlah 416 basa.
3. Hasil analisis pohon filogenetik menunjukkan isolat Ca2 SPG memiliki kekerabatan dengan isolat PepYLCV asal Bali sebesar 89%, sedangkan isolat cabai rawit dengan kode sampel Ca4 KH membentuk cabang sendiri yang mengindikasikan terjadinya evolusi yang lebih jauh hingga mengarah pada spesiasi. Isolat Ca4 SPG menunjukkan kekerabatan dengan isolat PepYLCV asal Bali dan TYLCV asal Filipina sebesar 99%.

5.2 Saran

Diperlukan penelitian lanjutan mengenai infeksi PepYLCV, TYLCV, CMV, dan TICV pada tanaman hortikultura di Provinsi Lampung yang dilakukan di wilayah yang lebih luas dan belum terdeteksi adanya infeksi virus serta peningkatan pencegahan dan pengendalian infeksi virus sehingga dapat membantu meningkatkan produksi tanaman hortikultura, khususnya tomat dan cabai rawit di Provinsi Lampung.

DAFTAR PUSTAKA

- Agromedia. 2007. *Budidaya Cabai Hibrida*. Agromedia Pustaka : Jakarta. hlm. 58.
- Akin, H.M. 2022. *Aplikasi Bioteknologi dalam Pengendalian Virus pada Tanaman Edisi Pertama*. Plantaxia : Yogyakarta. hlm. 81-82.
- Anbiya, L., Mahfut, Wahyuningsih, S., Umar, S. 2022. Survey of *Pepper yellow leaf curl virus* (PepYLCV) Infection on Solanaceae Plants L. in Lampung Indonesia. *The Universitas Lampung International Conference on Sciences, Technology, and Environment (ULICoSTE)*.
- Arifin, I. 2010. Pengaruh Cara dan Lama Penyimpanan Terhadap Mutu Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.). *Skripsi*. Fakultas Pertanian Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim : Malang.
- Ashari, S. 1995. *Hortikultura Aspek Budidaya*. UI Press : Jakarta.
- Aulia, S.L., Suwignyo, R.A., dan Hasmeda, M. 2021. Optimasi Suhu *Annealing* untuk Amplifikasi DNA Padi Hasil Persilangan Varietas Tahan Terendam dengan Metode *Polymerase Chain Reaction*. *SAINMATIKA : Jurnal Ilmiah Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*. 18(1) : 44-54.
- Badan Pusat Statistik. 2022. *Produksi Tanaman Sayuran*.
<https://www.bps.go.id/indicator/55/61/1/produksi-tanaman-sayuran.html>
(Diakses pada 27 Februari 2023 pukul 20.40 WIB).
- Banfalvi, Z., Barone, A., and Bryan, G.J. 2021. Editorial : Spotlight on Solanaceae Metabolism : Biotechnological Application. *Editorial*. 12 : 756948.

- Bhowmilk, D., Kumar, K.P.S., Paswan, S., and Srivastava, S. 2012. Tomato-A Natural Medicine and Its Health Benefits. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 1(1) : 24-36.
- Borah, P. 2011. Primer Designing for PCR. *Science Vision*. 11(3) : 134-136.
- Bos, L. 1983. *Pengantar Virologi Tumbuhan* (Terjemahan Triharso, 1990). Gadjah Mada University Press : Yogyakarta. hlm. 389.
- CABI (CAB International. 2006. *Crop Protection Compendium, 2006 Edition*. CAB International; Wallingford, UK. pp. 31.
- Cahyono, B. 2003. *Cabai Rawit : Teknik Budidaya dan Analisis Usaha Tani*. Kanisius : Yogyakarta.
- Cahyono, B. 2008. *Tomat (Usaha Tani dan Penanganan Pascapanen)*. Kanisius : Yogyakarta. hlm. 99.
- Carr, J., Williams, D.G., and Hayden, R.T. 2010. *Molecular Detection of Multiple Respiratory Viruses*. Academic Press Inc. pp. 289-300.
- Choliq, F.A., Martosudiro, M., Istiqomah, dan Nijami. 2020. Isolasi dan Uji Kemampuan Bakteriofag sebagai Agens Pengendali Penyakit LAAYU Bakteri (*Ralstonia solanacearum*) pada Tanaman Tomat. *Jurnal Viabel Pertanian*. 1(4) : 8-20.
- Chupp, C, and A. F. Sherf. 1960. *Vegetables Diseases and Their Control*. The Ronald Press Company : New York. pp. 280-282.
- Cronquist, A. 1981. *An Integrated System of Classification of Flowering Plants*. Columbia University Press : New York. pp. 248-250.
- Dalimartha, S. dan Felix, A. 2011. *Khasiat Buah dan Sayur*. Penerbit Swadaya : Jakarta. hlm. 172.
- Departemen Pertanian. 2015. *Outlook Komoditas Pertanian Hortikultura*. Pusat Data dan Informasi Pertanian : Jakarta.
- Djarwiningsih, T. 2005. REVIEW : *Capsicum* spp. (Cabai) : Asal, Persebaran, dan Nilai Ekonomi. *Biodiversitas*. 6(4) : 292-296.
- Dolores, L.M. 1996. Management of Pepper Viruses. *Proceeding of the AVNET II Midterm Workshop*. AVRDC : Philippines.

- Fajarfika, R., Hartono, S., Sulandari, S., dan Somowiyarjo, S. 2015. Deteksi Molekuler Penyebab Penyakit Kuning (*Tomato chlorosis virus* dan *Tomato infectious chlorosis virus*) pada Tanaman Tomat. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*. 19(2) : 80-88.
- Farmawati, D.A., Wirajana, I.N., dan Yowani, S.C. 2015. Perbandingan Kualitas DNA dengan Menggunakan Metode BOOM *Original* dan BOOM Modifikasi pada Isolat *Mycobacterium tuberculosis* 151. *Jurnal Kimia*. 9(1) : 41-46.
- Fauquet, C.M., Bisaro, D.M., Briddon, R.W., Brown, J.K., Harrison, B.D., Rybicki, E.P., Strenger, D.C., and Stanley, J. 2003. Revision of Taxonomic Criteria for Species Demarcation in the Family Geminiviridae, and an Updated List of Begomovirus Species. *Archives of Virology*. 148 : 405-421.
- Gafni, Y. 1998. Nucleocytoplasmic Trafficking of Geminiviral Proteins. *Current Science*. 75(11) : 1148-1152.
- Gafni, Y. and Epel, B.L. 2002. The Role of Host and Viral Proteins in Intra- and Inter-cellular Trafficking of Geminiviruses. *Physiology Molecular Plant Pathology*. 60 : 231-241.
- Ganefianti, D.W., Hidayat, S.H., and Syukur, M. 2015. Genetic Study of Resistance to Begomovirus on Chilli Pepper by Hayman's Diallel Analysis. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*. 5(6) : 426-432.
- Gunaeni, N. dan Purwati, E. 2013. Uji Ketahanan Terhadap *Tomato Yellow Leaf Curl Virus* pada Beberapa Galur Tomat (*Resistance Test of Tomato Lines to Tomato Yellow Leaf Curl Virus*). *Jurnal Hortikultura*. 23(1) : 65-71.
- Gunaeni, N. 2015. Pengelolaan Cabai Merah dengan Fokus Pengendalian Vektor dan Virus Mosaik. *Agrin*. 19(2) : 125-140.
- Haerunisa, R., Suastika, G., dan Damayanti, T.A. 2016. Identifikasi *Begomovirus* yang Berasosiasi dengan Penyakit Kuning pada Mentimun di Jawa Barat dan Bali. *Jurnal Hortikultura Indonesia*. 7(1) : 9-20.
- Hale, W.G., Margham, J.P., and Saunders, V.A. 1995. *Collins Dictionary of Biology*. Harper Collins Publishers : Glasgow. pp. 40.

- Handrian, R.G., Meiriani, dan Haryati. 2013. Peningkatan Kadar Vitamin C Buah Tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill.) Dataran Rendah dengan Pemberian Hormon GA₃. *Jurnal Online Agroekoteknologi*. 2(1) : 333-339.
- Hartono, S. 2008. Molecular Identification of Begomovirus Causing Yellow Leaf Curl Disease on Tomato Plants in Central Java. *Journal of Acta Agrosia*. 11 : 69-74.
- Hasanah, U., Martosudiro, M., dan Hadiastono, T. 2013. Potensi Beberapa Jenis Gulma Berdaun Lebar sebagai Sumber Inokulum pada Proses Penularan *Cucumber mosaic virus* (CMV) untuk Tanaman Tomat. *Jurnal Hama Proteksi Tanaman*. 1(3) : 11-17.
- Higgs, P.G. and Attwood, T.K. 2005. *Bioinformatics and Molecular Evolution*. Blackwell Science : Malden.
- Hirota, T., Natsuaki, T., Murai, T., Nishigawa, H., Niibori, K., Goto, K., Hartono, S., Suastika, S., and Okuda, S. 2010. Yellowing Disease of Tomato Caused by *Tomato chlorosis virus* Newly Recognized in Japan. *Journal of General Plant Pathology*. 76 : 168-171.
- Joko, T., Kusumandari, N., dan Hartono, S. 2011. Optimasi Metode PCR untuk Deteksi *Pectobacterium carotovorum*, Penyebab Penyakit Busuk Lunak Angrek. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*. 17(2) : 54-59.
- Kashina, B.D., Mabagala, R.B., and Mpunami, A.A. 2007. Transmission Properties of Tomato Yellow Leaf Curl Virus from Tanzania. *Journal of Plant Protection Research*. 47(1) : 43-51.
- Khan, M.S., Tiwari, A.K., Raj, S.K., Srivastava, A., Ji, S.H., and Chun, S.C. 2014. Molecular Epidemiology of Begomovirus Occuring on Some Vegetables, Grain Legume, and Weed Species in the Terai Belt of North India. *Journal of Plant Disease Protection*. 121(2) L 53-57.
- Kimura, S. and Sinha, N. 2008. Tomato (*Solanum lycopersicum*) : A Model Fruit-Bearing Crop. *Emerging Model Organisms*. 3(11) : 1-9.

- Kintasari, T., Septariani, D.W.N., Sulandri, S., dan Hidayat, S.H. 2013. *Tomato Yellow Leaf Curl Kanchanaburi Virus* Penyebab Penyakit Mosaik Kuning pada Tanaman Terung di Jawa. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 9(4) : 127-131.
- Knapp, S. and Peralta, I.E. 2016. The Tomato (*Solanum lycopersicum* L., Solanaceae) and Its Botanical Relatives. *The Tomato Genome*. 7-21.
- Krawczyk, B. and Kur, J. 2018. *Pet-To-Man Travelling Staphylococci : Chapter 16 - Molecular Identification and Genotyping of Staphylococci: Genus, Species, Strains, Clones, Lineages, and Interspecies Exchanges*. Academic Press Inc. pp. 199-222.
- Kurniawati, F., Suastika, G., dan Giyanto. 2015. Identifikasi *Tomato infectious chlorosis virus* Penyebab Penyakit Klorosis pada Tanaman Tomat di Cipanas Jawa Barat melalui Peruntukan Nukleotida Gen Protein Selubung Utama. *Jurnal Hama dan Penyakit Tanaman Tropika*. 15(1) : 33-43.
- 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.
- Lefeuvre, P., Hoareau, M., Dellatte, H., Reynaud, B., Lett, J.M. 2007. A multiplex PCR method discriminating between the *TYLCV* and *TYLCV-Mld* clades of *Tomato yellow leaf curl virus*. *Journal of Virological Methods*. 144 : 165-168.
- Li, R., Salih, S., and Hurtt, S. 2004. Detection of Geminiviruses in Sweetpotato by Polymerase Chain Reaction. *Plant Disease*. 88 : 1347-1351.
- Madona, M., Setyaningrum, E., Pratami, G.D., dan Kanedi, M. 2020. Efektivitas Ekstrak Daun Tomat (*Solanum lycopersicum* L.) sebagai Ovisida Nyamuk *Aedes aegypti*. *Jurnal Ilmu Kedokteran dan Kesehatan*. 7(1) : 368-374.
- Mahendra, I.B.G., Phabiola, T.A., dan Yuliadhi, K.A. 2017. Pengaruh Infeksi Beberapa Jenis Virus Terhadap Penurunan Hasil Produksi Tanaman Tomat (*Solanum lycopersicum* Mill.) di Dusun Marga Tengah, Desar Kerta, Kecamatan Payangan, Kabupaten Gianyar. *E-Jurnal Agroekoteknologi Tropika*. 6(3) : 301-309.
- Mahfut dan Daryono, B.S. 2014. Deteksi *Odontoglossum ringspot virus* Terhadap Anggrek Alam di Hutan Wonosadi, Gunung Kidul. *BIOGENESIS* : 2(2) : 101-108.

- Manurung, M. 2021. *Analisis Kinerja Perdagangan Cabai Merah*. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Kementerian Pertanian : Jakarta. hlm. 45.
- Markoulatos, P., Siafakas, N., and Moncany, M. 2002. Multiplex Polymerase Chain Reaction: A Practical Approach. *Journal of Clinical Laboratory Analysis*. 16 : 47-51.
- Martelli, G.P., Agranovsky, A.A., Bar-Joseph, M., Boscia, D., Candresse, T., Coutts, R.H.A., Dolja, V.V., Falk, B.W., Gonsalves, D., Jelkmann, W., Karasev, A.V., Minafra, A., Namba, S., Vetten, H.J., Wisler, G.C., and Yoshikawa, N. 2002. The Family Closteroviridae revised. *Archives of Virology*. 147 : 2039-2043.
- Matthews, R.E.F. 1992. *Fundamentals of Plant Virology*. Academic Press Inc. San Diego. pp. 403.
- Meng, F. 2013. *Ralstonia solanacearum* Species Complex and Bacterial Wilt Disease. *Journal of Bacteriology and Parasitology*. 4(2) : 1-4.
- Miftakhurohmah, Nyana, I.D.N., Damayanti, T.A., dan Noveriza, R. 2017. Identifikasi Molekuler *Cucumber mosaic virus* (CMV) Asal Tanaman Nilam (*Pogostemon cablin*). *Jurnal Littri*. 23(1) : 11-17.
- Miftakhurohmah, Noveriza, R., dan Mariana, M. 2020. Keragaman Genetik *Cucumber mosaic virus* Asal Tanaman Nilam, Karuk, Melati, dan Kumis Kucing. *Buletin Penelitian Tanaman Rempah dan Obat*. 31(2) : 59-66.
- Minjuan, W., Chen, D., and Wanlin, G. 2019. Evaluation of the Growth, Photosynthetic Characteristic, Antioxidant Capacity, Biomass Yield, and Quality of Tomato Using Aeroponics, Hydroponics, and Porous Tube-Vermiculite Systems in Bio-Regenerative Life Support Systems. *Life Sciences in Space Research*. 22 : 68-75.
- Mo, Y., Wan, R., and Zhang, Q. 2012. Application of Reverse Transcription-PCR and Real Time-PCR in Nanotoxicity Research. *Methods Molecular Biology*. 926 : 99-112.

- Mudmainah, S. dan Purwanto. 2010. Deteksi Begomovirus pada Tanaman Cabai Merah dengan I-ELISA TEST dan Teknik PCR. *Jurnal Agroland*. 17(2) : 101-107.
- Mushlih, M. 2019. *Buku Ajar Biologi Molekular : Aplikasi Dasar di Dunia Kesehatan*. UMSIDA Press : Sidoarjo. hlm. 46-47.
- Muzuna, Zarliani, W.O.A., Wardana, dan Purnamasari, W.O.D. 2021. Penyuluhan Pengembangan dan Pengendalian Organisme Pengganggu Tanaman Hortikultura di Desa Lawela Kabupaten Buton Selatan. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*. 5(1) : 288-300.
- Narendra, A.A.G.A., Phabiola, T.A., dan Yuliadhi, K.A. 2017. Hubungan antara Populasi Kutu Kebul (*Bemisia tabaci*) (Gennadius) (Hemiptera : Aleyrodidae) dengan Insiden Penyakit Kuning pada Tanaman Tomat (*Solanum lycopersicum* Mill.) di Dusun Marga Tengah, Desa Kerta, Kecamatan Payangan, Bali. *E-Jurnal Agroekoteknologi Tropika*. 6(3) : 339-348.
- Nei, M. 1972. Genetic Distance Between Population. *The American Naturalist*. 106(949) : 283-292.
- Ningrum, E.O., Hartono, S., Sulandari, S., dan Somowiyarjo, S. 2019. Multiplex RT-PCR Assay for Crinivirus Detection Using RNA Prepared from Three Extraction Methods on Tomato Plant. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*. 23(2) : 250-260.
- Nkansah, G.O., Ochar, K., Blay, E.T., and Asante, I.K. 2019. Evaluation of Selected Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Cultivars in Ghana for Superior Fruit Yield and Yield Component Traits. *Journal of Horticulture*. 6(3) : 1-8.
- Noris, E., Vaira, A.M., Caciagli, P., Masenga, V., Gronenborn, B., and Accotto, G.P. 1998. Amino Acids in the Capsid Protein of *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV) that are Crucial for Systemic Infection, Particle Formation, and Insect Transmission. *Journal of Virology*. 72 : 10050-10057.
- Novaldy, R. dan Iyos, R.N. 2016. Pengaruh Tomat (*Solanum lycopersicum*) dalam Pengurangan Risiko Karsinoma Prostat. *MAJORITY*. 5(5) : 150-154.

- Nurulita, S. dan Suastika, G. 2013. Identifikasi *Tomato infectious chlorosis virus* dan *Tomato chlorosis virus* melalui *Reverse Transcription Polymerase Chain Reaction* dan Analisis Sekuen Nukleotida. *Jurnal Fitopatologi*. 9(4) : 107-115.
- Palukaitis, P., Cotts, S., and Zaitlin, M. 1992. *Cucumber mosaic virus*. *Advance Virus Research*. 41 : 281-348.
- Pracaya. 1998. *Bertanam Tomat*. Penerbit Karnisius : Yogyakarta. hlm. 98.
- Pranatayana, I.B.G. 2016. Model Hubungan antara Kejadian Penyakit Virus dengan Populasi Serangga Vektor dan Inang Alternatif pada Tanaman Kacang Panjang. *Tesis*. Fakultas Pertanian Universitas Udayana : Denpasar.
- Pranawaty, R.N., Buwono, I.D., dan Liviawaty, E. 2012. Aplikasi *Polymerase Chain Reaction (PCR)* Konvensional dan *Real Time PCR* untuk Deteksi *White Spot Syndrome Virus* pada Kepiting. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*. 3(4) : 61-74
- Purnamasari, N.L., Hadiastono, T., dan Choliq, F.A. 2016. Ketahanan Empat Varietas Tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill.) Terhadap Infeksi Tobacco mosaic virus (TMV). *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan*. 4(3) : 134-139.
- Purwati, E. dan Khairunisa. 2007. *Budidaya Tomat Dataran Rendah*. Penebar Swadaya : Depok. hlm. 68.
- Purwono. 2003. *Bertanam Cabai rawit Rawit dalam Pot*. Agromedia Pustaka : Jakarta.
- Qiu, Y., Zhang, Y., Wang, C., Lei, R., Wu, Y., Li, X., and, Zhu, S. 2018. *Cucumber mosaic virus* Coat Protein Induces the Development of Chlorotic Symptoms through Interacting with the Chloroplast Ferredoxin I Protein. *Scientific Reports*. 8(1205) : 1-11.
- Rakib, A.A., Adhab, M.A., Hamad, S.A.H., and Diwan, S.N.H. 2011. Tomato Yellow Leaf Curl Virus (TYLCV), Identification, Virus Vector Relationship, Strains Characterization and A Suggestion for Its Control with Plant Extracts in Iraq. *African Journal of Agricultural Research*. 6(22) : 5149 – 5155.
- Revill, P. A., Ha, C.V., Porchum, S.C., Vu, M.T. and Dale, J.L. 2003. The Complete Nucleotide Sequence of Two Distinct Geminiviruses Infecting Cucurbits in Vietnam. *Archives of Virology*. 148 : 1523-1541.

- Rismunandar. 2001. *Tanaman Tomat*. Sinar Baru Algensindo : Bandung. hlm. 26.
- Rojas, M.R., Gilbertson, R.L., Russell, D.R., and Maxwell, D.P. 1993. Use of Degenerate Primers in the Polymerase Chain Reaction to Detect Whitefly-Transmitted Geminiviruses. *Plant Disease*. 77(4) : 340-347.
- Rosilawati, M.L., Sudarmono, P., dan Ibrahim, F. 2002. Sensitivitas Metode PCR (*Polymerase Chain Reaction*) dalam Mendeteksi Isolat Klinis *Mycobacterium tuberculosis*. *Jurnal Kedokteran Trisakti*. 21(1) : 7-14.
- Salati, R., Medhat, K., Rojas, M.R., Guzman, P., Jaquez, J., Maxwell, D.P., and Gilbertson, R.L. 2002. *Tomato Yellow Leaf Curl Virus* in the Dominican Republic : Characterization of an Infectious Clone, Virus Monitoring in Whiteflies, and Identification of Reservoir Hosts. *Virology*. 92(5) : 487-496.
- Salem, N., Mansour, A., Ciuffo, M., Falk, B.W., and Turina, M. 2015. A New Tobamovirus Infecting Tomato Crops In Jordan. *Arch. Virol*. 160(12) : 1-6.
- Santoso, T.J., Hidayat, S.H., Herman, M., dan Sudarsono. 2013. Aplikasi Teknik *Polymerase Chain Reaction* (PCR) Menggunakan Primer *Degenerate* dan Spesifik Gen *AVI* untuk Mendeteksi Begomovirus pada Tomat (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Jurnal Holtikultura Indonesia*. 4(3) : 140-149.
- Saraswati, U. 2014. Karakterisasi Molekuler *Coat Protein Gene Papaya ringspot virus* pada Tanaman Papaya (*Carica papaya* L.) di Indonesia. *Tesis*. Program Studi Biologi, Program Pascasarjana Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada : Yogyakarta. hlm. 84.
- Sari, A.W., Anhar, A., dan Zein, A. 2017 Respon Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Tomat (*Solanum lycopersicum*) dengan Pemberian Bokashi *Tithonia* (*Tithonia diversifolia*). *Bioscience*. 1(1) : 79-85.
- Sarido, L. dan Junia. 2017. Uji Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa* L.) dengan Pemberian Pupuk Organik Cair pada Sistem Hidroponik. *Jurnal AGRIFOR*. 15(1) : 65-74.
- Sea-liang, N., Sereemasun, A., Patarakul, K., Gaywee, J., Rodkvamtook, W., Srisawat, N., Wacharaplusadee, S., and Hemachudha, T. 2019. Development of Multiplex PCR for Neglected Infectious Diseases. *PLOS Neglected Tropical Diseases*. 13(7) : 1-12.
- Sebayang, L. 2013. *Teknik Pengendalian Penyakit Kuning Pada Tanaman Cabai*. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Sumatera Utara : Medan. hlm. 32.

- Septiana, A, Mahfut, Handayani, T. T., Umar, S. 2022. Survey of *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV) Infection on *Solanum lycopersicum* L. in Lampung Indonesia. *The Universitas Lampung International Conference on Sciences, Technology, and Environment (ULICoSTE)*.
- Setiawati, R., Septirosya, T., Irfan, M., dan Permatasari, I. 2020. Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Tomat Cherry (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) pada Sistem Hidroponik dengan Media Tanam Organik dan Nutrisi AB MIX. *Jurnal Pertanian Presisi*. 4(2) : 113-122.
- Siahaan, P. 2011. Pertumbuhan Bakteri *Pseudomonas solanacearum* EF. Smith pada Pemberian Ekstrak Urang Aring. *EUGENIA*. 17(3) : 202-208.
- Sidik, E.A. 2021. Deteksi Molekuler Asosiasi Begomovirus dengan Penyakit Keriting Kuning Cabai di Pakis dan Banyuurip, Magelang, Indonesia. *VIGOR : Jurnal Ilmu Pertanian Tropika dan Subtropika*. 6(1) : 1-6.
- Siemonsma, J. S. and K. Piluek. 1994. *Plants Resources of South-East Asia (PROSEA) No. 8 Vegetables*. Prosea Foundation : Bogor.
- Silvina, F. dan Syafrinal. 2008. Penggunaan Berbagai Medium Tanam dan Konsentrasi Pupuk Organik Cair pada Pertumbuhan dan Produksi Mentimun Jepang (*Cucumis sativus*) secara Hidroponik. *Jurnal SAGU*. 7(1) : 7-12.
- Singh, S., Bairwa, H., Gurjar, S.C., Kumar, H., Jangir, M., and Bagri, U.K. 2018. Effect of Folluar Spray of Micronutrients on Uptake of Micronutrients in (*Solanum esculentum* Mill.) cv. Navoday. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 7 : 930-933.
- Singh, M., Prasanna, H. C., Tiwari, S., Gujar, R.S., and Karkute, S.G. 2016. *Biology of Solanum lycopersicum (Tomato)*. Indian Institute of Vegetable Research : Varanasi. pp. 36.
- Sugiarmn dan Hidayat, S.H. 2000. Evaluasi Ketahanan Beberapa Kultivar Tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill.) Terhadap Virus Gemini. *Jurnal Biosains Hayati*, 3: 113-116.
- Sukada, I.W., Sudana, I.M., Nyana, I.D.N., Suastika, G., dan Siadi, K. 2014. Pengaruh Infeksi Beberapa Jenis Virus Terhadap Penurunan Hasil pada Tanaman Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.). *E-Jurnal Agroekoteknologi Tropika*. 3(3) : 158-165.

- Sulandari, S. 2004. *Karakterisasi Biologi, Serologi, dan Analisis Sidik Jark DNA Virus Penyebab Penyakit Daun Kering Keriting Kuning Cabai. Disertasi.* Institut Pertanian Bogor : Bogor. hlm. 48.
- Sulandari, S., Suseno, R., Hidayat, S.H., Harjosudarmo, dan Sosromarsono. 2006. Deteksi dan Kajian Kisaran Inang Virus Penyebab Penyakit Daun Keriting Kuning Cabai. *Hayati*. 13(1) : 1-6.
- Supriadi, H. dan Sejati, W.K. 2018. Perdagangan Antarpulau Komoditas Cabai di Indonesia : Dinamika Produksi dan Stabilitas Harga. *Analisis Kebijakan Pertanian*. 16(2) : 109-127.
- Surtinah. 2007. *Kajian Tentang Hubungan Pertumbuhan Vegetatif Dengan Produksi Tanaman Tomat (Lycopersicum esculentum, Mill.)* PS. Agronomi, Staf Pengajar Fakultas Pertanian Universitas Lancang Kuning. 4(1).
- Tamura, K., Stecher, G., Peterson, D., Filipski, A., and Kumar, S. 2013. MEGA6 : Molecular Evolutionary Genetics Version 6.0. *Mol. Biol. Evol.* 30(12) : 22725-2729.
- Timbuleng, K.A.T., Kolondam, B.J., dan Katili, D.Y. 2021. Perancangan PCR-RFLP untuk Autentikasi Spesies Ikan Kakap Merah Berdasarkan Gen CYB. *Jurnal Ilmiah PLATAX*. 9(1) : 29-40.
- Tjandra, E. 2011. *Panen Cabai Rawit di Polybag*. Cahaya Atma Pustaka : Yogyakarta.
- Tjitrosoepomo, G. 2007. *Taksonomi Tumbuhan (Spermatophyta)*. Gadjah Mada University Press : Yogyakarta. hlm. 353.
- Totong, O., Hadid, A., dan Mas'ud, H. 2016. Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Tomat (*Lycopersicum esculantum* Mill) pada Berbagai Media Tumbuh dengan Interval Penyiraman Air Kelapa yang Berbeda. *Jurnal Agrotekbis*. 4(6) : 693-701.
- Trisnadi, R. 2019. Virus Keriting pada Tembakau.
<https://dkpp.probolinggokab.go.id/2019/04/22/virus-keriting-pada-tembakau/#:~:text=Gejala%20penyakit%20mosaik%20adalah%20klorotik,atau%20kuning%20yang%20tidak%20teratur>. (Diakses pada 23 Maret 2023 pukul 01.50 WIB).

- 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.
- Tzanetakis, I.E., Martin, R.R., and Wintermantel, W.M. 2013. Epidemiology of Criniviruses : An Emerging Problem in World Agriculture. *Frontiers in Microbiology*. 4(119) : 1-15.
- Van Brunschot, S.L., Persley, D.M., Geering, A.D.W., Campbell, P.R., and Thomas, J.E. 2010. *Tomato yellow leaf curl virus* in Australia: Distribution, Detection and Discovery of Naturally Occurring Defective DNA Molecules. *Australasian Plant Pathology*. 39 : 412-423.
- Wahyudin, D. 2022. Penapisan Ketahanan Galur dan Taksasi Kehilangan Hasil Tomat (*Lycopersicum esculentum* L.) Terhadap *Infeksi Tomato chlorosis crinivirus*. *Tesis*. Institut Pertanian Bogor. Bogor. hlm. 13.
- Wahyuningsih, A., Fajriani, S., dan Aini, N. 2016. Komposisi Nutrisi dan Media Tanam Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa* L.) Sistem Hidroponik. *Jurnal Produksi Tanaman*. 4(8) : 595-601.
- Watterson, J.C. 1993. Development and Breeding of Restitanci to Pepper and Tomato Viruses. Timber Press : Oregon. pp. 80-101.
- Wilisiani, F., Somowiyarjo, S., dan Hartono, S. 2014. Identifikasi Molekuler Virus Penyebab Penyakit Daun Keriting Isolat Bantul pada Melon. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*. 18(1) : 47-54.
- Wirajana, I.N., Yuliana, D.A., dan Ratnayani, K. 2013. Isolasi DNA Metagenomik dari Tanah Hutan Mangrove Pantai Suwung Bali. *Jurnal Kimia*. 7(1) : 19-24.
- Wiryanta, B. 2004. *Bertanam Tomat*. Agromedia Pustaka : Jakarta. hlm. 78-80.
- Yusuf, Z.K. 2010. *Polymerase Chain Reaction (PCR)*. *Saintek*. 5(6) : 1-6.
- Yuwono, T. 2006. *Teori dan aplikasi Polymerase Chain Reaction*. Andi Publisher. Yogyakarta. hlm. 239.

Zrachya, A., Kumar, P.P., Ramakrishnan, U., Levy, Y., Loyter, A., Arazi, T., Lapidot, M., and Gafni, Y. 2007. Production of siRNA Targeted Against TYLCV Coat Protein Transcripts Leads to Silencing of Its Expression and Resistance to the Virus. *Transgenic Research*. 16 : 385-398.