

**DETEKSI DAN KARAKTERISASI MOLEKULER GEN *TrAP* DAN *Rep*
BEGOMOVIRUS PADA TANAMAN SOLANACEAE DI KOTAMADYA
BANDAR LAMPUNG, KABUPATEN PRINGSEWU, DAN KABUPATEN
LAMPUNG SELATAN**

(Skripsi)

oleh

**LULU ANBIYA
NPM 1857021014**



**JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

DETEKSI DAN KARAKTERISASI MOLEKULER GEN *TrAP* DAN *Rep* BEGOMOVIRUS PADA TANAMAN SOLANACEAE DI KOTAMADYA BANDAR LAMPUNG, KABUPATEN PRINGSEWU, DAN KABUPATEN LAMPUNG SELATAN

Oleh

LULU ANBIYA

Tanaman Solanaceae merupakan jenis sayuran yang dibudidayakan di Lampung. Dalam budidaya tanaman ini dapat ditemukan hambatan seperti terinfeksi Begomovirus yang menyebabkan tanaman tidak dapat melakukan produksi dengan baik sehingga petani di Lampung dapat mengalami kerugian. Begomovirus dapat menginfeksi tanaman melalui serangga vektor kutu kebul (*Bemisia tabaci* Genn.). Infeksi Begomovirus menyebabkan gejala klorosis pada daun, tepi daun menggulung, daun keriting, dan menguning serta tanaman menjadi kerdil. Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi keberadaan Begomovirus pada tanaman Solanaceae dan untuk mengetahui karakteristik molekuler gen *TrAP* dan *Rep* pada Begomovirus serta untuk menganalisis hubungan kekerabatan Begomovirus yang menginfeksi tanaman Solanaceae di Kabupaten Pringsewu dan Lampung Selatan dengan isolat Begomovirus asal negara lain berdasarkan sekuen gen *TrAP* dan *Rep*. Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari-Mei 2022 dengan pengambilan sampel di beberapa Kabupaten/Kotamadya di Lampung. Deteksi molekuler Begomovirus dilakukan di Laboratorium Bioteknologi, Jurusan Hama dan Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Amplifikasi gen *TrAP* dan *Rep* menggunakan metode *Polymerase Chain Reaction* (PCR) dengan primer universal Begomovirus yaitu SPG1 dan SPG2. Hasil elektroforesis tanaman Solanaceae yang terinfeksi Begomovirus menghasilkan pita spesifik berukuran ± 912 bp. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa isolat sampel cabai merah (Ca1), terung (Te1), dan tomat (To1) terinfeksi Begomovirus. Hasil rekonstruksi pohon filogenetik menunjukkan isolat sampel Ca1 dan To1 berada pada cabang yang sama dan membentuk satu kelompok yang memiliki hubungan kekerabatan yang cukup dekat dengan isolat Begomovirus lainnya sedangkan isolat sampel Te1 berada pada cabang yang terpisah dengan isolat sampel Begomovirus lainnya.

Kata kunci : Begomovirus, Gen *TrAP* dan *Rep*, Kutu Kebul, *Polymerase Chain Reaction* (PCR), Tanaman Solanaceae

**DETEKSI DAN KARAKTERISASI MOLEKULER GEN *TrAP* DAN *Rep*
BEGOMOVIRUS PADA TANAMAN SOLANACEAE DI KOTAMADYA
BANDAR LAMPUNG, KABUPATEN PRINGSEWU, DAN KABUPATEN
LAMPUNG SELATAN**

Oleh

Lulu Anbiya

Skripsi

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

Pada

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



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

Judul Skripsi : **DETEKSI DAN KARAKTERISASI MOLEKULER
GEN *TrAP* DAN *Rep* BEGOMOVIRUS PADA
TANAMAN SOLANACEAE DI KOTAMADYA
BANDAR LAMPUNG, KABUPATEN
PRINGSEWU, DAN KABUPATEN LAMPUNG
SELATAN**

Nama Mahasiswa : **Tulu Anbiya**

NPM : 1857021014

Jurusan/Program Studi : Biologi/S1 Biologi

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Pembimbing I

Pembimbing II

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

Dr. Sri Wahyuningsih, M.Si.
NIP 196111251990032001

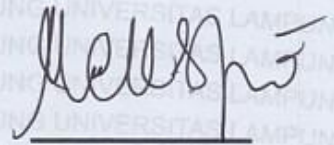
2. Ketua Jurusan Biologi FMIPA Unila

Dr. Jani Master, S.Si., M.Si.
NIP 198301312008121001

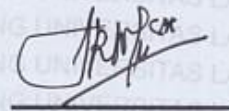
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

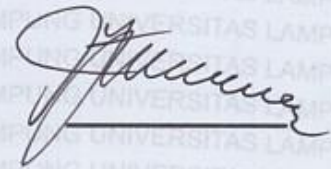
Ketua : Dr. Mahfut, S.Si., M.Sc.



Sekretaris : Dr. Sri Wahyuningsih, M.Si.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Drs. Suratman, M.Sc.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Supto Dwi Yuwono, M.T.
NIP.197407052000031001



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 02 Agustus 2022

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Lulu Anbiya
NPM : 1857021014
Jurusan : Biologi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul :

**“DETEKSI DAN KARAKTERISASI MOLEKULER GEN *TrAP* DAN *Rep*
BEGOMOVIRUS PADATANAMAN SOLANACEAE DI KOTAMADYA
BANDAR LAMPUNG, KABUPATEN PRINGSEWU, DAN
KABUPATEN LAMPUNG SELATAN”**

Apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini baik data, gagasan, serta pembahasannya adalah benar karya saya sendiri berdasarkan pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini saya susun dengan mengikuti aturan dan etika akademik yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat, jika di kemudian hari pernyataan ini tidak benar atau terdapat kecurangan , maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 04 Agustus 2022

Yang menyatakan



Lulu Anbiya
NPM 1857021014

RIWAYAT HIDUP



Lulu Anbiya, atau akrab disapa Lulu, lahir di Bandar Lampung, 9 Mei 2000. Penulis merupakan anak tunggal dari pasangan Bapak Qoharuddin Suhada Salam dan Ibu Diny Saidah. Penulis beralamat di Jalan Sultan Agung, Kelurahan Kota Sepang, Kecamatan Labuhan Ratu, Kota Bandar Lampung, Lampung.

Penulis menempuh pendidikan pertamanya di Taman Kanak-kanak (TK) Aisyiyah pada tahun 2006, kemudian melanjutkan pendidikan Sekolah Dasar (SD) di SD Muhammadiyah 1 Bandar Lampung pada tahun 2007-2012. Selanjutnya, pendidikan Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Global Madani pada tahun 2012 dan lulus di tahun 2015. Penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Global Madani pada tahun 2015 dan lulus pada tahun 2018.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Biologi FMIPA Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Mandiri Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SMMPTN) Barat pada tahun 2018. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam Organisasi Himpunan Mahasiswa Biologi (HIMBIO) sebagai anggota bidang Dana dan Usaha (DANUS) pada tahun 2019 dan 2020. Penulis juga

pernah menjadi asisten praktikum mata kuliah Virologi di Jurusan Hama Proteksi Tanaman.

Pada Bulan Januari-Maret 2021 penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Kementerian Balai Karantina Pertanian Kelas 1 Bandar Lampung dengan judul **“Deteksi Penyakit *Bean Pod Mottle Virus* (BPMV) Pada Komoditas Biji Kedelai (*Glycine max*) Impor Secara Serologi Dengan Metode ELISA Di Balai Karantina Pertanian Kelas 1 Bandar Lampung”**. Kemudian pada bulan Juli-Agustus 2021 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sumur Putri, Kecamatan Teluk Betung Selatan, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung.

MOTTO

“Maka nikmat Tuhanmu yang manakah yang kamu dustakan”
(QS. Ar-Rahman: 13)

“Agar kamu tidak bersedih hati terhadap apa yang luput dari kamu dan tidak pula terlalu gembira terhadap apa yang diberikan-Nya kepadamu. Dan Allah tidak menyukai terhadap orang yang sombong dan membanggakan diri”
(QS. Al-Hadid: 23)

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum sehingga mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka”
(QS. Al-Ra’d: 11)

“Janganlah kamu berduka cita, sesungguhnya Allah selalu bersama kita”
(QS. At-Taubah: 40)

“Takutlah kepada Allah dimana saja kamu berada”
(HR. Tirmidzi)

“Barang siapa yang beriman kepada Allah dan hari akhir, maka hendaknya dia berkata baik atau diam”
(HR. Bukhori Muslim)

Persembahan

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan mengucap rasa syukur kepada Allah Swt. yang telah memberikan rahmat, nikmat, hidayah, dan ridho-Nya sehingga saya dapat menjalani kehidupan ini dengan baik dan penuh berkah.

Shalawat beriring salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad saw. yang dinantikan syafaatnya di yaumul akhir.

Kupersembahkan karya ini untuk :

Orang tua yang paling berharga dalam hidup saya Bapak Qoharuddin Suhada Salam dan Ibu Diny Saidah yang telah memberikan kasih sayang, dukungan, motivasi, dan doa yang dipanjatkan dalam mengiringi setiap perjalanan hidup yang saya lalui;

Bapak dan Ibu dosen yang telah dengan sabar dan ikhlas dalam menyampaikan dan memberikan ilmu yang bermanfaat untuk saya yang insya Allah akan menjadi amal jariyah,

Seluruh sahabat yang telah menemani dan berjuang dari awal, saat ini, dan seterusnya dalam setiap perjalanan hidup saya;

serta

Almamaterku tercinta yang menjadi kebanggaan saya dimanapun saya berada,
Universitas Lampung

SANWACANA

Alhamdulillah *rabbil'Alamin*, puji syukur kepada Allah Subhanahu wa ta'ala atas rahmat dan karunia-Nya yang telah memberikan kemampuan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi dengan judul “**Deteksi dan Karakterisasi Molekuler Gen *TrAP* dan *Rep* Begomovirus Pada Tanaman Solanaceae Di Kotamadya Bandar Lampung, Kabupaten Pringsewu, dan Kabupaten Lampung Selatan**” yang dibuat sebagai bentuk pertanggungjawaban penulis selama menempuh pendidikan S1 dan merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si.) di Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, kritik, saran, dan dukungan, serta doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terimakasih kepada :

1. Prof. Dr. Karomani, M.Si., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
3. Dr. Mahfut, S.Si., M.Sc., selaku Dosen pembimbing utama dan pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan, saran, dan dukungan selama proses penelitian hingga penulisan skripsi.
4. Dr. Sri Wahyuningsih, M.Si., selaku Dosen pembimbing kedua yang telah dengan ikhlas dalam memberikan bimbingan dan saran dalam penulisan skripsi.
5. Drs. Suratman, M.Sc., selaku Dosen penguji utama yang telah memberikan bimbingan, kritik, dan saran dalam penulisan skripsi.

6. Selvi Helina, S.P., M.Sc., Dosen yang telah dengan ikhlas dan penuh kesabaran dalam memberikan bimbingan, saran, dan dukungan dalam proses penelitian.
7. Dr. Jani Master, S.Si., M.Si., selaku Ketua Jurusan Biologi FMIPA Universitas Lampung.
8. Dr. Kusuma Handayani, S.Si., M.Si. selaku Ketua Program Studi S1 Biologi, Jurusan Biologi FMIPA Universitas Lampung.
9. Sahabatku tersayang, Khoirunisa, Nurul Fadhillah, Yulia Rahma Syari, Desma Ramadhina Putri, yang selalu ada dalam memberikan dukungan, doa, dan semangat untuk penulis di setiap harinya.
10. Sahabatku terkasih, Qoonitah Salma Putri Wardana, Shaquina Harsya Amadea, dan Khalisa Zalfa Salsabilla yang selalu memberikan dukungan, motivasi dan doa kepada penulis.
11. Teman-temanku tersayang, Yeni Mitasari, Rizka Dewi Yuliana, Derlian Ella Tamara, Ristia Agustiana, Vira Resti Abdalla, Masnoni Firda Safira, Nurul Insani, Tiffany Nurya Safitri, dan Ulfah Astriani, yang selalu memberikan dukungan, motivasi, dan doa kepada penulis.
12. Semua teman-teman satu angkatan Biologi 2018 yang sampai telah berjuang bersama dan selalu memotivasi dalam masa perkuliahan.

Semoga Allah Swt. memberikan keberkahan dan membalas kebaikan kepada semua pihak yang telah membantu penulis. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyajian skripsi ini, oleh karena itu penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dari berbagai pihak. Penulis juga berharap skripsi ini dapat memberikan informasi ilmu yang bermanfaat.

Bandar Lampung, 04 Agustus 2022

Lulu Anbiya

DAFTAR ISI

	Halaman
SAMPUL DEPAN	i
ABSTRAK	ii
HALAMAN JUDUL DALAM	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	4
1.3. Manfaat Penelitian	4
1.4. Kerangka Teori	5
1.5. Hipotesis	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Tanaman Solanaceae.....	7
2.1.1. Cabai.....	7
2.1.2. Terung.....	9
2.1.3. Tomat.....	11

2.2. Begomovirus	13
2.3. Gen <i>TrAP</i> dan <i>Rep</i>	17
2.4. Deteksi Molekuler Virus	18
2.5. <i>Polymerase Chain Reaction</i> (PCR)	19
III. METODE PENELITIAN	22
3.1. Waktu dan Tempat	22
3.2. Alat dan Bahan	22
3.3. Bagan Alir Penelitian	23
3.4. Prosedur Penelitian	24
3.4.1. Pengambilan Sampel	24
3.4.2. Ekstraksi DNA Sampel	24
3.4.3. Uji Kuantitatif Ekstraksi DNA	26
3.4.4. Amplifikasi DNA dengan <i>Polymerase Chain Reaction</i> (PCR)	26
3.4.5. Visualisasi Hasil PCR dengan Elektroforesis	27
3.4.6. Sekuensing	28
3.4.7. Analisis Data	28
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1. Hasil Penelitian	29
4.1.1. Survei dan Koleksi Sampel	29
4.1.2. Gejala di Lapangan	30
4.1.3. Uji Kuantitatif Hasil Ekstraksi DNA	33
4.1.4. Amplifikasi DNA dengan <i>Polymerase Chain Reaction</i> (PCR)	33
4.1.5. Analisis Filogenetik	34
4.2. Pembahasan	41
V. KESIMPULAN	48
5.1. Kesimpulan	48
5.2. Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Sekuen Nukleotida Primer yang Digunakan dalam Reaksi PCR.....	26
2. Komposisi Reaktan PCR untuk Satu Kali Reaksi Amplifikasi DNA Genom Virus	27
3. Optimasi Suhu dan Waktu untuk Reaksi PCR.....	27
4. Deskripsi Gejala Infeksi Begomovirus yang Ditemukan pada Tanaman Solanaceae Di Kotamadya Bandar Lampung, Kabupaten Pringsewu, dan Kabupaten Lampung Selatan	32
5. Nilai Absorbansi Keempat Sampel Hasil Uji Kuantitatif Kemurnian DNA	33
6. Isolat-Isolat Virus yang Dibandingkan dengan Sampel Ca1, Te1, dan To1 untuk Analisis Filogenetik	37
7. Urutan Mutasi Titik Sekuen Gen <i>Trap</i> dan <i>Rep</i> serta Asam Amino yang Berubah pada Sampel Ca1, Te1, dan To1 yang Terinfeksi Begomovirus	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Morfologi Tanaman Cabai Merah dan Cabai Rawit.....	9
2. Morfologi Tanaman Terung (<i>Solanum melongena</i> L.)	10
3. Morfologi Tanaman Tomat (<i>Solanum lycopersicum</i> L.).....	12
4. Genom Begomovirus	13
5. Variasi Gejala Infeksi Begomovirus pada Tanaman Solanaceae yang Diduga Terinfeksi Begomovirus di Indonesia	14
6. Vektor Begomovirus (<i>Bemisia tabaci</i> Genn.).....	15
7. Peta Persebaran Begomovirus pada Tanaman Solanaceae yang Menginfeksi Cabai Rawit di Indonesia	17
8. Bagan Alir Penelitian	23
9. Peta Pengambilan Sampel Tanaman Solanaceae	30
10. Variasi Gejala pada Tanaman Solanaceae yang Diduga Terinfeksi oleh Begomovirus di Kotamadya Bandar Lampung, Kabupaten Pringsewu, dan Kabupaten Lampung Selatan.....	31
11. Visualisasi Hasil Amplifikasi Gen <i>TrAP</i> dan <i>Rep</i>	34
12. Sekuen nukleotida Cabai Merah (Ca1), Terung (Te1), dan Tomat (To1)	35
13. Hasil Pencarian Sekuen Homolog pada Sampel Te1	36
14. Hasil Alignment Sekuen Nukleotida yang Mengalami Mutasi.....	38
15. Pohon Filogenetik Isolat Begomovirus Menggunakan 1000 Kali <i>Bootstrap</i>	41

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bidang pertanian merupakan salah satu sektor penting penunjang kebutuhan pangan di Indonesia. Salah satu tanaman yang sering dibudidayakan menjadi komoditas sayuran yang bernilai ekonomis tinggi adalah Solanaceae. Beberapa tanaman yang termasuk dalam familia Solanaceae yaitu cabai merah (*Capsicum annuum* L.), cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.), terung (*Solanum melongena* L.), dan tomat (*Solanum lycopersicum* L.) (Pracaya, 1993). Chairunnisa (2011) menyatakan bahwa kebutuhan tanaman familia Solanaceae semakin meningkat dan akan berpengaruh terhadap perkembangan budidaya tanaman tersebut.

Upaya pembudidayaan tanaman Solanaceae tidak terlepas dari infeksi patogen yang menyebabkan penyakit. Salah satu kendala yang dihadapi oleh petani dalam proses budidaya adalah gangguan Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) yaitu hama dan penyakit. Virus dapat menjadi penyebab penyakit pada tanaman Solanaceae (Ardiansyah, 2013). Virus yang menyerang tanaman Solanaceae biasanya virus mosaik seperti *Cucumber Mosaic Virus* (CMV) dan *Tobacco Mosaic Virus* (TMV) (Semangun, 2008). Selain itu, Begomovirus merupakan kelompok virus dari familia Geminiviridae dapat menyebabkan penyakit pada beberapa komoditas hortikultura seperti tanaman Solanaceae di berbagai daerah tropis maupun subtropis. Tanaman Solanaceae yang telah terinfeksi Begomovirus akan memiliki daun yang menguning dan mengeriting, kerdil, dan bunga rontok sehingga tidak dapat menghasilkan buah ataupun memiliki sedikit buah (Sumardiyono dkk., 2003). Di Indonesia dilaporkan beberapa tanaman

hortikultura yang terinfeksi Begomovirus oleh *Pepper Yellow Leaf Curl Virus* (PYLCV) yang terjadi hampir mencapai 100% di sentra produksi cabai terutama di Pulau Jawa pada tahun 2000 sampai 2003 serta *Tomato Yellow Leaf Curl Virus* (TYLCV) mencapai 50-70% di Jawa Barat dan Jawa Tengah (Sulandari dkk., 2006).

Begomovirus berpotensi menghambat produksi tanaman Solanaceae sehingga memerlukan suatu prosedur untuk mendeteksi adanya Begomovirus yang menginfeksi tanaman Solanaceae. Analisis molekuler terhadap Begomovirus yang menginfeksi tanaman Solanaceae perlu dilakukan sebagai informasi awal dalam upaya pengendalian virus tersebut. Metode yang umum digunakan untuk mendeteksi infeksi Begomovirus yaitu *Polymerase Chain Reaction* (PCR). Saat ini, teknik PCR telah berkembang pesat dalam mendeteksi virus yang menginfeksi tanaman. Deteksi virus yang dilakukan dengan PCR memberikan hasil yang cepat dan akurat. Teknik PCR hanya membutuhkan sampel dengan jumlah yang sedikit berupa bahan segar, sudah dikeringkan atau beku (Sulandari, 2004). Seperti yang telah dilakukan oleh Kintasari (2013) yang berhasil mengidentifikasi *Tomato Yellow Leaf Curl Kanchanaburi Virus* dengan menggunakan primer SPG1/SPG2 pada tanaman terung.

Salah satu serangga yang menjadi vektor Begomovirus pada tanaman Solanaceae adalah kutu kebul (*Bemisia tabaci* Genn.). Menurut Orlando dan Silberschmidt (1946) adanya kutu kebul yang terdapat pada komoditas sayuran dapat berperan sebagai vektor penyakit virus kuning yang merusak secara langsung. Hadiastono (2012) menyatakan bahwa pada tahun 1994 dan 1999 penyebaran kutu kebul berasal dari Thailand bagian tengah menyebar ke beberapa kepulauan Indonesia yaitu Sumatera, kemudian ke Jawa dan Bali disertai dengan infeksi Begomovirus yaitu *Pepper Yellow Leaf Curl Virus*.

Kintasari dkk. (2013) menunjukkan bahwa tanaman terung yang terinfeksi Begomovirus dalam analisis hubungan kekerabatan Begomovirus memiliki kemiripan dengan *Tomato Yellow Leaf Curl Kanchanaburi Virus* (TYLCKaV) yang berasal dari Thailand, Taiwan, dan Vietnam yang menginfeksi tanaman terung dan tomat. Empat isolat sampel yang berasal dari Pati, Rembang, Bogor, dan Bantul memiliki kemiripan yang sangat tinggi (>98%) dengan TYLCKaV sedangkan isolat asal Bandung memiliki kemiripan yang lebih rendah dengan TYLCKaV yaitu 94.2%. Selanjutnya Trisno dkk. (2010) menunjukkan adanya homologi asam amino dan nukleotida yang tinggi antara Begomovirus yang menginfeksi isolat Padang dengan *Pepper Yellow Leaf Curl Indonesia Virus* (PYLCIV) dari tanaman tomat, cabai, dan bandotan (*Ageratum conyzoides*) isolat dari Jawa Barat dengan nilai secara berturut-turut 94%, 93% dan 93% untuk asam amino dan 95%, 95% dan 94% untuk nukleotida. Berdasarkan hasil analisis sekuen asam amino dan nukleotida TYLCV isolat Magelang, Jawa Tengah berkerabat dekat dengan TYLCV isolat dari Thailand karena homologi asam amino dan nukleotida yang identik mencapai 91% (Hartono, 2008).

Penelitian mengenai deteksi dan karakterisasi molekuler gen *TrAP* dan *Rep* Begomovirus pada tanaman Solanaceae di Kotamadya Bandar Lampung, Kabupaten Pringsewu, dan Kabupaten Lampung Selatan belum pernah dilakukan sehingga informasi mengenai infeksi Begomovirus ini masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini sangat penting dilakukan untuk memberikan informasi tentang keberadaan Begomovirus yang menginfeksi tanaman Solanaceae di Kotamadya Bandar Lampung, Kabupaten Pringsewu, dan Kabupaten Lampung Selatan. Selanjutnya juga untuk mengetahui kekerabatan isolat Begomovirus asal Kotamadya Bandar Lampung, Kabupaten Pringsewu, dan Kabupaten Lampung Selatan dengan daerah lain. Hasil penelitian ini sangat bermanfaat dalam upaya pencegahan penyebaran dan pengembangan metode pengendalian infeksi Begomovirus di Kotamadya Bandar Lampung, Kabupaten Pringsewu, dan Kabupaten Lampung Selatan.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendeteksi keberadaan Begomovirus pada tanaman Solanaceae di Kotamadya Bandar Lampung, Kabupaten Pringsewu, dan Kabupaten Lampung Selatan.
2. Mengetahui karakteristik molekuler gen *TrAP* dan *Rep* pada Begomovirus yang menginfeksi tanaman Solanaceae di Kotamadya Bandar Lampung, Kabupaten Pringsewu, dan Kabupaten Lampung Selatan.
3. Menganalisis hubungan kekerabatan Begomovirus yang menginfeksi tanaman Solanaceae di Kotamadya Bandar Lampung, Kabupaten Pringsewu, dan Kabupaten Lampung Selatan dengan isolat Begomovirus asal negara lain berdasarkan sekuen gen *TrAP* dan *Rep*.

1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat dimanfaatkan sebagai referensi penelitian lebih lanjut mengenai Begomovirus yang menginfeksi tanaman Solanaceae di Kotamadya Bandar Lampung, Kabupaten Pringsewu, dan Kabupaten Lampung Selatan.
2. Dapat memberikan informasi untuk membantu petani dalam memberikan upaya pencegahan adanya infeksi tanaman Solanaceae di Kotamadya Bandar Lampung, Kabupaten Pringsewu, dan Kabupaten Lampung Selatan.

1.4. Kerangka Teori

Tanaman Solanaceae seperti cabai merah (*Capsicum annuum* L.), cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.), terung (*Solanum melongena* L.), dan tomat (*Solanum lycopersicum* L.) merupakan tanaman yang memiliki berbagai manfaat. Selain digunakan sebagai sayuran, tanaman Solanaceae juga dapat digunakan sebagai tanaman obat. Dalam pembudidayaannya sering ditemukan berbagai kendala. Hal tersebut dapat membuat petani di Indonesia mengalami gagal panen dan mengalami kerugian. Tanaman Solanaceae dapat terinfeksi Begomovirus yang dapat menjadikan tanaman ini memiliki daun yang menguning dan mengeriting. Hal ini juga menyebabkan tanaman menjadi kerdil dan menghasilkan buah yang sedikit. Begomovirus menginfeksi tanaman Solanaceae melalui vektor serangga kutu kebul (*Bemisia tabaci* Genn.). Deteksi Begomovirus hanya dengan melihat gejala morfologinya saja tidak dapat memberikan hasil yang akurat karena Begomovirus memiliki gejala yang hampir sama dengan penyakit akibat virus lainnya.

Deteksi yang lebih akurat dapat dilakukan dengan mendeteksi infeksi Begomovirus melalui amplifikasi gen *TrAP* dan *Rep* menggunakan PCR dengan primer universal Begomovirus SPG 1 dan SPG 2. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui keberadaan dan juga karakterisasi tanaman Solanaceae yang dikoleksi dari tanaman yang memiliki gejala terinfeksi Begomovirus, serta menganalisis hubungan kekerabatan gen *TrAP* dan *Rep* Begomovirus yang menginfeksi tanaman Solanaceae di Kotamadya Bandar Lampung, Kabupaten Pringsewu, dan Kabupaten Lampung Selatan dengan isolat dari daerah lain. Amplifikasi genom Begomovirus akan diperoleh pita DNA sekitar ± 912 bp. Urutan nukleotida dari tahapan sekuensing DNA kemudian diidentifikasi dengan menggunakan BLAST dan dilanjutkan dengan analisis filogenetik. Penelitian ini dapat digunakan untuk membantu petani dalam memberikan upaya pencegahan adanya infeksi tanaman Solanaceae di Lampung.

1.5. Hipotesis

Hipotesis pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Begomovirus dideteksi menginfeksi tanaman Solanaceae di Kotamadya Bandar Lampung, Kabupaten Pringsewu, dan Kabupaten Lampung Selatan.
2. Hasil sekuensing gen *TrAP* dan *Rep* Begomovirus yang menginfeksi tanaman Solanaceae di Kotamadya Bandar Lampung, Kabupaten Pringsewu, dan Kabupaten Lampung Selatan menunjukkan pita spesifik berukuran ± 912 bp.
3. Begomovirus yang menginfeksi tanaman Solanaceae di Kotamadya Bandar Lampung, Kabupaten Pringsewu, dan Kabupaten Lampung Selatan memiliki hubungan kekerabatan yang dekat dengan isolat Begomovirus asal negara lain berdasarkan sekuen gen *TrAP* dan *Rep*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanaman Solanaceae

Solanaceae atau suku terung-terungan merupakan salah satu familia tumbuhan berbunga yang terdiri dari 83 genus dengan 2.925 spesies (Adedeji, 2007). Umumnya, tanaman Solanaceae herba atau berkayu, tegak atau memanjat, dan memiliki pohon yang besar. Di antaranya seperti cabai merah (*Capsicum annum* L.), cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.), terung (*Solanum melongena* L.), dan tomat (*Solanum lycopersicum* L.). Solanaceae memiliki daun tunggal sampai majemuk yang berlekuk, duduk daunnya tersebar tanpa daun penumpu. Solanaceae memiliki dua kelamin atau biasa disebut bunga banci, kelopak berlekatan begitu juga dengan mahkota. Solanaceae memiliki buah yang berdaging dan mahkota berbentuk bintang, terompet atau corong, benang sari umumnya lima dan semuanya tertanam pada mahkota (Husnudin dkk., 2015).

2.1.1. Cabai

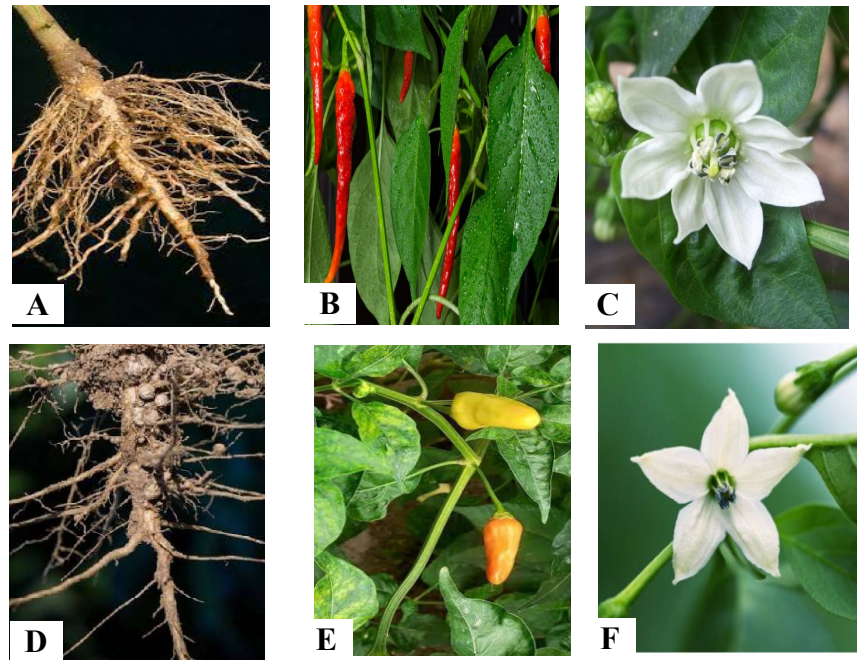
Cabai merupakan tanaman perdu dari familia Solanaceae dengan nama genus *Capsicum*. Cabai mengandung capsaicin, zat warna capsantin, dihidrokapsaisin, vitamin A, vitamin C, karoten, capsarubin, zeasantin, kriptosantin, dan lutein. Selain itu cabai juga mengandung mineral, seperti niasin, zat besi, fosfor, kalium, dan kalsium. Zat aktif capsaicin dapat mengakibatkan stimulan yang akan menimbulkan rasa terbakar di mulut dan keluarnya air mata jika dikonsumsi berlebihan. Capsaicin pada cabai memberikan kehangatan panas dan rasa pedas sehingga sangat cocok digunakan

sebagai rempah-rempah ataupun obat herbal (Dermawan dan Harpenas, 2010). Secara lengkap klasifikasi tanaman cabai menurut Cronquist (1981) adalah sebagai berikut:

Regnum : Plantae
Divisio : Magnoliophyta
Class : Magnoliopsida
Order : Solanales
Family : Solanaceae
Genus : *Capsicum*

Anggota tanaman cabai yang paling banyak dibudidayakan adalah cabai merah dan cabai rawit. Cabai merah memiliki tinggi pohon sekitar 50 cm. Batang tanaman cabai merah memiliki banyak cabang. Daun cabai merah berwarna hijau, bunga berwarna putih dengan bentuk terompet. Buah cabai merah berwarna hijau tua jika masih muda dan berwarna merah jika sudah masak. Ukuran cabai rawit sedikit lebih kecil jika dibandingkan dengan cabai merah (Eriawati, 2015).

Tanaman cabai rawit merupakan tanaman perdu dengan akar tunggang yang kuat dan bercabang (Djarwaningsih, 2005). Daun cabai rawit memiliki bentuk bulat telur memanjang dengan ujung meruncing. Bunga cabai rawit terletak pada ketiak daun (Undang dkk., 2015). Cabai rawit memiliki buah yang berbentuk bulat telur memanjang, warna buah cabai rawit yang sudah masak berwarna jingga hingga merah dengan bentuk biji bulat pipih dan tersusun berkelompok (Faizah, 2010). Secara lengkap morfologi tanaman cabai ditampilkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Morfologi Tanaman Cabai Merah dan Cabai Rawit.
 A. Akar, B. Daun, batang, dan buah, dan C. Bunga, D. Akar, E. Daun, batang, dan buah, dan F. Bunga. A, B, dan C pada cabai merah, D, E, dan F pada cabai rawit (Elfriedwan, 2020)

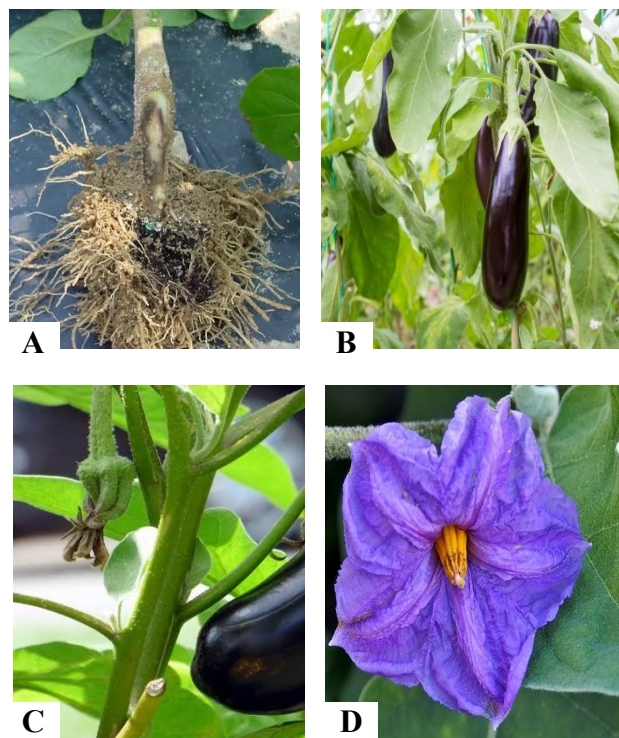
2.1.2. Terung

Terung memiliki kadar kalori yang rendah, lemak, sodium, dan buah non pati yang dapat diolah sebagai sayuran. Terung memiliki kadar air tinggi yang baik untuk menyeimbangkan diet yang kaya akan protein dan pati. Jenis sayur ini tinggi akan kandungan serat, potasium, magnesium, asam folat, vitamin B6, dan vitamin A (*Directorate Plant Production, 2011*). Klasifikasi tanaman terung menurut Cronquist (1981) adalah sebagai berikut:

Regnum	: Plantae
Divisio	: Magnoliophyta
Classis	: Magnoliopsida
Ordo	: Solanales
Familia	: Solanaceae
Genus	: <i>Solanum</i>
Species	: <i>Solanum melongena</i> L.

Tanaman terung merupakan tanaman dikotil, berakar tunggang, dan berbentuk perdu. Terung memiliki batang berbentuk bulat, berukuran pendek dan tegak dengan tinggi 50-150 cm. Batangnya berkayu dan memiliki cabang, tetapi tidak kokoh sehingga saat berbuah lebat diperlukan suatu alat penegak yang terbuat dari batang bambu untuk menyangga tanaman. Batang berwarna hijau saat masih muda dan tidak berbulu. Daun tanaman terung berbentuk bulat panjang dan meruncing pada bagian ujungnya. Bunga tanaman terung berwarna putih lembayung atau ungu yang berdiri tegak pada ketiak daun. Bunga tanaman terung memiliki 5-6 helai kelopak bunga yang menyerupai bintang. Buah terung berwarna hijau keputihan atau ungu, bergantung pada jenisnya saat masih muda dan semakin cerah warna buah saat sudah tua. Buah terung berdaging dengan warna putih dan memiliki banyak biji (Nuraini, 2011). Secara lengkap morfologi tanaman terung ditampilkan pada

Gambar 2.



Gambar 2. Morfologi Tanaman Terung (*Solanum melongena* L.). A. Akar, B. Daun dan buah, C. Batang, serta E. Bunga (Mendy, 2020)

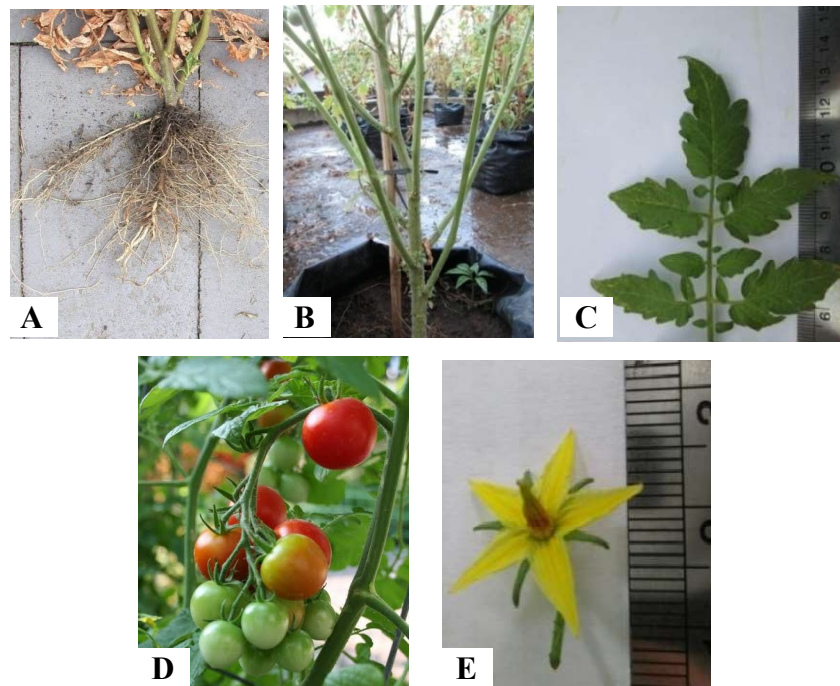
2.1.3. Tomat

Tomat sangat bermanfaat bagi tubuh, karena mengandung vitamin dan mineral yang diperlukan untuk pertumbuhan dan kesehatan. Buah tomat juga mengandung zat pembangun jaringan tubuh manusia dan zat yang dapat meningkatkan energi untuk bergerak dan berpikir, yakni karbohidrat, protein, lemak, dan kalori. Buah tomat juga mengandung serat yang berfungsi memperlancar proses pencernaan makanan dalam perut. Selain itu buah tomat juga mengandung potasium yang sangat bermanfaat untuk menurunkan gejala tekanan darah tinggi (Cahyono, 2008). Secara lengkap klasifikasi tanaman tomat menurut Cronquist (1981) adalah sebagai berikut:

Regnum	: Plantae
Divisio	: Magnoliophyta
Classis	: Magnoliopsida
Ordo	: Solanales
Familia	: Solanaceae
Genus	: <i>Solanum</i>
Species	: <i>Solanum lycopersicum</i> L.

Tanaman berakar tunggang, memiliki cabang yang berwarna keputihan disertai baunya yang khas dengan sistem perakaran yang dangkal yaitu 30-70 cm. Akar utama banyak menghasilkan akar adventif dan lateral yang padat (Pitojo, 2005). Daun tomat memiliki anak daun dan daun tumbuh berselang-seling yang akan membentuk daun majemuk pada batang tanaman dengan tipe helaian daun menyirip. Daun berwarna hijau dan berbulu yang tumbuh di dekat dahan atau cabang. Batang tomat berwarna hijau dan berbentuk bulat segi empat yang memiliki banyak cabang. Batang tomat memiliki ciri khas yaitu ditumbuhi bulu halus di seluruh permukaannya. (Bernardinus dan Wiryanta, 2002).

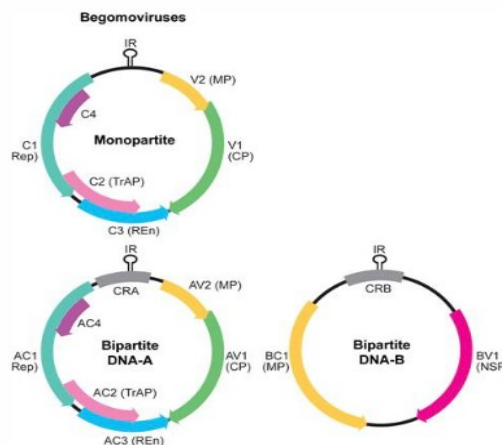
Tomat memiliki warna buah yang bervariasi seperti kuning, orange, dan merah sesuai dengan pigmen yang dominan. Buah tomat memiliki warna hijau dan keras saat masih muda, kemudian setelah tua buah akan berwarna merah muda, merah ataupun kuning mengkilat dan lunak. Buah tomat memiliki diameter antara 4-15 cm, panjang 3-5 mm, lebar 2-4 mm, dan memiliki rasa yang beragam seperti asam hingga asam kemanisan. Buah tomat berdaging dan banyak mengandung air, didalamnya terdapat biji yang memiliki bentuk pipih berwarna coklat kekuningan. Biji tomat diselubungi dengan daging buah dan saling melekat, tersusun berkelompok dengan dibatasi daging buah. Jumlah biji tomat setiap buah sangat bervariasi, sekitar 200 biji per buah (Nyoman, 2016). Secara lengkap morfologi tanaman tomat ditampilkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Morfologi Tanaman Tomat (*Solanum lycopersicum* L.).
A. Akar, B. Batang, C. Daun, D. Buah, dan E. Bunga
(Mendy, 2020)

2.2. Begomovirus

Begomovirus merupakan genus terbesar yang berasal dari familia Geminiviridae (King *et al.*, 2011). Terdapat 388 spesies pada genus Begomovirus yang telah terdaftar dalam *International Committee on Taxonomy of Viruses* (ICTV). Selain genus terbesar dalam familia Geminiviridae, Begomovirus juga genus terbesar dalam seluruh taksonomi virus tanaman (Brown *et al.*, 2015). Begomovirus terdiri dari virus dengan genom bipartite yang memiliki dua komponen DNA yaitu DNA-A dan DNA-B dengan ukuran kurang lebih 2,5 hingga 3,0 kb (Fauquet *et al.*, 2003; Varma and Malathi, 2003) maupun monopartite yang hanya memiliki satu genom yang mirip dengan DNA-A (Briddon *et al.*, 2010). Genom Begomovirus ditampilkan pada **Gambar 4**.

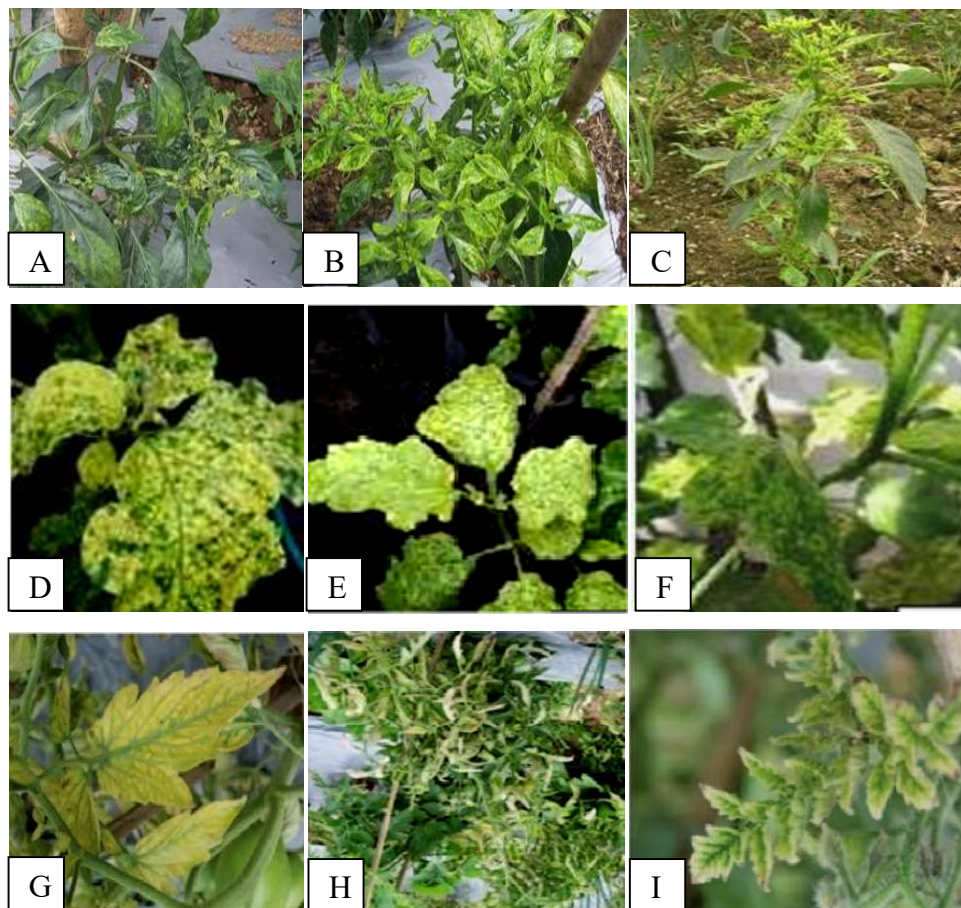


Gambar 4. Genom Begomovirus (Hanley *et al.*, 2000)

Gejala pada tanaman Solanaceae yang terinfeksi Begomovirus ditemukan di beberapa sentra produksi pertanian di Indonesia, terutama di pulau Jawa dan Sumatera yang memiliki tingkat keparahan tinggi (Sulandari dkk., 2006). Begomovirus menginfeksi tanaman muda dari daun muda maupun pucuk sehingga tanaman tidak dapat berproduksi sama sekali dan menyebabkan tanaman menjadi kerdil. Begomovirus yang menginfeksi tanaman menunjukkan gejala klorosis pada daun, tepi daun menggulung, daun keriting dan menguning serta tanaman menjadi kerdil. Gejala infeksi virus

berupa daun menjadi kaku dan ketika diremas akan pecah seperti kerupuk sehingga disebut penyakit kerupuk (Trisno dkk., 2014).

Variasi gejala infeksi Begomovirus pada tanaman Solanaceae tersebut ditampilkan pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Variasi Gejala Infeksi Begomovirus pada Tanaman Solanaceae Yang Diduga Terinfeksi Begomovirus di Indonesia. (A) daun tanaman cabai menguning dan mengecil, (B) tepi daun tanaman cabai menggulung ke atas seperti mangkuk, (C) tanaman cabai kerdil, daun kecil, dan menguning (Trisno dkk., 2010). (D) daun tanaman terung menguning dan mosaik, (E) daun tanaman terung mengecil, (F) tepi daun tanaman terung menggulung ke bawah (Lavenia dan Kuswanto, 2021), (G) daun tanaman tomat menguning, (H) daun tanaman tomat menguning dan keriting, dan (I) tepi daun tanaman tomat menggulung ke atas seperti mangkuk (Kusmaningrum, 2015).

Begomovirus merupakan kelompok terbesar yang dapat menyebabkan penyakit pada tanaman. Perkembangan penyakit ini sangat cepat karena penyebaran virus juga sangat cepat. Begomovirus tersebar luas dengan sangat cepat dan tidak luput dari peran serangga vektor yaitu kutu kebul (*Bemisia tabaci* Genn.). Vektor ini memiliki daerah penyebaran yang luas terutama di daerah tropik dan sub tropik, termasuk Indonesia (Hidayat, 2006). Kutu kebul memiliki inang sekitar 600 spesies tanaman dari golongan beberapa gulma, dikotil, dan monokotil. Hubungan Begomovirus dengan kutu kebul bersifat persisten yaitu tidak mengalami replikasi dalam tubuh vektor dan tidak akan ditularkan ke generasi berikutnya (Aidawati *et al.*, 2002).

Sulandari dkk. (2001) menyatakan bahwa keberadaan serangga vektor kutu kebul yang memiliki kisaran inang yang luas ini memungkinkan perkembangan penyakit sangat cepat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Begomovirus hanya ditularkan oleh serangga vektor kutu kebul, tidak dapat ditularkan melalui benih dan secara mekanik. Vektor Begomovirus ditampilkan pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Vektor Begomovirus (*Bemisia tabaci* Genn.) (Trisno dkk., 2014)

Begomovirus merupakan jenis virus yang membutuhkan vektor dalam penyebarannya. Vektor utama virus ini berupa kutu kebul atau kutu putih serangga berukuran kecil yang bersifat polifagus karena memiliki kisaran inang yang luas seperti cabai, terung, tomat, dan gulma. Kondisi lingkungan yang kering dan panas sesuai dengan perkembangan populasi kutu kebul, sedangkan curah hujan yang tinggi dapat menurunkan populasinya dengan

cepat. Kutu kebul aktif di siang hari dan di malam hari. Daun tanaman Solanaceae yang terserang kutu kebul akan terdapat embun tepung berwarna putih di bawah permukaan daun yang merupakan hasil dari sekresi serangga (Hasyim dkk., 2016).

Berdasarkan lamanya vektor dalam mempertahankan virus, vektor dapat dibedakan menjadi nonpersisten, semi persisten dan persisten. Nonpersisten yaitu kemampuan vektor menularkan virus yang akan hilang dalam beberapa menit atau kurang dari 10 jam. Semi persisten yaitu kemampuan vektor menularkan virus yang akan hilang dalam waktu 10-100 jam. Dan persisten yaitu kemampuan vektor dapat menularkan virus yang tersimpan dalam tubuhnya selama vektor tersebut hidup. Vektor nonpersisten mempertahankan virus pada ujung stilet sehingga yang disebut dengan *stylet-borne* sedangkan virus dipertahankan pada saluran pencernaan disebut dengan *foregut-borne* (Jones, 2003).

Perkembangan secara luas dan cepat dari serangan Begomovirus pada salah satu tanaman Solanaceae yaitu pertanaman cabai di Indonesia. Epidemio infeksi Begomovirus yang terjadi pada tahun 2003 di beberapa sentra pertanaman cabai di Indonesia dengan luas infeksi sekitar 6,2-60 ha, terutama di Pulau Jawa yaitu Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Yogyakarta. Meskipun luas area pertanaman cabai di Indonesia yang mencapai 200.000 ha sehingga kondisi ini masih relatif kecil. Tahun 2008 infeksi Begomovirus meluas, seperti di Jawa Tengah mencapai 575 ha terutama di daerah Magelang, diikuti Aceh (334 ha), Lampung (274 ha), dan Yogyakarta (240 ha) (Hidayat, 2003). Saat ini Begomovirus telah menginfeksi pertanaman cabai di hampir seluruh sentra pertanaman produksi di Indonesia dengan tingkat persentase insiden yang beragam. Peta persebaran Begomovirus pada tanaman Solanaceae yang menginfeksi cabai di Indonesia ditampilkan pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Peta Persebaran Begomovirus pada Tanaman Solanaceae yang Menginfeksi Cabai di Indonesia.

2.3. Gen *TrAP* dan *Rep*

Protein yang berhubungan dengan replikasi yaitu *Replication Associated Protein (Rep)* merupakan protein yang hanya terlibat dalam proses replikasi virus (Desbiez *et al.*, 1995). Protein untuk aktivasi transkripsi yaitu *Transcriptional Activator Protein (TrAP)* merupakan protein yang terlibat dalam pengaktifan transkripsi dari promotor protein selubung. Protein ini ditemukan terlokalisasi pada inti dan berperan dalam patogenesis virus (Wezel *et al.*, 2001).

Gen *Rep* merupakan gen pengkode protein replikasi yang multifungsional yaitu terlokalisasi dengan nukleus, memiliki sisi pengenalan DNA spesifik, memiliki sisi endonuklease spesifik dan aktivitas ligasi untuk pita positif (+) viral DNA, memiliki aktivitas ATP/GTPase, mengaktifkan promotor untuk gen mRNA selubung protein, dapat menekan promotornya sendiri, dapat menstimulasi ekspresi perkembangan antigen inti sel, serta berinteraksi dengan protein retinoblastoma (Hull, 2002).

2.4. Deteksi Molekuler Virus

Penelitian berbasis genetika molekuler semakin berkembang setiap tahunnya. Sejak penemuan *Deoxyribonucleic acid* (DNA) heliks ganda dari Watson-Crik, para peneliti semakin memperluas studi baru di bidang genetika molekuler, di antara dengan penemuan-penemuan enzim restriksi, teknik manipulasi gen, dan rekayasa genetika, perkembangan kultur sel terutama kultur *stem cell*, pembuatan hewan transgenik untuk lebih memperdalam fungsi dari suatu sel (Fatchiyah, 2012).

Deteksi jenis dan ciri-ciri patogen termasuk virus, merupakan langkah awal yang sangat menentukan keberhasilan usaha pengelolaan penyakit yang efektif, aman, dan efisien. Beberapa metode yang dapat digunakan dalam deteksi virus, di antaranya yaitu secara morfologi, serodiagnosis, serta molekuler. Deteksi secara molekuler telah banyak dikembangkan dalam mendeteksi virus, yaitu dengan teknik *Polymerase chain reaction* (PCR) dengan hasil yang cepat dan akurat. PCR untuk mendeteksi Begomovirus telah banyak dilakukan dengan menggunakan primer SPG1 dan SPG 2 yang dapat mengamplifikasi gen *TrAP* dan *Rep* virus tersebut (Li *et al.*, 2004).

Keberhasilan pengendalian penyakit tanaman sangat ditentukan oleh keberhasilan mendiagnosis penyakit secara cepat dan akurat. Tahapan kegiatan diagnosis meliputi deteksi dan deteksi patogen secara lengkap mencakup faktor-faktor biologis dan non biologis. Sebelumnya, diagnosis penyakit dan deteksi penyakit tanaman berdasarkan gejala, pengamatan morfologi, serta reaksi fisiologi, dan biokimia. Teknik konvensional memerlukan waktu lama (2-4 minggu), banyak bahan kimia, mahal, dan kepekaannya rendah (Thomas *et al.*, 1989). Teknik molekuler seperti PCR cepat, akurat, dan peka, tetapi bahan kimianya harus diimpor dengan harga mahal, dan tidak dapat diadopsi oleh semua laboratorium atau digunakan langsung di lapang, sehingga tidak efisien. *Enzyme-Linked Immunosorbent Assay* (ELISA) merupakan teknik serologi canggih yang menjanjikan untuk deteksi dan deteksi patogen tumbuhan (Seal and Elpninstone 1994,

Converse and Martin 1990). Teknik ini mudah dilakukan karena:

- 1) Menggunakan bahan kimia yang efisien dengan 1 ml antiserum untuk menguji 10-20 ribu sampel;
- 2) Bahan kimia tidak berbahaya untuk digunakan sehingga memiliki daya simpan yang lama;
- 3) Bahan uji yang digunakan berupa ekstrak tanaman tanpa harus mengisolasi patogennya terlebih dahulu;
- 4) Memiliki kepekaan deteksi yang tinggi;
- 5) Prosedurnya cepat dan relatif sederhana;
- 6) Hasilnya berupa data kuantitas;
- 7) Dapat digunakan untuk menguji sampel dalam jumlah yang besar; dan
- 8) Dapat dilakukan secara langsung di lapangan (Thomas *et al.*, 1989, Converse dan Martin, 1990).

Teknik ELISA mengalami berbagai modifikasi seiring dengan perkembangan, baik dari segi praktis maupun keandalannya sehingga muncul berbagai varian baru (Randles *et al.*, 1996; Seal, 1997).

2.5. *Polymerase Chain Reaction (PCR)*

Polymerase Chain Reaction (PCR) merupakan suatu teknik yang didalamnya melibatkan beberapa tahap yang berulang (siklus). Di setiap siklus terjadi duplikasi jumlah target DNA untai ganda atau perbanyakan DNA. Pada untai (*unamplified DNA*) akan dipisahkan dengan denaturasi termal dan kemudian didinginkan sampai pada suhu tertentu dalam kurun waktu untuk bisa melakukan penempelan primer (*anneal primers*) pada daerah tertentu dari target DNA. Polimerase DNA digunakan untuk memperpanjang primer (*extend primers*) dengan adanya deoxynucleotide triphosphates (dNTPs) yang merupakan campuran yang terdiri atas deoksiadenosin trifosfat (dATP), deoksisitidin trifosfat (dCTP), deoksiguanosin trifosfat (dGTP), dan deoksitimidin trifosfat (dTTP) serta

buffer yang tepat. Umumnya PCR dilakukan antara 20-40 siklus. DNA non target (*long product*) akan meningkat secara linier sedangkan setelah siklus keempat DNA target yang diinginkan (*short product*) akan meningkat secara eksponensial (Newton and Graham, 1994).

Proses PCR melibatkan beberapa tahapan yaitu: (1) predenaturasi DNA *template*; (2) denaturasi DNA *template*; (3) *annealing* atau penempelan primer pada *template*; (4) *extension* atau pemanjangan primer; dan (5) *post-extension* atau pemantapan. Tahap kedua sampai dengan keempat merupakan tahapan yang berulang dengan menduplikasi jumlah DNA pada setiap siklus (Handoyo dan Rudiretna, 2001).

Menurut Muladno (2002) terdapat tiga tahapan dalam Proses PCR, yaitu;

- a. *Denaturation*, merupakan proses pembukaan DNA untai ganda menjadi DNA untai tunggal yang terjadi pada suhu sekitar 95⁰C selama 3 menit, Denaturasi yang tidak sempurna akan mengakibatkan DNA mengalami renaturasi yaitu pembentukan DNA untai ganda kembali secara cepat dan mengakibatkan gagalnya proses PCR. Proses denaturasi yang terlalu lama dapat mengurangi aktifitas enzim Taq polymerase.
- b. *Annealing* yaitu pelekatan primer bergantung pada panjang pendeknya oligonukleotida primer yang digunakan yang terjadi pada suhu sekitar 35-65⁰C selama 30-45 detik. Kriteria primer yang baik sekitar 18-25 basa, mengandung 50-60 % G+C . Sekuens DNA dalam primer sebaiknya tidak saling berkomplemen, karena dapat mengakibatkan terbentuknya struktur sekunder pada primer tersebut dan mengurangi efisiensi PCR.
- c. *Extention* atau elongasi primer merupakan perpanjangan yang terjadi dari hasil aktivitas polimerisasi oleh Enzim Taq polimerase pada suhu 70⁰C dengan waktu sekitar 1 menit. Umumnya, di akhir siklus PCR waktu yang digunakan untuk tahap ini diperpanjang sampai 5 menit sehingga seluruh produk PCR diharapkan akan terbentuk DNA untai ganda.

Yusuf (2010) menyatakan bahwa terdapat beberapa jenis modifikasi teknik PCR di antaranya yaitu:

1. *Restriction Fragment Length Polymorphism (RFLP)*; metode yang menggunakan analisis model derivat dari perbedaan DNA untuk membedakan organisme.
2. *Inverse-PCR*, metode yang digunakan untuk mendeteksi sekuen dari beragam gen. Enzim restriksi akan memotong template yang akan diamplifikasi ketika hanya satu sekuen internal yang diketahui sehingga sekuen eksternal akan diamplifikasi dengan sekuen primer.
3. *Nested-PCR*, metode yang menggunakan dua primer untuk mengamplifikasi sekuen DNA untuk mengurangi kontaminasi pada saat amplifikasi. Sekuens DNA target dari satu primer disebut *inner primer* atau *nested primer* dan yang kedua disebut *outer primer*. Reaksi pertama menggunakan *outer primer* dan dilanjutkan oleh *inner primer*.
4. *Quantitative-PCR*, metode yang digunakan secara tidak langsung untuk pengukuran berulang dari hasil produk PCR. Metode ini dapat mengukur kuantitas, yang merupakan jumlah DNA, cDNA, atau RNA. Metode ini dapat menampilkan *copy* dari sampel
5. *Reverse Transcriptase (RT-PCR)*; metode yang digunakan untuk amplifikasi, isolasi atau deteksi sekuen dari sel atau jaringan RNA. Metode ini menggunakan *reverse transcriptase* yaitu mengubah RNA menjadi cDNA, mencakup pemetaan, serta mengetahui waktu dan tempat untuk menggambarkan gen diekspresikan.
6. *Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD)*, metode yang dikembangkan oleh Welsh dan Mc Clelland tahun 1990. Metode ini menggabungkan teknik PCR dengan menggunakan primer yang memiliki sekuen acak pada amplifikasi lokus dari genom yang bertujuan untuk mendeteksi polimorfisme pada tingkat DNA.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Januari-Mei 2022. Survei dan koleksi sampel dilakukan pada Kota Bandar Lampung, Kabupaten Pringsewu, dan Kabupaten Lampung Selatan. Analisis molekuler meliputi ekstraksi DNA, pengujian kemurnian DNA, amplifikasi dengan PCR, dan elektroforesis dilakukan di Laboratorium Bioteknologi, Jurusan Hama dan Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Selanjutnya sekuensing dikirim ke Perusahaan 1st *Base Company* Malaysia melalui PT Genetika Science Indonesia.

3.2. Alat dan Bahan

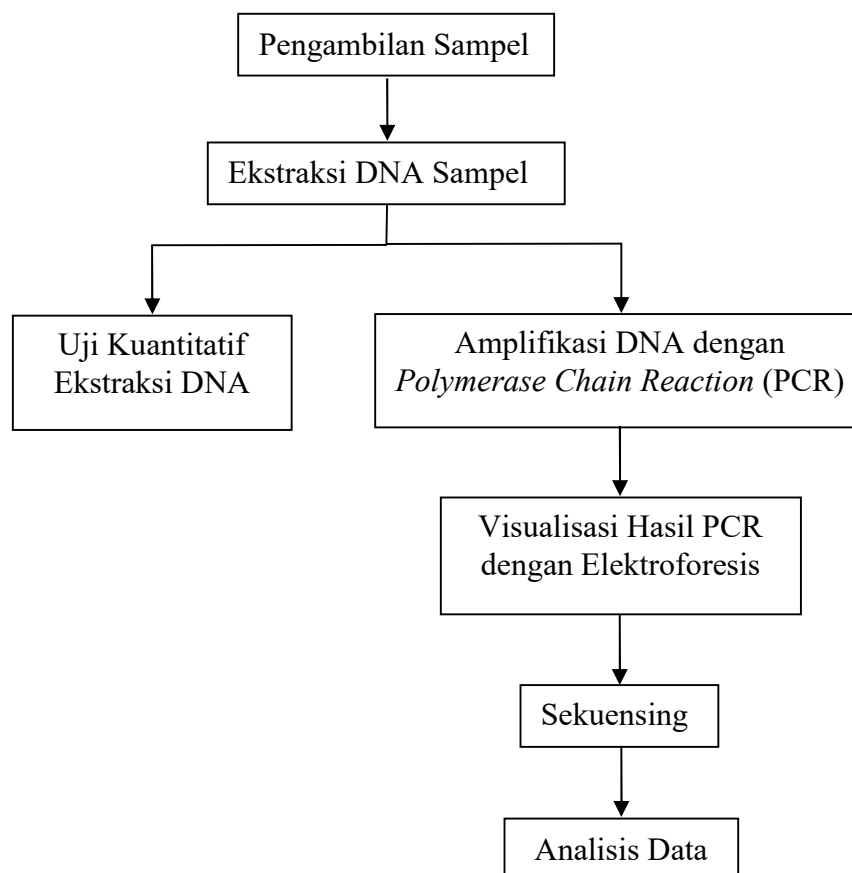
Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *ice box*, gunting, alat tulis, kamera, amplop coklat, kertas label, kantung plastik, *refrigerator*, kertas *tissue*, *aluminium foil*, neraca analitik, mortar dan pestel, mikropipet 0,5 µl-10 µl, mikropipet 10 µl-100 µl, mikropipet 100 µl-1000 µl, pipet *tip* (*blue tip*, *yellow tip*, *white tip*), tabung mikrosentrifus, *tube* (1,5 ml dan 0,2 ml), mesin sentrifus, *vortex*, *rotamixer*, *waterbath*, gelas ukur 20 ml, Erlenmeyer 100 ml, *microwave*, *gloves*, kotak kecil agar elektroforesis, sisir kecil agar elektroforesis, cetakan kecil agar elektroforesis, mesin PCR, dan *parafilm*.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel daun tanaman Solanaceae, *Genomic DNA mini kit plant reaction* (*Geneaid*), primer Homer dan Krusty, primer SPG 1 dan SPG 2, akuades steril, DNA *loading dye*,

DNA *ladder* (*marker*), *redmix*, agarosa, Ethidium bromide (EtBr), dan Tris-Borate EDTA (TBE).

3.3. Bagan Alir Penelitian

Secara ringkas, rancangan penelitian ditampilkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 8. Bagan Alir Penelitian

3.4. Prosedur Penelitian

3.4.1. Pengambilan Sampel

Sampel tanaman yang dikoleksi berupa 14 individu tanaman Solanaceae yang menunjukkan gejala terinfeksi Begomovirus dari Kotamadya Bandar Lampung, Kabupaten Pringsewu, dan Kabupaten Lampung Selatan. Di Kotamadya Bandar Lampung didapatkan 4 individu tanaman Solanaceae, di Kabupaten Pringsewu didapatkan 8 individu tanaman Solanaceae, dan Kabupaten Lampung Selatan didapatkan 2 individu tanaman Solanaceae. Daun tanaman diambil sebanyak 8-10 helai kemudian dimasukkan ke dalam amplop dan dibungkus dengan kantung plastik dan disimpan dalam *ice box*. Selanjutnya, sampel dibawa ke laboratorium untuk dilakukan analisis.

3.4.2. Ekstraksi DNA Sampel

Sampel daun tanaman Solanaceae diekstraksi untuk diperoleh DNANYa dengan mengikuti protokol dari protokol Genomic DNA *mini kit (plant) reaction (Geneaid)*. Sampel tanaman segar ditimbang sebanyak 0,1 gram lalu sampel dihaluskan dengan mortar dan pestel hingga menjadi halus, kemudian dipindahkan ke tabung mikrosentrifus 1,5 ml. Sampel dalam tabung mikrosentrifus ditambah 400 μ l *Buffer GP1* dan 5 μ l RNAse dan dihomogenkan dengan *vortex*. Selanjutnya, tabung mikrosentrifus berisi sampel diinkubasi pada suhu 60°C selama 10 menit. Pada 5 menit pertama tabung mikrosentrifus dibalik berulang kali agar sampel tercampur dengan baik. Pada saat yang sama *Elution Buffer* sebanyak 200 μ l per sampel dipanaskan .

Setelah inkubasi selesai, sampel ditambah 100 μ l *Buffer GP2* dan dihomogenkan dengan *vortex* kemudian diinkubasi di dalam es

selama 3 menit. *Filter Column* ditempatkan pada *Collection tube* berukuran 2 ml kemudian campuran sampel dipindahkan ke dalam *Filter Column*. Sampel disentrifus selama 1 menit pada kecepatan 1000 xg kemudian *Filter Column* dilepaskan dari *Collection tube*. Supernatan dari *Collection tube* 2 ml dipindahkan ke dalam tabung mikrosentrifus 1,5 ml yang baru.

Sampel ditambah *Buffer GP3* sebanyak 1,5 dari volume sampel pada tabung mikrosentrifus 1,5 ml lalu dihomogenkan dengan *vortex* selama 5 detik. *GD Column* ditempatkan ke dalam *Collection tube* yang berukuran 2 ml kemudian 700 µl campuran (dan sisa endapan) dipindahkan ke *GD Column*. Sampel disentrifus selama 2 menit pada kecepatan 14.000 xg. Setelah sentrifus selesai, supernatan yang didapatkan dibuang lalu *GD Column* dimasukkan kembali ke dalam *Collection tube* 2 ml. Sisa campuran ditambahkan ke *GD Column* lalu sentrifus kembali selama 2 menit pada kecepatan 14.000 xg. Supernatan yang didapatkan kembali dibuang kemudian *GD Column* dimasukkan kembali ke dalam *Collection tube*.

Pada *GD Column* ditambahkan 400µl *Buffer W1* kemudian disentrifus selama 30 detik pada kecepatan 14.000 xg. Setelah sentrifus selesai, supernatan yang didapatkan dibuang lalu *GD Column* dimasukkan kembali ke dalam *Collection tube* 2 ml. Setelah itu, tambahkan 600 µl *Wash Buffer* ke dalam *GD Column* dan disentrifus selama 30 detik pada kecepatan 14.000 xg. Supernatan yang didapatkan dibuang kemudian *GD Column* dimasukkan kembali ke dalam *Collection tube* dan disentrifus kembali selama 3 menit pada kecepatan 14.000 xg untuk mengeringkan matriks kolom.

GD Column yang sudah kering dipindahkan ke dalam tabung mikrosentrifus 1,5 ml yang bersih. Kemudian, 100 µl *Elution Buffer* yang telah dipanaskan sebelumnya ditambahkan ke tengah matriks kolom dan didiamkan selama 3-5 menit untuk memastikan *Elution*

Buffer benar-benar terserap kemudian disentrifus selama 30 detik pada kecepatan 14.000 xg untuk melulusi DNA yang telah dimurnikan.

3.4.3. Uji Kuantitatif Ekstraksi DNA

Pengujian hasil ekstraksi DNA secara kuantitatif mengikuti Farmawati dkk. (2015). Tahap ini digunakan untuk mendeteksi kemurnian DNA dengan spektrofotometri UV-Vis. Hasil ekstraksi dianalisis menggunakan dua panjang gelombang yang berbeda yaitu pada panjang gelombang 260 nm dan 280 nm dan digunakan blanko sebagai larutan pembanding berupa akuades kemudian akan diperoleh nilai absorbansi. Nilai absorbansi hasil ekstraksi panjang gelombang 260 nm dibandingkan dengan panjang gelombang 280 nm sehingga akan didapatkan rasio Absorbansi λ 260/Absorbansi λ 280.

3.4.4. Amplifikasi DNA dengan *Polymerase Chain Reaction* (PCR)

Hasil ekstraksi DNA kemudian dideteksi secara molekuler dengan teknik PCR menggunakan primer universal Begomovirus yaitu primer SPG 1 dan SPG 2 (Li *et al.*, 2004).

Tabel 1. Sekuen Nukleotida Primer Yang Digunakan Dalam Reaksi PCR (Li *et al.*, 2004).

Nama Primer	Sekuen Nukleotida 5'-3'	Ukuran Produk
SPG 1	5'-CCCCKGTGCGWRAATCCAT-3'	± 912 bp
SPG 2	5'-ATCCVAAYWTYCAGGGAGCTAA-3'	

Komposisi reaktan PCR untuk satu kali reaksi amplifikasi DNA genom virus ditampilkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Komposisi Reaktan PCR Untuk Satu Kali Reaksi Amplifikasi DNA Genom Virus

Komponen	Volume
<i>Redmix</i>	20 μ l
Akuades steril	8 μ l
Primer Krusty	4 μ l
Primer Homer	4 μ l
DNA <i>template</i>	4 μ l

Proses amplifikasi dilakukan selama 30 siklus mengikuti metode dari *MyTaqTM Red Mix Meridian Bioscience* ditampilkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Optimasi Suhu dan Waktu Untuk Reaksi PCR

Tahapan Reaksi	Optimasi Suhu dan Waktu
<i>Pre-denaturasi</i>	95°C selama 1 menit
<i>Denaturasi</i>	95°C selama 15 detik
<i>Annealing</i>	52°C selama 15 detik
<i>Extention</i>	72°C selama 10 detik

} 30 siklus

3.4.5. Visualisasi Hasil PCR dengan Elektroforesis

Hasil sampel yang telah diamplifikasi dengan metode PCR divisualisasikan dengan menggunakan elektroforesis. Visualisasi dilakukan dengan melarutkan 0,1 gr agarosa ke dalam 20 ml *buffer* Tris-Borate EDTA (TBE) kemudian dipanaskan dalam *microwave* selama \pm 1-2 menit sampai larut. Setelah itu, larutan agarosa didinginkan selama 1 menit lalu ditambah 1 μ l *Ethidium bromide* (EtBr) dan dihomogenkan. Selanjutnya larutan dituang ke dalam kotak cetakan agar elektroforesis yang telah diletakkan sisir untuk membuat sumuran dan didiamkan selama \pm 45 menit hingga memadat. Setelah memadat, sisir diangkat kemudian agar yang telah memadat dimasukkan ke dalam kotak alat elektroforesis. Sumuran yang terdapat pada agar diisi dengan DNA *template* sebanyak 3 μ l dan dicampur dengan 1 μ l loading dye, kemudian dimasukkan kedalam agar pada setiap sumur. Pada sumur pertama dimasukkan 3 μ l marker DNA ladder sebagai penanda ukuran DNA agar dapat

membandingkan hasil pita DNA. Elektroforesis dilakukan selama 45 menit dengan tegangan 50 V. Elektroforesis dihentikan jika terlihat DNA sudah berada di kotak ketiga dari bawah, kemudian divisualisasikan dengan menggunakan *DigiDoc Imaging System (Major Science)*.

3.4.6. Sekuensing

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

3.4.7. Analisis Data

Data hasil sekuen sampel dimasukkan ke dalam BLAST pada NCBI untuk dipilih beberapa isolat yang memiliki kekerabatan yang tinggi dengan sekuen sampel uji sekuen nukleotida dari Begomovirus yang telah diketahui menginfeksi tanaman Solanaceae di daerah lain sebagai pembanding. Sekuen sampel uji dan beberapa sekuen yang telah dipilih melalui NCBI tersebut kemudian dilakukan alignment menggunakan Clustal W Alignment BioEdit. Hubungan kekerabatan sampel uji tanaman Solanaceae dan beberapa sekuen yang telah dipilih akan divisualisasikan dalam pohon filogenetik menggunakan program MEGA V.11.0.11. Hubungan kekerabatan antar cabang dianalisis menggunakan analisis bootstrap-1000 (Mahfut *et al.*, 2020).

V. KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Begomovirus dideteksi menginfeksi tanaman Solanaceae yaitu cabai merah (*Capsicum annuum* L.) dan terung (*Solanum melongena* L.) di Kabupaten Pringsewu serta tomat (*Solanum lycopersicum* L.) di Kabupaten Lampung Selatan sedangkan di Kotamadya Bandar Lampung tidak terdeteksi adanya Begomovirus.
2. Hasil sekuensing gen *TrAP* dan *Rep* Begomovirus yang menginfeksi tanaman Solanaceae di Kabupaten Pringsewu dan Lampung Selatan menunjukkan pita DNA spesifik berukuran ± 912 bp.
3. Hasil analisis pohon filogenetik menunjukkan isolat Ca 1 dan To1 berada pada cabang yang sama dan berkerabat dekat dengan PepYLCV asal Sumatera Barat, PepYLCIV asal Indonesia yaitu Jawa Timur, Bali, Jawa Barat, dan Bengkulu serta PepYLCAV asal Malaysia. Sampel Te1 berkerabat dekat dengan TYLCKaV asal Indonesia, China, Thailand, dan Laos

5.2. Saran

Perlu dikembangkan upaya pencegahan dan metode pengendalian infeksi Begomovirus yang menginfeksi tanaman Solanaceae di Indonesia terutama di Lampung untuk mencegah adanya penyebarluasan infeksi Begomovirus yang menginfeksi tanaman Solanaceae.

DAFTAR PUSTAKA

- Adedeji, O. 2007. *Foliar Epidermal Studies Organographic Distribution And Taxonomy Importance of Trichomes in the Famili Solanaceae*. Obafemi Awolowo University. Nigeria.
- Agrios, G. N. 2005. *Plant Pathology Fifth edition*. Elsevier Academic Press. USA.
- Aidawati, N., Hidayat, S. H., Suseno, R., and Sosromarsono. 2002. Transmition Of An Indonesian Isolate Of Tobacco Leaf Curl Virus (Geminivirus) By *Bemisia tabaci* Genn. (Hemiptera: Aleyrodidae). *Journal Plant Pathol.* 18(5): 231-6.
- Anam, K. 2010. *Isolasi DNA Genom*. Bioteknologi Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Ardiansyah. 2013. *Pendugaan Kerapatan Populasi Hama Kutu Kebul Pada Tanaman Sayuran Menggunakan Segmentasi Watershed*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Barrow, D. P. J., Hidayat, S. H., Frohlich, D., Subandiyah, S. and Shigenori, U. 2008. A Virus and its Vector, Pepper Yellow Leaf Curl Virus and *Bemisia tabaci*, Two New Invaders of Indonesia. *Biological Invasions*. 4(10): 411-433.
- Bernardinus, T. W. W. 2002. *Bertanam Tomat*. Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Briddon, R. W., Patil, B. L., Bagewadi, B., Nawazul, R. M. S., and Fauquet, C. M. 2010. *Distinct Evolutionary Histories Of The DNA-A And DNA-B Components Of Bipartite Begomoviruses*. *BMC Evolutionary Biology* 10:97.

- Brown, J. K., Zerbini, F. M., Navas, C. J., Moriones, E., Ramos S. R., Silva, J. C. F., Fiallo O. E., Briddon, R. W., Hernandez Z. C., Idris, A., Malathi, V. G., Martin, D. P., Rivera B. R., Ueda, S., and Varsani, A. 2015. Revision Of Begomovirus Taxonomy Based On Pairwise Sequence Comparisons. *Archives of Virology* 160: 1593-1619.
- Cahyono, B. 2008. *Tomat Usaha Tani dan Penanganan Pascapanen*. Kanisius. Yogyakarta.
- Chairunnisa, R. 2011. Pengaruh Jumlah Pasta Tomat Terhadap Penurunan Kadar Gula Darah Pada Mencit Diabetes. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian. Fakultas teknologi Industri Pertanian*. 11:1-12.
- Converse, R.H. and Martin, R.R. 1990. ELISA methods for plant viruses. In *Serological Methods for Detection and Identification of Viral and bacterial Plant Patogens*. Hampton, R., Ball, E., and De Boer, S. (Eds.). APS Press, St Paul, 179-196.
- Cronquist, A. 1981. *An Integrated System of Classification of Flowering Plants*. Columbia University Press. New York.
- Dermawan, R dan Harpenas, A. 2010. *Budidaya Cabai Unggul, Cabai Besar, Cabai Keriting, Cabai Rawit, dan Paprika*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Desbiez, C. I. E. C. I. L. E., David, C., Mettouchi, A., Laufs, J., and Gronenborn, B. 1995. Rep protein of tomato yellow leaf curl geminivirus has an ATPase activity required for viral DNA replication. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 92(12): 5640-5644.
- Dharmayanti, N. L. P. I. 2011 Filogenetika molekuler: Metode taksonomi organisme berdasarkan sejarah evolusi. *Wartazoa*. 21: 1-10.
- Directorate Plant Production. 2011. *Lemongrass production. Department of Agriculture*. Forestry and Fisheries. South Africa
- Djarwaningsih, T. 2005. Review: (*Capsicum* spp.) Cabai Asal Persebaran dan Nilai Ekonomi. *Biodiversitas*. 6 (4): 292-296.

- Elfriedwan.2020. Budidaya Cabe Rawit di Polybag. <https://www.elfriedwan.com/2020/09/budidaya-cabe-rawit-di-polybag> diakses pada 30 Mei 2022.
- Eriawati. 2015. Pemanfaatan Jenis Tumbuhan dari Famili Solanaceae sebagai Media Pembelajaran Biologi pada Sub Konsep Klasifikasi Tumbuhan di SMP Negeri 1 Simpang Tiga Kabupaten Aceh Besar. *Prosiding Seminar Nasional Biotik*. Aceh.
- Faizah, R. 2010. *Karakterisasi Beberapa Genotipe Cabai (Capsicum spp.) dan Mekanisme Ketahanannya Terhadap Begomovirus Penyebab Penyakit Daun Keriting Kuning*. (Tesis). Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. 127 hal.
- 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.
- Fatchiyah, S., Widyarti, E. L., Arumningtyas., dan Permana, S. 2012. *Buku Praktikum Teknik Analisis Biologi Molekuler*. Universitas Brawijaya. Malang.
- Fauquet, C. M., Bisaro, D. M., Briddon, R. W., Brown, J. K., Harrison, B. D., Rybicki, E. P., Stenger, 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.
- Fortes, I., Veronika, P. P., Beatriz, R. R., Rafael, F. M., Cristina, M., Araceli, G.C., Leandro, D. L., and Erique, M. 2022. The begomovirus tomato leaf curl New Delhi virus is seed-borne but not seed-transmitted in melon. *The American Phytopathological Society Journal*.
- Gaswanto, R., Syukur, M., Hidayat, S. H., dan Gunaeni, N. 2016. Identifikasi Gejala dan Kisaran Inang Enam Isolat Begomovirus Cabai di Indonesia (Symptom and Host Range Identification of Six Chilli Begomovirus Isolate in Indonesia). *Jurnal Hortikultura*. 26(2): 223-234.
- Hadiastono, T. 2012. *Virologi Tumbuhan (Identifikasi dan Diagnosis Virus Tumbuhan)*. Universitas Brawijaya Press. Malang.

- Handoyo, D. dan Rudiretna, A. 2001. Prinsip Umum Dan Pelaksanaan Polymerase Chain Reaction (PCR). *Unitas*. 9 (1): 17-29.
- Hanley, B. L., Settlege, S. B., Orozco, B. M., Nagar, S., and Robertson, D. 2000. Geminiviruses: models for plant DNA replication, transcription, and cell cycle regulation. *Critical Review Biochemistry Molecular Biology*. 35: 105-140.
- Harahap, H. 2013. Efisiensi Penggunaan Faktor Produksi Usahatani Cabai Di Kecamatan Sumowono Kabupaten Semarang. *Economics Development Analysis Journal*. 2(4): 447.
- Hartono, S. 2008. Identifikasi molekuler begomovirus penyebab penyakit keriting kuning pada tomat di Jawa Tengah. *Jurnal Akta Agrosia*. 11 (1): 69-74.
- Hasyim, A., Setiawati, W., dan Liferdi. 2016. Kutu Kebul *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera : Aleyrodidae) Penyebar Penyakit Virus Mosaik Kuning pada Tanaman Terung. *Iptek Hortikultura*.
- Hidayat, S. H. 2003. *Rangkuman hasil penelitian gemini virus di Indonesia: Sebagai bahan diskusi untuk menghadapi peningkatan infeksi gemini virus pada cabai*. Seminar sehari pengenalan dan pengendalian penyakit virus pada cabai. Direktorat Perlindungan Hortikultura, Direktorat Jenderal Bina Produksi Hortikultura. Jakarta.
- Hidayat, S. H., Chatchawankanpanich, O., Rusli, E., dan Aidawati, N. 2006. Begomovirus associated with pepper yellow leaf curl disease in West Java, Indonesia. *Jurnal Mikrobiologi Indonesia*. 11(2): 87-89.
- Hull, R. 2002. *Matthews plant virology edisi ke-4*. Academic Press. San Diego.
- Husnudin, U. B., Eko, S. S., dan Murni, S. 2015. *Karakterisasi Morfologi Polen Tumbuhan Solanaceae Di Malang Raya*. Universitas Negeri Malang. Malang.
- Jones, D. R., 2003. Plant Viruses Transmitted By Whiteflies. *European Journal Plant Pathology*. 109: 195-219

- King, A. M. Q., Adams, M. J., Carstens, E. B., and Lefkowitz, E. J. 2011. *Virus taxonomy. Ninth Report of the ICTV*. Elsevier Academic Press London. 351 –373
- Kintasari, T. 2013. *Deteksi Geminivirus yang Menginfeksi Tanaman Terung (Solanum melongena L.) dengan Teknik Polymerase Chain Reaction*. (Skripsi). Jurusan Proteksi Tanaman Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Kintasari, T., Septariani, D. W. N., Sulandari, S., 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.
- Kusumaningrum, F., Sedyo, H., Sri, S., dan Susanto, S. 2015. Infeksi Ganda Begomovirus Dan Crinivirus Pada Tanaman Tomat Di Kabupaten Magelang , Jawa Tengah. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*. 19(2): 60-64.
- Lavenia, D. dan Kuswanto. 2021. Evaluasi Ketahanan Galur-Galur Terung (*Solanum melongena L.*) terhadap Virus Kuning (Tomato yellow leaf curl Kanchanaburi virus (TYLCV)). *Jurnal Produksi Tanaman*. 9(5): 314-322.
- Li, R., Salih, S., and Hurtt, S. 2004. Detection of Gemini viruses in Sweetpotato by Polymerase Chain Reaction. *Plant Disease*. 88: 1347–1351.
- Mahfut., Indrianto, A., Somowiyarjo, S., and Daryono, B. S. 2020. Molecular phylogeny of orchids mycorrhiza isolated from native tropical orchids in Indonesia. *Malaysian Journal of Microbiology*. 16(1): 68-72.
- Mendy. 2020. 5 Tanaman Terong (Morfologi, jenis-jenis, dan cara menanam). <https://thegorbalsla.com/tanaman-terong/> diakses pada 30 Mei 2022.
- Mendy. 2020. 6 Tanaman Tomat : Sejarah, Ciri dan Jenis-jenisnya. <https://thegorbalsla.com/tanaman-tomat/>. Diakses pada 30 Mei 2022.
- Muladno. 2002. *Seputar Teknologi Rekayasa Genetika*. Pustaka Wirausaha Muda. Bogor. Indonesia.

- Newton, C. R. and Graham, A. 1994. *PCR*. BIOS Scientific Publishers Limited. Oxford.
- Nuraini, D. N. 2011. *Aneka Manfaat Kulit Buah dan Sayuran*. CV Andi Offset. Yogyakarta.
- Nyoman, D. 2016. Uji efektivitas teknik ekstraksi dan dry heat treatment terhadap kesehatan bibit tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill). *Jurnal Agroekoteknologi*. 5 (1): 2301 – 6515.
- Orlando, A. and Silberschmidt, K. 1946. Studies on the natural spread of the infectious chlorosis virus of Malvaceas (Abutilon virus 1, Baur) and its relationship with the insect vector Bemisia tabaci (Genn.) (Homoptera-Aleyrodidae). *Arquivos Instituto Biologico*. 17: 1-36.
- Pitojo, S. 2005. *Benih Tomat*. Kanisius. Yogyakarta.
- Pracaya. 1993. *Hama dan Penyakit Tanaman*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Randles, J. W., Hodgson, R. A. J., and Weffels, E. 1996. The rapid and sensitive detection of plant pathogens by molecular methods. *Australasian Plant Pathology*. 25:7185.
- Revell, P. A., Ha, C. V., Porchun, S. C., Vu, M. T., and Dale, J. L. 2003. The Complete Nucleotide Sequence of Two Distinct Geminiviruses Infecting Cucurbite in Vietnam. *Archives of Virology*. 148: 1523-1541.
- Seal, S. 1997. Molecular methods for detection and discrimination of *P. solanacearum*. In *Bacterial Wilt Disease: Molecular and Ecological Aspects*. Prior, P., Allen, C., and Elphinstone, J. (Eds.). Springer, Berlin. 103-109.
- Seal, S. and Elphinstone, J. 1994. Advances in identification and detection of *P. solanacearum*. In *The Disease and Its Causative Agent, P. solanacearum*. Hayward, A.C. and Hartman, G. L. (Eds.). CAB International, Wallingford, UK. 42-57.

- Semangun, H. 2008. *Penyakit-Penyakit Tanaman Hortikultura di Indonesia*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Sulandari, S. 2004. *Karakterisasi Biologi, Serologi dan Analisis Sidik Jari DNA Virus Penyebab Penyakit Daun Keriting Kuning Cabai*. (Disertasi). Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Sulandari, S. 2006. Penyakit Daun Keriting Kuning Cabai Di Indonesia. *Jurnal Perlindungan Tanaman*. 12(1): 1-12
- Sulandari, S., Suseno, R., Hidayat, S. H., Harjosudarmo, J., and Sosromarsono, S. 2006. Detection and host range study of virus associated with pepper yellow leaf curl disease. *HAYATI Journal of Biosciences*, 13(1): 1-1.
- Sulandari, S., Suseno, R., Hidayat, S. H., Harjosudarmo, J., dan Sosromarsono, S. 2001. Deteksi virus gemini pada cabai di daerah istimewa Yogyakarta. *Prosiding Kongres dan Seminar Nasional Perhimpunan Fitopatologi Indonesia XVI*. Bogor. 23-24 Agustus 2001.
- Sumardiyono, Y. B., Hartono, S., dan Sulandari, S. 2003. Epidemi penyakit daun keriting kuning cabai. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*. 9(1): 1-3.
- Thomas, J. E., Wong, W. C., and Goanlock, D. H. 1989. Modern methods for the detection of plant pathogens. *Queensland Agricultur Journal*. 49-53.
- Trisno, J., Hidayat, S. H., Jamsari, J., 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.
- Trisno, J., Rifqah, R. A., dan Martinus. 2014. Temuan Penyakit Baru (Penyakit Kerupuk Tembakau Di Sumatera Barat). *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 10(6): 210-213.
- Undang., Muhamad, S., dan Sobir. 2015. Identifikasi Spesies Cabai Rawit (*Capsicum* spp.) Berdasarkan Daya Silang dan Karakter Morfologi. *Jurnal Agronomi Indonesia*. 43(2): 118-125.

Varma, A and Malathi, V.G. 2003. Emerging geminivirus problems: a serious threat to crop production. *Annals of Applied Biology*. 142(2): 145-164.

Wezel, V. R., Dong, X., Liu, H., Tien, P., Stanley, J., and Hong, Y. 2001. Mutation of three cysteine residues in Tomato yellow leaf curl virus-China C2 protein causes dysfunction in pathogenesis and posttranscriptional gene silencing suppression. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 15(3): 203-208.

Yusuf, Z. K. 2010. Polymerase Chain Reaction (PCR). *Saintek*. 5(6): 1-6.