

**ESTIMASI KERAGAMAN DAN HERITABILITAS KARAKTER
KETAHANAN TERHADAP PENYAKIT ANTRANOSA (*Colletotrichum*
spp.) DAN KARAKTER AGRONOMI GENOTIPE CABAI GENERASI M₂**

(Tesis)

Oleh

Adawiah

**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER AGRONOMI
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

ABSTRACT

ESTIMATION OF DIVERSITY AND HERITABILITY OF CHARACTERS OF RESISTANCE TOWARD ANTRACHNOSE DISEASE (*Colletotrichum* spp.) AND GENOTYPE AGRONOMIC CHARACTERS OF M₂ GENERATION

ADAWIAH

Antrachnose is one of the important diseases in chili production caused by *Colletotrichum* spp. The use of superior varieties is one way to overcome the problem, in the process of assembling superior varieties that are resistant to disease the diversity of genotype is needed. An alternative method of obtaining diversity in addition crosses is by mutation methods. Success in mutation breeding programs relies heavily on the selection process in the early generations. The selection process aims to acquire plants that have superior genetic potential. The selection process is done by knowing genetic information obtained from several genetic parameters such as diversity and heritability.

This experiment obtained (a) the diversity of phenotypes and genotypes included in the broad criteria, namely the character of seedling height, number of primary branches, age of flowering, number of flowering, age of harvest and number of fruits;

(b) Character height of seedlings, the number of primary branches has a high heritability value, while the character of the number of fruits has a moderate value of heritability. Low heritability is found in the character of flowering age, number of flowers, flowering plant height, harvest age, crop height, and incubation period; and (c) genotypes 93 and 136 resulting from mutations show resistance to anthracnose compared to other genotypes.

Keywords: chili, heritability, diversity, *Colletotrichum* spp.

ABSTRAK

ESTIMASI KERAGAMAN DAN HERITABILITAS KARAKTER KETAHANAN TERHADAP PENYAKIT ANTRANOSA (*Colletotrichum* spp.) DAN KARAKTER AGRONOMI GENOTIPE CABAI GENERASI M₂

ADAWIAH

Antraknosa merupakan salah satu penyakit penting dalam produksi cabai yang disebabkan oleh spora *Colletotrichum* spp. Penggunaan varietas unggul merupakan salah satu upaya untuk mengatasi kendala tersebut, dalam proses perakitan varietas unggul yang tahan terhadap penyakit keragaman genotipe sangat dibutuhkan. Metode alternatif dalam memperoleh keragaman selain persilangan yaitu dengan cara mutasi. Keberhasilan dalam program pemuliaan mutasi sangat bergantung dengan proses seleksi pada generasi awal. Proses seleksi bertujuan untuk memperoleh tanaman yang memiliki potensi genetik unggul. Proses seleksi dilakukan dengan mengetahui informasi genetik yang diperoleh dari beberapa parameter genetik seperti keragaman dan heritabilitas.

Percobaan ini memperoleh (a) keragaman fenotipe dan genotipe yang termasuk dalam kriteria luas yaitu karakter tinggi bibit, jumlah cabang primer, umur berbunga, jumlah berbunga, umur panen dan jumlah buah; (b) Karakter tinggi

bibit, jumlah cabang primer memiliki nilai heritabilitas yang tinggi, sedangkan karakter jumlah buah memiliki nilai heritabilitas yang sedang. Heritabilitas yang rendah terdapat pada karakter umur berbunga, jumlah bunga, tinggi tanaman berbunga, umur panen, tinggi tanaman panen, dan periode inkubasi; dan (c) genotipe 93 dan 136 hasil mutasi menunjukkan adanya sifat ketahanan terhadap antraknosa dibandingkan dengan genotipe lainnya.

Kata kunci: cabai, heritabilitas, keragaman, *Colletotrichum* spp

**ESTIMASI KERAGAMAN DAN HERITABILITAS KARAKTER
KETAHANAN TERHADAP PENYAKIT ANTRANOSA
(*Colletotrichum* spp.) DAN KARAKTER AGRONOMI GENOTIPE CABAI
GENERASI M₂**

Oleh

ADAWIAH

Tesis

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

Pada

**Program Pascasarjana Magister Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER AGRONOMI
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

Judul Tesis : **ESTIMASI KERAGAMAN DAN HERITABILITAS KARAKTER KETAHANAN TERHADAP PENYAKIT ANTRANOSA (*Colletotrichum spp.*) DAN KARAKTER AGRONOMI GENOTIPE CABAI GENERASI M₂**

Nama Mahasiswa : **Adawiah**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1524011012**

Program Studi : **Magister Agronomi**

Fakultas : **Pertanian**



MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Dr. Ir. Nyimas Sa'diyah, M.P.
NIP 196002131986102001

Dr. Ir. Suskandini Ratih D, M.P.
NIP 196105021987072001

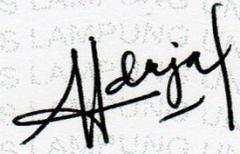
2. Ketua Program Studi Magister Agronomi

Prof. Dr. Ir. Yusnita, M.Sc.
NIP 196108031986032002

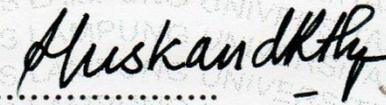
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

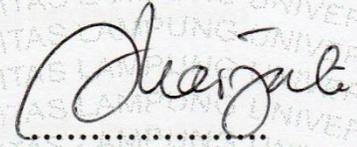
Ketua : **Dr. Ir. Nyimas Sa'diyah, M.P.**



Sekretaris : **Dr. Ir. Suskandini Ratih D, M.P.**



Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Ir. Agus Karyanto, M.Sc.**

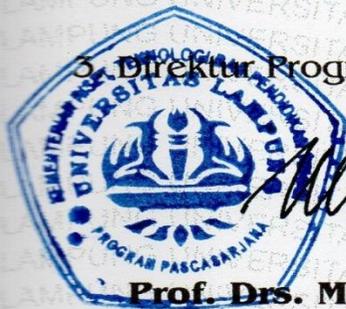


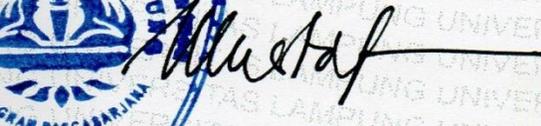
2. Dekan Fakultas Pertanian




Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.
NIP 196110201986031002

3. Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung




Prof. Drs. Mustofa, MA., Ph.D.
NIP 195701011984031020

Tanggal Lulus Ujian Tesis : **03 Juli 2019**

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan sebenarnya bahwa:

1. Tesis dengan judul “**ESTIMASI KERAGAMAN DAN HERITABILITAS KARAKTER KETAHANAN TERHADAP PENYAKIT ANTRANOSA (*Colletotrichum spp.*) DAN KARAKTER AGRONOMI GENOTIPE CABAI GENERASI M₂**” adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atas karya penulis lain dengan cara tidak sesuai dengan norma etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiarisme.
2. Pembimbing penulisan tesis ini berhak mempublikasikan sebagian atau seluruh tesis ini pada jurnal ilmiah dengan mencantumkan nama saya sebagai salah satu penulisnya.
3. Hak intelektual atas karya ilmiah ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya dan saya bersedia dan sanggup dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 05 Juli 2019
Pembuat pernyataan,



Adawiah
NPM 1524011012

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 17 Mei 1994. Penulis merupakan putri kedua dari pasangan Drs. M. H. Basri dan Ir. Ermawati, M.S. Penulis menyelesaikan pendidikan di Sekolah Dasar Al-Azhar I Way Halim Bandar Lampung pada tahun 2005, Sekolah Menengah Pertama Al-Azhar 3 Way Halim Bandar Lampung pada tahun 2008, dan Sekolah Menengah Atas Negeri 13 Bandar Lampung pada tahun 2011.

Penulis menyelesaikan pendidikan sebagai mahasiswa Program Studi Agroteknologi Strata 1 (S1), Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada tahun 2015. Penulis pernah menjadi Bendahara Umum Lembaga Studi Mahasiswa Pertanian (LS-Mata) periode 2013-2014 dan Anggota Bidang Eksternal Persatuan Mahasiswa Agroteknologi (Perma AGT) periode 2012-2013. Selama S1 penulis dipercaya menjadi asisten dosen Fisiologi Tumbuhan, Teknologi Benih, Statistika Pertanian, dan Teknik Penelitian. Penulis melanjutkan pendidikannya di tahun 2015 sebagai mahasiswa Pascasarjana (S2) Jurusan Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Selama S2, penulis dipercaya kembali menjadi asisten dosen Statistika Pertanian dan Rancangan Percobaan (S1).

*Hadiah kecil ini ku persembahkan untuk kedua orang tuaku
tercinta Umi dan Buyah sebagai ungkapan terima kasih, rasa
cinta, kasih sayang, dan bakti kepada kalian yang
senantiasa selalu memberi dukungan dalam hidupku.*

*Serta kakakku Ahmad Hidayatullah, adikku M. Ramli
Indran alif dan M. Ilyas yang senantiasa menemani,
membantu, mencurahkan perhatian dan kasih sayang.*

Keluarga besarku dan sahabat-sahabatku yang tercinta.

*Almamater yang kubanggakan
Universitas Lampung*

SANWACANA

Tesis dengan judul “Estimasi Keragaman dan Heritabilitas Karakter Ketahanan terhadap Penyakit Antraxosa (*Colletotrichum* Spp.) dan Karakter Agronomi Genotipe Cabai Generasi M₂ ” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains Pertanian di Universitas Lampung.

Tesis ini dalam penulisannya banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada

1. Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Dr. Ir. Nyimas Sa'diyah, M.P., selaku Pembimbing Utama yang telah memberikan ilmu pengetahuan, saran, kritik, semangat, dan kesabaran yang tak terhingga saat membimbing dalam penelitian ini.
3. Dr. Ir. Suskandini Ratih D, M.P., selaku Pembimbing Kedua yang telah memberikan ilmu pengetahuan, saran, kritik, semangat, dan kesabaran yang tak terhingga saat membimbing dalam penelitian ini.
4. Dr. Ir. Agus Karyanto, M.Sc., selaku Penguji yang telah memberikan pengarahan, ilmu pengetahuan, kritik, dan saran dalam proses penyelesaian penulisan tesis.

5. Prof. Dr. Ir. Yusnita, M.Sc., selaku Pembimbing Akademik dan Ketua Jurusan Magister Agronomi yang selalu memberikan bimbingan, saran dan nasihat selama ini.
6. Ayahanda Drs. M. H. Basri, ibunda Ir. Ermawati, M.S., kakakku Yayat dan adikku Indran serta Ilyas terima kasih atas doa, cinta, kasih sayang, dan semangat serta dukungan yang telah diberikan selama ini.
7. Teman-teman seperjuangan Endang Warastuti, Nilly Christalia, Siti Jarlina, Fajri Taufik Akbar, Dhiny Suntya Putri dan Ibnu Prasajo, yang telah membantu dan terlibat dalam penelitian serta memberikan masukan dalam pembuatan tesis ini.
8. Teman-teman seperjuangan magister agronomi Tri Fitriani, Nisya Aryani, Husna, Debby Agsari, Rahmadyah Hamiranti, Resti Puspa K.S, Meza Yupitasari, Rully Pebriansyah dan Icha Deska Rani yang telah memberikan motivasi dan semangat dalam pembuatan tesis ini.
9. Sahabat-sahabat Ayu Rista, Titian Widayati, Septia Dies Nurcahyani, dan Khairunnisa P.N yang selalu menemani, memberikan semangat dalam penyelesaian tesis ini.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas kebaikan mereka dan semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Amin

Bandar Lampung, Juli 2019
Penulis,

Adawiah

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang dan Masalah	1
1.2 Tujuan Penelitian	7
1.3 Kerangka Pemikiran	7
1.4 Hipotesis	10
II. TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1 Tanaman Cabai	11
2.2 Sentra Produksi Cabai	11
2.3 Taksonomi dan Morfologi Cabai	12
2.3.1 <i>Taksonomi Cabai</i>	12
2.3.2 <i>Morfologi Cabai</i>	13
2.4 Mutasi	14
2.4.1 <i>Pemuliaan Mutasi dengan Sinar Gamma</i>	17
2.5 Antraknosa	18
2.5.1 <i>Mekanisme Ketahanan Tanaman terhadap Patogen</i>	19
2.6 Sejarah Bahan Tanam	21
III. BAHAN DAN METODE	22
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	22

3.2 Bahan dan Alat	22
3.3 Metode Penelitian	23
3.4 Analisis Data	24
3.4.1 Keragaman	24
3.4.2 Heritabilitas	25
3.5 Pelaksanaan Penelitian	26
3.5.1 Perbanyakkan inokulum	26
3.5.2 Kerapatan spora	28
3.5.3 Persiapan lahan	29
3.5.4 Pindah tanam	29
3.5.5 Pemeliharaan	29
3.5.6 Panen	30
3.5.7 Pengamatan	30
IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Hasil Penelitian	34
4.2 Pembahasan	37
V. KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN	56

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kriteria keparahan penyakit	32
2. Ragam fenotipe cabai hasil mutasi generasi M ₂	34
3. Ragam genotipe cabai hasil mutasi generasi M ₂	35
4. Nilai heritabilitas pada cabai hasil mutasi generasi M ₂	35
5. Periode inkubasi dan keparahan penyakit tanaman cabai generasi M ₂ yang terinfeksi <i>Colletotrichum</i> spp	36
6. Keuntungan dan Kerugian dalam Pemuliaan Mutasi	48
7. Data buah, keterjadian penyakit, dan keparahan penyakit cabai generasi M ₂	57
8. Data buah, keterjadian penyakit, dan keparahan penyakit cabai generasi M ₀	59

DAFTAR GAMBAR

Tabel	Halaman
1. Kerangka kegiatan penelitian generasi M ₂	9
2. Sejarah bahan tanam	21
3. Gammacell	23
4. Tata letak percobaan	24
5. Identifikasi cendawan dimikroskop	26
6. Tahap perbanyakan inokulum <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	27
7. Tahap pemanenan spora dan infeksi spora di lapang	27
8. Skor gejala penyakit	31
9. Mekanisme sinar gamma dalam ketahanan tanaman	41
10. Peran enzim SOD dan POD dalam ketahanan tanaman	45
11. Perbedaan buah cabai antara perlakuan M ₀ dan perlakuan M ₂	60
12. Perbedaan bunga cabai antara perlakuan M ₀ dan perlakuan M ₂	60

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Cabai merupakan tanaman perdu dari famili *Solanaceae*, komoditas hortikultura ini termasuk salah satu kebutuhan pokok masyarakat dengan tingkat konsumsi yang sangat tinggi. BPS (2018) melaporkan bahwa di tahun 2017 masyarakat dalam seminggu mengonsumsi cabai merah mencapai 3,40 ton/kapita. Selain itu, cabai juga memiliki nilai ekonomis yang tinggi karena tanaman ini termasuk salah satu sumber devisa negara. Pada tahun 2016, Indonesia termasuk ke dalam lima negara terbesar yang memproduksi cabai segar. Negara utama penghasil cabai segar masih ditempati oleh China, diikuti Mexico dan Turkey. Sedangkan Indonesia menempati posisi ke empat dengan produksi cabai segar mencapai 1.961.598 ton (FAO, 2018).

Indonesia berpeluang menempati posisi utama sebagai produsen cabai dunia, mengingat luas lahan yang mendukung untuk membudidayakan cabai. Akan tetapi di tahun 2014 produktivitas cabai yang dihasilkan masih tergolong rendah yaitu 8,34 ton/ha (BPS, 2015). Produktivitas cabai yang masih rendah tersebut disebabkan oleh banyak faktor yang mempengaruhi, seperti teknik budidaya yang kurang optimal, minimnya penggunaan benih bermutu, dan tingginya serangan hama dan patogen. Menurut Hakim *et al.*, (2014) diantara faktor-faktor tersebut,

yang paling dominan menyebabkan rendahnya produktivitas cabai di Indonesia adalah adanya gangguan hama dan patogen.

Antraknosa merupakan salah satu penyakit penting dalam produksi cabai di daerah tropis dan lembab yang disebabkan oleh spora *Colletotrichum* spp. Serangan patogen ini dapat terjadi baik sebelum panen maupun setelah panen. Penurunan hasil akibat antraknosa dapat mencapai 50 % atau lebih. Genus *Colletotrichum*, digolongkan menjadi 6 spesies utama, yaitu *Colletotrichum gloeosporioides*, *C. acutatum*, *C. dematium*, *C. capsici*, dan *C. coccodes* (Nurhayati, 2007; Syukur, 2009). Hal serupa dilaporkan oleh Syukur (2013) sebanyak 67 isolat yang merupakan hasil eksplorasi cabai dari daerah Sumatera, Jawa, dan Papua ditemukan patogen antraknosa yang menyerang tanaman cabai tersebut. Patogen yang paling banyak dijumpai yaitu *C. capsici* diikuti oleh *C. gloeosporioides*, dan *C. acutatum*.

Upaya dalam mengatasi masalah ini dapat dilakukan dengan cara yaitu penggunaan varietas unggul. Syukur (2013) menyatakan Kementerian Pertanian sejak tahun 1980 sampai 2010 telah merilis 173 varietas unggul yang sebagian besar termasuk varietas introduksi dari luar negeri. Akan tetapi, varietas introduksi ini daya adaptasinya relatif rendah terutama ketahanan terhadap penyakit penting di Indonesia, sehingga perlu dilakukan perakitan melalui pemuliaan tanaman untuk mendapatkan kultivar baru.

Proses perakitan varietas tahan terhadap penyakit mengalami banyak kendala seperti kurangnya keragaman genotipe cabai yang dapat dijadikan sebagai sumber tetua gen ketahanan (Gaswanto, 2015). Peningkatan keragaman genetik tanaman

untuk mendapatkan kultivar atau varietas unggul dapat dilakukan dengan berbagai cara, yaitu persilangan, mutasi, atau melalui rekayasa genetik tanaman (Syarifudin, 2013).

Program pemuliaan tanaman cabai di Indonesia pada umumnya masih menggunakan metode konvensional melalui persilangan antar tanaman, cara ini kurang efisien karena pemuliaan tanaman secara konvensional dalam mendapatkan tanaman yang homozigot memerlukan banyak biaya, tenaga dan waktu (Alwi, 2009; Supena, 2007). Mutasi merupakan salah satu metode yang telah terbukti dapat meningkatkan keragaman genetik yang dapat diaplikasikan untuk mendukung program pemuliaan tanaman (Yusnita, 2014). Mutasi adalah perubahan materi genetik pada makhluk hidup yang terjadi secara tiba-tiba dan acak yang digunakan sebagai dasar bagi sumber variasi yang dapat diwariskan (Soeranto, 2003).

Mutasi dapat terjadi secara alami dan mutasi hasil induksi atau buatan. Menurut Mba (2013) mutasi secara alami telah terjadi sejak zaman prasejarah berburu-mengumpulkan, mutasi ini disebut dengan mutasi spontan. Mutasi spontan adalah tipe menyimpang yang ditemukan di alam secara tidak sengaja tanpa campur tangan manusia yang melahirkan fenotipe baru. Mutasi secara buatan biasanya memakai suatu mutagen, bahan mutagen ini digolongkan menjadi dua yaitu mutagen kimia (*chemical mutagen*) dan mutagen fisik (*physical mutagen*) (Soeranto, 2013; Wiartana, 2014). Mutagen kimia umumnya berasal dari senyawa alkyl diantaranya *ethyl methanesulfonate* (EMS), *diethyl sulphate* (DES), *methyl methane sulphonate* (MES), dan nitrous acids. Mutagen fisika bersifat

sebagai radiasi pigeon, bahan mutagen yang biasa digunakan adalah sinar-X, radiasi gamma, radiasi beta, dan neutron (Soeranto, 2003).

Induksi mutasi yang banyak diterapkan yaitu menggunakan radiasi gamma, karena iradiasi sinar gamma memiliki frekuensi hasil mutasi lebih tinggi dan lebih mudah diaplikasikan (Gaswanto, 2015), serta perakitan tanaman haploid yang diikuti dengan diploidisasi memerlukan waktu yang relatif singkat (Alwi, 2009). Sinar gamma memiliki energi yang cukup tinggi, apabila melintasi materi tanaman dapat menimbulkan perubahan pada jaringan itu sendiri, sel, struktur atau komposisi materi genetik (genom, kromosom, gen, DNA) (Soeranto, 2003). Perubahan materi genetik akibat radiasi sinar gamma dapat menjadi alternatif dalam meningkatkan keragaman genetik, sehingga cara ini biasanya digunakan dalam program pemuliaan mutasi.

Keberhasilan dalam program pemuliaan mutasi sangat bergantung dengan proses seleksi pada generasi awal. Proses seleksi bertujuan untuk memperoleh tanaman yang memiliki potensi genetik unggul. Proses seleksi dilakukan dengan mengetahui informasi genetik yang diperoleh dari beberapa parameter genetik seperti keragaman dan heritabilitas.

Keragaman merupakan parameter genetik dalam mengukur variasi penampilan yang diakibatkan oleh komponen genetik. Keragaman merupakan salah satu syarat penting dalam metode pemuliaan untuk perbaikan sifat tanaman, terutama keragaman genetik yang menjadi perhatian utama bagi seorang pemulia. Populasi tanaman yang tidak menunjukkan adanya keragaman akan menghambat kerja

seorang pemulia untuk meningkatkan potensi genetik suatu tanaman (Rahmadi, 2000).

Penelitian oleh Alfian (2014) melaporkan bahwa populasi cabai untuk karakter diameter batang, umur berbunga, umur panen, dan bobot buah total per tanaman memiliki keragaman fenotipe luas, akan tetapi keragaman genotipe diperoleh termasuk kriteria sempit. Keragaman yang luas dalam suatu populasi akan memberikan peluang yang lebih besar dalam pemilihan suatu karakter atau sifat yang diinginkan (Janaki, 2015 dan Shobha, 2017). Keragaman yang rendah terutama ragam genotipe menunjukkan bahwa suatu individu di dalam populasi cenderung bersifat seragam sehingga seleksi untuk perbaikan sifat pada populasi menjadi sulit dilakukan (Samudin, 2009).

Heritabilitas merupakan parameter genetik lainnya yang dapat diukur selain keragaman. Heritabilitas adalah pendugaan yang digunakan untuk mengetahui pengaruh genetik suatu tanaman yang dapat diwariskan kepada keturunannya (Janaki, 2015 dan Shobha, 2017). Heritabilitas mempunyai peran penting dalam menentukan nilai genetik yang dapat diduga dari informasi fenotipe suatu populasi, bisa dikatakan bahwa heritabilitas dapat mengukur sejauh mana keragaman fenotipe dalam populasi yang disebabkan peranan dari faktor genetik atau non genetik (Rahmadi, 2009; Visscher, 2008).

Heritabilitas suatu karakter dapat bernilai tinggi atau rendah, karakter yang mempunyai nilai heritabilitas tinggi menunjukkan bahwa faktor genetik lebih berperan dalam mengendalikan suatu sifat dibandingkan faktor lingkungan. Heritabilitas juga dapat menentukan skema kegiatan yang akan dilakukan dalam

program pemuliaan, hal ini dapat dilihat dari nilai heritabilitasnya. Nilai heritabilitas yang tinggi maka kegiatan seleksi dapat dilakukan pada generasi awal, sedangkan nilai heritabilitasnya rendah seleksi dapat dilaksanakan pada generasi akhir (Visscher, 2008).

Pada penelitian ini, cabai generasi M_2 hasil seleksi dari M_1 akan diinokulasikan spora *Colletotrichum* spp untuk di uji ketahanannya. Kemudian diestimasi nilai keragaman dan heritabilitasnya, pada generasi ini diharapkan karakter dari populasi cabai akan menunjukkan keragaman baik fenotipe maupun genotipe yang luas, nilai heritabilitas yang tinggi serta memiliki genotipe yang tahan terhadap penyakit antraknosa dan berdaya hasil tinggi.

Penelitian ini dilakukan untuk menjawab masalah yang dirumuskan dalam pertanyaan berikut:

1. Apakah terdapat nilai keragaman genotipe dan fenotipe yang luas pada karakter ketahanan terhadap antraknosa dan karakter agronomi cabai generasi M_2 hasil induksi mutasi dengan gamma?
2. Berapa besaran nilai duga heritabilitas karakter ketahanan terhadap antraknosa dan karakter agronomi tanaman cabai generasi M_2 hasil induksi mutasi dengan gamma?
3. Apakah galur mutan cabai generasi M_2 terdapat nomor-nomor harapan untuk karakter ketahanan terhadap antraknosa dan karakter agronomi?

1.2 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui nilai keragaman genotipe dan fenotipe pada karakter ketahanan terhadap antraknosa dan karakter agronomi cabai generasi M_2 hasil induksi mutasi dengan gamma.
2. Mengetahui besaran nilai duga heritabilitas karakter ketahanan terhadap antraknosa dan karakter agronomi tanaman cabai generasi M_2 hasil induksi mutasi dengan gamma.
3. Mendapatkan nomor-nomor harapan galur mutan cabai yang memiliki ketahanan terhadap antraknosa dan menguntungkan secara agronomis.

1.3 Kerangka Penelitian

Proses perakitan varietas unggul yang tahan terhadap penyakit mengalami banyak kendala seperti kurangnya keragaman genotipe cabai untuk dijadikan sebagai sumber tetua gen ketahanan. Peningkatan keragaman genetik dapat dilakukan melalui pemuliaan mutasi dengan menggunakan iradiasi sinar gamma. Iradiasi gamma memiliki kelebihan yaitu frekuensi hasil mutasi lebih tinggi, lebih mudah diaplikasikan, dan perakitan tanaman haploid memerlukan waktu yang relatif singkat. Selain itu, mutasi dengan radiasi sinar gamma mengakibatkan perubahan sifat-sifat genetik tanaman baik perubahan ke arah positif atau negatif. Pada penelitian ini, diharapkan tanaman cabai yang di iradiasi sinar gamma, mengalami perubahan sifat genetik ke arah yang positif dengan menghasilkan kultivar unggul cabai yang tahan terhadap penyakit antraknosa.

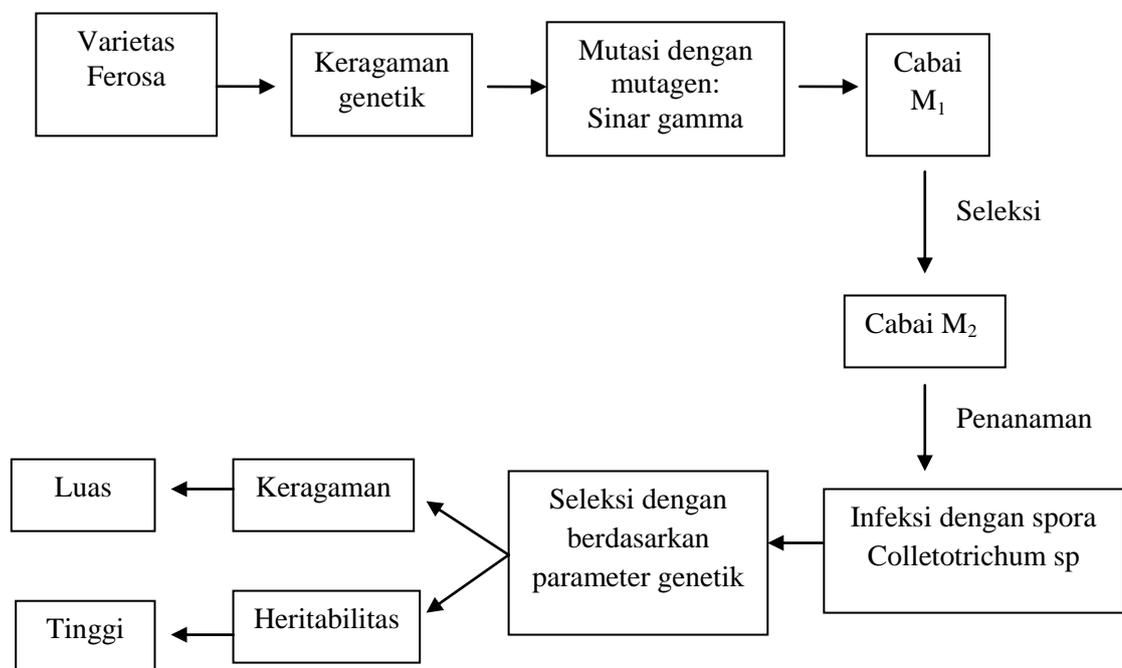
Beberapa percobaan terhadap cabai dengan menggunakan mutasi untuk mendapatkan varietas yang tahan terhadap penyakit. Mutasi menggunakan sinar

gamma memperoleh cabai yang masuk kategori tahan dan agak tahan terhadap infeksi *Begomovirus* (Gaswanto, 2015). Penelitian lainnya oleh Manzila (2015) melaporkan mutasi cabai dengan menggunakan *ethyl methanesulfonate* (EMS) menghasilkan galur cabai mutan yang tahan hingga toleran terhadap *chilli vienal mottle virus* (ChiVMV).

Beberapa hasil penelitian di atas menunjukkan bahwa perlakuan dengan mutasi baik mutasi secara kimia maupun fisik dapat menghasilkan tanaman mutan yang tahan terhadap penyakit tertentu. Cabai yang menjadi tahan terhadap penyakit kemungkinan telah terjadi mutasi didalamnya, sehingga terdapat perubahan pada jaringan, sel, struktur atau komposisi materi genetik (genom, kromosom, gen, DNA) akibat mutagen yang diaplikasikan (Soeranto, 2003). Cabai yang memiliki karakter tahan terhadap penyakit dan secara agronomi menghasilkan produksi tinggi dapat berpotensi dilepas menjadi varietas unggul.

Kegiatan yang sangat penting untuk mencapai tujuan tersebut yaitu dengan melakukan seleksi. Kegiatan seleksi dilakukan bukan hanya dilihat dari karakter yang diinginkan oleh seorang pemulia, namun informasi genetik dapat menjadi pertimbangan seorang pemulia dalam melakukan seleksi. Beberapa parameter genetik sebagai langkah awal untuk melakukan seleksi adalah keragaman dan heritabilitas. Estimasi nilai keragaman sangat diperlukan dalam mengukur variasi penampilan suatu populasi yang diakibatkan oleh komponen genetik, sedangkan heritabilitas digunakan untuk mengetahui pengaruh genetik suatu tanaman yang dapat diwariskan kepada keturunannya.

Penelitian ini dilakukan pada generasi M_2 dan akan diuji ketahanannya terhadap penyakit antraknosa. Secara teori tanaman generasi M_2 masih mengalami segregasi gen sehingga suatu populasi tanaman akan memperlihatkan keragaman terutama keragaman genetik yang cukup tinggi. Keragaman genetik yang tinggi akan mempengaruhi nilai heritabilitas yang diperoleh, dimana nilai heritabilitas diperlukan dalam menentukan skema kegiatan untuk generasi selanjutnya. Pada generasi ini, populasi cabai diharapkan memiliki keragaman baik fenotipe maupun genotipe yang luas, sehingga seleksi menjadi lebih efektif untuk mendapatkan kultivar unggul yang tahan terhadap antraknosa dan berdaya hasil tinggi. Nilai heritabilitas diharapkan termasuk dalam kriteria tinggi, sehingga kegiatan seleksi tersebut dapat dilaksanakan pada generasi awal. Kerangka kegiatan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka kegiatan penelitian generasi M_2 .

1.4 Hipotesis

1. Keragaman genotipe dan fenotipe pada karakter ketahanan terhadap antraknosa dan karakter agronomi cabai generasi M_2 yang luas.
2. Heritabilitas karakter ketahanan terhadap antraknosa dan karakter agronomi tanaman cabai generasi M_2 adalah tinggi.
3. Didapatkan genotipe cabai hasil mutasi yang memiliki ketahanan terhadap antraknosa dan unggul secara agronomis.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Cabai

Cabai ditemukan oleh seorang petualang dunia yaitu Christophorus Columbus yang berkebangsaan Spanyol. Pada tahun 1492, ekspedisi yang dipimpinnya mendarat di sebuah daerah berhawa panas yang dikiranya sebagai salah satu daerah dalam Benua Asia, namun ternyata daerah tersebut merupakan daerah Guanahani, San Salvador. Di daerah tersebut tanaman cabai sudah dibudidayakan secara luas oleh penduduk aslinya.

Cabai yang ditemukan oleh Columbus di Benua Amerika berbeda jenisnya dengan cabai yang ia temukan di Benua Eropa (paprika). Cabai ini merupakan tanaman asli Cabai ini diduga tersebar oleh orang Indian (penduduk asli Amerika). Hal ini terjadi karena sejak tahun 7000 SM, buah cabai sudah dimanfaatkan oleh suku Indian dalam keperluan masak-memasak. Kemudian mulai dibudidayakan oleh suku Indian pada tahun 5200-3400 SM, dari hasil budidaya ini cabai disebar luaskan diberbagai daerah lainnya salah satunya Benua Amerika (Setiadi, 2006).

2.2 Sentra Produksi Cabai

Daerah sentra produksi utama cabai merah di Indonesia antara lain Jawa Barat (Garut, Tasikmalaya, Ciamis, Sukabumi, Cianjur, Cirebon, Kuningan, Indramayu,

dan Bandung), Jawa Tengah (Brebes, Magelang, Blora, Klaten, dan Temanggung) dan Jawa Timur (Malang dan Banyuwangi). Sentra utama cabai keriting adalah Bandung, Brebes, Rembang, Tuban, Rejanglebong, Solok, Tanah Datar, Karo, Simalungun, Banyuasin dan Pagar Alam (BPTP Jawa Tengah, 2010 dalam Wulandari, 2014).

Daerah lain yang memproduksi cabai antara lain Sumatera Utara (Tapanuli Utara, Deli Serdang, Tanah Karo, Simalungun), Riau (Kampar), Sumatera Barat (Agam, Tanah Datar, Solok), Bengkulu (Rejang Lebong, Jambi (Kerinci), Bali (Karang Asem, Klungkung), Nusa Tenggara Barat (Lombok Barat, Lombok Timur), dan Sulawesi Selatan (Enrekang, Jenepono, dan Bone) (Pitojo, 2003).

2.3 Taksonomi dan Morfologi Cabai

2.3.1 Taksonomi Cabai

Secara sistematis menurut Pitojo (2003) tanaman cabai diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom: Platarum

Divisi : Spermatophyta

Subdivisi : Angiospermae

Kelas : Dikotyledonae

Ordo : Tubiflorae

Famili : Solanaceae

Genus : *Capsicum*

Species : *Capsicum annum* L.

2.3.2 *Morfologi Cabai*

Menurut Thalib (2014), secara morfologi tanaman cabai adalah sebagai berikut :

a. Akar

Akar merupakan bagian penting dari tanaman cabai yang berfungsi sebagai penyerap air dan unsur hara. Tanaman cabai dikenal memiliki sistem perakaran yang rumit. Tanaman cabai memiliki akar serabut yang halus dan banyak.

Beberapa akar utama tumbuh lebih besar ke arah bawah dan biasanya berfungsi sebagai akar tunggang semu.

b. Batang

Batang cabai tumbuh tegak berwarna hijau tua dan berkayu. Pada ketinggian batang tertentu akan membentuk percabangan seperti huruf Y. Batangnya berbentuk silindris, banyak cabangnya, serta ukuran yang mencapai tinggi 120 cm dan lebar tajuk tanaman hingga 90 cm.

c. Daun

Daun cabai berbentuk bulat telur, lonjong, ataupun oval dengan ujung yang meruncing, tergantung spesies dan varietasnya. Daun cabai berukuran panjang 8-12 cm, lebar 3-5 cm. Panjang tangkai daunnya berkisar 2-4 cm yang melekat pada percabangan, sedangkan daun cabai yang ditopang oleh tangkai daun mempunyai tulang menyirip.

d. Bunga

Bunga cabai bersifat hermaprodit yaitu satu bunga terdiri atas satu alat kelamin jantan dan betina, atau termasuk berkelamin dua, karena pada satu bunga terdapat kepala sari dan kepala putik. Bunga cabai keluar dari ketiak daun dan berbentuk seperti terompet. Sama halnya dengan tanaman dari keluarga Solanaceae lainnya. Bunga cabai merupakan bunga lengkap yang terdiri dari tangkai bunga yang berukuran panjang 1-2 cm, kelopak bunga, mahkota bunga, benang sari, dan putik.

e. Buah

Bentuk buah cabai berbeda-beda, dan bervariasi, tergantung varietasnya, dari cabai kriting, cabai besar yang lurus dan bisa mencapai ukuran ibu jari, cabai rawit kecil-kecil tapi pedas, cabai paprika yang berbentuk seperti buah apel, dan bentuk-bentuk cabai hias lain yang banyak ragamnya. Buah cabai biasanya muncul dari percabangan atau ketiak daun dengan posisi buah menggantung.

2.4 Mutasi

Mutasi adalah alat dan digunakan untuk mempelajari sifat dan dasar pertumbuhan tanaman dan pengembangan, sehingga menghasilkan bahan utama untuk genetika perbaikan tanaman (Mullainathan, 2014).

Mutasi dapat terjadi secara spontan secara alami di alam (*spontaneous mutation*) dan dapat juga terjadi melalui induksi (*induced mutation*). Secara mendasar tidak terdapat perbedaan antara mutasi yang terjadi secara alami dan mutasi hasil induksi buatan. Keduanya dapat menimbulkan variasi genetik untuk dijadikan

dasar seleksi tanaman, baik seleksi secara alami (evolusi) maupun seleksi secara buatan (pemuliaan) (Soeranto, 2003)

Berdasarkan bagian yang bermutasi, mutasi dibedakan menjadi mutasi genomik, mutasi gen dan mutasi kromosom.

1. Mutasi Genomik

Mutasi genomik merupakan mutasi yang menyebabkan jumlah kromosom menjadi berubah, dapat menjadi berkurang atau bertambah.

- a. Poliploid, yaitu penambahan satu set kromosom pada kromosom diploid.
- b. Haploidi atau polihaploidi, yaitu suatu tanaman yang memiliki hanya separuh dari jumlah kromosom normal.
- c. Aneuploidi, yaitu terjadinya penambahan atau pengurangan kromosom dari pasangan normalnya.

2. Mutasi Gen

Mutasi gen yaitu mutasi yang terjadi dalam gen, dimana terjadi perubahan terhadap susunan basa di dalam struktur DNA. Peristiwa yang terjadi pada mutasi gen adalah perubahan urutan-urutan DNA dan disebut juga mutasi titik.

Mutasi titik (*point mutation*) adalah penggantian satu basa oleh basa lainnya melalui transisi atau transversi. Adapun jenis-jenis mutasi gen adalah sebagai berikut:

- a. Mutasi salah arti (*missens mutation*), yaitu perubahan suatu kode genetik (umumnya pada posisi 1 dan 2 pada kodon) sehingga menyebabkan asam amino terkait (pada polipeptida) berubah. Perubahan pada asam amino dapat menghasilkan fenotipe mutan apabila asam amino yang berubah merupakan

asam amino esensial bagi protein tersebut. Jenis mutasi ini dapat disebabkan oleh peristiwa transisi dan tranversi.

- b. Mutasi diam (*silent mutation*), yaitu perubahan suatu pasangan basa dalam gen (pada posisi 3 kodon) yang menimbulkan perubahan satu kode genetik tetapi tidak mengakibatkan perubahan atau pergantian asam amino yang dikode. Mutasi diam biasanya disebabkan karena terjadinya mutasi transisi dan tranversi.
- c. Mutasi tanpa arti (*nonsense mutation*), yaitu perubahan kodon asam amino tertentu menjadi kodon stop. Hampir semua mutasi tanpa arti mengarah pada inaktifnya suatu protein sehingga menghasilkan fenotip mutan. Mutasi ini dapat terjadi baik oleh tranversi, transisi, delesi, maupun insersi.
- d. Mutasi perubahan rangka baca (*frameshift mutation*), yaitu mutasi yang terjadi karena delesi atau insersi satu atau lebih pasang basa dalam satu gen sehingga ribosom membaca kodon tidak lengkap. Akibatnya akan menghasilkan fenotip mutan.

3. Mutasi kromosom

Mutasi kromosom yaitu mutasi yang disebabkan karena perubahan struktur kromosom. Perubahan struktur diakibatkan oleh pecahnya benang kromosom, sering terjadi karena kesalahan pada meiosis maupun pada mitosis. Pecahnya benang kromosom dibagi dalam 4 kelompok:

- a. Translokasi, yaitu dua benang kromosom patah dan bergabung kembali dengan cara baru. Penggabungan ini dapat melalui perpindahan atau

pertukaran kromosom yang patah dengan kromosom lainnya, sehingga kromosom baru terbentuk yang berbeda dengan aslinya.

- b. Inversi, yaitu benang kromosom patah hingga dua kali secara simultan.
 - c. Duplikasi, yaitu peningkatan jumlah gen pada kondisi diploid.
 - d. Defisiensi, yaitu penghilangan satu atau lebih segmen gen pada kromosom.
- (Ardiani, 2012; Mba, 2013; Soeranto, 2003; dan Asadi, 2013).

2.4.1 Pemuliaan Mutasi dengan Sinar Gamma

Pemuliaan mutasi dengan mutagen yaitu dengan sinar gamma. Sinar gamma yang dipancarkan oleh radionuklida Co-60 (Cobalt-60) dan Cs-137 (Cesium-137) dan berkas elektron dari partikel-partikel bermuatan listrik. Radiasi yang menghasilkan foton berenergi tinggi sehingga sanggup menyebabkan terjadinya ionisasi dan eksitasi pada materi yang dilaluinya (Safitri, 2010)

Pemuliaan mutasi dengan mutagen seperti sinar gamma memiliki kelebihan dan kekurangan dalam penggunaannya. Kelebihan pemuliaan mutasi menurut Alwi (2009) salah satu metode yang tidak membutuhkan biaya besar dan waktu relatif lama dibandingkan pemuliaan secara konvensional dan telah terbukti dapat meningkatkan keragaman genetik tanaman. Kelebihan lainnya yaitu proses mutasi yang dilakukan dapat menimbulkan perubahan pada sifat-sifat genetik, dimana sifat yang dihasilkan tersebut termasuk ke arah positif (Soeranto, 2003).

Kekurangan dari pemuliaan mutasi adalah mutasi yang bersifat random. Proses mutasi yang dilakukan dapat menimbulkan perubahan pada sifat-sifat genetik, dimana sifat yang dihasilkan tersebut termasuk ke arah positif atau negatif (Soeranto, 2003). Apabila sifat-sifat tersebut lebih ke arah negatif, maka tujuan

pemulia untuk mendapatkan varietas unggul tidak dapat terlaksana. keberhasilan mutasi, yaitu karakter atau sifat yang ingin diperbaiki harus sudah ditetapkan terlebih dahulu, jelas, seleksi screening harus tepat kondisi materi yang akan dimutasikan, seperti kandungan air, oksigen, daya kecambah (benih) harus diketahui sebelum menginduksi mutasi, dan dosis dan waktu aplikasi mutagen yang tepat (Asadi, 2013).

2.5 Antraknosa

Antraknosa pada cabai merupakan penyakit yang disebabkan oleh cendawan *Colletotrichum* spp. Pada penelitian ini, identifikasi dibawah mikroskop menunjukkan bahwa genus *Colletotrichum* yang diperoleh termasuk dalam spesies *Colletotrichum gloeosporioides*. Secara taksonomi dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom : Fungi
Divisi : Ascomycota
Kelas : Sordariomycetes
Famili : Phyllachorales
Genus : *Colletotrichum*
Spesies : *gloeosporioides*

Cendawan jenis ini memiliki karakteristik berbeda-beda sesuai dengan tanaman inangnya, seperti pada kultur media cendawan ini menghasilkan koloni spora yang melingkar, berbulu atau menyerupai kapas dan memiliki warna coklat pucat atau putih keabu-abuan. Secara mikroskopis, cendawan tersebut berbentuk telur

lonjong, bersel satu, sedikit melengkung dan memiliki rata-rata panjang 10-15 μm serta lebar 5-7 μm (Gautam, 2014).

Patogen ini menyerang buah cabai di pertanaman dan infeksi cendawan *Colletotrichum* spp. dapat menurunkan hasil mencapai 50 % atau lebih. Hal ini dikarenakan *Colletotrichum* menginfeksi tanaman cabai merah terutama buahnya. Cendawan akan menginokulasi spora yang berada di permukaan kulit buah, kemudian spora akan menginfeksi permukaan kulit buah. Spora kemudian berkecambah dan membentuk tabung perkecambahan. Selanjutnya berpenetrasi ke lapisan epidermis kulit buah dilanjutkan dengan membentuk jaringan hifa. Kemudian hifa intra dan interseluler menyebar ke seluruh jaringan dari buah cabai merah. Gejala awal akibat infeksi yang dilakukan cendawan *Colletotrichum* sangat terlihat pada bagian buah cabai yang ditandai dengan bintik-bintik kecil berwarna kehitam-hitaman dan sedikit melekuk. Serangan lebih lanjut mengakibatkan buah mengkerut, kering dan membusuk (Salim, 2012).

2.5.1 Mekanisme Ketahanan Tanaman terhadap Patogen

Tanaman memiliki beberapa cara pertahanan untuk mencegah atau membatasi aktivitas patogen agar patogen tidak dapat berkembang dengan bebas dan menyebabkan kerusakan yang berarti, mekanisme pertahanan tanaman diantaranya yaitu pertahanan struktural dan pertahanan kimia.

1) Pertahanan struktural

Pertahanan ini berupa hambatan fisik atau struktur tanaman yang dibuat untuk mencegah patogen memasuki atau berkembang di dalam tanaman.

a. Pertahanan struktural pasif

Ketahanan tanaman berupa struktur tertentu yang sudah terbentuk sebelum patogen menginfeksi dan menyebabkan patogen sukar untuk diinfeksi oleh patogen. Pertahanan ini berupa lapisan epidermis yang berkutikula tebal, adanya lapisan lilin dsb.

b. Pertahanan struktural aktif

Ketahanan tanaman berupa struktur tertentu yang dibuat setelah patogen menginfeksi tanaman, pertahanan struktural aktif muncul sebagai hasil interaksi antara inang dan patogen. Pertahanan ini dapat berupa struktur pertahanan histologis (perubahan jaringan disekitar patogen), struktur pertahanan seluler (perubahan morfologis sel yang terinfeksi), reaksi pertahanan sitoplasmik (sitoplasma dan inti sel membesar), dan reaksi pertahanan nekrotik (sitoplasma berubah warna).

2) Pertahanan Kimia

Pertahanan ini berupa senyawa kimia tertentu yang diproduksi pada sel atau jaringan dan bersifat racun terhadap patogen atau dapat menghambat perkembangan patogen di dalam tanaman.

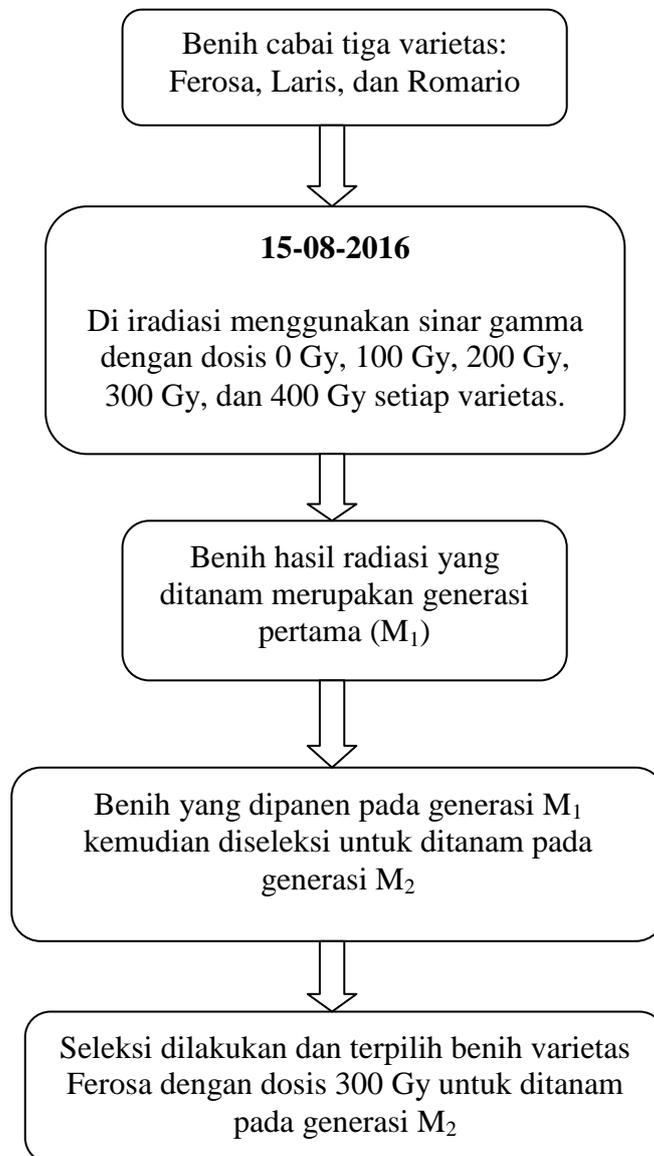
a. Pertahanan kimia pasif

Ketahanan tanaman berupa senyawa kimia yang di sekresikan melalui tajuk atau akar sebelum patogen menginfeksi tanaman. Senyawa yang dikeluarkan dapat menghambat perkembangan patogen dilingkungan sekitarnya, senyawa kimia tersebut berupa asam, minyak, ester, dan fenol.

b. Pertahanan kimia aktif

Ketahanan tanaman berupa senyawa kimia yang terbentuk sebagai respon tanaman terhadap infeksi patogen, senyawa ini berupa fitoaleksin yang bersifat racun terhadap patogen. Fitoaleksin yang disekresikan akan menyebabkan kematian sel yang cepat di sekitar sel yang terinfeksi, sehingga perkembangan patogen terhenti (Ginting, 2013).

2.6 Sejarah Bahan Tanam



Gambar 2. Sejarah bahan tanam.

III. BAHAN DAN METODE

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Lapangan Terpadu Universitas Lampung, Bandar Lampung, Provinsi Lampung. Iradiasi sinar gamma dilakukan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi, Pasar Jumat, Jakarta. Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Juni 2017 sampai dengan Desember 2017.

3.2 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan untuk penanaman dilapang adalah benih yang berasal dari generasi M₁ varietas Ferosa dengan dosis 300 Gy (Gambar 2) dan Ferosa dengan 0 Gy sebagai tetua, kompos, *top soil*, pupuk cair N, P, dan K, pupuk kandang, obat cendawan, furadan, insektisida, dan air. Bahan yang digunakan untuk perbanyakan spora adalah cabai merah yang memiliki gejala antraknosa, aquades, media PDA: agar-agar, gula, dan kentang.

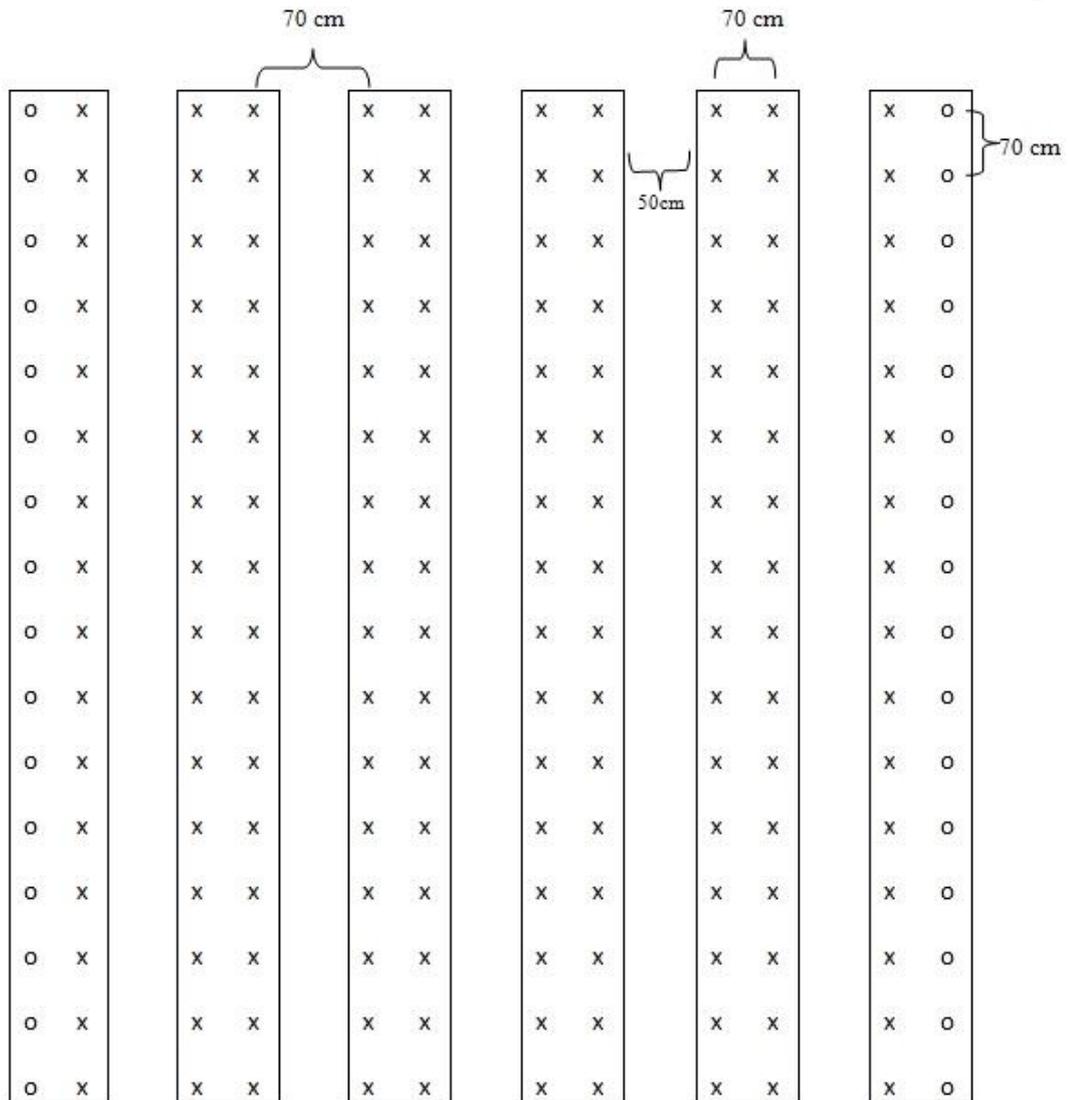
Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *gammacell 220* (Gambar 3), cawan petri, erlenmeyer, jarum ose, kaca preparat, mikroskop elektron, plastik mulsa, *yellow trap*, cangkul, plastik ukuran, botol semprotan, sprayer, timbangan elektrik, meteran, ember, selang air, gunting, alat tulis-menulis, dan kamera.



Gambar 3. Gammacell.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini disusun menggunakan rancangan percobaan yaitu rancangan perlakuan tunggal tidak terstruktur, sedangkan rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan percobaan tanpa ulangan. Dalam penelitian ini seluruh tanaman yang diuji akan diamati, kemudian data yang diperoleh di lanjutkan dalam perhitungan keragaman dan heritabilitas. Tata letak satuan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Tata letak percobaan.

Keterangan: o = tanaman tetua dan x = tanaman M₂

3.4 Analisis Data

3.4.1 Keragaman

Keragaman yang dianalisis yaitu keragaman fenotipe dan genotipe. Analisis data untuk menghitung ragam fenotipe (σ_f^2) ditentukan dengan rumus :

$$\sigma_f^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2}{N}$$

keterangan: σ_f^2 = ragam fenotipe

X_i = nilai pengamatan tanaman ke -i

μ = nilai tengah populasi

N = jumlah tanaman yang diamati (Suharsono *et al.*, 2006).

Ragam genotipe (σ_g^2) pada generasi M_2 dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\sigma_{M_2}^2 &= \sigma_f^2 \\ \sigma_f^2 &= \sigma_g^2 + \sigma_e^2 \\ \sigma_g^2 &= \sigma_f^2 - \sigma_e^2 \\ &= \sigma_{M_2}^2 - \sigma_{M_0}^2\end{aligned}$$

Keterangan: σ_f^2 = ragam fenotipe

σ_g^2 = ragam genotipe

σ_e^2 = ragam lingkungan

$\sigma_{M_2}^2$ = ragam populasi M_2

$\sigma_{M_0}^2$ = ragam populasi M_0

3.4.2 Heritabilitas

Menurut Visscher *et al.*, (2008), pendugaan heritabilitas dalam arti luas (H)

dengan menggunakan rumus :

$$H = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_f^2}$$

Keterangan : H = heritabilitas arti luas

σ_g^2 = ragam genotipe

σ_f^2 = ragam fenotipe

Kriteria nilai heritabilitas menurut Indriatama (2016) adalah sebagai berikut:

1. Heritabilitas tinggi apabila $H \geq 50\%$ atau $H \geq 0,5$

2. Heritabilitas sedang apabila $20\% < H < 50\%$ atau $0,2 < H < 0,5$
3. Heritabilitas rendah apabila $H \leq 20\%$ atau $H \leq 0,2$

3.5 Pelaksanaan Penelitian

Percobaan ini dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu perbanyakan inokulum *Colletotrichum* spp, penyemaian benih, persiapan lahan, pindah tanam, pemeliharaan, infeksi spora dilapang, panen, dan pengamatan.

3.5.1 Perbanyakan inokulum

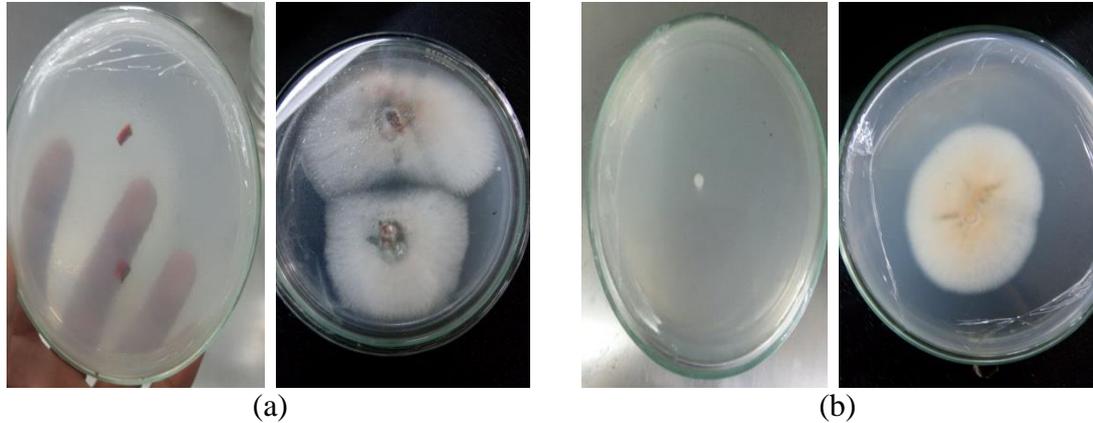
Perbanyakan inokulum diawali dengan kegiatan isolasi spora dari lapang dengan mendapatkan cabai yang menunjukkan gejala penyakit antraknosa. Kemudian diidentifikasi dibawah mikroskop, untuk memastikan bahwa spora tersebut merupakan spora *Colletotrichum* spp. (Gambar 5).



Gambar 5. Identifikasi cendawan dimikroskop.

Bagian buah cabai yang bergejala dipotong dan dibiakan di media PDA untuk menjadi biakan murni. Pembuatan isolat dilanjutkan dengan menyiapkan

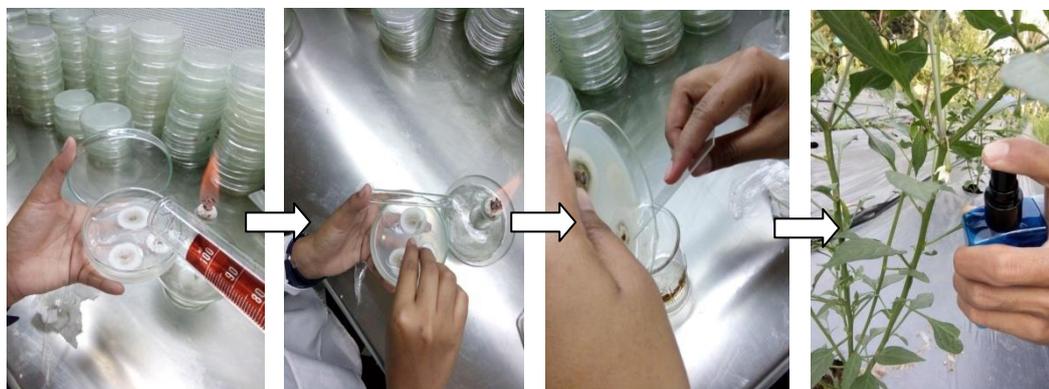
potongan dari spora (biakan murni) kemudian dibiakkan kembali pada media PDA dalam cawan petri (Gambar 6).



Gambar 6. Tahap perbanyakan inokulum *Colletotrichum gloeosporioides*.

Keterangan: (a) Isolasi spora dari lapang ke dalam media PDA; dan
(b) Perbanyakan biakan murni

Setelah biakan berumur 1 minggu, spora dipanen dengan cara memasukkan air aquades sebanyak 30 ml ke dalam cawan kemudian permukaan isolat dipanen perlahan, lalu suspensi spora tersebut disaring dengan menggunakan kertas saring. Infeksi spora dilapang dilakukan dengan menggunakan metode semprot merata ke seluruh permukaan tanaman, waktu aplikasi dilakukan saat tanaman memasuki periode berbunga dan berbuah (Gambar 7).



Gambar 7. Tahap pemanenan spora dan infeksi spora di lapang.

3.5.2 Kerapatan spora

Perhitungan produksi kerapatan spora dilakukan untuk mengetahui jumlah spora *Colletotrichum* spp. per satuan volume. Penghitungan kerapatan spora diawali dengan pembuatan suspensi spora *Colletotrichum* spp yaitu dengan mencampurkan cendawan yang telah tumbuh pada media perbanyakkan kedalam air steril (10 ml) dalam tabung reaksi steril dan dikocok dengan hingga tercampur merata (\pm 10 menit). Suspensi tersebut diencerkan hingga 10^{-3} , yang kemudian ditetaskan pada haemositometer dan diletakkan di bawah mikroskop binokuler dengan perbesaran 400 kali. Kemudian dihitung kerapatan spora dengan penghitungan dilakukan tiga kali pengulangan.

3.5.3 Penyemaian benih

Penyemaian benih dilakukan menggunakan media yang berupa campuran tanah dan kompos dengan perbandingan 1:1. Media semai dimasukkan ke dalam plastik berukuran 4 x 12,5 cm, setiap plastik tersebut diisi dengan media satu hari sebelum penyemaian. Sebelum penyemaian, benih direndam dengan air hangat kuku selama 30 menit. Benih M₂ diambil dari benih yang telah di seleksi pada generasi M₁, sedangkan benih tua diambil 150 benih varietas Ferosa tanpa perlakuan penyinaran.

Setiap plastik yang telah berisi media ditanami dengan satu benih, total benih untuk generasi M₂ yang disemai berjumlah 300 benih, kemudian ditanam sebanyak 150 benih. Total benih yang disemai untuk tua berjumlah 150 benih kemudian ditanam sebanyak 30 benih. Penyemaian benih dilakukan sampai tanaman siap untuk dipindah lapang yaitu setelah tanaman berumur \pm 4 minggu.

3.5.4 Persiapan lahan

Pengolahan tanah dilakukan dua kali yaitu pembukaan lahan dan pembuatan guludan. Pengolahan tanah pertama berupa kegiatan pembabatan gulma dan penggemburan tanah yang dilakukan satu minggu sebelum tanam. Olah tanah kedua yaitu pembuatan guludan berukuran 1 m dengan jarak antar guludan 50 cm. Setelah itu setiap guludan dilakukan pemasangan mulsa plastik, pemasangan mulsa ini bertujuan untuk menekan perkembangan gulma dan menjaga kelembaban tanah. Mulsa yang telah terpasang kemudian dilubangi pada bagian atas sesuai jarak tanam antar tanaman yaitu 70 x 70 cm dengan menggunakan alat pelubang.

3.5.5 Pindah tanam

Pindah tanaman dilakukan pada saat bibit cabai berumur 4 minggu setelah semai dan telah memiliki 4-6 daun sejati. Jarak tanam yang digunakan adalah 50cm x 70 cm. Bibit cabai dipindah dengan cara memotong bagian bawah plastik kemudian bibit dikeluarkan secara hati-hati dan ditanam pada lubang tanam yang telah disiapkan sesuai dengan tata letak yang telah ditentukan, kemudian setiap lubang tanam ditambahkan dengan kompos serta furadan.

3.5.6 Pemeliharaan

Pemeliharaan yang dilakukan berupa penyiraman, pengajiran, pemupukan dan pengendalian OPT. Penyiraman dilakukan setiap pagi dan sore hari menggunakan ember, sedangkan pengajiran dilakukan dengan menggunakan bambu yang telah dibelah dan dipotong setinggi 1,5 m. Pemupukan menggunakan pupuk cair untuk

menghindari kerusakan pada mulsa dan aplikasi pemupukan menggunakan metode kocor di bagian tanah. Pemupukan Urea dilakukan pada saat tanaman berumur 3, 6, dan 9 minggu setelah pindah tanam dengan dosis 3 g/L per tanaman untuk tiga kali aplikasi. Pemupukan KCl dilakukan pada saat tanaman berumur 3 dan 6 minggu setelah pindah tanam dengan dosis 3 g/L per tanaman untuk dua kali aplikasi. Pengendalian OPT dilakukan secara manual, mekanik, dan kimiawi. Pengendalian secara kimiawi seperti penggunaan pestisida dalam pengendalian kutu yang berbahan aktif *imidalopric* 200 g/l.

3.5.7 Panen

Pemanenan pertama dilakukan terhadap buah cabai yang sudah matang yaitu berwarna merah. Buah dipanen dengan cara dipetik secara manual dengan menyertakan tangkai buah. Pemanenan dilakukan dengan interval dua kali dalam seminggu.

3.5.7 Pengamatan

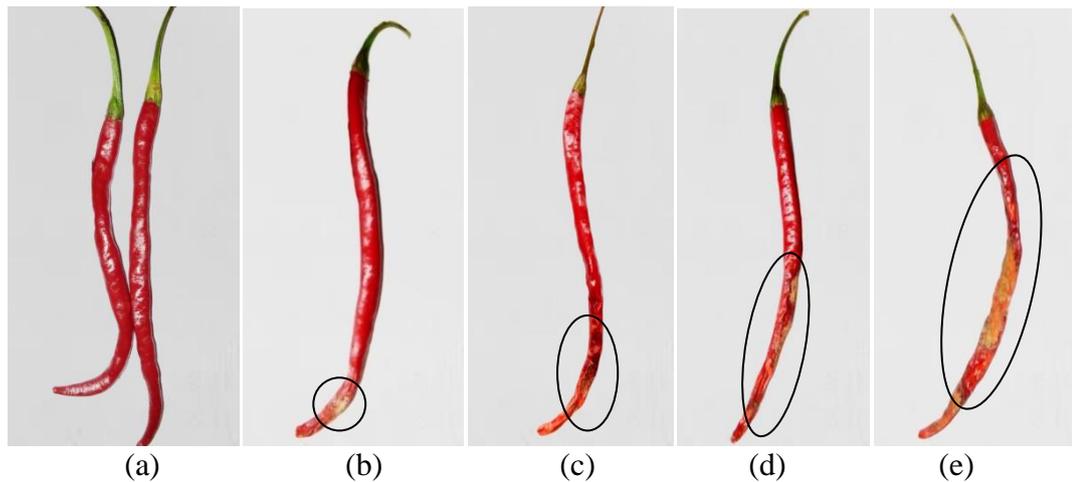
Kegiatan pengamatan dilakukan pada saat tanaman memasuki fase generatif yaitu pada saat tanaman mulai berbunga. Variabel pengamatan yang diamati meliputi:

1.) Periode inkubasi

Periode inkubasi adalah waktu yang diperlukan dari patogen masuk sampai menimbulkan gejala penyakit. Periode inkubasi dihitung dari waktu inokulasi sampai timbulnya gejala pada bagian buah.

2). Keparahan penyakit

Penentuan keparahan penyakit dilakukan berdasarkan nilai skor persen bagian buah yang terinfeksi dibanding bagian yang sehat. Pengelompokan skor dilakukan mengikuti cara yang digunakan Suryotomo (2006) yang telah dimodifikasi.



Gambar 8. Skor gejala penyakit.

Keterangan: (a) Skor 0=Tidak bergejala; (b) Skor 1= bagian buah terinfeksi $\leq 10\%$; (c) Skor 2= bagian buah terinfeksi mencapai $10\% > X \leq 20\%$; (d) Skor 3= bagian buah terinfeksi mencapai $20\% > X < 50\%$; dan (e) Skor 4 bagian buah terinfeksi mencapai $> 50\%$.

*Tanda lingkaran menunjukkan bagian buah yang terserang.

Setelah skor ditentukan, keparahan penyakit dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$KP = \frac{\sum(n \times v)}{N \times Z} \times 100\%$$

Keterangan: KP: Keparahan penyakit

N : Jumlah sampel yang diamati

Z : Nilai skor tertinggi

n : Jumlah sampel untuk gejala penyakit

V : Nilai skor untuk kategori gejala penyakit

Persentase keparahan penyakit yang diperoleh kemudian ditentukan kriteria

ketahanan berdasarkan Syukur (2013):

Tabel 1. Kriteria keparahan penyakit.

Keparahan Penyakit (%)	Kriteria
$0 \leq X < 10$	Sangat Tahan
$10 < X < 20$	Tahan
$20 < X < 40$	Moderat
$40 < X < 70$	Rentan
$X > 70$	Sangat Rentan

3). Umur berbunga

Umur berbunga dihitung berdasarkan dari jumlah hari sejak bibit dipindah tanam ke lahan sampai dengan hari pertama tanaman berbunga.

4). Jumlah bunga

Jumlah bunga dihitung berdasarkan jumlah bunga yang muncul di ruas percabangan pada setiap tanaman cabai.

5). Umur panen

Umur panen dihitung berdasarkan jumlah hari sejak pindah tanam bibit hingga pertama kali menghasilkan buah siap panen.

6). Jumlah cabang produktif

Jumlah cabang produktif dihitung berdasarkan jumlah cabang primer yang menghasilkan buah pada setiap tanaman.

7). Tinggi bibit

Tinggi bibit dihitung dengan mengukur tinggi tanaman dari pangkal hingga pucuk tertinggi bibit seminggu sebelum dilakukan pindah tanam.

8). Tinggi tanaman

Tinggi tanaman dihitung dengan mengukur tinggi tanaman dari pangkal hingga pucuk tertinggi pada tanaman. Tinggi tanaman diukur pada saat memasuki fase berbunga dan menjelang panen.

9). Jumlah buah per tanaman

Jumlah buah dihitung per tanaman pada saat panen, selanjutnya dijumlahkan dari panen pertama hingga panen akhir.

10). Bobot buah per tanaman

Bobot buah per tanaman dihitung dengan menimbang berat buah per tanaman pada setiap panen, kemudian dijumlahkan dari panen pertama hingga panen akhir.

11). Panjang buah

Panjang buah dihitung dengan mengukur panjang dari pangkal buah sampai ujung pada satu buah setiap panen kemudian dirata-ratakan seluruh data yang diperoleh dari panen pertama hingga panen akhir.

12). Diameter buah

Diameter buah diukur menggunakan jangka sorong pada bagian terbesar pada satu setiap panen kemudian dirata-ratakan dari buah yang diperoleh dari panen pertama hingga panen akhir.

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

1. Keragaman fenotipe dan genotipe yang termasuk dalam kriteria luas yaitu karakter tinggi bibit, jumlah cabang primer, umur berbunga, jumlah berbunga, umur panen dan jumlah buah.
2. Karakter tinggi bibit, jumlah cabang primer memiliki nilai heritabilitas yang tinggi, sedangkan karakter jumlah buah memiliki nilai heritabilitas yang sedang. Heritabilitas yang rendah terdapat pada karakter umur berbunga, jumlah bunga, tinggi tanaman berbunga, umur panen, tinggi tanaman panen, dan periode inkubasi.
3. Genotipe 93 dan 136 hasil mutasi menunjukkan adanya sifat ketahanan terhadap antraknosa dibandingkan dengan genotipe lainnya.

5.2 Saran

Peneliti menyarankan agar dilakukan penelitian lebih lanjut untuk genotipe 93 dan 136 pada generasi M_3 , untuk mengetahui ketahanan tersebut merupakan efek dari iradiasi sinar gamma dan bersifat tetap atau akan terjadi segregasi gen pada generasi M_3 .

DAFTAR PUSTAKA

- Alfian, D., A, Rasyad, dan Deviona. 2014. Pendugaan Parameter Genetik Populasi Cabai (*Capsicum annum* L.) Melalui Pengujian F₁ Hasil Persilangan secara *Diallel*. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Pertanian*. 1(1): 15 hlm.
<http://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFAPERTA/article/view/2602>.
- Ali, H., Z. Ghoris, S. Sheikh, and A. Gul. 2015. Crop Production and Global Environmental Issues: Effects of Gamma Radiation on Crop Production. 598 hlm. <http://www.springer.com/978-3-319-23161-7>.
- Alwi, M. dan E. Yuniati. 2009. Efek Radiasi Sinar Gamma terhadap Perkecambah Serbuk Sari dan Pembuahan Cabai Besar. *Biocelebes*. 3(2): 99-106.
- Akrom, M., E. Hidayanto, dan Susilo. 2014. Kajian Pengaruh Radiasi Sinar Gamma terhadap Susut Bobot pada Buah Jambu Biji Merah Selama Masa Penyimpanan. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*. 10: 86-91.
<https://doi.org/10.15294/jpfi.v10i1.3055>.
- Asadi. 2013. Pemuliaan Mutasi untuk Perbaikan terhadap Umur dan Produktivitas pada Kedelai. *AgroBiogen*. 9(3): 135-142.
- Badan Pusat Statistik. 2015. Konsumsi Rata-Rata Per Kapita Seminggu Beberapa Macam Bahan Makanan Penting 2007-2017. www.bps.go.id. [22 Maret 2018].
- Badan Pusat Statistik. 2015. Produksi Cabai Besar Menurut Provinsi 2011-2015. www.bps.go.id. [22 Juni 2017].
- Devi, A.S. dan L. Mullainathan. 2011. Physical and Chemical Mutagenesis for Improvement of Chilli (*Capsicum annum* L.). *World Applied Sciences Journal*. 15 (1): 108-113.
- Direktorat Pangan dan Pertanian. 2013. Studi Pendahuluan: Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) Bidang Pangan dan

- Pertanian 2015-2019. Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional. Jakarta. 419 hlm.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2018. Top 10 Country Production of Chillies and Peppers, Green. http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity. [28 Maret 2018].
- Faizah, R., S. Sujiprihati, M. Syukur, dan S.H. Hidayat. 2012. Ketahanan Biokimia Tanaman Cabai terhadap *Begomovirus* Penyebab Penyakit Daun Keriting Kuning. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*. 8 (5): 138-134.
- Gautam, A.K. 2014. *Colletotrichum gloeosporioides*: Biology, Pathogenicity and Management in India. *J Plant Physiol Pathol*. 2 (2): 1-11. <http://dx.doi.org/10.4172/2329-955X.1000125>.
- Ginting, C. 2013. Ilmu Penyakit dan Tumbuhan: Konsep dan Aplikasi. Lembaga Penelitian Universitas Lampung. Bandar Lampung. 203 hlm.
- Guswanto, R, M. Syukur, B.S. Purwoko, dan S.H. Hidayat. 2015. Metode Penularan Massal untuk Uji Penapisan Ketahanan Cabai Mutan terhadap *Begomovirus*. *J. Hort*. 25(3): 246-256.
- Hakim, A., M. Syukur, dan Widodo. 2014. Ketahanan Penyakit Antraknosa terhadap Cabai Lokal dan Cabai Introduksi. *Bul. Agrohorti*. 2(1): 31–36.
- Hanafy, R.S., dan S.A. Akladios. 2018. Physiological and Molecular Studies on The Effect of Gamma Radiation in Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) Plants. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2018.02.012>.
- Hastuti, N.M.D., I. Yulianah, dan D. Saptadi. 2016. Heritabilitas dan Kemajuan Genetik Harapan 7 Famili Populasi F₃ Hasil Persilangan Cabai Besar (*Capsicum annum* L.) TW2 X PBC473. *Jurnal Produksi Tanaman*. 4 (1): 63-72.
- Huang, S., Z. Liu, C. Li, R. Yao, D. Li, Li. Hou, X. Li, W. Liu, dan H. Feng. 2017. Transcriptome Analysis of a Female-sterile Mutant (*fsm*) in Chinese Cabbage (*Brassica campestris* ssp. *pekinensis*). *Frontiers in Plant Science*. 8: 546. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00546>.
- Indriatama, W.M., Trikoesoemaningtyas, S.I. Aisyah, dan S. Human. 2016. Pendugaan Ragam Genetik dan Heritabilitas Karakter Agronomi Gandum (*Triticum aestivum* L.) Hasil Berbagai Perlakuan Teknik Iradiasi Sinar Gamma. *A Scientific Journal for The Applications of Isotopes and Radiation*. 12 (2): 79-88.

- Jan, S., T. Parween, T.O. Siddiqi, and Mahmooduzzafar. 2012. Effect Of Gamma Radiation On Morphological, Biochemical, and Physiological Aspects Of Plants and Plant Products. *Environ.* 20: 17–39.
<https://doi.org/10.1139/a11-021>.
- Janaki, M., L.N. Naidu, C.V Ramana, dan M.P Rao. 2015. Assessment of Genetic Variability, Heritability and Genetic Advance for Quantitative Traits in Chilli (*Capsicum annum L.*). *The Bioscan.* 10 (2):729-733.
- Jogi, M.Y., M. B. Madalageri, M. Mallimar, S. Bawoor, V. Mangi and H. Porika. 2017. Genetic Variability Studies in Chilli (*Capsicum annum L.*) for Growth and Early Yield. *J. Pure App. Biosci.* 5 (5): 858-862.
<http://dx.doi.org/10.18782/2320-7051.2875>.
- Kadir. A. 2011. Respons Genotipe Padi Mutan Hasil Iradiasi Sinar Gamma terhadap Cekaman Kekeringan. *J. Agrivigor.* 10 (3): 235-246.
- Kebeish, R., H.E. Deef, and N. El-Bialy. Effect of Gamma Radiation on Growth, Oxidative Stress, Antioxidant System, and Alliin Producing Gene Transcripts in *Allium sativum*. *International Journal of Research Studies in Biosciences.* 3 (3): 161-174.
<https://www.researchgate.net/publication/275338404>.
- Kumar, S. 2013. Male Sterility in Vegetables. *Olericulture I : Fundamentals of Vegetable Production.* 431-439.
<https://www.researchgate.net/publication/274315378>.
- Manzila, A., N. Gunaeni, Y. Kusandriani, dan T.P Priyatno. 2014. Ketahanan dan Karakter Fenotipe Galur Mutan (M₂) Cabai terhadap *Chilli Veinal Mottle Virus*. *Jurnal AgroBiogen.* 11(2):73–80.
- Mba, C. 2013. Induced Mutations Unleash the Potentials of Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. *Agronomy.* 3: 200-231.
<https://doi.org/10.3390/agronomy3010200>.
- Odalusu, Y., M.Y. Rafli, N. Abdullah, G. Hussin, A. Ramli, H.A. Rahim, G. Miah, dan M. Usman. 2016. Principle and Application of Plant Mutagenesis in Crop Improvment. *Biotechnology and Biotechnological Equipment.* 30 (1): 1-6.
<http://dx.doi.org/10.1080/13102818.2015.1087333>.
- Pitojo, S. 3003. *Benih Cabai*. Kanisius. Yogyakarta. 81 hlm.
- Novenda, I.L, dan S.A. Nugroho. 2016. Analisis Kandungan Prolin Tanaman Kangkung (*Ipomoea reptana Poir*), Bayam (*Amaranthus spinosus*), Dan Ketimun (*Cucumis sativus L.*). *Pancaran.* 5 (4): 223-234.

- Nurhayati. 2007. Pertumbuhan *Colletotrichum capsici* Penyebab Antraknosa Buah Cabai pada Berbagai Media yang Mengandung Ekstrak Tanaman *Jurnal Rafflesia*. 9(1): 32-35.
- Rubiyo, A. Purwantara, dan Sudarsono. 2010. Aktivitas Kitinase dan Peroksidase, Kerapatan Stomata serta Ketahanan Kakao terhadap Penyakit Busuk Buah. *Pelita Perkebunan*. 26 (2): 111-121.
- Rosmaina., Syafrudin, Hasrol, F. Yanti, Juliyanti And Zulfahmi. 2016. Estimation of Variability, Heritability and Genetic Advance Among Local Chili Pepper Genotypes Cultivated in Peat Lands. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 22 (3): 431-436.
- Salim, M.A. 2012. Pengaruh Antraknosa (*Colletotrichum capsici* dan *Colletotrichum acutatum*) terhadap Respons Ketahanan Delapan Belas Genotipe Buah Cabai Merah (*Capsicum annum* L). UIN Sunan Gunung Djati Bandung. 182-187 hlm.
- Samudin, S. dan M.S Saleh. 2009. Parameter Genetik Tanaman Aren (*Arenga pinnata* L.) Genetic Parameters of Sugar Palm (*Arenga pinnata* Merr.). *J. Agroland*. 16 (1):17-23.
- Satriawan, I.B., A.N. Sugiharto, dan S. Ashari. 2017. Heritabilitas dan Kemajuan Genetik Tanaman Cabai Merah (*Capsicum Annuum* L.) Generasi F₂. *Jurnal Produksi Tanaman*. 5 (2): 343-348.
- Sari, L., A. Purwito, D. Sopandie, R. Purnamaningsih, dan E. Sudarmonowat. 2015. Karakterisasi Beberapa Morfologi, Anatomi dan Fisiologi Mutan Gandum (*Triticum aestivum* L.) Dewata dan Selayar di Dataran Rendah Tropis. *Widyariset*. 1 (1): 21-30.
- Setiadi. 2006. *Bertanam Cabai*. Penebar Swadaya. Jakarta. 184 hlm.
- Shobha., B.V. Tembhurne, H. Khan, M.K. Naik dan B.V. Patil. 2017. Genetic Variability and Association Analysis for M₃ Mutants in Chilli (*Capsicum annum* L.). *J. Farm Sci*. 30(1): 16-19.
- Soeranto, H. 2003. Peran Iptek Nuklir dalam Pemuliaan untuk Mendukung Industri Pertanian. Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir P3TM Batan. 308-316 hlm.
- Suharsono, M. Jusuf, dan A.P. Paserang. 2006. Analisis Ragam, Heritabilitas, dan Pendugaan Kemajuan Seleksi Populasi F₂ dari Persilangan Kedelai Kultivar Slamet dan Nokonsawon. *Jurnal Tanaman Tropika*. XI (2): 86-93.

- Sukma, D., R. Poerwanto, Sudarsono, N. Khumaida, I.M. Artika, dan S. Wiyono. 2011. Aktivitas Kitinase dan Peroksidase dari Ekstrak Kasar Protein Asal Kalus dan Berbagai Jaringan Tanaman *Trichosanthes cucumerina* var. *Anguina*. *J. Agron. Indonesia* 40 (3) : 225 – 231.
- Gayoso., F. Pomar, E.N. Uzal, F. Merino, O. Martinez, and ilarduya. 2010. The Ve-mediated resistance response of the tomato to *Verticillium dahliae* involves H₂O₂, peroxidase and lignins and drives PAL gene expression. *BMC Plant Biology*. 10: 232. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-10-232>.
- Sun, G.S., Z.L. Dai, P.W. Bosland, Q. Wang, C.Q. Sun, Z.C. Zhang, and Z.H. Ma. 2017. Characterizing and Marker-Assisting A Novel Chili Pepper (*Capsicum Annuum* L.) Yellow Bud Mutant with Cytoplasmic Male Sterility. *Genetics and Molecular Research*. 16 (1). <http://dx.doi.org/10.4238/gmr16019459>.
- Supena, E.D.J. 2007. Tinjauan Ulang Pengembangan Teknologi Haploid Cabai dan Prospeknya Untuk Percepatan Penelitian Genetika dan Pemuliaan Tanaman. *Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian. Pusat Penelitian Suberdaya Hayati dan Bioteknologi (PPSHB)*. 179-186 hlm.
- Suryotomo, B. 2006. Ketahanan Alami Beberapa Genotipe Cabai (*Capsicum annuum* L.) terhadap Penyakit Antraknosa. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia Vol. 8* (1): 1-6.
- Syaifudin, A., E. Ratnasari, dan Isnawati. 2013. Pengaruh Pemberian Berbagai Konsentrasi Kolkhisin terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Cabai (*Capsicum annuum*) Varietas Lado F₁. *LenteraBio*. 2(2): 167-171.
- Syukur, M., S. Sujiprihati, J. Koswara, dan Widodo. 2009. Ketahanan terhadap Antraknosa yang Disebabkan oleh *Colletotrichum acutatum* pada Beberapa Genotipe Cabai (*Capsicum annuum* L.) dan Korelasinya dengan Kandungan Kapsaicin dan Peroksidase. *J. Agron Indonesia*. 37(3): 233-239.
- Syukur, M., S. Sujiprihati, R. Yuniati, dan K. Nida. 2010. Pendugaan Komponen Ragam, Heritabilitas dan Korelasi untuk Menentukan Kriteria Seleksi Cabai (*Capsicum annuum* L.) Populasi F₅. *J. Hort. Indonesia* 1(3):74-80.
- Syukur, M, R. Yuniati, Rustam, dan Widodo. 2013. Pemanfaatan Sumber Daya Genetik Lokal dalam Perakitan Varietas Unggul Cabai (*Capsicum annuum*) Tahan Terhadap Penyakit Antraknosa yang Disebabkan oleh *Colletotrichum* sp. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)*. 18(2): 67-72.
- Timpano, H, R. Sibout, M.F. Devaux, C. Alvarado, R. Looten, X. Falourd, B. Pontoire, M. Martin, F. Legee, X. Falourd, L. Cezard, C. Lapierre, e.

- Badel, S. Citerne, S. Vernhettes, H. Hofte, F. Guillon, and M. Gonneau. 2010. *Brachypodium* Cell Wall Mutant with Enhanced Saccharification Potential Despite Increased Lignin Content. *Bioenerg Res.* 1-16. <http://dx.doi.org/10.1007/s12155-014-9501-1>.
- Thalib, F. 2014. Kajian Tentang Pengaruh Jarak Tanam dan Pemupukan Phonska Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Cabai (*Capsicum annum* L.). *Thesis*. Universitas Negeri Gorontalo. 50 hlm.
- Wiantana, I.M.A., M. Pharmawati, dan I.K. Suada. 2014. Induksi Mutasi Tanaman Cabai Merah (*Capsicum Annuum* L.) dengan *Ethyl Methanesulfonate* pada Berbagai Tingkat Waktu Perendaman. *Agrotrop*. 4(1): 7-12.
- Wulandari, S. 2014. Pengaruh *Trichoderma* spp. terhadap Penyakit Antraknosa (*Colletotrichum capsici*) pada Varietas Ferosa dan Laris. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Visscher, P.M., W.G Hill, dan N.R Wray. 2008. Nature Review: Heritability in The Genomics Era-Concepts and Misconceptions. *Nature Publishing Grup*. 9: 255-266. <https://doi.org/10.1038/nrg2322/>.
- Yunita, R, N. Khumaida, D. Sopandie, dan Ika Mariska. 2014. Pengaruh Iradiasi Sinar Gamma terhadap Pertumbuhan dan Regenerasi Kalus Padi Varietas Ciherang dan Inpari 13. *Jurnal AgroBiogen*. 10(3):101-108.