

**ANALISIS *SIMPLE SEQUENCE REPEATS* DAN PRODUKSI MUTU
BENIH JAGUNG (*Zea mays* L.) VARIETAS SRIKANDI UNGU PADA
KONDISI CEKAMAN ALUMINIUM**

(Skripsi)

Oleh

**Desi Anggia Putri
1814161039**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

ANALISIS *SIMPLE SEQUENCE REPEATS* DAN PRODUKSI MUTU BENIH JAGUNG (*Zea mays* L.) VARIETAS SRIKANDI UNGU PADA KONDISI CEKAMAN ALUMINIUM

Oleh

DESI ANGGIA PUTRI

Tanah masam yang disebabkan tingginya kadar Al uminium (Al) merupakan pembatas utama yang menyebabkan menurunnya pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan ketersediaan lahan, perlu dilakukan upaya untuk menemukan varietas tanaman jagung (*Zea mays* L.) yang mampu tumbuh pada kondisi pada tanah masam dengan cekaman Al. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui profil SSR dan produksi dan mutu benih (*Zea mays* L.) varietas srikandi ungu pada kondisi cekaman aluminium. Pendekatan lapang dalam penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) yang terdiri 4 taraf perlakuan Al (0 g/kg, 0,3 g/kg, 0,6 g/kg, 0,9 g/kg) dan 3 ulangan. Di laboratorium dilakukan analisis SSR terhadap benih jagung T-0 (benih induk) dan benih jagung T-1 (benih turunan) pada perlakuan kontrol dan perlakuan Al 0,9 g/kg tanah. Hal tersebut dikonfirmasi dengan nilai keragaman genetik yang dihasilkan pada benih jagung T-1 dimana terdapat 2 profil pita DNA yang berbeda dengan tanaman induknya (T-0), dan juga ditunjukkan dengan similaritas dendogram yang dihasilkan. Secara dilapangan, pemberian Al menunjukkan penurunan hasil baik itu produksi dan mutu benih yang dihasilkan. Selain itu, pola pita yang tervisualisasi merujuk pada dasar pola pewarisan sifat yang diturunkan induknya, dimana profil molekuler yang dihasilkan berkorelasi dengan hukum mendel I (1:2:1)

Kata Kunci : Jagung, Benih, Al uminium, DNA,

**ANALISIS *SIMPLE SEQUENCE REPEATS* DAN PRODUKSI MUTU
BENIH JAGUNG (*Zea mays* L.) VARIETAS SRIKANDI UNGU PADA
KONDISI CEKAMAN ALUMINIUM**

Oleh

Desi Anggia Putri

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA PERTANIAN

Pada

Jurusan Agronomi dan Hortikultura
Fakultas Pertanian Universitas Lampung



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi : ANALISIS PRODUKSI DAN MUTU BENIH
JAGUNG (*Zea mays* L.) VARIETAS
SRIKANDI UNGU PADA KONDISI
CEKAMAN ALUMINIUM BERBASIS *SIMPLE*
SEQUENCE REPEAT (SSR)

Nama Mahasiswa : *Desi Anggia Putri*

Nomor Pokok Mahasiswa : 1814161039

Program Studi : Agronomi

Fakultas : Pertanian

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Dr. Ir. Paul Benyamin Timotiwu, M.S.
NIP 196209281987031001

Wawan A. Setiawan, S.Si., M.Si.
NIP 197912302008121001

2. Ketua Jurusan Agronomi dan Hortikultura



Prof. Dr. Ir. Setyo Dwi Utomo, M.Sc.
NIP 196110211985031002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: **Dr. Ir. Paul Benyamin Timotiwu, M.S.**



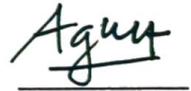
Sekretaris

: **Wawan A. Setiawan, S.Si., M.Si.**



Anggota

: **Dr. Agustiansyah, S.P., M.Si.**



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.
NIP. 196411181989021002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **24 April 2024**

SURAT PERNYATAAN

Saya Desi Anggia Putri mahasiswa Jurusan Agronomi dan Hortikultura angkatan 2018 yang bertanda tangan dibawah ini sebagai penulis, menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “Analisis SSR dan Produksi Mutu Benih Jagung (*Zea mays* L.) Varietas Srikandi Ungu Pada Kondisi Cekaman Aluminium” adalah hasil tulisan saya sendiri yang menjadi suatu karya yang menjadi syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Pertanian, Universitas Lampung. Tulisan yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila terbukti bahwa skripsi ini merupakan hasil salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku di Universitas Lampung.

Bandar Lampung,

Desi Anggia Putri
1814161039

RIWA YAT HIDUP

Desi Anggia Putri, dilahirkan di Bandar Lampung 07 Juni 1999.

Penulis merupakan anak ke dua dari empat bersaudara pasangan bapak Hasbi Ahmad dan Ibu Erlina, dan memiliki Abang kandung Rival Afriansyah serta adik kandung M. David Ariel Mulyansyah dan M. Revi Azlyansyah. Penulis menyelesaikan Pendidikan Sekolah Dasar di SDN 1 Soponyono, Tanggamus Lampung pada tahun 2011, Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Kota Agung, Tanggamus Lampung pada tahun 2014, Sekolah Menengah Atas di SMA YP UNILA Bandar Lampung pada tahun 2017 dan pada tahun yang sama penulis lulus seleksi masuk Institut Pertanian Bogor melalui jalur undangan (USMI) dan diterima di Program Studi Teknologi Industri Benih. Pada tahun 2020 penulis selesai menyelesaikan Pendidikan D3 di Sekolah Vokasi IPB.

Selama menempuh pendidikan di Sekolah Vokasi Institut Pertanian Bogor, penulis aktif dalam organisasi di kampus. Penulis aktif pada kegiatan organisasi mahasiswa sebagai anggota Hubungan Masyarakat pada tahun 2017-2018 serta menjadi badan pengurus harian (BPH) sebagai bendahara umum di Himpunan Mahasiswa Vokasi Pertanian (HIMAVOPERTA) di Sekolah Vokasi Institut Pertanian Bogor pada tahun 2018-2019. Penulis mengikuti Magang di *R&D* PT Syngenta Indonesia Kediri Jawa Timur pada tahun 2019-2020. Beasiswa yang pernah penulis peroleh selama menempuh pendidikan di Sekolah Vokasi Institut Pertanian Bogor yaitu beasiswa Peningkatan Prestasi Akademik (PPA) dari Kementerian Riset dan Teknologi Pendidikan Tinggi (Kemenristekdikti).

Selanjutnya penulis melanjutkan Pendidikan S-1 Program Studi Agronomi dan Hortikultura pada tahun 2020. Selama menempuh pendidikan penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada Januari-Februari 2022 di Desa Kalirejo, Kecamatan Wonosobo, Tanggamus Lampung. Penulis mengikuti

magang sebagai *Surveillance* ISO 17025:2017 pada Juni-Desember 2022 di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentral Inovasi Teknologi (UPT LTSIT), Universitas Lampung. Penulis menjadi Asisten Dosen pada mata kuliah Teknologi Benih, Teknologi dan Produksi Benih, Analisis Benih dan Biologi Molekuler pada Tahun 2022-2023.

Allah lebih tahu batas rasa sakit yang bisa kau tampung.
Jangan sampai engkau menyerah di saat selangkah lagi Allah menggantikan
kesakitan itu dengan sejuta keindahan ☺
- Ustadzah Fahira Muhammad

Jangan bersedih atas apa yang telah berlalu, kecuali itu bisa membuatmu bekerja
lebih keras untuk apa yang akan datang
- Umar bin Khattab

Give to the world the best you have, and the best will come back to you
- Inside The Aya Sophia – Turkey

& carilah “kepuasan” yang tidak bisa dibayar dengan uang.
Maka, kamu “mati pun akan bangga” dengan dirimu sendiri
-Desi Anggia Putri

PERSEMBAHAN

Tiada kata yang lebih indah selain ucapan syukur kepada Allah Azwajalla
atas segala rahmat dan hidayah-Nya.

Ku persembahkan karya ini kepada :

Ayah dan Mama tercinta yang selalu ada untuk mencurahkan kasih dan
sayangnya serta dukungan dengan penuh ketulusan serta mendoakan kebaikan dan
kebahagian yang tiada hentinya untuk putri kesayangan-mu ini, serta saudara-
saudara kandungku yang selalu bekerjasama untuk saling mendukung dan
mendoakan yang terbaik untuk kita.

Dosen-dosen pembimbing yang terhormat, sahabat-sahabat tersayang, dan
teman seperjuangan yang telah memberikan dukungan serta semangat

Dosen dan civitas akademik Jurusan Agronomi dan Hortikultura

Serta almamater yang kubanggakan,
Universitas Lampung.

SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah subhanahu wa ta'ala yang memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga terlaksana seluruh rangkaian kegiatan dan penyelesaian studi dari merencanakan penelitian sampai penyusunan konsep skripsi yang berjudul “Analisis SSR dan Produksi Mutu Benih Jagung (*Zea mays* L.) Varietas Srikandi Ungu Pada Kondisi Cekaman Aluminium Berbasis *Simple Sequence Repeat* (SSR)” Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Setyo Dwi Utomo, M.Sc., selaku Ketua Jurusan Agronomi dan Hortikultura serta selaku Dosen Pembimbing Akademik (PA) yang selama ini telah membimbing, memberi nasehat, dan motivasi penulis sampai studi ini dapat selesai.
3. Bapak Dr. Ir. Paul Benyamin Timotiwu, M.S., selaku dosen pembimbing pertama yang senantiasa memberi motivasi, mencurahkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan gagasan penelitian, bimbingan, kritikan saran, dan terus memacu untuk terbuka pada wawasan baru kepada penulis sejak perencanaan penelitian sampai terwujudnya skripsi ini, bahkan senantiasa memberikan nasihat-nasihat diluar penelitian untuk terus memperbaiki diri
4. Bapak Wawan A. Setiawan, M.Si., yang juga senantiasa memberi motivasi, mencurahkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan gagasan penelitian, bimbingan, kritikan dan saran kepada penulis, mulai dari perencanaan penelitian sampai terwujudnya skripsi ini, tiada lelah mengajarkan penulis dalam bidang biomolekuler, maupun bidang-bidang

lain dan senantiasa memberikan nasihat-nasihat diluar penelitian untuk terus memperbaiki diri.

5. Bapak Dr. Agustiansyah, S.P., M.Si. selaku penguji dalam penelitian ini atas saran dan kritik yang membangun terhadap penulisan skripsi ini sejak awal penelitian hingga skripsi ini selesai.
6. Bapak dan Ibu dosen pengampu mata kuliah pada Program Studi Agronomi dan Hortikultura Universitas Lampung yang telah membekali ilmu yang sangat bermanfaat dalam memperluas wawasan pemikiran dalam menimjang penulisan skripsi ini.
7. Untuk yang ter-istimewa cinta pertamaku, Ayahanda Hasbi Ahmad dan pintu surga penulis Ibunda Erlina yang tiada hentinya selalu menjadi tempat penulis bercerita akan kerasnya hidup, yang selalu mendoakan, mendukung, memberi kasih & sayang kepada penulis sampai akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih atas doa dan motivasi yang selalu diberikan, terima kasih sudah selalu sabar menunggu anak-mu berproses dan selalu menjadi *support system* terbaik bagi penulis.
8. Kakak kandung, kakak ipar dan adik-adik penulis yaitu, Bang Rian, Kak Gina, Ariel dan Revi yang selalu memberikan doa, dukungan, nasehat, canda dan tawa
9. Sahabat tercinta yang selalu ada diberbagai keadaan hidup penulis sampai detik ini sama-sama menjadi kuat untuk hidup kita, Ravita Dwi Purnomo, Guntur Permadi dan Zea Utari Ningsih
10. Sahabat seperjuangan saya selama menempuh S-1 ini yang selalu ada untuk saling dan menyalingi membantu serta berkeluh kesah, Dona Pratiwi, Adinda Nurulita Putri, Ifan Maulana Putra dan Kadek Wijaya Kusuma
11. Teman seperjuangan saya selama kuliah, Andika Dwi Saputra, Vernanda Saktilas, Mita, dan Tedy Prasetya dan seluruh teman-teman Agronomi.

Semoga tulisan ini bermanfaat bagi pembaca

Bandar Lampung, 20 Mei 2023

Desi Anggia Putri

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	vii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Landasan Teori	4
1.5 Kerangka Pemikiran	8
1.6 Hipotesis Penelitian.....	12
II. TINJAUAN PUSTAKA	14
2.1 Botani Tanaman Jagung	14
2.2 Perkecambahan Benih Jagung.....	15
2.3 Respon Tanaman Jagung Terhadap Cekaman Aluminium	19
2.4 Analisis Keragaman Genetik Berbasis <i>Simple Sequence Repeat</i>	22
2.4.1 Ekstraksi DNA Tanaman Jagung.....	22
2.4.2 Amplifikasi Sekuens DNA dengan <i>SSR-Polymerase Chain Reaction</i> (PCR)	23
2.4.3 Visualisasi Hasil Amplifikasi dengan Elektroforesis	25
2.4.4 Analisis dan Interpretasi Hasil Visualisasi Sekuen dengan Elektroforesis	26
III. METODOLOGI PENELITIAN	29

3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	27
3.2	Alat dan Bahan	27
3.3	Metode Penelitian.....	28
3.4	Pelaksanaan Penelitian	29
3.4.1	Produksi Benih Jagung Srikandi Ungu	29
3.5	Pengujian Mutu Benih Jagung Srikandi Ungu	32
3.6	Analisis Keragaman Genetik Berbasis <i>Simple Sequence Repeat</i>	33
3.6.1	Ekstraksi DNA.....	33
3.6.2	Analisis Kemurnian dan Kuantifikasi DNA	34
3.6.3	Amplifikasi Gen dengan Metode <i>Polymerase Chain Reaction</i>	34
3.6.4	Elektroforesis Hasil <i>Polymerase Chain Reaction</i> (PCR)	35
3.6.5	Analisis dan Interpretasi Hasil Visualisasi Sekuen dengan Elektroforesis	36
3.7	Variabel Pengamatan.....	39
3.7.1	Indikator Pertumbuhan dan Produksi	36
3.7.2	Indikator Mutu Benih.....	38
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1	Hasil Penelitian	41
4.1.1	Hasil Pengaruh Pemberian Aluminium terhadap Pertumbuhan dan Produksi Benih Jagung (<i>Zea mays</i> L.) T-0 (Benih Induk)Varietas Srikandi Ungu	41
4.1.2	Hasil Pengaruh Pemberian Aluminium terhadap Mutu Benih Jagung (<i>Zea mays</i> L.) T-1 (Benih Turunan) varietas Srikandi Ungu.....	51
4.1.3	Hasil PCR-SSR DNA Jagung (<i>Zea mays</i> L.) T-0 dan T-1 Varietas Srikandi Ungu Pengaruh Pemberian Aluminium	59
4.2	Pembahasan.....	68
4.2.1	Pengaruh Pemberian Aluminium terhadap Pertumbuhan Produksi dan Mutu Benih yang di Hasilkan pada Tanaman Jagung (<i>Zea mays</i> L.) T-1 (Benih Turunan) Varietas Srikandi Ungu	65

4.2.2 Analisis PCR-SSR DNA Jagung (<i>Zea Mays</i> L.) T-0 dan T-1 Varietas Srikandi Ungu Pengaruh Pemberian Aluminium dengan Dosis 0 g/kg dan 0,9 g/kg Berat Tanah dalam <i>Polybag</i>	71
4.2.3 Hubungan terhadap Pengaruh Pemberian Aluminium Pada Pertumbuhan Mutu Benih serta analisis PCR-SSR DNA Jagung (<i>Zea mays</i> L.) T-0 dan T-1 Varietas Srikandi Ungu	77
V. KESIMPULAN DAN SARAN	80
5.1 Kesimpulan.....	83
5.1 Kesimpulan.....	83
DAFTAR PUSTAKA	86
LAMPIRAN.....	93

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Pengaruh pemberian aluminium terhadap jumlah daun dan tinggi tanaman minggu ke-7 jagung varietas Srikandi Ungu.....	47
2. Pengaruh pemberian aluminium terhadap bobot tongkol dengan kelobot, dan bobot tongkol tanpa kelobot tanaman jagung varietas Srikandi Ungu	51
3. Pengaruh pemberian aluminium terhadap baris per tongkol, biji per baris, dan biji per tongkol pada tanaman jagung varietas Srikandi Ungu	54
4. Rekapitulasi hasil analisis ragam terhadap pengamatan produksi tanaman jagung (<i>Zea Mays</i> L) varietas Srikandi Ungu.	57
5. Pengaruh pemberian aluminium terhadap kecepatan tumbuh (%/hari) pada jagung varietas Srikandi Ungu.....	61
6. Pengaruh pemberian aluminium terhadap berat basah dan berat kering kecambah tanaman jagung varietas Srikandi Ungu.	62
7. Rekapitulasi hasil analisis ragam terhadap pengamatan data uji mutu benih tanaman jagung (<i>Zea Mays</i> L.) varietas Srikandi Ungu.....	64
8. Analisis Konsentrasi dan Kemurnian Hasil Ekstraksi DNA.....	65
9. Hasil Uji Bartlett Jumlah Daun Minggu ke-7 Jagung (<i>Zea mays</i> L.) Varietas Srikandi Ungu.	96
10. Hasil Analisis Ragam data Jumlah Daun Minggu ke-7 Jagung (<i>Zea mays</i> L.) Varietas Srikandi Ungu.....	96
11. Hasil Uji Bartlett Jumlah Tinggi Tanaman Minggu ke-7 Jagung (<i>Zea Mays</i> L.) Varietas Srikandi Ungu.	95
12. Hasil Analisis Ragam Jumlah Tinggi Tanaman Minggu ke-7 Jagung (<i>Zea Mays</i> L.) Varietas Srikandi Ungu	96

13. Hasil Uji Bartlett Waktu Muncul Tanaman Jagung (<i>Zea Mays</i> L.) Varietas Srikandi Ungu	97
14. Hasil Hasil Analisis Ragam Waktu Muncul Tanaman Jagung (<i>Zea Mays</i> L.) Varietas Srikandi Ungu	96
15. Hasil Uji Bartlett Indeks Klorofil Daun Tanaman Jagung (<i>Zea mays</i> L.) Varietas Srikandi Ungu	97
16. Hasil Hasil Analisis Ragam Indeks Klorofil Daun Jagung (<i>Zea Mays</i> L.) Varietas Srikandi Ungu	97
17. Hasil Uji Bartlett Luas Daun Jagung (<i>Zea Mays</i> L.) Varietas Srikandi Ungu.	98
18. Hasil Hasil Analisis Ragam Luas Daun Jagung (<i>Zea Mays</i> L.) Varietas Srikandi Ungu	98
19. Hasil Uji Bartlett Tongkol dengan Kelobot Jagung (<i>Zea Mays</i> L.) Varietas Srikandi Ungu.	98
20. Hasil Hasil Analisis Ragam Tongkol dengan Kelobot Jagung (<i>Zea Mays</i> L.) Varietas Srikandi Ungu	98
21. Hasil Uji Bartlett Lingkar Tongkol Jagung (<i>Zea Mays</i> L.) Varietas Srikandi Ungu.....	99
22. Hasil Analisis Ragam Lingkar Tongkol Jagung (<i>Zea Mays</i> L.) Varietas Srikandi Ungu.	99
23. Hasil Uji Bartlett Baris Biji Jagung (<i>Zea Mays</i> L.) Varietas Srikandi Ungu..	99
24. Hasil Analisis Ragam Baris Biji Jagung (<i>Zea mays</i> L.) Varietas Srikandi Ungu.....	99
25. Hasil Uji Bartlett Jumlah Biji Jagung (<i>Zea Mays</i> L.) Varietas Srikandi Ung	99
26. Hasil Hasil Analisis Ragam Jumlah Biji per Tongkol Jagung (<i>Zea mays</i> L.) Varietas Srikandi Ungu	100
27. Hasil Uji Bartlett Bobot 1000 Butir Benih Jagung (<i>Zea mays</i> L.) T-1 Varietas Srikandi Ungu	100
28. Hasil Analisis Ragam Bobot 1000 Butir Benih Jagung (<i>Zea Mays</i> L.) T-1 Varietas Srikandi Ungu.....	100

29. Hasil Uji Bartlett Daya Berkecambah Benih Jagung (*Zea Mays L.*) T-1 Varietas Srikandi Ungu 10030. Hasil Analisis Ragam Daya Berkecambah Benih Jagung (*Zea Mays L.*) T-1 Varietas Srikandi Ungu.100
31. Hasil Uji Bartlett Kecepatan Tumbuh (KcT) Benih Jagung (*Zea Mays L.*) T-1 Varietas Srikandi Ungu100
32. Hasil Analisis Ragam Kecepatan Tumbuh (KcT) Benih Jagung (*Zea Mays L.*) T-1 Varietas Srikandi Ungu.101
33. Hasil Uji Bartlett Indeks Vigor Benih Jagung (*Zea Mays L.*) T-1 Varietas Srikandi Ungu102
34. Hasil Analisis Ragam Indeks Vigor Benih Jagung (*Zea Mays L.*) T-1 Varietas Srikandi Ungu102
35. Hasil Uji Bartlett Waktu Muncul Raadikula Benih Jagung (*Zea Mays L.*) T-1 Varietas Srikandi Ungu.....102
36. Hasil Hasil Analisis Ragam Waktu Muncul Raadikula Benih Jagung (*Zea Mays L.*) T-1 Varietas Srikandi Ungu.....102
37. Hasil Uji Bartlett Keserempakan Tumbuh (KsT) Benih Jagung (*Zea Mays L.*) T-1 Varietas Srikandi Ungu103
38. Hasil Hasil Analisis Ragam Keserempakan Tumbuh (KsT) Benih Jagung (*Zea Mays L.*) Varietas Srikandi Ungu103
39. Hasil Uji Bartlett Tinggi Kecambah Benih Jagung (*Zea Mays L.*) T-1 Varietas Srikandi Ungu103
40. Hasil Analisis Ragam Tinggi Kecambah Benih Jagung (*Zea Mays L.*) Varietas Srikandi Ungu103
41. Hasil Uji Bartlett Bobot Berangkasan Basah Kecambah Normal Benih Jagung (*Zea Mays L.*) T-1 Varietas Srikandi Ungu104
42. Hasil Analisis Ragam Bobot Berangkasan Basah Kecambah Normal Benih Jagung (*Zea Mays L.*) Varietas Srikandi Ungu.....104
43. Hasil Uji Bartlett Bobot Berangkasan Kering Kecambah Normal Benih Jagung (*Zea Mays L.*) T-1 Varietas Srikandi Ungu104

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Diagram Alir Kerangka Pemikiran	11
2. Diagram Alir Penelitian	13
3. Fase Perkecambahan Benih.....	20
4. Respon Aluminium Pada Tanah.....	23
5. Pengaruh pemberian aluminium terhadap waktu muncul tanaman (Hari).....	45
6. Pengaruh pemberian aluminium terhadap indeks klorofil jagung varietas Srikandi Ungu.....	49
7. Pengaruh pemberian aluminium terhadap luas daun jagung varietas Srikandi Ungu.	50
8. Pengaruh pemberian aluminium terhadap bobot tongkol dengan kelobot jagung varietas Srikandi Ungu	52
9. Pengaruh pemberian aluminium terhadap bobot tongkol tanpa kelobot jagung varietas Srikandi Ungu.....	53
10. Pengaruh pemberian aluminium terhadap brangkasan kering pada jagung varietas Srikandi Ungu.....	54
11. Pengaruh pemberian aluminium terhadap brangkasan bobot 1000 butir benih jagung varietas Srikandi Ungu.....	57
12. Pengaruh pemberian aluminium terhadap waktu muncul radikula kecambah jagung varietas Srikandi Ungu.	58
13. Pengaruh pemberian aluminium terhadap daya berkeambah (%DB)	59

14. Pengaruh pemberian aluminium terhadap keresempakan tumbuh jagung varietas Srikandi Ungu	60
15. Pengaruh pemberian aluminium terhadap tinggi kecambah benih jagung varietas Srikandi Ungu.....	61
16. Visualisasi Hasil PCR DNA Sampel Kecambah Jagung T-0 Pada Primer Phi112 dan phi057	66
17. Visualisasi Hasil PCR DNA Sampel Kecambah Jagung T-0 dan T-1 Pada Primer Phi112	68
18. Dendrogram Tanaman jagung (<i>Zea Mays L.</i>) T-0 dan T-1 varietas	69
19. Benih Jagung (<i>Zea mays L.</i>) T-1 Varietas Srikandi Ungu	81

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor pertanian merupakan salah satu sektor yang memiliki peranan penting dan strategis dalam pembangunan di Indonesia. Tanaman Jagung (*Zea mays* L.) adalah tanaman biji-bijian penting di Indonesia setelah padi (Hanif *et al.*, 2019). Tanaman jagung memiliki beberapa fungsi diantaranya yaitu sebagai bahan pangan, pakan, bahan bakar, dan bahan baku industri. Kebutuhan jagung dalam negeri diperkirakan 58% digunakan untuk pakan, sedangkan untuk pangan hanya 30%, dan sisanya untuk kebutuhan industri dan benih (Kementerian Pertanian, 2013). Produksi jagung di Indonesia meningkat seiring dengan permintaan global yang terus meningkat. Pada tahun 2015 produksi jagung di Indonesia mencapai 19.612.435 ton, dan ditargetkan akan naik menjadi 24,7 juta ton (Kementerian Pertanian, 2015). Namun pada tahun 2020 hingga 2023 rata-rata produksi jagung nasional masih berkisar 14 juta ton (Badan Pusat Statistik, 2023).

Sekitar 32% dari total area yang ada di Indonesia atau sekitar 60 juta hektar lahan merupakan lahan masam dengan ordo Ultisol dan Oksisol (Subagyo *et al.*, 2000). Kendala utama tanah ultisol dalam peningkatan produksi jagung adalah reaksi tanah masam (pH rendah), kandungan Al, Fe dan Mn tinggi, serta kandungan hara makro (N, P, K) yang rendah (Suprijono *et al.*, 2015). Tanaman jagung sangat sensitif dengan kemasaman dan kekeringan. Rata-rata produktivitas jagung pada tanah ultisol hanya mencapai 2,8 ton/ha (Hayati *et al.*, 2014). Sehingga diperlukan benih tanaman jagung (*Zea Mays* L) yang tahan terhadap cekaman Al.

Salah satu faktor pembatas utama terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman,

khususnya tanaman jagung pada lahan kering yang bereaksi masam di daerah tropis basah adalah keracunan Aluminium. Keracunan Al dapat menyebabkan kerusakan dan terhambatnya pertumbuhan akar tanaman. Kerusakan akar yang disebabkan oleh Al mengakibatkan rendahnya kemampuan tanaman menyerap hara dan air, sehingga tanaman akan kekurangan hara dan mudah kekeringan yang pada akhirnya mempengaruhi pertumbuhan dan produktivitas tanaman (Marshner, 1995; Gupta, 1997; Sasaki *et al.*, 1996). Gejala umum yang dijumpai adalah sistem perakarannya yang tidak berkembang (pendek dan tebal) karena proses pemanjangan sel yang terlambat dan rusaknya plasmalema sel-sel akar (Wagatsuma, 1988).

Salah satu upaya untuk meningkatkan produksi jagung adalah memperluas areal tanam dengan memanfaatkan lahan-lahan yang marginal yang potensinya sangat besar seperti lahan masam. Secara umum, tanaman jagung dapat beradaptasi baik pada kejenuhan Al <40% (Fathan *et al.*, 1988). Meskipun demikian, masih perlu dilakukan upaya untuk mendapatkan varietas tanaman toleran di lahan masam untuk memanfaatkan lahan-lahan masam. Varietas jagung yang tahan terhadap lahan masam masih kurang karena luasnya lahan masam. Hingga saat ini baru terdapat varietas Antasena yang telah dilepas sebagai varietas yang beradaptasi baik pada tanah masam (Syafuruddin *et al.*, 2006).

Varietas Srikandi Ungu dirilis oleh Balitbangtan melalui Balai Penelitian Tanaman Serealia pada tahun 2018. Srikandi Ungu memiliki beberapa keunggulan yaitu berumur sedang (dapat dipanen pada 87 HST), kandungan antioksidan 390% lebih banyak dari jagung biasa, dan potensi hasil 7,5 ton/ha (pada musim hujan) serta 6,4 ton/ha (pada saat musim kemarau). Berdasarkan karakteristik unggul tersebut, Srikandi Ungu terdapat potensi untuk mengembangkan varietas tersebut menjadi varietas unggul tanaman jagung yang adaptif terhadap lahan masam.

Upaya perbaikan sifat tanaman dengan meningkatkan keragaman genetiknya perlu dilakukan. Seperti telah diketahui, modal dasar pemuliaan tanaman adalah adanya

keragaman yang luas. Dengan adanya variabilitas yang luas, proses seleksi dapat dilakukan secara efektif karena akan memberikan peluang yang lebih besar untuk diperoleh karakter-karakter yang diinginkan (Sobir, 2007). Oleh karena itu, informasi genetik dari suatu tanaman khususnya yang terkait dengan suatu karakter sangatlah penting. Identifikasi genetik dengan pendekatan molekuler sangat dibutuhkan dalam kegiatan pemuliaan ini agar memperoleh hasil yang tepat. Identifikasi tanaman menggunakan penanda SSR sebagai metode yang dapat digunakan pada kontribusi genetik alel yang ditelusuri dari tetua ke keturunannya (Manzila *et al.*, 2021). Untuk mengetahui perubahan struktur basa nitrogen yang terjadi pada produksi benih yang dihasilkan pada tanaman yang ditanam pada cekaman aluminium dapat dilakukan analisis menggunakan *Simple Sequence Repeats* (SSR). *Simple Sequence Repeats* merupakan sekuen berulang DNA yang mewakili bagian signifikan dari genom eukariot dan dapat menyajikan penanda genetik yang dapat mendeteksi perbedaan antar genotipe yang dihasilkan.

Penanda SSR juga dilaporkan merupakan penanda kodominan yang dapat diterapkan untuk mendukung program pemuliaan tanaman (Reflinur & Lestari, 2015), antara lain keberhasilan persilangan pada generasi F-1 tanaman pisang (Rosalia *et al.*, 2020). Keunggulan ini menjadikan penanda SSR sering digunakan dalam pembelajaran taksonomi dan keragaman genetik karena dapat mengidentifikasi alel hingga tingkat yang tinggi dan diinduksi sebagai salah satu penanda yang tepat untuk digunakan dalam analisis keragaman genetik. Oleh karena itu, diperlukan penelitian ini untuk menganalisis menggunakan *Simple Sequence Repeats* (SSR) dan produksi mutu benih jagung (*Zea mays* L.) pada kondisi cekaman aluminium.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka diperoleh rumusan masalah sebagai berikut :

1. Apakah terdapat perbedaan pola pita DNA berdasarkan primer yang digunakan pada pengaruh pemberian aluminium serta penurunan sifat

segregasi hukum mendel berdasarkan analisis PCR-SSR antara benih jagung (*Zea mays* L) T-0 (benih induk) dan T-1 (benih hasil turunan) varietas Srikandi Ungu?

2. Apakah terdapat pengaruh pemberian aluminium pada 4 taraf dosis yang berbeda terhadap pertumbuhan dan produksi benih jagung (*Zea mays* L.) varietas Srikandi Ungu?
3. Apakah terdapat pengaruh pemberian aluminium pada 4 taraf dosis yang berbeda terhadap mutu benih jagung (*Zea mays* L.) varietas Srikandi Ungu?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan identifikasi dan perumusan masalah di atas, dapat dirumuskan tujuan penelitian sebagai berikut :

1. Mengetahui perbedaan pola pita DNA berdasarkan primer yang digunakan pada pengaruh pemberian aluminium serta terdapat penurunan sifat segregasi hukum mendel berdasarkan analisis SSR-PCR antara benih jagung (*Zea mays* L.) T-0 (benih induk) dan T-1 (benih hasil turunan) varietas Srikandi Ungu
2. Mengetahui pengaruh pemberian aluminium pada 4 taraf dosis yang berbeda terhadap pertumbuhan dan produksi benih jagung (*Zea mays* L.) varietas Srikandi Ungu
3. Mengetahui pengaruh pemberian aluminium pada 4 taraf dosis yang berbeda terhadap mutu benih jagung (*Zea mays* L.) varietas Srikandi Ungu.

1.4 Landasan Teori

Produksi dan produktivitas tanaman jagung yang masih tergolong rendah dapat disebabkan oleh berbagai faktor. Faktor-faktor tersebut diantaranya tanah masam yang mengandung Aluminium yang tinggi serta belumnya penggunaan benih bermutu yang toleran terhadap cekaman. Benih yang tidak tahan cekaman menjadi penentu hasil produksi. Benih bermutu terdiri dari mutu fisik, mutu

kesehatan benih, mutu fisiologis serta mutu genetik benih (Widajati *et al.*, 2013). Perkecambahan adalah komponen utama dari vigor benih, yang didefinisikan sebagai jumlah dari sifat-sifat benih yang menentukan tingkat potensi aktivitas dan kinerja lot benih dengan perkecambahan yang dapat diterima diberbagai lingkungan (Filho *et al.*, 2015). Perkecambahan benih tanaman yang toleran dapat dilakukan dengan uji viabilitas serta vigor benih, dimana pada fase perkecambahan benih mempunyai sifat kompleks yang dikendalikan pada tingkat transkripsi, translasi dan metabolisme (Rajjou *et al.*, 2012 dalam Hatzig *et al.*, 2015).

Perkecambahan benih adalah fase dimana biji berkembang menjadi embrio dan melanjutkan aktifitas fisiologis menjadi tanaman baru. Benih yang memiliki kemampuan tumbuh normal pada kondisi optimum memiliki viabilitas yang baik, namun belum dapat dikatakan memiliki vigor yang baik. Sebaliknya, benih yang dapat berkecambah pada keadaan sub-optimum sudah dapat dikatakan memiliki viabilitas serta vigor yang baik. Perkecambahan benih dipengaruhi oleh faktor genetik dan lingkungan. Hal ini sejalan dengan Fatikhasari (2022) dimana salah satu faktor internal pada perkecambahan benih adalah genetik benih itu sendiri yang mempengaruhi kondisi fisik benih dan komposisi kimia benih. Genetik benih dipengaruhi oleh perbedaan varietas benih tersebut. Sedangkan faktor eksternal berkaitan dengan lingkungan di sekitar benih. Meskipun perkecambahan benih dipengaruhi oleh faktor genetik maupun lingkungan, masih menjadi pertanyaan terbuka apakah benih yang berkinerja baik dalam kondisi optimal juga memiliki keunggulan dalam kondisi stres misalnya dalam keadaan cekaman aluminium.

Banyak kultivar sereal dengan potensi hasil tinggi telah dikembangkan selama beberapa dekade. Namun potensi genetiknya terbatas karena berbagai cekaman. Salah satunya adalah tanah masam yang menimbulkan banyak tekanan abiotik bagi tanaman. Kendala tanaman produksi pada tanah masam disebabkan oleh defisiensi unsur hara seperti P, Ca dan Mg dan toksisitas logam seperti Mn dan Al, tetapi toksisitas Aluminium dianggap sebagai faktor pembatas utama. Aluminium merupakan logam yang paling melimpah di tanah. Aluminium

menjadi racun apabila berada pada kondisi asam karena aluminium akan lebih mudah larut dan melepaskan ion trivalent (Al^{3+}) yang merusak sel-sel tanaman. Kelebihan dan kekurangan Al sangat dipengaruhi oleh pH tanah dimana sebagian besar Aluminium dalam tanah (dalam bentuk aluminium oksida) tidak larut. Namun, ketika pH tanah turun Al menjadi lebih mudah larut. Al terlarut (terutama Al^{3+}) menunjukkan fitotoksisitas yang secara cepat menghambat pemanjangan akar pada tingkat mikromolar, selanjutnya mempengaruhi penyerapan air dan nutrisi (Kochian 1995; Ryan *et al.*, 2001; Ma, 2007). Aluminium menghambat pembelahan sel dan pemanjangan akar, dengan cara yang bergantung pada waktu dan konsentrasi Al (Kochian 1995; Ma, 2000).

Tanaman tidak dapat menghindari keberadaan Al di dalam tanah. Hal ini sesuai dengan pernyataan Dalimunthe *et. al* (2015) bahwa kendala pertumbuhan tanaman jagung di lahan masam antara lain adalah pertumbuhan tanaman relatif mengalami gangguan bila kadar aluminium lebih dari 60% sehingga menyebabkan daya berkecambah tanaman jagung rendah, cenderung tumbuh pendek, tepi daun yang menguning berubah menjadi coklat lalu kering, tanaman akan mudah rebah, karena batangnya lemah. Yohana *et al.*, (2018) melaporkan bahwa pengaruh yang ditimbulkan dari keracunan Al antara lain, sistem perakaran tidak berkembang baik yaitu akar mudah patah, pendek, tebal, percabangan tidak normal, tudung akar rusak dan berwarna coklat atau merah.

Penggunaan benih yang toleran terhadap cekaman aluminium dapat mengatasi permasalahan yang ada. Respon tanaman yang toleran terhadap keracunan aluminium dikendalikan secara genetis oleh ekspresi gen ketahanan yang dimiliki oleh tanaman. Karakter toleran ini dikendalikan oleh gen tunggal, gen tunggal dengan banyak alel, dua gen dominan, ataupun oleh banyak gen (poligenik) dengan pola pewaris yang kompleks (Kochian *et al.*, 2004). Pada bagian tanaman yaitu inti sel, aluminium bergabung dengan DNA sehingga menghentikan proses pembelahan sel meristem apikal. Aluminium dalam bentuk polimer memiliki muatan positif yang besar serta memiliki banyak situs pengikat. Untuk kultivar tanaman yang tahan dengan kondisi lapangan yang beragam perlu melibatkan pemahaman faktor genetik yang berkontribusi pada kinerja perkecambahan,

perkecambahan dan pertumbuhan tanaman yang memadai untuk mendongkrak produksi.

Mekanisme toleransi aluminium meliputi sekresi anion asam organik dari akar, sel modifikasi dinding sel. Sekresi anion asam organik memiliki dua pola yang berbeda yaitu sekresi terjadi setelah penambahan Aluminium dan sekresi anion asam organik yang tertunda antara sekresi dan paparan aluminium. Perbedaan ini terjadi mengikuti kultivar yang memiliki pola ekspresi gen toleransi Aluminium yang berbeda-beda. Pada tanaman jagung (*Zea Mays* L) toleransi aluminium dikaitkan dengan tingginya tingkat eksudasi sitrat akar (Pellet *et al.*, 1995; Pineros *et al.*, 2002). Namun beberapa studi genetik menggambarkan toleransi Aluminium pada jagung sebagai sifat kuantitatif yang berdasarkan pada efek gen adiktif (Magnavaca *et al.*, 1987).

Zhang *et al.* (2019) juga menemukan bahwa kultivar jagung toleran aluminium memiliki tiga salinan ZmMATE1 dalam genom yang identik dan merupakan bagian dari rangkap tiga tandem. Ma *et al.* (2014) melaporkan bahwa penyisipan transposon ditemukan untuk mengatur tingkat ekspresi pada jelai dan beberapa kultivar gandum. Transposon sendiri merupakan fragmen DNA yang dapat berpindah dari satu ruas DNA ke ruas DNA lain dalam replikon yang sama atau antar replikon yang berbeda. Transposon akan menyisip ke dalam genom dan terutama sekuen DNA yang berperan dalam regulasi suatu proses fisiologis tertentu seperti sifat virulen, sehingga dapat menyebabkan perubahan ekspresi gen (Kawakami *et al.*, 2017). Ekspresi gen yang terlibat dalam toleransi Aluminium dapat diidentifikasi dengan menggunakan pendekatan elemen berulang tandem (tandem repeat) atau SSR.

Untuk melakukan analisis ini dapat dilakukan dengan marka molekuler. *Simple Sequence Repeats* (SSR) merupakan salah satu marka molekuler yang hingga saat ini banyak dimanfaatkan dalam kegiatan karakterisasi karena aplikasi yang mudah, bersifat kodominan, serta tingkat polimorfisme tinggi. Selain itu, karakterisasi molekuler lebih akurat karena dapat mengidentifikasi perbedaan

pada tingkat lokus hingga ekspresi gen. SSR telah digunakan untuk mempelajari variasi dan karakteristik genotipe dalam program pemuliaan tanaman. Marka mikrosatelit atau SSR banyak digunakan dalam pembelajaran taksonomi dan keragaman genetik karena marker ini dapat mengidentifikasi alel dengan reabilitas yang cukup tinggi dan reproduktifitas yang telah terbukti sebagai salah satu marker yang paling tepat untuk keragaman genetik (Nurdianawati *et al.*, 2016).

SSR adalah sekuen berulang DNA yang mewakili bagian signifikan dari genom eukariot dan dapat menyajikan penanda genetik yang dapat mendeteksi perbedaan antar genotipe. Penggunaan primer *forward* dan *reverse* yang sesuai sendiri digunakan dalam analisis SSR guna untuk pengurutan basa yang terjadi pada mutasi yang merubah asam amino. Mutasi akibat substitusi satu basa dapat merubah susunan asam amino dari polipeptida yang disandi oleh gen dan dapat merubah fungsi dari polipeptidanya (Kowarsch *et al.*, 2010). Hasil penelitian Chuanzao *et al.* (2004) menunjukkan bahwa cekaman Al dapat menginduksi biosintesis lignin dan komponen dinding sel pada akar. Studi terdahulu terkait kekerabatan genetik pada umumnya dilakukan menggunakan karakter morfologi dan marka molekuler SSR. Namun sangat sedikit informasi terkait penelitian yang memberikan aluminium dengan 4 taraf konsentrasi pada perkecambahan benih jagung (*Zea Mays* L.) T-1 (benih hasil turunan). Oleh karena itu, dilakukan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh pemberian Aluminium terhadap vigor dan viabilitas benih jagung (*Zea Mays* L.) pada T-0 (benih induk), serta mengetahui perbedaan keragaman genetik berdasarkan 3 primer yang digunakan dalam marka SSR dari pada benih jagung (*Zea Mays* L.) T-0 (benih induk) dan T-1 (benih hasil turunan) varietas Srikandi Ungu.

1.5 Kerangka Pemikiran

Rendahnya produksi jagung (*Zea Mays*) disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satu faktor penyebab rendahnya produksi jagung adalah tanah masam yang mengandung Aluminium yang tinggi dan masih belum menggunakan benih

bermutu yang toleran terhadap cekaman lahan masam. Tanaman pangan memiliki beberapa kendala pertumbuhan pada tanah masam yang disebabkan oleh defisiensi unsur hara seperti P, Ca dan Mg dan toksisitas logam seperti Mn dan Al, tetapi toksisitas Aluminium dianggap sebagai faktor pembatas utama. Aluminium menjadi racun apabila berada pada kondisi asam karena aluminium akan lebih mudah larut dan melepaskan ion trivalent (Al^{3+}) yang merusak sel-sel tanaman. Dalimunthe et. al (2015) menyebutkan bahwa kendala pertumbuhan tanaman jagung di lahan masam antara lain adalah pertumbuhan tanaman relatif mengalami gangguan bila kadar aluminium lebih dari 60% sehingga menyebabkan daya berkecambah tanaman jagung rendah, cenderung tumbuh pendek, tepi daun yang menguning berubah menjadi coklat lalu kering, tanaman akan mudah rebah, karena batangnya lemah. Selain itu, Yohana et al. (2018) melaporkan bahwa pengaruh yang ditimbulkan dari keracunan Al antara lain, sistem perakaran tidak berkembang baik yaitu akar mudah patah, pendek, tebal, percabangan tidak normal, tudung akar rusak dan berwarna coklat atau merah.

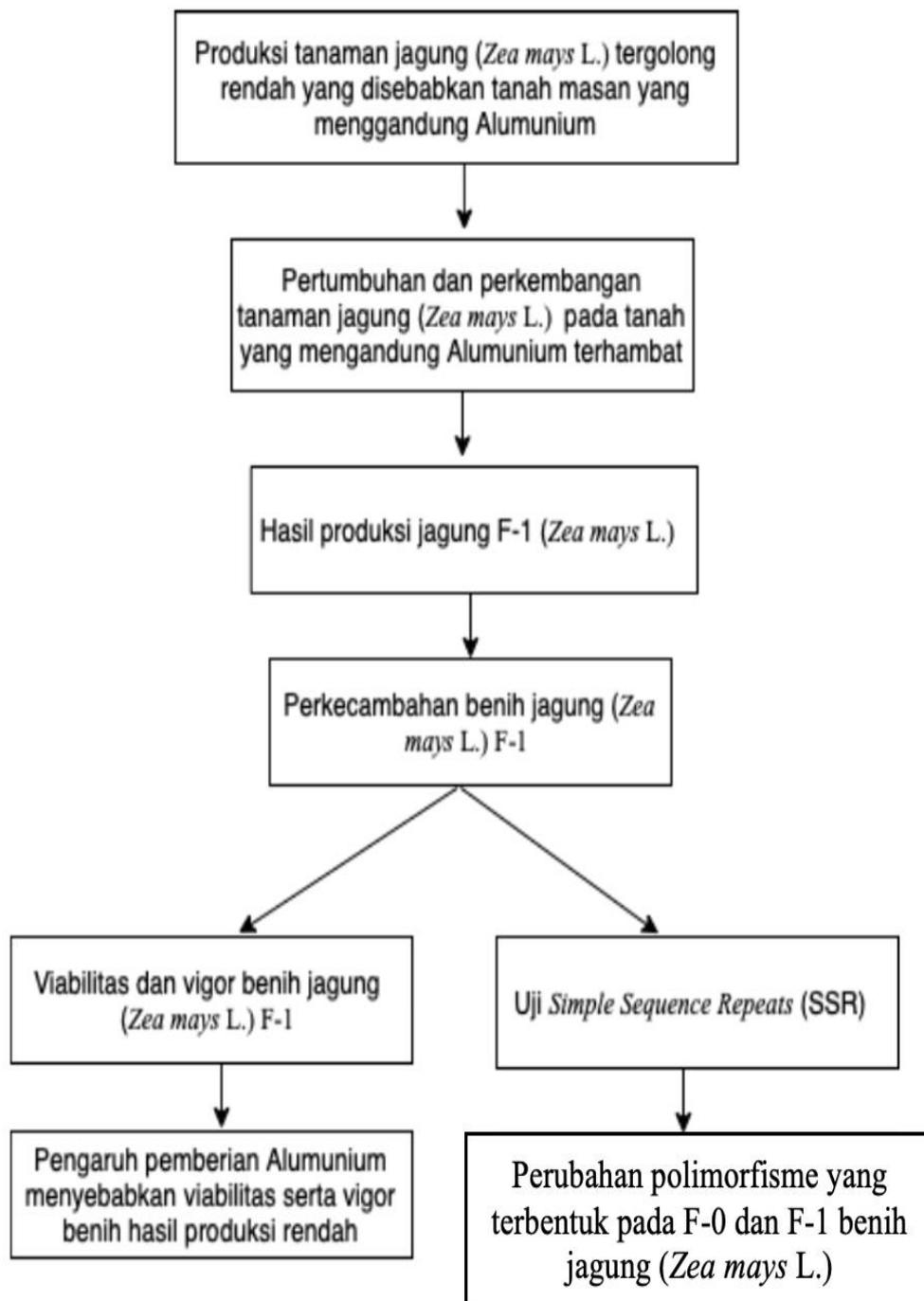
Upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut yaitu dengan menggunakan benih yang toleran terhadap cekaman aluminium. Perkecambahan benih adalah fase dimana biji berkembang menjadi embrio dan melanjutkan aktifitas fisiologis menjadi tanaman baru. Benih yang memiliki viabilitas yang baik mampu tumbuh normal pada kondisi optimum, namun belum dapat dikatakan memiliki vigor yang baik. Sedangkan benih yang dapat berkecambah pada keadaan sub-optimum sudah dapat dikatakan memiliki viabilitas serta vigor yang baik. Perkecambahan benih dipengaruhi oleh faktor genetik dan lingkungan. Genetik benih dipengaruhi oleh perbedaan varietas benih tersebut. Respon tanaman yang toleran terhadap keracunan aluminium dikendalikan secara genetik oleh ekspresi gen ketahanan yang dimiliki oleh tanaman.

Perkecambahan benih tanaman yang toleran dapat dilakukan dengan uji viabilitas serta vigor benih, dimana pada fase perkecambahan benih mempunyai sifat kompleks yang dikendalikan pada tingkat transkripsi, translasi dan metabolisme. Namun, masih sulit untuk mengidentifikasi faktor genetik yang berkontribusi dengan analisis genetik atau fisiologis konvensional. Meskipun perkecambahan

benih dipengaruhi oleh faktor genetik maupun lingkungan, masih menjadi pertanyaan terbuka apakah benih yang berkinerja baik dalam kondisi optimal juga memiliki keunggulan dalam kondisi stres seperti keadaan cekaman Aluminium. Untuk kultivar tanaman yang tahan dengan kondisi lapangan yang beragam perlu melibatkan pemahaman faktor genetik yang berkontribusi pada kinerja perkecambahan dan pertumbuhan tanaman yang memadai untuk mendongkrak produksi. Oleh karena itu, untuk melakukan analisis lebih lanjut dapat menggunakan marka molekuler *Simple Sequence Repeats* (SSR). *Simple Sequence Repeats* (SSR) merupakan salah satu marka molekuler yang hingga saat ini banyak dimanfaatkan dalam kegiatan karakterisasi karena aplikasi yang mudah, bersifat kodominan, serta tingkat polimorfisme tinggi. Selain itu, karakterisasi molekuler lebih akurat karena dapat mengidentifikasi perbedaan pada tingkat lokus hingga ekspresi gen.

Simple Sequence Repeats (SSR) telah efektif digunakan untuk menilai keragaman genetik pada tanaman (Herison *et al.*, 2020). Identifikasi tanaman menggunakan penanda SSR sebagai metode yang dapat digunakan pada kontribusi genetik alel yang ditelusuri dari tetua ke keturunannya (Manzils *et al.*, 2021). Pada penelitian ini penggunaan marka molekuler SSR yaitu sebagai pelengkap yang berguna bagi karakter morfologi karena tidak dipengaruhi oleh lingkungan pada tahap awal perkembangan. Selain itu, untuk mengetahui perubahan struktur basa nitrogen yang terjadi pada produksi benih yang dihasilkan pada tanaman yang ditanam pada cekaman aluminium.

Studi terdahulu terkait kekerabatan genetik pada umumnya dilakukan menggunakan karakter morfologi dan marka molekuler SSR. Namun sangat sedikit informasi terkait penelitian yang memberikan aluminium pada perkecambahan benih jagung (*Zea Mays* L.) T-1 (benih hasil turunan). Oleh karena itu, dilakukan penelitian ini untuk menganalisis menggunakan *simple sequence repeats* dan produksi mutu benih jagung (*Zea Mays* L.) pada kondisi cekaman aluminium.

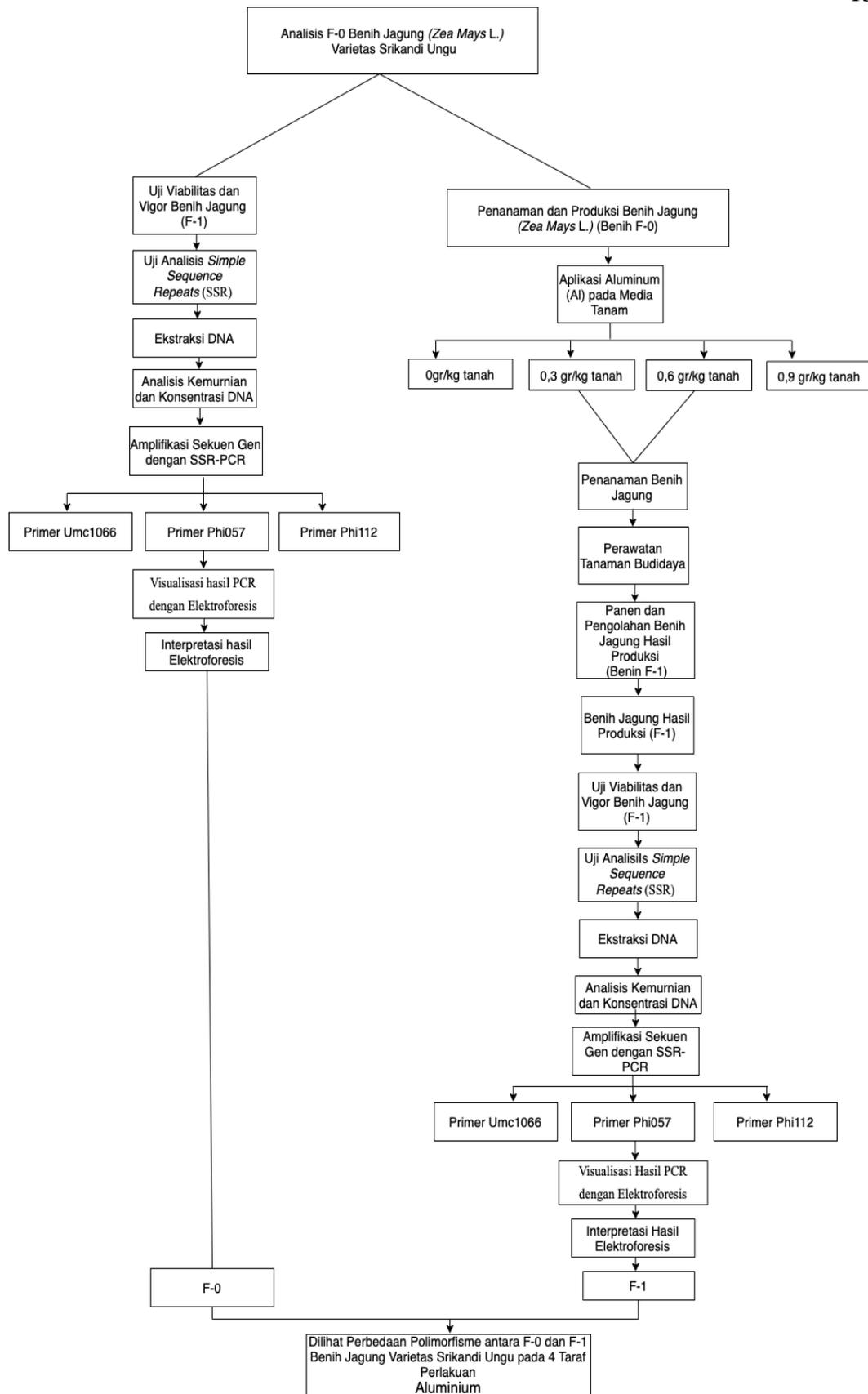


Gambar 1. Diagram Alir Kerangka Pemikiran

1.6 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan kerangka pemikiran yang telah dikemukakan, maka dapat ditarik hipotesis sebagai berikut :

1. Terdapat perbedaan pola pita DNA berdasarkan primer yang digunakan pada pengaruh pemberian aluminium serta terdapat penurunan sifat segregasi hukum mendel berdasarkan analisis SSR-PCR antara benih jagung (*Zea mays* L.) T-0 (benih induk) dan T-1 (benih hasil turunan) varietas Srikandi Ungu
2. Terdapat pengaruh pemberian aluminium pada 4 taraf dosis yang berbeda terhadap pertumbuhan dan produksi benih jagung (*Zea mays* L.) varietas Srikandi Ungu
3. Terdapat pengaruh pemberian aluminium pada 4 taraf dosis yang berbeda terhadap mutu benih jagung (*Zea mays* L.) varietas Srikandi Ungu



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Botani Tanaman Jagung1

Tanaman Jagung merupakan komoditas palawija dan termasuk dalam keluarga (famili) rumput-rumputan (Gramineae). Jagung adalah tanaman sereal yang berasal dari benua Amerika, tepatnya dari negara Meksiko. Tanaman ini merupakan salah satu jenis tanaman rumput-rumputan dengan tipe biji monokotil. Tongkol atau buah merupakan produk utama dari tanaman jagung. Bentuk, warna, dan kandungan endosperm bervariasi bergantung pada jenis biji jagung yang dihasilkan. Biji jagung terdiri atas tiga bagian yaitu, kulit biji (seed coat), endosperm dan embrio (Koswara, 2009). Menurut Oslan et al. (2021) klasifikasi tanaman jagung adalah sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
Divisio : Spermatophyta
Sub Divisio : Angiospermae
Kelas : Monocotyledonae
Ordo : Poales
Famili : Poaceae (Graminaeae)
Genus : *Zea*
Spesies : *Zea mays* L.

Tanaman jagung merupakan jenis tanaman semusim. Pada kondisi tanah yang sesuai akar jagung dapat tumbuh dan berkembang dengan baik. Batang tanaman jagung berbentuk bulat silindris, tidak berlubang, dan beruas-ruas (berbuku-buku) sebanyak 8–20 ruas. Struktur daun tanaman jagung terdiri atas tangkai

daun, lidah daun, dan telinga daun. Jumlah daun setiap tanaman jagung bervariasi antara 8–48 helai, namun pada umumnya berkisar antara 18-12 helai tergantung pada varietas dan umur tanaman. Daun jagung berbentuk pita atau garis dengan letak tulang daun di tengah- tengah daun sejajar dengan daun, berbulu halus, serta warnanya bervariasi (Rukmana, 2010).

Penyerbukan jagung dapat terjadi apabila serbuk sari dari bunga jantan menempel dirambut tongkol. Tanaman jagung termasuk jenis protandri yaitu sebagian besar varietas bunga jantannya akan muncul pada hari ke 1-3 sebelum muncul rambut tongkol. Serbuk sari (pollen) mulai terlepas dari spikelet yang berbeda pada spike di tengah berukuran 2-3 cm dari ujung mulai (tassel). Selanjutnya polen akan turun ke bawah dan pada satu bulir anther akan melepas 15- 30 juta serbuk sari, dan serbuk sari akan jatuh melalui gerak gravitasi atau bisa tertiuip angin.

Penyerbukan ini disebut penyerbukan silang. Proses penyerbukan ini bisa terjadi apabila serbuk sari yang berasal dari bunga jantan menempel pada rambut tongkol (Bilman, 2001). Menurut Syukur dan Rifianto (2013) menyatakan bahwa untuk memperoleh produksi yang tinggi jagung sebaiknya dibudidayakan pada dataran rendah hingga dataran tinggi (0-1.500 mdpl) dan pada lahan kering yang pengairannya cukup maupun tadah hujan dengan pH antara 5,5-7. Selain itu, pemberian pupuk N, P dan K merupakan salah satu penunjang keberhasilan dalam budidaya jagung. Hal ini karena sangat berpengaruh terhadap kualitas dan kuantitas produksi jagung yang dihasilkan.

2.2 Perkecambahan Benih Jagung

Secara agronomis benih disamakan dengan bibit karena memiliki fungsi yang sama, tetapi secara biologis berbeda. Benih yang telah berkecambah disebut dengan bibit. Pada perkembangbiakan secara generatif, bibit berasal dari benih yang disemaikan tetapi pada perkembangbiakan secara vegetatif bibit dapat diartikan sebagai bagian tanaman yang fungsinya sebagai alat reproduksi (Wirawan dan Wahyuni, 2002). Tanaman yang berbunga sebagian besar

berproduksi dengan berkembangbiak secara seksual (generatif) yang akan menghasilkan biji. Perkecambahan sendiri adalah proses yang kompleks dimana benih berimbibisi beralih ke perkembangan yang ditandai dengan perkecambahan benih. Perkecambahan merupakan komponen utama dari viabilitas serta vigor benih yang didefinisikan dari sifat benih itu sendiri. Sifat benih tersebut menentukan tingkat potensi aktivitas dan kinerja lot benih dengan perkecambahan yang dapat diterima di berbagai lingkungan (Perry, 1978).

Perkecambahan benih dipengaruhi oleh dua faktor yaitu faktor internal dan faktor eksternal dari benih tersebut. Faktor internal yang mempengaruhi perkecambahan benih yaitu kemasakan benih, umur benih, varietas dan kondisi fisik benih.

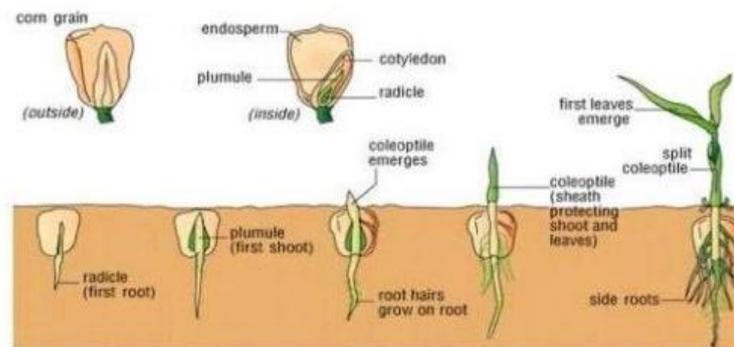
Sedangkan, faktor eksternal yang mempengaruhi perkecambahan benih adalah kondisi lingkungan, seperti air, suhu, kesuburan tanah dan cahaya.

Perkecambahan benih yang menghasilkan kecambah normal merupakan ciri yang menentukan keberhasilan tanaman secara ekonomis dan ekologis. Fase perkecambahan benih merupakan fase paling kritis dalam siklus hidup tanaman (Lo'ic *et al.*, 2012). Selama perkecambahan, benih melewati beberapa peristiwa, yaitu imbibisi, aktivasi enzim, inisiasi pertumbuhan embrio, pemecahan selubung benih, dan kemunculan bibit (Copeland dan McDonald, 2001). Perkecambahan benih digambarkan sebagai proses yang terdiri dari tiga fase yaitu dimulai dengan benih berimbibisi (fase 1) dan memulai kembali proses metabolisme (fase 2) serta diikuti dengan munculnya radikula melalui selubung benih (fase 3). Pada fase benih berimbibisi terjadi pembengkakan fisik dimana proses metabolisme dimulai dan perkecambahan menjadi tidak dapat kembali. Selanjutnya fase kedua juga digambarkan terjadi peningkatan berat segar karena pembengkakan fisik yang sudah selesai, sementara pertumbuhan aktif terjadi diferensiasi dan pemanjangan sel dimana pertumbuhan menjadi terlihat yang ditandai dengan munculnya radikula dari dalam biji (Sarah *et al.*, 2015).

Perkecambahan pada benih jagung ditandai ketika radikula muncul dari kulit biji. Benih jagung akan berkecambah jika kadar air benih pada saat di dalam tanah meningkat >30%. Menurut McWilliams *et al.* (1999) dalam Subekti (2010),

dimulainya perkecambahan benih jagung yaitu ketika benih menyerap air melalui proses imbibisi dan benih membengkak yang diikuti oleh kenaikan aktivitas enzim dan respirasi yang tinggi. Perubahan awal sebagian besar adalah katabolisme pati, lemak, dan protein yang tersimpan dihidrolisis menjadi zat-zat yang mobile seperti gula, asam-asam lemak, dan asam amino yang dapat diangkut ke bagian embrio yang tumbuh aktif.

Pada awal perkecambahan koleoriza (selubung pelindung akar) memanjang menembus pericarp, kemudian radikula menembus koleoriza. Setelah radikula muncul, kemudian empat akar seminal lateral juga muncul. Pada waktu yang sama atau sesaat kemudian plumula tertutupi oleh koleoptil. Koleoptil terdorong ke atas oleh pemanjangan mesokotil, yang mendorong koleoptil ke permukaan tanah. Mesokotil berperan penting dalam pemunculan kecambah ke atas tanah. Ketika ujung koleoptil muncul ke luar permukaan tanah, pemanjangan mesokotil terhenti dan plumul muncul dari koleoptil dan menembus permukaan tanah seperti ditunjukkan pada Gambar 3 (Subekti *et al.*, 2009).



Gambar 3. Fase Perkecambahan Benih

Perkecambahan benih dapat dijadikan tolak ukur viabilitas serta vigor benih. Benih yang bermutu tinggi memiliki viabilitas serta vigor benih yang tinggi. Viabilitas benih adalah kemampuan embrio untuk berkecambah, dan dipengaruhi oleh beberapa kondisi yang berbeda (Emerensiana dan Anna, 2016). Berbagai faktor dapat mempengaruhi viabilitas benih seperti kemampuan tanaman

menghasilkan benih yang bermutu. Umur benih juga mempengaruhi kesehatan dan kemampuan perkecambahannya. Benih adalah embrio hidup dan seiring waktu sel akan mati dan tidak dapat diganti. Umur benih sendiri dapat dipengaruhi oleh genetika dan lingkungan. Beberapa benih dapat bertahan dalam kondisi optimal selama bertahun-tahun, dan yang lainnya hanya satu siklus musim. Faktor-faktor yang mempengaruhi viabilitas dari benih adalah viabilitas awal benih, tingkat kemasakan benih saat panen, lingkungan sebelum panen, dan lingkungan selama periode penyimpanan benih (Morad, 2013).

Selain viabilitas, vigor benih berpengaruh pada produksi tanaman yang dihasilkan. Vigor benih merupakan kemampuan benih tumbuh normal pada kondisi lapangan yang sebenarnya. Vigor benih sendiri adalah sifat benih yang kompleks yang menentukan potensinya untuk kemunculan dan perkembangan seragam yang cepat di bawah berbagai kondisi lapangan. Masa hidup benih merupakan komponen penting dari vigor benih, yang bergantung pada potensi konservasi fisiologis dan genetik benih pada kondisi yang dihadapi selama penyimpanan. Secara ideal semua benih harus memiliki kekuatan tumbuh yang baik sehingga bila ditanam pada kondisi lapang yang beragam akan tetap tumbuh sehat dan kuat serta berproduksi tinggi dengan kualitas yang baik. Pengujian vigor pada suatu benih sangat diperlukan untuk mendapatkan informasi mutu benih. Indikator benih yang bermutu tinggi ditandai dengan vigor awal yang tinggi dan mempertahankan vigornya (Ridwansyah *et al.*, 2010).

Vigor benih didefinisikan sebagai jumlah total dari sifat benih yang menentukan tingkat aktivitas dan penampilan benih selama perkecambahan. Pada setiap lot benih, hilangnya vigor benih berkaitan dengan penurunan kemampuan benih untuk menjalankan semua fungsi fisiologis yang memungkinkan benih tersebut berfungsi. Proses ini disebut penuaan fisiologis (kerusakan), dimulai sebelum panen dan berlanjut selama panen, pengolahan, dan penyimpanan. Hal tersebut mampu menurunkan kemampuan benih untuk tumbuh, misalnya karena perubahan integritas membran sel, aktivitas enzim dan sintesis protein (Morad, 2013). Perubahan biokimia ini dapat terjadi sangat cepat atau lebih lambat

tergantung faktor genetik benih. Titik akhir dari kerusakan ini pada akhirnya adalah kematian benih yang ditunjukkan dengan benih tidak berkecambah. Benih yang kehilangan kekuatan tumbuh sebelum kehilangan kemampuan untuk berkecambah. Itulah sebabnya lot benih yang memiliki nilai perkecambahan tinggi yang serupa dapat berbeda dalam umur fisiologisnya (tingkat deteriorasi) dan juga berbeda dalam vigor benih (Aslina *et al.*, 2021)

2.3 Respon Tanaman Jagung Terhadap Cekaman Aluminium

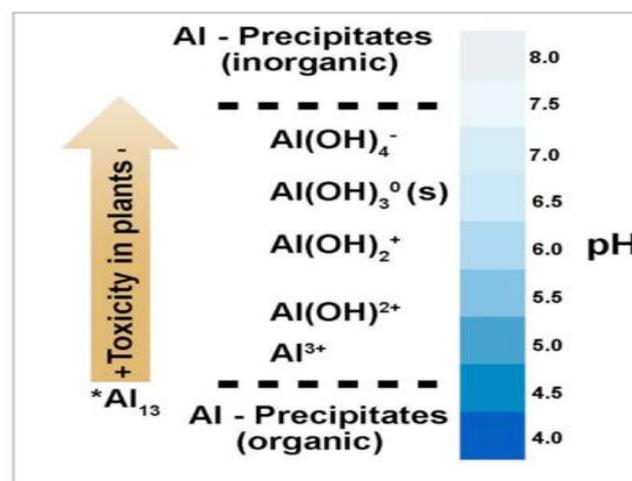
Aluminium adalah logam paling melimpah dan unsur paling umum ketiga di kerak bumi. Tanah masam hampir selalu berasosiasi dengan hara dan keracunan logam Al dan Mn yang merupakan kendala utama pada sebagian besar lahan pertanian (Ma *et al.*, 2001). Tanah di daerah tropis adalah tanah masam yang disebabkan oleh proses perubahan iklim. Air hujan menyebabkan hara terlarut seperti kalsium (Ca), Mg, dan K tercuci dari permukaan tanah atau lapisan olah ke lapisan bawah kemudian secara bertahap digantikan oleh Al, Mangan (Mn), dan Hidrogen (H), yang selalu berasosiasi dengan tanah masam (Kochian *et al.*, 2004).

Adaptasi tanaman terhadap tanah mineral masam sangat ditentukan oleh adanya sifat toleransi terhadap cekaman Al, yang merupakan cekaman hara utama pada tanah masam. Secara umum terdapat dua mekanisme yaitu secara eksternal dan internal. Mekanisme eksternal yaitu mekanisme tanaman untuk mencegah agar Al tidak terserap ke dalam tanaman. Mekanisme internal merupakan mekanisme yang secara internal dapat mengeliminasi pengaruh Al, walaupun Al sudah terakumulasi didalam tanaman dan tanaman tetap dapat tumbuh dan berkembang (Kochian *et al.* 2004). Mekanisme eksternal mencegah Al masuk ke dalam simplas dan bagian metabolik yang sensitif melalui immobilisasi dinding sel, permeabilitas selektif membran plasma karena membran lipids adalah salah satu target utama Al (Vardar *et al.* 2011). Mekanisme toleransi eksternal yang banyak dilaporkan adalah eksudasi asam organik sebagai pengkelat Al, sehingga Al tidak dapat masuk ke akar. Asam organik yang dapat mengkelat Al tersebut antara lain

asam malat, oksalat dan asam sitrat (Ma, 2000). Penelitian pada jagung, wortel dan kedelai toleran menunjukkan, bahwa mekanisme toleransi terhadap Al melibatkan produksi asam sitrat lebih besar. Asam organik sebagai pengkelat akan berikatan kuat dengan Al sehingga akan mengurangi efek beracunnya pada tanaman (Kasim, 2001; Sopandie, 2013).

Mekanisme lain adalah eksklusi Al melalui sekresi protein (Archambault *et al.* 1997) dan meningkatkan pH di rizosfer akar (Samac dan Mesfin 2003).

Mekanisme toleransi internal yang dilaporkan terutama berkaitan dengan pengkelatan asam organik dalam sitosol dan kompartementasi dalam vacuola. Tanaman mengakumulasi Al dengan ligan pengkelat seperti asam-asam fenolik pada sel tertentu seperti sel epidermis daun. Al dikelat oleh asam malat, sitrat, tartaric, oksalat pada mekanisme internal. Mekanisme internal melakukan pengkelatan dengan asam organik dalam sitosol, kompartementasi Al di vakuola, sintesis protein spesifik, isoenzim resisten serta peningkatan aktivitas enzim (Taylor, 1991).



Gambar 4. Respon Aluminium Pada Tanah
Sumber : Quintal *et al.*, 2017

Tanah yang memiliki pH rendah dikategorikan menjadi asam dimana bentuk fitotoksik Al dilepaskan ke dalam tanah ke tingkat yang mempengaruhi pertumbuhan akar dan tanaman. Kochian *et al.* (2004) menyatakan bahwa, Al

yang terlarut di dalam tanah berada dalam berbagai bentuk ionik dalam tanah. Bentuk Al di dalam tanah sendiri terdiri dalam berbagai bentuk diantaranya yaitu Al^{3+} bentuk bebas atau mononuklear, Al polinuklear, dan Al kompleks dengan berat molekul rendah. Pada $\text{pH} < 5,0$ Aluminium terdapat didalam tanah dalam bentuk Al^{3+} sebagai alumunium klorida heksahidrat oktahedral ($\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$). Pada pH yang meningkat Al^{3+} mengalami deprotonasi berturut-turut membentuk $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ sedangkan pada pH netral $\text{Al}(\text{OH})_3$ tidak larut terbentuk yang membatasi kelarutan monomer. Keracunan Al terjadi pada $\text{pH} < 5.5$ karena daerah pertukaran kation dijenuhi Al terutama pada kejenuhan Al $> 25\%$ (Marschner, 1995). Keracunan Al dapat menghambat pertumbuhan akar (Taylor, 1988). Gejala keracunan Al pada akar tanaman adalah akar primer menjadi lebih pendek dan tebal serta pembentukan akar lateral yang tidak sempurna (Delhaize and Ryan 1995).

Respon tanaman yang peka terhadap cekaman keracunan Al ini antara lain akar menjadi pendek dan rapuh, cabang-cabang akar halus (fine root branching) pada akar lateral berkurang, ujung akar dan akar lateral menebal serta berubah warna menjadi cokelat. Akar yang mengalami kerusakan seperti itu menjadi tidak efisien dalam penyerapan hara dan air dari dalam tanah. Selain memasuki sel-sel akar, terutama bagian ujung akar, sebagian ion Al^{3+} bereaksi dengan P terlarut di dalam tanah menyebabkan P yang tersedia bagi tanaman membentuk senyawa kompleks dengan Al dan P dalam bentuk tidak terlarut sehingga menjadi tidak tersedia bagi tanaman. Kerusakan lain yang disebabkan oleh Aluminium selain pada dinding sel yaitu pada struktur membran plasma akar. Faktor penyebab kerusakan akar oleh ion polimer Al salah satunya adalah terbentuknya ikatan antara polimer Al dengan membran plasma akar yang menyebabkan kerusakan pada membran dan kebocoran K^+ dari sel akar (Matsumoto *et al.*, 1992). Peroksidasi lipid dipicu oleh interaksi Al dengan senyawa lipid dan protein yang mengakibatkan sel kehilangan integritas membran plasma (Yamamoto *et al.*, 2003). Siyaguru dan Paliwal (1993) melaporkan bahwa banyak penghambatan pertumbuhan akar pada tanaman seperti padi oleh karena itu parameter pertumbuhan akar pada kondisi cekaman Al biasanya digunakan untuk menilai

toleransi suatu tanaman terhadap keracunan Al (Delhaize dan Ryan, 1995). Salah satu alternatif yang dianggap sebagai metode terbaik dengan biaya relatif murah adalah penyediaan materi genetik yang toleran terhadap keracunan Al melalui seleksi keragaman genetik spesies tanaman yang diikuti dengan perakitan varietas unggul toleran Al. Menurut Tasma (2015) menyatakan bahwa kunci keberhasilan program pemuliaan tanaman adalah pengetahuan genetika pada lokus (*gen dan quantitative trait loci* [QTL]) pengendali toleransi tanaman terhadap keracunan Aluminium.

2.4 Analisis Keragaman Genetik Berbasis *Simple Sequence Repeat*

2.4.1 Ekstraksi DNA Tanaman Jagung

DNA (*Deoksiribo Nucleic Acid*) merupakan senyawa kimia yang paling penting pada makhluk hidup yang membawa keterangan genetik dari sel khusus atau makhluk dari satu generasi berikutnya (Suryo, 2012). Ekstraksi DNA merupakan kegiatan rutin yang dilakukan dalam penelitian berbasis molekuler (Pharmawati 2009 dalam Ethica *et al.*, 2013). Dasar dalam melakukan ekstraksi DNA adalah menghancurkan jaringan-jaringan yang tidak terkontaminasi oleh komponen sel seperti protein dan karbohidrat tanpa menyebabkan kerusakan pada DNA. Prinsip ekstraksi DNA terdiri dari beberapa tahapan yaitu perusakan sitoplasma dan membran inti, pemisahan dan pemurnian DNA dari komponen lain seperti lipid, protein, dan asam nukleat lain (Ali *et al.*, 2017). Tiga tahapan penting pada proses isolasi DNA yaitu proses penghancuran (lisis), pemurnian DNA, dan ekstraksi atau pemisahan DNA dari bahan padat seperti protein dan selulosa. Proses awal isolasi DNA adalah pengancuran membran dan dinding sel yang bertujuan untuk mengeluarkan isi sel. Protein K digunakan untuk penghancuran membran dan dinding sel yang dilakukan secara enzimatik. Fungsi protein K yaitu menghancurkan membran pada sel darah, mendegradasi protein globular maupun rantai polipeptida dalam komponen sel (Brown, 2017). Faktor yang mempengaruhi keberhasilan isolasi DNA yaitu ada tidaknya kontaminan seperti protein dan RNA. Kontaminan dicirikan dengan adanya *Smear* pada uji kualitatif

menggunakan elektroforesis gel agarose dan nilai kemurnian DNA berada dalam rentang 1,8-2,2 melalui uji menggunakan spektrofotometer. Hasil isolasi DNA menunjukkan bahwa DNA dapat diisolasi dengan baik ditandai dengan munculnya pita yang jelas dan terang, serta berada di atas marker pada semua sumur. Konsentrasi dan kemurnian DNA hasil ekstraksi dapat diukur secara akurat dengan absorbansi ultraviolet (UV) spektrofotometer. Absorbansi DNA terukur pada 260nm. Sampel DNA murni memiliki rasio absorbansi 260nm dan 280nm (A_{260}/A_{280}) pada kisaran 1,8. Namun, rasio kurang dari 1,8 mengindikasikan bahwa sampel terkontaminasi baik oleh protein maupun fenol (Brown, 2017). Konsentrasi hasil isolasi DNA yang tinggi ditandai dengan pita tebal dan terang secara kualitatif. Sedangkan konsentrasi hasil isolasi DNA yang rendah dicirikan dengan bentuk pita yang tipis. Prinsip dari kuantifikasi DNA menggunakan alat spektrofotometer adalah radiasi sinar ultraviolet dapat diserap oleh nukleotida dan protein dalam larutan karena adanya basa purin dan pirimidin (Hidayati *et al*, 2016).

2.4.2 Amplifikasi Sekuens DNA dengan SSR-Polymerase Chain Reaction (PCR)

PCR (*Polymerase Chain Reaction*) adalah suatu metode *in vitro* untuk menghasilkan sejumlah besar fragmen DNA spesifik dengan panjang dan sekuens yang telah ditentukan dari sejumlah kecil template kompleks. PCR merupakan suatu proses pelipat gandaan molekul DNA secara eksponensial dilakukan secara *in vitro* dengan bantuan enzim polymerase (*taq polymerase*) dan oligonukleotida pendek (*primer forward + primer reverse*) dalam suatu mesin *thermocycler* (Hidayati, 2016). Teknik *Polymerase Chain Reaction* banyak diaplikasikan dalam kegiatan karakterisasi molekuler karena teknik ini mampu menggandakan DNA segmen tertentu hingga jutaan kopi dalam waktu beberapa jam. Pelipat gandaan ini membutuhkan enzim spesifik yang dikenal dengan polimerase. Polimerase adalah enzim yang mampu menggabungkan DNA cetakan tunggal membentuk untaian molekul DNA yang panjang (Hewaluji dan Dharmayanti, 2014). Enzim ini membutuhkan primer serta DNA cetakan seperti nukleotida yang terdiri dari

empat basa yaitu, Adenine (A), Thymine (T), Cytosine (C), dan Guanine (G) (Gibbs, 1990).

PCR didasarkan pada amplifikasi enzimatik fragmen DNA dengan menggunakan dua oligonukleotida primer yang komplementer dengan ujung 5' dari kedua rantai sekuens target (Anggereini, 2009). Proses tersebut bergantung pada primer yang dipilih. Primer digunakan untuk membantu dimulainya reaksi sebagai pelengkap ujung DNA target dan akan berhibridisasi ke fragmen DNA untuk diamplifikasi (Tortora *et al.*, 2018). Komponen utama dalam proses PCR yaitu asam deoksiribonukleotida trifosfat (dNTP), DNA cetakan, oligonukleotida primer, enzim DNA polimerase, dan senyawa buffer (Yusuf, 2010).

Polymerase Chain Reaction (PCR) memiliki 3 prinsip utama, yaitu denaturasi, penempelan primer (*annealing*), dan elongasi. Denaturasi merupakan fase saat DNA yang semula beruntai ganda terpisah menjadi beruntai tunggal pada suhu 94—95°C dengan enzim *taq* polimerase sebagai katalisnya setelah itu suhu diturunkan sehingga terjadi penempelan primer (*annealing*) pada DNA cetakan yang berantai tunggal. Pada tahap penempelan primer (*annealing*) berlangsung dengan suhu 55—65°C. Suhu *annealing* yang terlalu tinggi akan menyebabkan primer tidak melekat dengan baik, sehingga DNA yang teramplifikasi sangat rendah. Namun, apabila suhu terlalu rendah primer menempel tidak spesifik pada DNA target. Sehingga terjadi amplifikasi pada segmen DNA yang tidak diharapkan. Selanjutnya suhu dinaikkan kembali sehingga enzim polimerase melakukan proses polimerase rantai DNA yang baru. Rantai DNA yang baru tersebut selanjutnya dapat digunakan dalam reaksi polimerase berikutnya (Yuwono, 2006). Pemanjangan primer oligonukleotida dan pembentukan untai baru berlangsung pada suhu optimal 72—78°C (Ehtisham *et al.*, 2016). Tahap-tahap tersebut diulang sebanyak 30—40 kali (Gupta, 2019).

Simple sequence repeat (SSR) atau mikrosatelit adalah sekuens DNA berulang tandem pendek (16 bp) yang diapit oleh sekuens DNA dan terkonservasi. *Simple sequence repeat* (SSR) dapat digunakan untuk tujuan karakterisasi tanaman pada

taraf genotip (Gupta *et al.*, 2010). Salah satu marka molekuler berbasis PCR yang saat ini banyak diaplikasikan pada berbagai tanaman yaitu SSR. Keuntungan SSR antara lain relatif sederhana, murah, dan lebih akurat. Selain itu, SSR bersifat kodominan dan multi alelik, melingkupi daerah genom yang luas, serta pada umumnya bersifat polimorfik (Saha *et al.*, 2005; Gouvêa *et al.*, 2010). Pada organisme eukariota sering ditemukan SSR yang merupakan tandem arrays dari 2—5 pasangan basa nukleotida yang berulang. Marka ini bersifat kodominan dan dapat mendeteksi variasi alel yang tinggi (Wu dan Tanksley 1993; Panaud *et al.*, 1996). Oleh karena itu, marka ini dapat digunakan guna mendeteksi aksesori tanaman yang berkerabat dekat secara lebih baik dibandingkan dengan markah molekuler yang lain.

SSR dapat menjadi standar dari marka DNA yang digunakan dalam analisis genom tanaman. Terdapat beberapa penelitian di Indonesia yang menggunakan marka molekuler atau SSR. Pabendon *et al.*, (2006) meneliti karakterisasi kemiripan genetik koleksi inbrida jagung berdasarkan marka mikrosatelit. Kemudian Tasma *et al.*, (2006) juga menggunakan marka molekuler untuk ketoleranan tanaman kedelai terhadap keracunan aluminium. Dayanandan *et al.*, (1997) menggunakan SSR dalam melakukan konservasi pada tanaman tropis (leguminose). Ernst *et al.* (2001) menggunakan penanda SSR untuk menentukan kemiripan secara genetik dari beberapa jenis jagung. Menurut Robinson *et al.*, (2004) keuntungan SSR secara alami yaitu multiple alel SSR dapat dideteksi pada lokus tunggal menggunakan penapisan berbasis PCR, SSR terdistribusi pada seluruh genom, bersifat kodominan, Jumlah DNA yang dibutuhkan sedikit, dan analisis dapat dilakukan secara semi otomatis.

2.4.3 Visualisasi Hasil Amplifikasi dengan Elektroforesis

Tahapan selanjutnya yaitu visualisasi hasil amplifikasi dengan elektroforesis. Elektroforesis dilakukan untuk mengetahui hasil dari proses PCR yang telah berhasil mengamplifikasi DNA. Elektroforesis yaitu memisahkan fragmen DNA

berdasarkan ukuran dengan bantuan gel elektroforesis. Prinsip kerja dari elektroforesis berdasarkan pergerakan partikel-partikel bermuatan negatif (anion), dalam hal tersebut DNA yang bergerak menuju dari kutub negatif ke kutub positif. Hasil elektroforesis yang terlihat adalah terbentuknya band yang merupakan fragmen DNA hasil amplifikasi dan menunjukkan potongan-potongan jumlah pasangan basa (Artati dan Lubis, 2017). Setiap pita yang muncul saat proses elektroforesis berisi banyak salinan dari partikel fragmen DNA (Tortora, *et al.*, 2018).

Metode elektroforesis telah berkembang dari metode konvensional dengan gel agarose elektroforesis ke elektroforesis gel kapiler. Pemisahan fragmen DNA pada metode elektroforesis gel kapiler dilakukan dengan pada kapiler dari gel *cartridge* pracetak. Molekul berpindah melalui kapiler melewati detektor yang mendeteksi dan mengukur sinyal fluoresens. Detektor *photomultiplier* mengubah sinyal emisi menjadi data elektronik. Setelah rangkaian proses selesai, data ditampilkan sebagai elektroferogram atau *gel image*. *Software* proses elektroforesis menghitung ukuran fragmen DNA berdasarkan pada waktu migrasi fragmen yang dibandingkan dengan referensi *size marker* yang berukuran 50 bp—1,5 kb (Qiagxcell DNA Handbook, 2014).

2.4.4 Analisis dan Interpretasi Hasil Visualisasi Sekuen dengan Elektroforesis

Hasil amplifikasi dengan elektroforesis selanjutnya dilakukan analisis dan interpretasi hasil visualisasi sekuen DNA yang telah dilakukan. Hasil tersebut dianalisis dengan NTSYSpc. NTSYSpc adalah sistem program yang digunakan untuk mencari dan menampilkan struktur dalam data multivariat. Istilah taksonomi matematis dan klasifikasi otomatis juga telah digunakan untuk menggambarkan bidang aplikasi ini. Teknik tersebut juga merupakan subset dari analisis data multivariat dan memiliki hubungan dekat dengan beberapa metode di bidang pengenalan pola (Rohlf, 1988).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan dari bulan Juni sampai dengan Oktober 2023 yang meliputi tiga tahapan yaitu penanaman benih, pengujian perkecambahan benih jagung varietas Srikandi Ungu dan analisis *Simple sequence repeat* (SSR). Proses penelitian yang pertama dilakukan penanaman benih jagung (*Zea mays* L.) di kebun percobaan (5°22'24"S 105°15'33"E) selanjutnya proses perkecambahan benih hasil produksi dilaksanakan di Laboratorium Benih (5°21'52"S 105°14'33"E) dan dianalisis menggunakan marka *Simple sequence repeat* (SSR) di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) (°22'01"S 105°14'42"E).

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu cangkul, koret, gembor, timbangan, polybag 45x45 cm dan terpal ukuran 300x100x50 cm. Alat yang digunakan pada tahapan perkecambahan adalah germinator benih, nampan, alat presser, gunting, penggaris, karet, label, dan *sprayer*. Pada tahapan terakhir yaitu analisis (*Simple sequence repeat*) SSR alat yang digunakan yaitu *freezer*, alat PCR (*Labcycler*), autoklaf, laminar, *Tissue Lyser* LT Qiagen, Nanophotometer P 360 (*Implen*). QIAxcel Advanced, mortar, vortex, heating block suhu 65°C, centrifuge, tube lancip dan tumpul, mikro pipet berbagai ukuran 1000µL, 200µL, 10µL, Bioclean Aerosol Resistent Barrier Tip 1000µL, 200µL, 10µL, shaker, *disposable free powder gloves*.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu benih jagung varietas Srikandi Ungu, tanah, *polybag*, air, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ dengan 4 taraf perlakuan yang berbeda (0 g/kg tanah, 0,3 g/kg tanah, 0,6 g/kg tanah, 0,9 g/kg tanah), pupuk Urea, KCl dan SP-36 dan pestisida. Selanjutnya pada proses perkecambahan benih bahan yang dibutuhkan adalah 150 butir benih/perlakuan, air, plastik, dan kertas merang. Bahan yang digunakan dalam analisis marka *Simple Sequence Repeat* (SSR) yaitu *Nucleic lisis solution*, *Protein precipitation solution*, etanol 75%, isopropanol, DNA *Rehydration*, primer umc1066, phi112, phi057, master mix, ddH₂O, dan template DNA.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan rancangan non faktorial atau faktor tunggal yang disusun dengan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan faktor tunggal yaitu pemberian ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$). Perlakuan pemberian ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) yang terdiri dari 4 taraf perlakuan (0 g/kg berat tanah, 0,3 g/kg berat tanah, 0,6 g/kg berat tanah, dan 0,9 g/kg berat tanah). Setiap perlakuan terdiri dari 4 tanaman dan diulang sebanyak 3 kali. Sehingga didapatkan satuan percobaan sejumlah 48. Data yang diperoleh di uji homogenitas dengan Uji Barlet, kemudian data dianalisis ragam dan dilakukan uji lanjut Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf 5%. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan program statistika R-studio. Tata letak percobaan dapat digambarkan sebagai berikut :

BLOK I	BLOK II	BLOK III
P4	P2	P4
P2	P4	P3
P3	P3	P1
P1	P1	P2

Keterangan : P1 = Jagung varietas Srikandi Ungu + perlakuan ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) dengan taraf 0 g/kg berat tanah dalam *polybag*; P2 = Jagung varietas Srikandi Ungu + perlakuan ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) dengan taraf 0,3 g/kg berat tanah dalam

polybag; P3 = Jagung varietas Srikandi Ungu + perlakuan $(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O})$ dengan taraf 0,6 g/kg berat tanah dalam *polybag*; P4 = Jagung varietas Srikandi Ungu + perlakuan $(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O})$ dengan taraf 0,9 g/kg berat tanah dalam *polybag*.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Produksi Benih Jagung Srikandi Ungu

3.4.1.1 Persiapan Media Tanam

Pada penelitian ini dilakukan persiapan media tanam. Media tanam yang akan digunakan dilakukan analisis tanah terlebih dahulu diantaranya kadar keasaman (pH), Al tersedia, Al total, Fe total, Mn total, Cd total, N tersedia, P tersedia, dan K tersedia terlebih dahulu yang dilakukan di Laboratorium Pengujian UPT LTSIT Universitas Lampung dengan metode MP-AES. Derajat keasaman tanah yang akan digunakan untuk media tanam jagung diharapkan netral agar tanah yang digunakan tidak berdampak pada pertumbuhan tanaman jagung. Bobot sampel tanah yang dibutuhkan dalam analisis tanah yaitu 10 g. Sampel tanah kemudian dihaluskan dan dilarutkan menggunakan aquades steril dan selanjutnya dilakukan *shake* dengan *shaker* selama 30 menit. Analisis dilakukan dengan pH meter elektrik otomatis. Hasil derajat keasaman (pH) sampel tanah yang diperoleh yaitu 6,8, Al-tersedia 67,53 ppm, Al total 7%, Fe-total 3,88%, Mn total 947,69 ppm, kadmium (Cd) dibawah limit deteksi metode dimana hasil yang diperoleh dapat dikatakan limit (kecil). Setelah didapatkan hasil uji sampel tanah dilakukan sterilisasi benih jagung. Sterilisasi benih jagung dilakukan dengan cara perendaman pada bayclin dengan konsentrasi 0,01%. Perendaman benih dilakukan selama 2—3 menit, setelah itu ditiriskan dan dibilas menggunakan aquades steril.

3.4.1.2 Pembuatan Larutan Aluminium Sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$)

($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) yang digunakan menggunakan 4 taraf yang berbeda yaitu 0 g/kg tanah, 0,3 g/kg tanah, 0,9 g/kg tanah. Untuk perlakuan pertama, dibutuhkan ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) sebanyak 0,3 gr/polybag dengan berat media tanam yang digunakan adalah 13 kg, maka untuk pengenceran 1000 ml dalam 1 kali percobaan (satu polybag) diperlukan 3,9 g ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$). Pada taraf kedua, digunakan 0,6 g/kg tanah ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) dengan berat media tanam yang digunakan yaitu 13 kg, maka untuk pengenceran 1000 ml dalam 1 kali percobaan (satu *polybag*) diperlukan 7,8 gr ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$). Selanjutnya, pada taraf 0,9 g diperlukan ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) sebanyak 11,7 g ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$). Pembuatan 4 taraf perlakuan larutan ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) ini dilakukan secara bertahap sesuai dengan waktu penanaman benih jagung.

3.4.1.3 Penanaman Jagung Srikandi Ungu

Benih jagung yang akan ditanam adalah benih bersari bebas varietas Srikandi Ungu yang diperoleh dari Laboratorium Benih Universitas Lampung. Benih jagung yang sudah steril ditanam pada *polybag* berukuran 45x45 cm yang berisikan tanah dengan berat 13 kg yang telah diketahui derajat kemasamannya (pH) yaitu 6,8. Tanah yang digunakan sebagai media tanam diambil dari lahan pekarangan rumah milik Bapak Hasbi. Tanah yang digunakan diaduk terlebih dahulu agar gembur dan halus. Setelah gembur, larutan ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) dikocorkan pada *polybag* yang akan digunakan sebagai media tanam benih jagung Srikandi Ungu. Benih jagung ditanam 2 butir/*polybag* sedalam 2-3 cm dengan jarak tanam yang ditentukan. Selanjutnya, setiap *polybag* diberikan label sesuai dengan nama varietas, perlakuan dan ulangan. *Polybag* ditata berbaris sesuai dengan masing-masing variabel perlakuan, varietas, dan ulangan secara berurutan dan diletakkan di tempat yang tidak ternaungi agar tetap mendapat pancaran sinar matahari.

3.4.1.4 Pemeliharaan Tanaman Jagung

Pemeliharaan tanaman jagung perlu dilakukan agar tanaman yang akan dihasilkan dapat tumbuh dengan baik. Pemeliharaan tanaman jagung diantaranya yaitu penyiraman tanaman, pembumbunan, penyiangan gulma, pemupukan, pengendalian hama dan penyakit, dan pemanenan. Penyiraman dilakukan pada mulai dari fase vegetatif hingga generatif, kegiatan ini dilakukan setiap pagi dan sore hari. Pembumbunan dilakukan agar tanaman jagung tetap tumbuh baik dan kokoh. Pembumbunan dilakukan dengan cara menimbun tanah pada pokok tanaman dengan alat bantu koret. Penyiangan dilakukan setiap minggu guna menjaga pertanaman bebas gulma. Selanjutnya, pemupukan dilakukan sebanyak 3 kali yang dilakukan pada 7 hari setelah tanam (HST) dengan dosis rekomendasi yaitu Urea 100 kg/ha, SP-36 150 kg/ha dan KCL 100 kg/ha. Pemupukan tahap 2 dilakukan pada 28—30 hari setelah tanam (HST) dengan pupuk yang digunakan yaitu Urea dengan dosis 100 kg/ha. Pemupukan terakhir dilakukan pada 45—50 hari setelah tanam (HST) dengan pupuk yang digunakan yaitu Urea dengan dosis 100—150 kg/ha.

Selanjutnya adalah pengendalian hama penyakit tanaman yang mana dilakukan dengan cara kimiawi yaitu pemberian insektisida dan fungisida seperti Furadan, Pegasus 500 SC dan Captive 200 SC. Furadan diaplikasikan pada saat benih ditanam dengan memasukan 3-4 butir furadan disetiap lubang yang berisikan benih. Pegasus 500 SC dan Captive diberikan dengan cara disemprotkan pada tanaman yang sudah berumur 14 HST (hari setelah tanam). Dosis dan aplikasi mengikuti petunjuk yang tertera pada label kemasan.

3.4.1.5 Pemanenan dan Pengolahan Pasca Panen Benih Jagung Hasil Produksi

Pemanenan jagung dilakukan pada saat benih mencapai masak fisiologis. Masak fisiologi ditandai dengan kadar air benih yang cukup tinggi 3—40% maka dari itu, perlu dilakukan pengeringan secara manual dengan cara membuka kelobot jagung

(masak panen) untuk menurunkan kadar air benih. Hal tersebut bertujuan untuk mengurangi risiko kerusakan secara mekanis dan untuk memudahkan dalam proses pengeringan. Kadar air yang ditargetkan untuk jagung yaitu 15—20% yang ditandai dengan kelobot berwarna kuning kering, biji jagung sudah keras jika ditekan dengan jari, dan adanya lapisan hitam (*black layer*) pada plasenta benih yang terdapat pada tongkol jagung. Pemanenan benih jagung dilakukan secara manual dengan cara memetic tongkol yang sudah masak panen dan dikumpulkan dalam wadah. Hasil panen selanjutnya dibawa pada unit pengolahan benih jagung.

Selanjutnya dilakukan pengeringan dimana hasil panen tongkol jagung dikupas kelobotnya kemudian dilakukan penyortiran. Setelah dilakukan pensortiran tongkol yang sehat dikeringkan secara alami dengan sinar matahari hingga kadar air <14%. Tongkol yang sudah kering selanjutnya dilakukan pemipilan secara manual. Benih yang telah dipipil dikeringkan kembali dibawah sinar matahari $\pm 2-3$ hari agar kadar air benih mencapai sekitar 11—12%. Selanjutnya, benih hasil pipilan yang telah dikeringkan dilakukan pensortiran ukuran dan bentuk serta pembersihan dari sisa-sisa kotoran berdasarkan. Benih yang sudah bersih, seragam selanjutnya dilakukan pengujian daya berkecambah serta kadar air benih.

3.5 Pengujian Mutu Benih Jagung Srikandi Ungu

Pengecambahan benih jagung dilakukan untuk mengetahui viabilitas serta vigor benih jagung yang dihasilkan yang mencerminkan mutu benih. Pengecambahan dilakukan dengan metode UKDdp (uji kertas digulung didirikan dalam plastik) yang mana dilakukan pada media kertas (kertas merang). Ulangan dilakukan sebanyak 3 kali dengan setiap gulungan pada setiap ulangan berisikan 25 butir benih jagung. Media kertas merang yang digunakan dilakukan perendaman dalam bak yang berisikan air selanjutnya dipres dengan pengempa kertas hingga tiris dan media lembab. Untuk penanaman kertas yang digunakan yaitu 5 lembar dimana 3 sebagai alas tanam dan 2 lembar kertas sebagai penutup benih. Benih jagung ditanam di atas kertas merang sebanyak 25 butir/ulangan dengan susunan zig-zag.

Setelah disusun, ditutup dengan 2 lembar kertas merang dan digulung. Setiap gulungan diberi label sesuai varietas dan ulangan serta yang diberi perlakuan dan tidak diberi perlakuan. Selanjutnya, gulungan tersebut diletalam pada germinator IPB 73-2A/B dengan posisi berdiri (UKDdp).

3.6 Analisis Keragaman Genetik Berbasis *Simple Sequence Repeat*

3.6.1 Ekstraksi DNA

Ekstraksi dilakukan dengan menggunakan metode Wizard® *Genomic DNA Purification Kit* (Promega, AS) dengan sedikit modifikasi peneliti. Ekstraksi DNA diawali dengan menyiapkan sampel tanaman jagung yang telah dikecambahkan. Sampel di ambil dari jaringan muda (bagian pucuk tanaman). Sampel tanaman jagung dibersihkan terlebih dahulu dengan cara dilap menggunakan tisu yang sudah diberi alkohol. Sampel ditimbang sebanyak 1—2 g dan dihaluskan pada mortar dengan menambahkan 300µl *Nucleic Lisis Solution*. Setelah sampel halus tambahkan kembali 300µl *Nucleic Lisis Solution*, dan diinversi kemudian di pindahkan ke dalam *tube* tumpul menggunakan pipet. Lalu sisa yang masih terdapat di dalam mortar diambil menggunakan spatula. Proses lisis selanjutnya dibantu menggunakan *Tissue Lyser* penambahan peluru sebanyak 2 buah selama 10 menit, kemudian diamkan di suhu ruang selama 60 menit sampai busa didalam tube sampel DNA hilang. Setelah itu pindahkan larutan sampel dengan pipet kedalam tube baru, kemudian tambahkan 200µl *Protein Precipitation Solution* dan PVP serta klorofom sebanyak 25µl. Dihomogenkan dengan menggunakan Vortex selama 30 detik, lalu sampel disentrifugasi menggunakan kecepatan 13.000 g selama 5 menit pada suhu 4°C. Setelah terbagi 3 lapisan bagian, ambil supernatan paling atas, lalu pindahkan ke tube ujung lancip steril, kemudian tambahkan isopropanol dalam keadaan suhu ruang sebanyak 600µl. Inversi perlahan dengan *pipetting*, lalu sentrifugasi 13.000 g selama 3 menit. Selanjutnya, buang cairan secara perlahan dalam kondisi dingin ke permukaan *tissue* supaya DNA yang terkumpul di pelet tidak terbawa, kemudian tambahkan etanol 75 % sebanyak 600µl. Kemudian dihomogen secara

perlahan dengan inversi, kemudian lakukan sentrifus 13.000 g kembali selama 5 menit, setelah disentrifugasi, supernatan dikeluarkan secara perlahan ke permukaan tissue (jangan sampai pelet DNA terbawa). Tube dikeringkan pada suhu ruang dengan dialasi tissue bersih selama 30 menit. Kemudian sentrifugasikan sampel di alat vakum selama 15 menit, lalu DNA dilarutkan dengan menambahkan DNA *rehydration solution* sebanyak 30 μ l. Inkubasikan di suhu 65°C selama 30 menit, setiap 15 menit di *tapping* dan *spin*, kemudian DNA disimpan pada suhu -18°C. Siap untuk diukur kemurnian dan konsentrasinya.

3.6.2 Analisis Kemurnian dan Kuantifikasi DNA

Analisis dilakukan menggunakan alat Nanophotometer P360 (*Implen*, Jerman). Sebelum diukur, hasil ekstraksi perkecambahan dihomogenkan menggunakan vortex. Sebelum dilakukan analisis kemurnian dan kuantifikasi dilakukan kalibrasi Nanophotometer P360 dengan menggunakan blanko. Blanko yang digunakan berupa pelarut yang digunakan pada ekstraksi DNA. Blanko diambil sebanyak 1 μ L. DNA Sampel diambil sebanyak 1,5 μ L dan teteskan ditengah jendela *cell* pengukur. *Submicroliter cell* yang berisi sampel ditutup dengan rapat. Tombol “Ok” ditekan untuk mengaktifkan mesin dan tombol blank ditekan untuk referensi pengukuran. Tombol “!” ditekan untuk mengukur sampel. Jika satu sampel telah selesai maka untuk pengukuran sampel berikutnya lid dan submicroliter dibersihkan terlebih dahulu dengan tisu yang dibasahi alkohol. Tujuan dianalisis dengan nanophotometer untuk mengukur keberadaan DNA dibahan ekstraksi guna persiapan proses PCR.

3.6.3 Amplifikasi Gen dengan Metode *Polymerase Chain Reaction*

DNA jagung yang telah diperoleh kemudian diamplifikasi dengan metode *Simple Sequence Repeats (SSR)-Polymerase Chain Reaction (PCR)* dengan alat *thermocycler (Sensoquest, Jerman)*. Gen dari DNA jagung diamplifikasi menggunakan 3 pasang primer yaitu Umc1066, Phi057 dan Phi112. Primer

Umc1066 memiliki sekuen *Forward* (5'—3') yaitu 5'ATGGAGCACGTCATCTCAATGG-3' dan *Reverse* (5'—3') 5'-AGCAGCAGCAACGTCTATGACT-3' ; primer Phi057 memiliki sekuen *Forward* (5'—3') yaitu 5'-CTCATCAGTGCCGTCGTCCAT-3' dan *Reverse* (5'—3') 5'-CAGTCGCAAGAAACCGTTGCC-3' ; primer Phi112 memiliki sekuen *Forward* (5'-3') yaitu 5'-TGCCCTGCAGGTTACATTGAGT-3' dan *Reverse* (5'—3') yaitu 5'-AGGAGTACGCTTGGATGCTCTTC-3'. Pereaksi PCR terdiri dari 10,5µL *mastermix* , 0,25µL primer *Forward* (F), 0,25µL primer *Reverse* (R), 9,85µL ddH₂O, dan 0,15µL sampel DNA yang dimasukkan pada *microtube* berukuran 0,2 mL. Setelah seluruh pereaksi dimasukkan ke dalam *microtube*, sampel dihomogenkan dengan *tapping* dan *spin*. Proses memasukkan seluruh pereaksi PCR dilakukan di Laminar UV 4 PCR. Pada proses amplifikasi DNA dengan PCR (*Polymerase Chain Reaction*) mengikuti prosedur yang digunakan Nining *et al.* (2016). Proses ini memiliki 6 tahapan yaitu denaturasi 2 menit pada suhu 94°C, dilanjutkan 30 detik pada suhu yang sama, 1 menit pada suhu 65°C, dan 1 menit pada suhu 72°C. Suhu *annealing* diturunkan dari 1°C setiap dua siklus hingga berakhir pada saat *annealing* tercapai. Tahap kedua diulang 29 kali dan berakhir dengan siklus *elongation* (pemanjangan) pada suhu 72°C dan pendinginan pada suhu 4°C, kemudian reaksi dihentikan. Tahap denaturasi, penempelan primer (*annealing*), dan pemanjangan (*elongation*) diulang sebanyak 30 siklus.

3.6.4 Elektroforesis Hasil *Polymerase Chain Reaction* (PCR)

Tahap selanjutnya, elektroforesis yang dilakukan untuk memvisualisasi hasil amplifikasi sekuens DNA. Sampel hasil PCR dielektroforesis dengan alat elektroforesis digital *QiaxCel Advanced* dari Qiagen, Jerman menggunakan DNA *high resolution kit*. Prosedur yang digunakan mengikuti panduan manual *QiaxCel Advanced* dari Qiagen, Jerman.

3.6.5 Analisis dan Interpretasi Hasil Visualisasi Sekuen dengan Elektroforesis

Hasil amplifikasi sekuen dari benih T-1 (benih hasil turunan) varietas jagung Srikandi Ungu divisualisasi dengan elektroforesis selanjutnya dianalisis dan diinterpretasi. Menurut Zhang *et al.* (2014) analisis data polimorfisme dinilai berdasarkan ada bernilai satu (1) atau tidak ada bernilai kosong (0), dan dibandingkan antar kelompok hasil analisis kluster. Hasil tersebut dianalisis dengan *software* NTSYSpc yang disajikan dalam bentuk dendogram dengan asosiasi koefisien (An *et al.*, 2017).

3.7 Variabel Pengamatan

3.7.1 Indikator Pertumbuhan dan Produksi

3.7.1.1 Jumlah Daun

Pengamatan jumlah daun tanaman jagung dihitung pada 7 MST. Daun yang dihitung adalah daun yang sudah membuka secara penuh. Satuan yang digunakan adalah helai daun.

3.7.1.2 Tinggi Tanaman

Pengamatan tinggi tanaman jagung diukur pada 7 MST. Tinggi tanaman diukur dari ruas yang paling bawah. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan penggaris atau meteran.

3.7.1.3 Indeks Klorofil

Indeks klorofil daun diukur dengan menggunakan alat Minolta SPAD. Daun tanaman jagung yang diukur adalah daun kedua paling atas yang sudah membuka. Pengukuran dilakukan pada saat tanaman jagung memasuki umur vegetatif

maksimum yaitu umur 6 MST. Pengukuran dilakukan pada 3 titik yaitu pangkal daun, tengah daun, dan ujung daun. Hasil yang digunakan adalah rata-rata dari ketiga titik pengukuran.

3.7.1.4 Luas Daun (cm²)

Pengukuran luas daun dilakukan dengan menggunakan alat Leaf Area Meter. Sebelum jagung dihitung luas daunnya, daun tanaman jagung dikeringkan terlebih dahulu untuk memudahkan dalam pengukuran.

3.7.1.5 Bobot Tongkol dengan Kelobot

Penimbangan berat tongkol dilakukan pada saat panen umur ± 87 HST (hari setelah tanam) dengan cara menimbang berat tongkol pada setiap sampel tanaman/blok dengan menggunakan timbangan.

3.7.1.6 Bobot Tongkol tanpa Kelobot

Penimbangan berat tongkol tanpa kelobot dilakukan pada saat panen umur ± 87 HST (hari setelah tanam) dengan cara menimbang berat tongkol pada setiap sampel tanaman/blok dengan menggunakan timbangan.

3.7.1.7 Baris per Tongkol, Biji Per Baris dan Biji Per Tongkol

Perhitungan dilakukan dengan menghitung jumlah baris biji per tongkol jagung. Setelah itu dilanjutkan dengan menghitung jumlah biji pada baris tongkol. Dilakukan 2 kali perhitungan, perhitungan yang pertama dimulai dari bagian atas dan perhitungan kedua dimulai dari bawah kemudian keduanya dibagi dengan dua agar mendapat nilai rata-rata. Kemudian biji per tongkol diperoleh dari hasil perkalian jumlah baris per tongkol dan biji per baris.

3.7.1.8 Bobot Brangkas Kering Jagung

Bobot brangkas kering jagung diperoleh dengan cara ditimbang setelah brangkas basah dikeringkan.

3.7.2 Indikator Mutu Benih

3.7.2.1 Penetapan Bobot 1000 Butir Benih

Penetapan bobot 1000 butir benih dihitung dari mengambil secara acak 100 butir benih murni sebanyak 8 kali ulangan. Bobot setiap sampel ditimbang dan dihitung terlebih dahulu ragam, standar deviasi dan koefisien ragam dengan menggunakan rumus berikut (ISTA, 2017) :

$$R = \frac{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}{n(n-1)}$$

$$A = \sqrt{R^2}$$

$$KK = \frac{S}{\bar{x}} \times 100$$

$$\text{Bobot 1000 butir} = 10\bar{x}$$

Keterangan : R = Ragam ; x = Bobot setiap ulangan ; n = Jumlah ulangan ;
 \sum = Jumlah dari ; S = Standar deviasi ; KK = Koefisien keragaman
 \bar{x} = Rata-rata bobot 100 butir

3.7.2.2 Indeks Vigor

Pengamatan indeks vigor dilakukan terhadap jumlah kecambah normal pada hitungan pertama (*first count*) yaitu pada hari ke-5. Indeks vigor (IV) dihitung dengan rumus :

$$IV = \frac{\Sigma KN I}{\Sigma \text{ Benih yang ditanam}} \times 100\%$$

Keterangan : IV = indeks vigor; KN I = kecambah normal pengamatan pertama

3.7.2.3 Daya Berkecambah (%)

Daya berkecambah didapatkan dengan menghitung jumlah benih yang berkecambah normal pada hari ke-4 (*first count*) dan ke-7 (*final count*) setelah tanam. Pengamatan dilakukan dengan mengatai kecambah normal, abnormal dan benih mati. Daya berkecambah dihitung menggunakan rumus :

$$DB = \frac{\Sigma KN I + \Sigma KN II}{\Sigma \text{ Benih yang ditanam}} \times 100\%$$

Keterangan : DB = daya berkecambah; KN I = kecambah normal pengamatan pertama (*first count*); KN II = kecambah normal pengamatan kedua (*final count*)

3.7.2.4 Kecepatan Tumbuh (%/etmal)

Data diperoleh dari substrat pengujian daya berkecambah benih. Setiap kali pengamatan, jumlah persentase kecambah normal dibagi dengan etmal (24 jam). Nilai etmal kumulatif diperoleh dari saat benih ditanam sampai dengan waktu pengamatan. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut

$$KCT = \sum_0^{tn} \frac{N}{t}$$

Keterangan : KTC = kecepatan tumbuh; t = waktu pengamatan ke-i; N = persentase kecambah normal setiap waktu pengamatan; tn = waktu akhir pengamatan

3.7.2.5 Keserempakan Tumbuh Benih (%)

Benih kecambah normal akan dihitung keserempakan tumbuhnya pada hitungan antara hari ke-4 dan hari ke-7 pengamatan. Keserempakan tumbuh benih dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{KST} = \frac{\text{KN}}{\text{TB}} \times 100\%$$

Keterangan : KST = keserempakan tumbuh; KN = jumlah kecambah Normal; TB = total benih yang dianalisis

3.7.2.6 Tinggi Kecambah Normal (cm)

Pengamatan tinggi kecambah jagung diukur pada saat ke-7 (*final count*). Tinggi kecambah diukur dari bagian bawah endosperm. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan penggaris.

3.7.2.7 Berat Basah dan Berat Kering Kecambah Normal

Berat basah kecambah dilakukan pada hari terakhir, yaitu hari ke-7. Berat basah kecambah normal diperoleh dengan menimbang kecambah pada 7 HST dengan menggunakan timbangan digital. Sedangkan berat kering kecambah normal dihitung setelah kecambah dimasukkan kedalam amplop dan dioven selama 4 jam dengan suhu $\pm 105^{\circ}\text{C}$, setelah itu berat kering kecambah normal ditimbang menggunakan timbangan digital dengan tingkat ketelitian 2 angka dibelakang koma.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Terdapat perbedaan pola pita DNA jagung antara T-0 dan T-1 hasil PCR-SSR menggunakan primer phi112 yang sesuai dengan hukum mendel I yaitu hukum segregasi bebas.
2. Pemberian Aluminium dapat menurunkan pertumbuhan dan produksi tanaman jagung varietas Srikandi Ungu dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Pemberian Aluminium 0,9 g/kg berat tanah dalam *polybag* merupakan perlakuan yang menyebabkan penurunan sangat signifikan pada pertumbuhan dan produksi benih jagung (*Zea mays* L.) varietas Srikandi Ungu.
3. Pemberian Aluminium dapat menurunkan mutu benih jagung (*Zea mays* L.) T-1 varietas Srikandi Ungu dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Pemberian Aluminium 0,9 g/kg berat tanah dalam *polybag* merupakan perlakuan yang menyebabkan penurunan sangat signifikan pada mutu benih jagung (*Zea mays* L.) T-1 varietas Srikandi Ungu.

5.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan pada penelitian ini, maka penulis menyarankan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut terkait pola pita DNA yang memiliki panjang basa ± 130 pb hasil amplifikasi dengan primer Phi112. Perlu dilakukan *Sequencing* untuk menganalisis hasil variasi sekuen DNA antara amplicon yang terpapar aluminium dengan yang tidak karena amplicon benih T-1 tersebut

berpotensi dijadikan penanda molekuler untuk varietas tanaman jagung yang terkait dengan cekaman aluminium.

DAFTAR PUSTAKA

- Aghniya, U I K., Ahmad, Z., dan Ilyas, S. 2021. Modifikasi Suhu Uji Pemunculan Radikula untuk Mempersingkat Pengujian Vigor Benih Jagung. *Jurnal Agronomi Indonesia*. 49(3):266-272
- Akil, M. 2009. *Peningkatan Kualitas Benih Melalui Pengelolaan Hara Yang Optimal*. Prosiding Seminar Nasional Serealia. 978–79.
- Alex, B., Igor, K. 2011. Genome instability and epigenetic modification-heritable responses to environmental stress. *Current Opinion in Plant Biology*. 14(1):260-266
- Al-Khairi. 2008. *Keragaman Genetik Jati Rakyat di Jawa Berdasarkan Penanda Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD)*. IPB University. Bogor.
- Alla, S., et al. 2023. Characterization of phi112, a Molecular Marker Tightly Linked to the o2 Gene of Maize, and Its Utilization in Multiplex PCR for Differentiating Normal Maize from QPM. *Journal Genes*, 14:531.
- Andayani, N.N., et al. 2016. Keragaman Genetik Inbrida Jagung QPM dan Provit-A berdasarkan Marka SSRs (*Simple Sequence Repeats*). *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*. Vol. 35 No.2
- Archambault DJ, Zhang GC, Taylor GJ. 1997. Spatial variation in the kinetics of aluminium (Al) uptake in roots of wheat exhibiting differential resistance to Al-evidence for metabolism-dependent exclusion of Al. *J Plant Physiol*. 151: 668-674.
- Badan Pusat Statistik. 2015. *Produksi Jagung Menurut Provinsi Tahun 1993-2015*. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- Basto, S., Ken, T., Mark, R. 2015. The effect of soil pH on persistence of seeds of grassland species in soil. *Journal Plant Ecol*. 1(216):1163–1175.
- Bilman, W S. 2001. Analisis Pertumbuhan Jagung Manis (*Zea mays saccharata*), Pergeseran Komposisi Gulma pada Beberapa Jarak Tanam. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*. 3(1):25-30.

- Bintang M. 2010. *Biokimia Teknik Penelitian*. Jakarta:Penerbit ErlanggaBismidar, Sulistyowati,H. & Asnawati. 2018. Peningkatan Viabilitas Benih Padi Lokal Menggunakan Polyethylene Glycol. *Jurnal Sains Mahasiswa Pertanian*. 7(3):1-9.
- Borrero, J.C., Pandey, S., Ceballos, H., Magnavaca, R., and Bahia, A.F.C. 1995. Genetic variances for tolerance to soil acidity in a tropical maize population. *Maydica*. 40:283–288.
- Brown, T.A. 2010. Gene cloning and DNA analysis: An Introduction. *Wiley-Blackwell Publishing*. Oxford.
- Brown, T.A. 2017. *Gene Cloning & DNA Analysis An Introduction* : Seventh Edition. Wiley Blackwell. West Sussex.
- Dale, W J., and Schantz, V.M. 2003. *From Genes to Genomes (concepts and application of DNA Technology)*. Jhon Wiley and Son Ltd. England.
- Dalimunthe, S.R., Arif, A., Bin, dan Jamal, I. B. 2015. Uji Ketahanan terhadap Aluminium pH Rendah pada Jagung (*Zea mays* L.) Varietas Pioneer dan Srikandi Secara *In Vitro*. *Jurnal Pertanian Tropik*. 2(3):292–299.
- Delhaize, E., Ryan, P.R. 1995. Aluminium toxicity and tolerance in plant. *Plan Physiol*. 107:315-324.
- Ernst, C.A., Mason, M., Gupta, M., and Thompson, S.A. 2001. *Utilization of SSR Markers to Determine Genetic Similarity and Heterotic Assotiations in Zea mays*.
- Fatchiyah A, Widyarti LE, Rahayu S. 2011. *Biologi Molekular Prinsip Dasar Analisis*. Erlangga. Malang
- Gouvêa, L.R.L., Rubiano,L.B., Chioratto, A.F., Fernando, A., Zucchi, M.I., and Paulo, D.S.G. 2010. Genetic divergence of rubber tree estimated by multivariate techniques and microsatellite markers. *Genet and Mol Biol*. 33: 308-18.
- Gupta, S. 2010. Unraveling the conundrum of seemingly discordant protein-protein interaction datasets. *Conf Proc IEEE Eng. Med Biol Soc*. 783-6.
- Grevenstuk, T.; and Romano, A. 2013. Aluminium speciation and internal detoxification mechanisms in plants: Where do we stand. *Metallomics*, 5:1584–1594.
- Hewajuli, D.A., dan Dharmayanti, N.L.P.I. 2014. Perkembangan Teknologi Reverse Transcriptase Polymerase Chain Reaction dalam Mengidentifikasi Genom Avian Influenza dan Newcastle Diseases. *Wartazoa*. 24(1):16–29.

- Hidayati, R., Misrianti., dan Ali, A. 2016. Phylogenetic Tree of Kuantan Cattle by DNA Barcoding. *JITV*. 21(1): 41-48.
- Hussein J. H., Abdulla I. S. and Oda M. Y. 2011. Effect of Accelerated Aging Conditions on Viability of Sunflower (*Helianthus annus* L.) Seeds. Euphrates. *Journal of Agriculture Science*. 3(3):1-9.
- Hutasoit, B. I., et al. 2020. Pertumbuhan dan Hasil Delapan Genotipe Jagung Manis yang di Budidayakan Secara Organik di Lahan Rawa Lebak. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*. 22(1): 45-51.
- Ifa, M., Syukur, M., et al. 2021. Marka SSR Polimorfik pada Tetua dan Galur-galur Hasil Persilangan Cabai Tahan PYLCV. *Jurnal Horti Indonesia*. 12(2):126-137
- Ilyas, S. 2012. *Ilmu dan Teknologi Benih*. IPB Press. Bogor
- Jatoi, S.A., Kikuchi, A., San-San-Yi, Naing, K.W., Yamanaka, S., Watanabe, J.A., and Watanabe, K.N., 2006. Use of Rice SSR markers as RAPD markers for genetik diversity analysis in Zingiberaceae. *Breeding Science*. 56:107-111.
- Jumadi, O., Junda, M., Caronge, W.M., Munisa, A., Iriany, N. 2021. Teknologi Budidaya Tanaman Jagung (*Zea mays*) & Sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Jurusan Biologi FMIPA UNM*. Makassar.
- Karimaei M, Poozesh V. 2016. Effects of aluminum toxicity on plant height, total chlorophyll (Chl a+b), potassium and calcium contents in spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Intl J Farming Allied Sci* 5: 76-82.
- Kartika, T. 2019. Potensi Hasil Jagung Manis (*Zea mays Saccharata* Sturt.) Hibrida Varietas Bonanza F1 pada Jarak Tanam Berbeda. *Jurnal Ilmiah Matematika Pengetahuan Alam*. Vol. 16 No.1.
- Kasim, N., Sopandie, D., Harran S., Jusuf, M. 2001. Pola akumulasi dan sekresi asam sitrat dan asam malat pada beberapa genotipe kedelai toleran dan peka aluminium. *Hayati J Biosci*. 8:58-61.
- Kochian LV. 1995. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*. 46: 237-260.
- Kochian, L.V., Hoekenga, O.A., and Piñeros, M.A. 2004. How do crop plants tolerate acid soils Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. *Annu. Rev. Plant Biol*. 55:459–493.
- Koswara. 2009. *Respons Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Jagung Manis (Zea mays saccharata Sturt) Terhadap Pemberian Pupuk Cair Tnf dan Pupuk Kandang Ayam*. Balai Penelitian Tanah. Bogor.
- Khan Academy. 2023. Classical Genetics. LibreTexts. New York.

- Križman M, Jakše J, Baričevič D, Javornik B, Prošek M. 2006. Robust CTAB-activated charcoal protocol for plant DNA extraction. *Acta agriculturae Slovenica* 87(2): 427–433
- Lee, S.Y., Fai, W.K., Zakaria, M., Ibrahim, H., Othman, R.Y., Gwag, J.G., Rao, V.R., and Jin, Y.P. 2007. Characterization of polymorphic microsatellite markers, isolated from ginger (*Zingiber officinale* Rosc.). *Molecular Ecology Notes*. 7: 1009-1011
- Li JT, Yang J, Chen DC, Zhang XL, Tang ZA. 2007. An optimized mini-preparation method to obtain high-quality genomic DNA from mature leaves of sunflower. *Genet. Mol. Res.* 6 (4):1064–1071.
- Ma J F. 2000. Role of organic acids in detoxification in higher plants. *Plant Cell Physiol.* 41:383-390.
- Ma, J.F., Chen, Z.C., and Shen, R.F. 2014. Molecular mechanism of Al Tolerance in Gramineous Plants. *Plant Soil.* 381:1-12.
- Ma, J.F., Ryan, P.R., and Delhaize, E. 2001. Aluminium Tolerance in Plants and The Complexing Role of Organic Acids. *Trends Plant Sci.* 6:273–278.
- Magnavaca, R., Gardner, C., and Clark, R. 1987. Evaluation of inbred maize lines for aluminum tolerance in nutrient solution. In *Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition. The Netherlands: Martinus Nijhoff.* 255–265.
- Mao, C., Keke, Y., Ling, Y., Bingsong, Z., Yunrong, W., Feiyan, L., Ping, W. 2004. Identification of Aluminium-regulated Genes by cDNA-AFLP in Rice (*Oryza sativa* L.): Aluminium-regulated Genes for the Metabolism of Cell Wall Components. *Jurnal Of Experimental Botany.* Vol. 55 No. 394.
- Maron, L.G., Guimarães, C.T., Kirst, M. 2013. Aluminum Tolerance in Maize is Associated with Higher MATE1 Gene Copy Number. *Proc Natl Acad Sci.* 110:5241–5246.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants.* Academic Press. London.
- Masel, J. 2011. Genetic drift. *Current Biology.* 21(20): R837–R838.
- Matsumo, H., Yamamoto, Y., and Kasai, M. 1992. Changes of some properties of the plasma membrane enriched fraction of barley roots related to aluminum stress; membrane associated ATPase, aluminum and calcium. *Soil Sci. Plant Nutr.* 38(3):411–419.
- Matthews, S., Beltrami, E., El-Khadem, R., Hosseini, M K., Nasehzadeh, M., and Urso, G. 2011. Evidence that time for repair during early germination leads to vigour differences in maize. *Seed Sci Technol.* 39:501-509.

- McDonald, M.B. 1999. Seed deterioration: Physiology, Repair and Assessment. *Seed Science and Technology*. 27:177–237.
- McDonald, B. M., & Mc Dermott, J. M. (1993). Population genetic of plant pathogenic fungi, electrophoretic markers given unprecedented precision to analysis of genetic structure of population. *Bio Science*, 43(1):311–319.
- McWilliams, D.A., Berglund, D.R., and Endres, G.J. 1999. *Corn Growth and Management Quick Guide*. Academic Press. New York.
- Muhadjir, F. 2018. *Karakteristik Tanaman Jagung*. Balai Penelitian Tanaman Pangan Bogor. Bogor.
- Nei, M. 1987. *Molecular Evolutionary Genetics*. Columbia University Press. New York.
- Ninamango- Ca'rdenas, F.E., Guimaraes, C.T., Martins, P.R., Parentoni, S.N., Carneiro, N.P., Lopes, M.A., Moro, J.R., and Paiva, E. 2003. Mapping QTLs for aluminum tolerance in maize. *Euphytica*. 130:223–232.
- Nugroho, K., Rerenstradika, T.T., Reflinur., Puji, L. 2019. Metode Ekstraksi DNA Tanaman Tanpa Presipitasi Etanol untuk Kegiatan Polymerase Chain Reaction (PCR). *Jurnal Bioteknologi dan Biosains Indonesia*. Vol.6 No.1.
- Nusantari, E. (2013). Jenis Miskonsepsi Genetika yang Ditemukan pada Buku Ajar di Sekolah Menengah Atas. *Jurnal Pendidikan Sains*, 1(1), 52-64.
- Nono, C., Gigih,I.P., Neni, R., Danar, D. 2016. Seleksi berbasis Marka Molekuler pada Padi Generasi F2 Guna Merakit Galur Padi Harapan Tahan Wereng Coklat. *Jurnal Agrikultura*, 27 (1):9-15.
- Ofoe, R., Thomas, R., Asiedu, S.K., Gefu Wang-Pruski, Fofana, B. and Abbey, L., 2023. Aluminum in plant: Benefits, toxicity and tolerance mechanisms. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1085998>
- Pabendon, M.B., Dahlan, M., Sutrisno., dan George, M.L.C. 2006. Karakterisasi Kemiripan Genetik Koleksi Inbrida Jagung Berdasarkan Marka Mikrosatelit. *Buletin AgroBio: Jurnal Tinjauan Ilmiah Riset Biologi dan Bioteknologi Pertanian*. 2(2):45-51.
- Panaud, O., Chen, X., and McCouch, S.R. 1996. Development of micro- satellite markers and characterization of simple sequence length polymorphism (SSLP) in rice (*Oryza sativa* L.). *Mol Gen Genet*. 252:597–607.
- Pellet, D.M., Grunes, D.L., and Kochian, L.V. 1995. Organic-acid exudation as an aluminum tolerance mechanism in maize (*Zea mays* L.). *Planta*, 196:788

- Petter, N. 1988. The Effect Of Aluminium On Seed Germination and Early Seedling Establishment, Growth, and Respiration of White Spruce (*Picea glauca*). *J Bot.* Vol.66
- Pin-eros, M.A., Magalhaes, J.V., Carvalho Alves, V.M., and Kochian, L.V. 2002. The physiology and biophysics of an aluminum tolerance mechanism based on root citrate exudation in maize. *Plant Physiol.* 129:1194–1206.
- Prasetyono, S., dan Tasliah. 2003. Strategi Pendekatan Bioteknologi untuk Pemuliaan Tanaman Toleran Keracunan Aluminium. *Jurnal Pertanian.* 10(1):64-76.
- Prasetyono, J., Tasliah., Aswidinnoor, H. dan Moeljopawiro, S. 2003. Identifikasi Marka Mikrosatelit yang Terpaut dengan Sifat Toleransi terhadap Keracunan Aluminium pada Padi Persilangan DUPA x ITA131. *Jurnal Bioteknologi Pertanian.* 8(2):35–45
- Prasertthai, P., Paethaisong, W., Theerakulpisut, P. and Dongsansuk, A., 2022. High Temperature Alters Leaf Lipid Membrane Composition Associated with Photochemistry of PSII and Membrane Thermostability in Rice Seedlings. *Plants*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/plants11111454>
- Purnamila, S., AYPBC., W. 2017. Keragaman Genetik Populasi Kayu Merah (*Pterocarpus indicus* Willd) Menggunakan Penanda Random Amplified Polymorphism DNA. *Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan.* 11(1): 67-76
- Radha, B. N., Channakeshava, B. C., Bhanuprakash, K., Pandurangeowda, K. T., Ramachandrappa, B. K., and Munirajappa, R. 2014. DNA Damage During Seed Ageing. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science.* 7(1):34-39.
- Rao, N.K. 2004. Plant Genetic Resources: Advancing Conservation and Use through Biotechnology. *African Journal of Biotechnology.* 3:136-145.
- Ridwansyah, B., T. R. Basoeki., P. B Timotiwu dan Agustiansyah. 2010. Pengaruh Dosis Pupuk Nitrogen, Fosfor, dan Kalium Terhadap Produksi Benih Padi Varietas Mayang Pada Tiga Lokasi Di Lampung Utara. *Agrotropika.* 15(2):68-72.
- Reflinur, & Lestari, P. (2015). Penentuan Lokus Gen dalam Kromosom Tanaman dengan bantuan Marka DNA. *Jurnal Litbang Pertanian,* 34(4), 177–186.
- Rumaisha, A.H., et al. 2018. The Application of SSR Markers in Genetic Variability Among Durian (*Durio zibethinus* Murr.) in the Deli Serdang Regency, North Sumatra Province. *Juournal of Biology,* 11(1):49-56.

- Robinson, A.J., Love, C.G., Batley, J., Barker, G., and Edwards, D. 2004. Simple sequence repeat marker loci discovery using SSR primer. *Bioinformatics Appl Note*. 20(9):1475-1476.
- Rohlf, J.F. 1988. *NTSYS-pc- Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System*. State University of New York. New York.
- Ruchi, W., Putri, H.D., Anhar, A., and Farma, A.S. 2018. Comparison of Three Different DNA Isolation Methods To Degradate The Trichoderma Fungi Cell Wall. *Bioscience*. 2(1). 50-59.
- Rukmana, R. 2010. *Jagung Budidaya, Pascapaen, dan Penganekaragaman Pangan*. Aneka Ilmu. Semarang.
- Ryan, P. R., Delhaize, E., Jones, D.L. 2001 Function and mechanism of organic anion exudation from plant roots. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*. 52:527–560.
- Saenong, S., Azrai, M., Arif, R., dan Rahmawati. 2007. *Pengelolaan Benih Jagung*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor.
- Saha, T., Roy, C.B., and Nazeer, M.A. 2005. Microsatellite variability and its use in the characterization of cultivated clones of *Hevea brasiliensis*. *Plant Breed*. 1:86-92.
- Samac, D A and Mesfin T. 2003. Plant improvement for tolerance to aluminum in acid soils. Review of plant biotechnology and applied genetics. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 75:189–207.
- Sarah, V., Hatzig., Matthias Frisch, Frank Breuer, Nathalie Nesi, Sylvie Ducournau, Marie-Helene Wagner, Gunhild Leckband, Amine Abbadi and Rod J. Snowdon. 2015. Genetic Control and Seed Germination. *Frontiers and Plant Science*. 1(6):1-2.
- Sarwat, M., Negi, M., Lakshmikumaran, M., Tyagi, A. 2006. A standardized protocol for genomic DNA isolation from *Terminalia arjuna* for genetic diversity analysis. *Electron J Biotechnol.*, 9:86–91.
- Sasaki, M., Y. Yamamoto, H. Matsumoto. 1996. Lignin deposition induced by Al in Wheat (*Triticum aestivum*) roots. *Physiol Plant*. 96:193-198.
- Selak, G.V., Alenka, B.A., Julian, C., Slavko, P., Petar, P., Marina, R.B., Dunja, B. 2021. Seed Paternity Analysis Using SSR Markers to Assess Successful Pollen Donors in Mixed Olive Orchards. *Journal Plants*. 10 (2356).
- Shaban, M. 2013. Study on Some Aspects of Seed Viability and Vigor. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research* 1(12):1692-1697.

- Shojaei S. H., Mostafavi K, Khosroshahli M, Bihamta MR, Ramshini H. 2020. Assessment of genotype-trait interaction in maize (*Zea mays* L.) hybrids using GGT biplot analysis. *Food Sci Nutr.* 8:5340-5351. DOI: 10.1002/fsn3.1826
- Silaban, A., Darso, S., Samaullah, Y.M.H. 2021. Pengaruh Pemberian Air Kelapa Muda (*Cocos nucifera* L.) dan Jenis Varietas Terhadap Viabilitas dan Vigor Benih Kacang Panjang (*Vigna sinensis* L.). *Journal Ilmiah Wahana Pendidikan.* Vol. 7 No.2.
- Singh, S., Tripathi, D.K., Singh, S., Sharma, S., Dubey, N.K., Chauhan, D.K., Vaculík, M. 2017. Toxicity of aluminium on various levels of plant cells and organism: A review. *Environ Exp Bot.* 2137:177–193.
- Sivaguru, M., and Paliwal, K. 1993. Differential Al Tolerance in Some Tropical Rice Cultivars. Growth performance. *Journal of Plant Nutr.* 16:1705-1716.
- Sobir Poerwanto R. 2007. *Mangosteen genetic and Improvement.* Intl J Pl Breed, 1(2): 105-111.
- Sobir dan Syukur, M. 2015. *Keterpautan dan Pemetaan Gen.* In *Genetika Tanaman.* IPB Press. Bogor.
- Solmaz, I., Nebahat, S., Yildiz, A.K. 2010. The Genetic Characterization Of Turkish Watermelon (*Citrullus lanatus*) Accessions Using RAPD Markes. *Journal Genet Resour Crop Evol.* 57(9):763-771.
- Sopandie, D. 2013. *Fisiologi adaptasi tanaman terhadap cekaman abiotik pada agroekosistem tropika.* IPB Press. Bogor.
- Subagyo, H., Suharta, N., dan Siswanto, A.B. 2000. *Tanah-tanah Pertanian di Indonesia. Dalam Sumberdaya Lahan Indonesia dan Pengelolaannya.* Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Subekti, N.A. 2010. Morfologi Tanaman dan Fase Pertumbuhan Jagung, Teknik Produksi dan Pengembangan. *Jurnal 17.* Vol VI:1-2.
- Subekti, N.A., Syafruddin, R., Efendi., dan Sunarti. S. 2007. *Morfologi tanaman dan fase pertumbuhan jagung.* Balai Penelitian Tanaman Serealia. Maros.
- Sudirman, U. 2012. Pengaruh Pemberian Bahan Organik Terhadap Daya Simpan Benih Kedelai (*Glycine max* (L.) Merr.). *Jurnal Berita Biologi.* 11(3).
- Sudrajat, D. J., Bramasto, Y., Siregar, I. Z., Siregar, U. J., Mansur, I., dan Khumaida, N. 2014. Karakteristik tapak, benih dan bibit 11 populasi jabon putih (*Anthocephalus cadamba* Miq.). *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman.* 11(1):31–44.

- Suprijono, E., Rustikawati, Romeida, A., Gustian, M. 2015. Potensi Produksi Enam Hibrida Jagung pada Ultisol di Provinsi Bengkulu. *Akta Agrosia*, Vol. 18No.1
- Syafruddin. 2002. *Fisiologi efisiensi hara P pada tanaman jagung dalam kondisi cekaman aluminium*. Tesis Pasca Sarjana IPB.
- Syahputra, E., Fauzi., Razali. 2015. Karakteristik Sifat Kimia Sub Grup Tanaman Ultisol di Beberapa Wilayah Sumatera Utara. *Jurnal Agroekoteknologi*. 4(1):1796-1802.
- Syukur, M., Rifianto, A. 2013. *Jagung Manis*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Tandzi, L.N., Ngonkeu, E.L.M., Youmbi, E., Nartey, E., Yeboah, M., Gracen, V., Ngeve, J., and Mafouasson, H. 2015. Agronomic performance of maize hybrids under acid and control soil conditions. *International Journal of Agronomy Agriculture Research*. 6:275–29
- Tasma, I.M. 2015. Gen dan QTL Pengendali Toleransi Tanaman terhadap Keracunan Aluminium dan Aplikasinya untuk Pemuliaan Tanaman di Indonesia. *Jurnal Agro Biogen*. 11(3):111-124.
- Tasma, I.M., Yani, G., Purwaningdyah, R., Satyawati, D., Nugroho, K., Lestari, P., Trijatmiko, K.R. and Mastur, M., 2018. Genetic Diversity Analysis and F2 Population Development for Breeding of Long Juvenile Trait in Soybean. *Jurnal Agrobiogen*, 14(1).
<https://doi.org/10.21082/jbio.v14n1.2018.p11-22>.
- Taufik, M., Suprpto., dan Widiono, H. 2009. *Uji Daya Hasil Pendahuluan dan Lanjutan Hibrida Silang ganda (double cross) Berdaya Hasil Tinggi dan Adaptif pada Lahan Ultisol dengan Dosis Pemupukan Rendah Tanpa Pengapuran dan Tanpa Bahan Organik*. Laporan Penelitian Hibah Strategis Nasional. Lembaga Penelitian. Universitas Bengkulu.
- Taylor G, J. 1991. Current views of the aluminium stress response. The Physiological Basis of Tolerance. *Curr. Trop. Plant Biochem Physiol*. 10:57-93.
- Paul, B.T., Agustiansyah., Wawan, A. S., Hamim, S. 2021. *Studi Ketahanan Beberapa Varietas Jagung terhadap Hama Ulat Grayak Spodoptera frugiperda Menggunakan Analisis Single Nucleotide Polymorphism Gen RGA*. Laporan Hibah Penelitian. Fakultas Pertanian. Universitas Lampung.
- Vardar F, Ismailoglu, Inan D, Unal M. 2011. Determination of stress responses induced by aluminium in maize (*Zea mays*). *Acta Biologica Hungarica*. 62:156–170.

- Vega-Rojas, L.J., Contreras-Padilla, M., Rincon-Londoño, N., Real López, A. del, Lima-García, R.M., Palacios-Rojas, N. and Rodríguez-García, M.E., 2016. The Effect of Maize Grain Size on the Physicochemical Properties of Isolated Starch, Crude Maize Flour and Nixtamalized Maize Flours. *Agricultural Sciences*, 07(02). <https://doi.org/10.4236/as.2016.72011>
- Wahyudi, A.T., Meliah, S., Nawaningsih, A.A. 2011. *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* Bakteri Penyebab Hawar Daun pada Padi: Isolasi, Karakterisasi, dan Telaah Mutagenesis dengan Transposon. *Makara Sains*. 15(1):89-96.
- Wahyudi, M H., Setiamihardja R., Baihaki A., Ruswandi D. 2006. *Evaluasi daya gabung dan heterosis hibrida hasil persilangan dialel lima genotip jagung pada kondisi cekaman kekeringan*.
- Wirawan, B., Wahyuni, S. 2002. *Memproduksi Benih Bersertifikat: Padi, Jagung, Kedelai, Kacang Tanah, Kacang Hijau*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Wolny, E., Betekhtin, A., Rojek, M., Braszewska-Zalewska, A., Lusinska, J., and Hasterok, R. 2018. Germination and the Early Stages of Seedling Development in *Brachypodium distachyon*. *International Journal of Molecular Sciences*. 19(10). 2916.
- Wu, K.S., and Tanksley, S.D. 1993. Abundance, polymorphism, and genetic mapping of microsatellites in rice. *Mol Gen Genet*. 241:225-235.
- Yamamoto, Y., Kobayashi, Y., Devi, S.R., Rikiishi, S., and Matsumoto, H. 2003. Oxidative stress triggered by aluminium in plant roots. *Plant and Soil*. 255:239-243
- Yefta, P., Tommy B.O. 2018. Pewarisan Sifat Warna dan Tipe Biji Jagung Manado Kuning. *Jurnal Eugenia*, Vol. 24 No.1.
- Yin, M.Q., W.J. Song, G.Y. Guo, F. Li, M.S. Sheteiw, R.H. Pan, J. Hu, Y.J. Guan. 2018. Starchy degradation is related with radicle emergence during wheat seed germination. *Seed Sci Technol*. 46:359-364.
- Yohana, K., Adisyahputra., Trijatmiko, K.R. 2018. Validasi QTL dan Aplikasinya Untuk Perbaikan Sifat Toleran Keracunan Al pada Padi (*Oryza sativa* L.). *Jurnal Bioma*. Vol 14 N.1.
- Yuliana, GDA., Enung, SM. 2017. Eksplorasi Marka SSR Terpaut Sifat Toleransi Padi Gogo terhadap Aluminium. *Jurnal Biologi Indonesia*. 13(1): 97-10.
- Yusuf, Z.K. 2010. *Teori dan Aplikasi Polymerase Chain Reaction (PCR)*. Saintek. Yogyakarta.
- Yuwono, T. 2006. *Bioteknologi Pertanian Seri Pertanian*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Yuwono, T. 2008. *Biologi Molekuler*. Erlangga. Jakarta.

Zidani S, Ferchichi A, Chaieb M. 2005. Genomic DNA extraction method from pearl millet (*Pennisetum glaucum*) leaves. *Afr. J. Biotechnol.* 4 (8):862–86

Zachrani, V., Oktavianti, S., Hizqiyah, I.Y.N., Hikmatusolihat, W.A. and Permadi, N., 2022. Penggunaan Biji Kacang Tanah sebagai Alternatif Kancing Genetika dalam Persilangan Monohibrid. *Biosfer : Jurnal Biologi dan Pendidikan Biologi*, 7(2). <https://doi.org/10.23969/biosfer.v7i2.6458>