

**PENGARUH INTENSITAS PENGUSANGAN CEPAT PADA
VIABILITAS BENIH SORGUM VARIETAS SUPER-2
HASIL DARI PERTANAMAN YANG DIAPLIKASI
ZnSO₄ DENGAN CARA BERBEDA**

(Skripsi)

Oleh

Mira Anggraini



**UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

PENGARUH INTENSITAS PENGUSANGAN CEPAT PADA VIABILITAS BENIH SORGUM VARIETAS SUPER-2 HASIL DARI PERTANAMAN YANG DIAPLIKASI ZnSO₄ DENGAN CARA BERBEDA

Oleh

Mira Anggraini

Kemunduran benih terkait dengan kerusakan membran sel akibat peroksidasi lipid, kebocoran elektrolit, dan penurunan aktivitas enzim. Pemberian pupuk ZnSO₄ pada tanaman melalui biofortifikasi agronomi (priming benih dan penyemprotan daun) diduga dapat meningkatkan kadar Zn benih. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh intensitas pengusangan cepat (P) dengan larutan etanol pada tiga lot benih sorgum varietas Super-2 yang ditanam dari pertanaman sorgum yang diaplikasi dengan nutrisi ZnSO₄ dengan cara aplikasi berbeda. Percobaan penelitian ini menggunakan dua faktor, 4x3 yang disusun dalam *split plot* dan diulang 4 kali pada 4 blok. Faktor pertama sebagai petak utama adalah intensitas pengusangan cepat (P) yang terdiri dari 4 taraf konsentrasi yaitu ipc 0% (p1), ipc 8% (p2), ipc 16% (p3), dan ipc 24% (p4). Faktor kedua sebagai anak petak adalah cara aplikasi pemupukan ZnSO₄ (Z) yang terdiri dari tiga taraf yaitu tanpa zn/kontrol (z1), priming 0,5% selama 12 jam (z2), priming 0,5% selama 12 jam + spray 2 kg/ha fase vegetatif (z3). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh interaksi antara intensitas pengusangan cepat dan cara aplikasi pemupukan ZnSO₄ meningkatkan viabilitas benih pada variabel pengamatan panjang tajuk kecambah normal dan panjang akar primer kecambah normal. Benih sorgum yang dipanen dari pertanaman sorgum yang diaplikasi dengan ZnSO₄ merespon intensitas pengusangan cepat dengan peningkatan panjang tajuk kecambah normal dan penurunan panjang akar primer makin kecil dibandingkan dengan tanpa aplikasi ZnSO₄.

Kata kunci: etanol, pengusangan cepat, sorgum, viabilitas benih, ZnSO₄.

ABSTRACT

THE EFFECT OF ACCELERATED AGING INTENSITY ON VIABILITY OF SORGHUM SEEDS VARIETY SUPER-2 FROM PLANTING APPLIED WITH ZnSO₄ IN DIFFERENT METHODS

By

Mira Anggraini

Seed deterioration is related to damage to the cell membrane due to lipid peroxidation, electrolyte leakage, and decreased enzyme activity. The application of ZnSO₄ fertilizer to plants through agronomic biofortification (seed priming and foliar spraying) is suspected to increase seed Zn levels. This research aims to determine the effect of accelerated aging intensity (P) using an ethanol solution on three seed lots of the Super-2 sorghum variety, which were grown from sorghum crops applied with ZnSO₄ nutrition using different application methods. This research experiment used two factors, 4x3, arranged in a split-plot design and repeated 4 times across 4 blocks. The first factor as the main plot was the accelerated aging intensity (P), which consisted of 4 concentration levels: 0% aai (p1), 8% aai (p2), 16% aai (p3), and 24% aai (p4). The second factor as the sub-plot was the ZnSO₄ fertilization application method (Z), which consisted of three levels: without Zn/control (z1), 0.5% priming for 12 hours (z2), and 0.5% priming for 12 hours + spray 2 kg/ha at the vegetative stage (z3). The results showed that the interaction effect between accelerated aging intensity and the ZnSO₄ fertilization application method increased seed viability in the observed variables of normal sprout shoot length and normal sprout primary root length. Sorghum seeds harvested from crops applied with ZnSO₄ responded to accelerated aging intensity by increasing reducing the normal and decreasing the normal sprout primary root length compared to those without ZnSO₄ application.

Keywords: *ethanol, accelerated aging, sorghum, seed viability, ZnSO₄.*

**PENGARUH INTENSITAS PENGUSANGAN CEPAT PADA
VIABILITAS BENIH SORGUM VARIETAS SUPER-2
HASIL DARI PERTANAMAN YANG DIAPLIKASI
ZnSO₄ DENGAN CARA BERBEDA**

Oleh

Mira Anggraini

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
2025**

Judul : **PENGARUH INTENSITAS
PENGUSANGAN CEPAT PADA
VIABILITAS BENIH SORGUM
VARIETAS SUPER-2 HASIL
DARI PERTANAMAN YANG
DIAPLIKASI $ZnSO_4$ DENGAN
CARA BERBEDA**

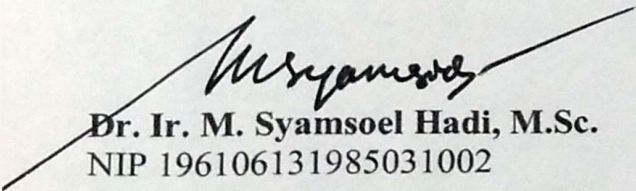
Nama Mahasiswa : Mira Anggraini
Nomor Pokok Mahasiswa : 2114161066
Jurusan : Agronomi dan Hortikultura
Fakultas : Pertanian

MENYETUJUI

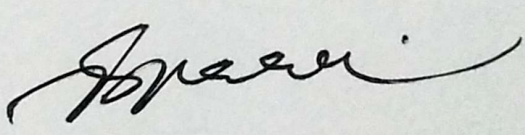
1. Komisi Pembimbing

Pembimbing Pertama

Pembimbing Kedua

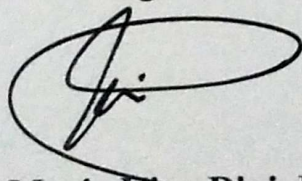


Dr. Ir. M. Syamsoel Hadi, M.Sc.
NIP 196106131985031002



Dr. Ir. Eko Pramono, M.S.
NIP 196108141986091001

2. Ketua Jurusan Agronomi dan Hortikultura

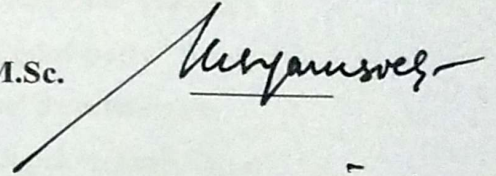


Prof. Ir. Maria Viva Rini, M.Agr.Sc., Ph.D.
NIP 196603041990122001

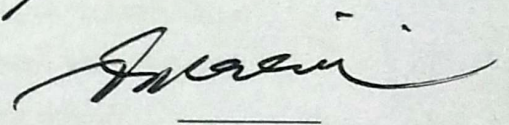
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Ir. M. Syamsoel Hadi, M.Sc.

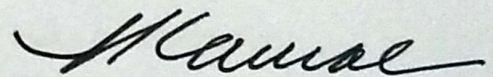


Sekretaris : Dr. Ir. Eko Pramono, M.S.



Penguji

Bukan Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Muhammad Kamal, M.Sc.



2. Dekan Fakultas Pertanian



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

NIP 196411181989021002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **26 Juni 2025**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **“Pengaruh Intensitas Pengusangan Cepat pada Viabilitas Benih Sorgum Varietas Super-2 Hasil dari Pertanaman yang Diaplikasi $ZnSO_4$ dengan Cara Berbeda”** merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan hasil karya orang lain. Semua hasil yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan hasil salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 07 Oktober 2025

Penulis,



Mira Anggraini
2114161066

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Mira Anggraini yang lahir pada tanggal 26 Maret 2002 di Desa Pasar Gadung, Kecamatan Cikupa, Kabupaten Tangerang, Provinsi Jawa Barat. Penulis merupakan anak dari pasangan Bapak Doni Saputra dan Ibu Munasaroh sebagai anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dini di TK Melati Marang (2008), sekolah dasar di SDN 01 Marang (2014), sekolah menengah pertama di SMPN 04 Pesisir Selatan (2017), dan sekolah menengah kejuruan di SMKN 02 Oku Selatan (2020).

Pada tahun 2021 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam kegiatan akademik dan organisasi. Kegiatan akademik yang pernah dilakukan penulis yaitu menjadi asisten praktikum mata kuliah Dasar-Dasar Perlindungan Tanaman semester ganjil tahun 2023/2024, dan Produksi Tanaman Pangan semester genap tahun 2024/2025. Penulis juga aktif dalam organisasi FOSI FP sebagai sekretaris Biro Immperti periode kepengurusan 2023, sebagai pengurus HIMAGRHO di bidang mentor Akademik dan Profesi periode kepengurusan 2024, sebagai kepala divisi Ikamm Pesbar di bidang Pengembangan Sumber Daya Manusia periode kepengurusan 2024, dan sebagai sekretaris mentri Bem Unila di bidang Lingkungan Hidup periode kepengurusan 2025.

Penulis memiliki kegiatan di luar kampus seperti melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Jaya Makmur, Kecamatan Banjar Baru, Kabupaten Tulang Bawang, Provinsi Lampung. Selain itu, penulis juga pernah melaksanakan kegiatan Praktik Umum (PU) di PT Great Giant Foods, Kabupaten Lampung Tengah, Provinsi Lampung selama 1 bulan pada tahun 2024.

MOTTO

“Dan bahwa manusia hanya memperoleh apa yang telah diusahakannya.”
(QS. An-Najm: 39)”

“Janganlah kamu merasa lemah dan jangan pula bersedih hati, sebab kamu paling tinggi derajatnya jika kamu orang yang beriman.”
(QS. Ali-Imran: 139)

“Jangan pernah lelah untuk mencoba, karena Allah melihat usaha, bukan hasil akhirnya.”
(Mira Anggraini)

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur atas karunia Allah SWT, kupersembahkan karya kecilku ini sebagai ungkapan rasa cinta kasih dan baktiku untuk kedua orang tua tercinta, yaitu Bapak Doni Saputra dan Ibu Munasaroh serta adik Rahma Ramdhani yang selalu memberikan doa, cinta, dan dukungannya.

Serta almamaterku tercinta
Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian
Universitas Lampung.

SANWACANA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis dalam menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “Pengaruh Intensitas Pengusangan Cepat pada Viabilitas Benih Sorgum Varietas Super-2 Hasil dari Pertanaman yang Diaplikasi $ZnSO_4$ dengan Cara Berbeda”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi syarat sebagai Sarjana (S1) Jurusan Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Selama penelitian dan penulisan, penulis mendapat bimbingan, dukungan, bantuan dan saran dari berbagai pihak secara langsung maupun tidak langsung. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih yang tak terhingga kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Ir. Muhammad Syamsoel Hadi, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Pertama yang telah banyak memberikan waktu, bimbingan, saran, motivasi serta nasihat dalam penulisan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Ir. Eko Pramono, M.S., selaku Dosen Pembimbing Kedua sekaligus Pembimbing Akademik yang telah banyak memberikan waktu, bimbingan, kritik, saran, motivasi serta nasihat dalam penulisan skripsi ini.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Kamal, M.Sc., selaku Dosen Penguji yang telah banyak memberikan arahan, motivasi, kritik, dan saran dalam penulisan skripsi ini.
5. Ibu Prof. Ir. Maria Viva Rini, M.Agr.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Agronomi dan Hortikultura Universitas Lampung.
6. Kedua orang tua tercinta yaitu Bapak Doni Saputra dan Ibu Munasaroh, serta adik penulis yakni Rahma Rahmdhani yang selalu

memberikan kasih sayang dan semangat baik dari segi moral dan materil.

7. Raihana Nabila, Qorlita Addina, Anggun Pramestiyas Berlian, dan Lista Kurnia Dewi yang telah banyak membantu penulis dalam melaksanakan penelitian serta memberikan motivasi kepada penulis.
8. Egi Natalia Pakpahan, M. Rafli Zhidni Alamsyah, dan Alvina Anju Khairunnisa yang selalu memberikan motivasi, semangat, dan menjadi pengingat penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Tita Vusvita, Suci Rahmayuni, Fathiyah Mujahidah Arromah, Irfan Nurudin serta teman-teman IKAMM Pesbar yang menjadi tempat penulis berkeluh kesah dan saling bekerja sama dalam menyelesaikan tanggung jawab di organisasi.
10. Robiatin Adawiyah, Juniar, Artika Adelia, Hendra Winata, Wahyu Hidayah, dan Sef Panggi, yang telah menjadi teman sekaligus kakak, selalu memberikan semangat dan dukungan kepada penulis.
11. Almamater tercinta dan seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah membantu penulis dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan skripsi ini.

Terima kasih penulis ucapkan kepada semua pihak baik yang tertulis maupun tidak tertulis, semoga Allah SWT membalas budi baik atas segala yang telah diberikan kepada penulis. Penulis menyadari bahwa dalam skripsi ini masih terdapat kekurangan dan kesalahan, akan tetapi penulis berharap skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi semua pihak dan almamater tercinta dimasa yang akan datang.

Bandar Lampung, Oktober 2025
Penulis,

Mira Anggraini
2114161066

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Kerangka Pemikiran	5
1.5 Hipotesis	8
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Taksonomi dan Morfologi Sorgum	9
2.2 Metode Pengusangan Cepat	13
2.3 Viabilitas Benih.....	16
2.4 Kemunduran Benih	17
2.5 Aplikasi Pupuk ZnSO_4	18
2.6 Perkecambahan Benih	19
III. METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	21
3.2 Alat dan Bahan	21
3.3 Rancangan Percobaan dan Analisis Data.....	22
3.4 Pelaksanaan Penelitian.....	25
3.4.1 Persiapan Benih	25
3.4.2 Pembuatan Larutan Etanol	26
3.4.3 Penyiapan Media Perkecambahan	26
3.4.4 Aplikasi Intensitas Pengusangan Cepat.....	27

3.4.5 Uji Viabilitas.....	28
3.4.6 Pengukuran Nilai Daya Hantar Listrik	29
3.5 Variabel Pengamatan	29
3.5.1 Persentase Kecambah Normal (%/hari)	29
3.5.2 Kecepatan Perkecambahan (%)	30
3.5.7 Panjang Akar Primer Kecambah Normal (cm)	31
3.5.8 Panjang Tajuk Kecambah Normal (cm)	31
3.5.10 Daya Hantar Listrik $\mu\text{S}/\text{cm g}$	32
4.1 Hasil Penelitian	33
4.1.2 Pengaruh interaksi intensitas pengusangan cepat dan cara aplikasi ZnSO_4 pada variabel kecambah normal benih sorgum varietas Super-2	35
4.1.3 Pengaruh interaksi intensitas pengusangan cepat dan cara aplikasi ZnSO_4 pada variabel panjang tajuk kecambah normal benih sorgum varietas Super-2	36
4.1.4 Pengaruh interaksi intensitas pengusangan cepat dan cara aplikasi pemupukan ZnSO_4 pada variabel panjang akar primer kecambah normal benih sorgum varietas Super-2	38
4.1.5 Pengaruh interaksi intensitas pengusangan cepat dan cara aplikasi ZnSO_4 pada variabel daya hantar listrik benih sorgum varietas Super-2	40
4.1.5 Pengaruh Cara Aplikasi Pemupukan ZnSO_4 Pada Benih Sorgum Varietas Super-2.....	41
4.2 Pembahasan	42
4.2.1 Pengaruh Intensitas Pengusangan Cepat dan Cara Aplikasi Pemupukan ZnSO_4 dengan Cara Aplikasi Berbeda	42
4.2.2 Pengaruh Intensitas Pengusangan Cepat Pada Benih Sorgum Varietas Super-2.....	43
4.2.3 Pengaruh Cara Aplikasi Pemupukan ZnSO_4 Pada Benih Sorgum Varietas Super-2	43

V. KESIMPULAN DAN SARAN	45
5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran	46
 DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN	53

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Ciri fisik dan komponen kimia benih sorgum varietas Super-1 dan Super-2	12
2. Nilai Probabilitas (P) Analisis Data dengan Uji Bartlett untuk Homogenitas Ragam, Uji Tukey untuk Nonaditivitas, dan Analisis Ragam untuk Pengaruh Intensitas Pengusangan Cepat (P) dan Cara Aplikasi ZnSO ₄ (Z) pada Viabilitas Benih Sorgum varietas Super-2	33
3. Pengaruh intensitas pengusangan cepat (IPC) dari konsentrasi etanol pada setiap variabel pengamatan.....	35
4. Pengaruh interaksi antara intensitas pengusangan cepat dan cara aplikasi pemupukan ZnSO ₄ pada variabel panjang tajuk kecambah normal (cm) benih sorgum varietas Super-2	37
5. Pengaruh interaksi antara intensitas pengusangan cepat dan cara aplikasi ZnSO ₄ pada variabel panjang akar primer kecambah normal (cm) benih sorgum varietas Super-2	39
6. Pengaruh cara aplikasi pemupukan ZnSO ₄ pada setiap variabel pengamatan	41
7. Hasil uji Bartlett pemberian etanol pada variabel kecepatan perkecambahan.....	54
8. Hasil uji aditivitas (uji Tukey) pemberian etanol pada variabel kecepatan perkecambahan	54
9. Hasil analisis ragam pengaruh intensitas pengusangan cepat pada viabilitas benih sorgum varietas Super-2 yang dipupuk ZnSO ₄ dengan cara aplikasi berbeda pada variabel kecepatan perkecambahan	54

10. Hasil uji regresi kuadratik respon pengaruh intensitas pengusangan cepat benih sorgum varietas Super-2 yang dipupuk ZnSO_4 pada variabel kecepatan perkecambahan	55
11. Hasil uji Bartlett pemberian etanol pada variabel kecambah normal .	55
12. Hasil uji aditivitas (uji Tukey) pemberian etanol pada variabel kecambah normal	55
13. Hasil analisis ragam pengaruh intensitas pengusangan cepat pada viabilitas benih sorgum varietas Super-2 yang dipupuk ZnSO_4 dengan cara aplikasi berbeda pada variabel kecambah normal	56
14. Hasil uji regresi linear dari pengaruh intensitas pengusangan cepat pada variabel kecambah normal	56
15. Hasil uji Bartlett pemberian etanol pada variabel panjang tajuk kecambah normal	56
16. Hasil uji aditivitas (uji Tukey) pemberian etanol pada variabel panjang tajuk kecambah normal.....	56
17. Hasil analisis ragam pengaruh intensitas pengusangan cepat pada viabilitas benih sorgum varietas Super-2 yang dipupuk ZnSO_4 dengan cara aplikasi berbeda pada variabel panjang tajuk kecambah normal.	57
18. Hasil uji regresi kuadratik dari pengaruh intensitas pengusangan cepat pada variabel panjang tajuk kecambah normal tanpa Zn/kontrol	57
19. Hasil uji regresi kuadratik dari pengaruh intensitas pengusangan cepat pada variabel panjang tajuk kecambah normal dengan cara priming	57
20. Hasil uji regresi linear dari pengaruh intensitas pengusangan cepat pada variabel panjang tajuk kecambah normal dengan cara priming + spray	58
21. Hasil uji Bartlett pemberian etanol pada variabel panjang akar primer kecambah normal	58
22. Hasil uji aditivitas (uji Tukey) pemberian etanol pada variabel panjang akar primer kecambah normal.....	58
23. Hasil analisis ragam pengaruh intensitas pengusangan cepat pada viabilitas benih sorgum varietas Super-2 yang dipupuk ZnSO_4 dengan	

cara aplikasi berbeda pada variabel panjang akar primer kecambah normal.....	59
24. Hasil uji regresi kuadratik dari pengaruh intensitas pengusangan cepat pada variabel panjang akar primer kecambah normal tanpa Zn/kontrol.....	59
25. Hasil uji regresi kuadratik dari pengaruh intensitas pengusangan cepat pada variabel panjang akar primer kecambah normal dengan cara priming	59
26. Hasil uji regresi linear dari pengaruh intensitas pengusangan cepat pada variabel panjang akar primer kecambah normal dengan cara priming + spray	60
27. Hasil uji Bartlett pemberian etanol pada variabel daya hantar listrik .	60
28. Hasil uji aditivitas (uji Tukey) pemberian etanol pada variabel daya hantar listrik	60
29. Hasil analisis ragam pengaruh intensitas pengusangan cepat pada viabilitas benih sorgum varietas Super-2 yang dipupuk ZnSO_4 dengan cara aplikasi berbeda pada variabel daya hantar listrik.....	61
30. Hasil uji regresi kuadratik dari pengaruh intensitas pengusangan cepat pada variabel daya hantar listrik	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur benih sorgum (Earp, 2004).....	10
2. Morfologi benih sorgum (Dicko, 2006).	11
3. Konsep periodisasi viabilitas benih Steinbauer-Sadjad, Vp: Viabilitas potensial;Vg: Vigor; dan D: Delta atau selisih antara nilai Vp dan Vg (Sadjad, 1993).	16
4. Tata letak percobaan Split Plot (Intensitas Pengusangan Cepat dan Cara Aplikasi Pemupukan ZnSO ₄).....	24
5. Ruang Penyimpanan Benih.....	25
6. Pengusangan dengan melembabkan benih sorgum pada kertas buram lembab dalam larutan etanol selama 12 jam.	27
7. Uji kertas digulung didirikan dalam plastik (UKDdp).	29
8. Pengukuran panjang akar primer kecambah normal.....	31
9. Pengukuran panjang tajuk kecambah normal.	32
10. Pengaruh intensitas pengusangan cepat pada variabel kecambah normal benih sorgum varietas Super-2.	36
11. Pengaruh intensitas pengusangan cepat pada variabel panjang tajuk kecambah normal benih sorgum varietas Super-2.	38
12. Pengaruh intensitas pengusangan cepat pada variabel panjang akar primer kecambah normal benih sorgum varietas Super-2.	39
13. Pengaruh intensitas pengusangan cepat pada variabel daya hantar listrik benih sorgum varietas Super-2.	40

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sorgum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) sebagai salah satu tanaman serealia penting yang banyak dibudidayakan di daerah tropis dan subtropis. Menurut Direktorat Serealia (2013), tanaman ini dikenal karena ketahanannya terhadap kondisi lingkungan yang cukup ekstrim seperti kekeringan, suhu tinggi, dan tanah marginal sehingga menjadi pilihan utama di wilayah dengan keterbatasan sumber air. Sorgum memiliki peran strategis dalam ketahanan pangan dan energi karena bijinya dapat digunakan sebagai sumber pangan, pakan ternak, serta bahan baku bioetanol.

Menurut Widowati (2012) sorgum memiliki kandungan nutrisi yang lebih tinggi dibandingkan dengan beras. Hal tersebut menyebabkan sorgum mampu menopang kebutuhan nutrisi yang dibutuhkan. Salah satu varietas unggul sorgum adalah varietas Super-2, varietas ini memiliki produktivitas 6,3 ton/ha, kandungan karbohidratnya 75,6%, proteinnya 9,2%, dan lemaknya 3,1%. Namun, hal tersebut tidak sejalan dengan daya produktivitas sorgum di Indonesia yang masih rendah, sehingga perlu upaya untuk meningkatkan produksi sorgum. Selain sebagai bahan pangan alternatif sorgum juga diharapkan mengandung nutrisi penting bagi manusia. Upaya mendapatkan sorgum yang memiliki kandungan nutrisi yang optimal, maka dalam pertumbuhannya sorgum memerlukan unsur hara makro dan mikro (Fitriyah *et al.* 2020).

Menurut Soebagio dan Aqil (2014) sorgum dapat dibedakan menjadi dua yaitu sorgum manis dan sorgum biji. Sorgum manis mampu menghasilkan nira (gula) dalam jumlah yang lebih tinggi pada bagian batangnya bila dibandingkan dengan sorgum biji. Sorgum manis memiliki potensi yang baik untuk dijadikan sebagai penghasil bioetanol, sementara sorgum biji digunakan sebagai sumber karbohidrat pengganti beras dan gandum.

Varietas Super-2 merupakan varietas yang dikembangkan dari galur 15021 A hasil introduksi dari ICRISAT (*International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics*) yang berpotensi menghasilkan biji mencapai 6,3 ton/ha dan potensi kandungan nira lebih dari 12,7% skala brix.

Varietas Super-2 ini mampu menghasilkan bioetanol berkisar 8.000-9.000 l/ha. Varietas ini memiliki keunggulan tambahan pada biomassa yang dihasilkannya yaitu mencapai ≥ 30 ton/ha, dan tahan terhadap sejumlah hama penyakit utama seperti aphids, antraknos, karat daun, dan hawar daun.

Masalah dalam penyediaan benih bermutu yaitu viabilitas benih dan vigor kecambah setelah masa penyimpanan. Penyimpanan benih bertujuan agar benih dapat ditanam pada musim yang sama di tahun berikutnya atau pada musim selanjutnya dalam tahun yang sama. Salah satu parameter penting dalam menentukan mutu benih adalah kemampuan benih untuk tumbuh dan berkembang menjadi tanaman yang normal dalam kondisi lingkungan yang sesuai (viabilitas benih). Semakin lama benih disimpan, maka viabilitas benih akan semakin menurun. Viabilitas benih selama penyimpanan dipengaruhi oleh faktor dalam yaitu kadar air benih, viabilitas awal benih, jenis benih, dan sifat benih sedangkan faktor luar yaitu suhu ruang simpan dan kelembaban nisbi (Octariani, 2023).

Menurut Ghazian dan Candra (2016), Zn sebagai salah satu unsur mikro yang dibutuhkan tanaman berperan dalam proses metabolisme karbohidrat pada saat fotosintesis dan pengubahan gula menjadi pati dalam metabolisme protein, auksin, serta membantu perawatan integritas membran pada tanaman. Selain itu Zn juga dapat mempengaruhi beberapa proses fisiologis termasuk aktivitas enzim, sintesis protein ekspresi dan regulasi gen, spesies oksigen reaktif, dan perkembangan reproduksi (pembentukan serbuk sari). Seng (Zn) bukan hanya sebagai unsur hara mikro esensial bagi tanaman, akan tetapi Zn juga dibutuhkan bagi kesehatan manusia dan bersifat mutlak serta tidak tergantikan. Zn berperan dalam proses metabolisme tubuh manusia. Kebutuhan Zn untuk anak-anak sekitar 5-10 mg per hari, untuk orang dewasa 8-11 mg per hari, untuk ibu hamil dan menyusui 12-13 mg per hari. Defisiensi Zn pada tubuh manusia dapat menyebabkan gangguan pencernaan, gangguan pernapasan, dan gangguan sistem kekebalan tubuh (Valensia dan Purwanto, 2020).

Menurut Anwar *et al.* (2020) aplikasi pupuk ZnSO_4 dilakukan melalui *spray* (lewat daun) berperan penting dalam penetrasi zat terlarut secara langsung dari permukaan daun melalui stomata yang terbuka ke jaringan daun. Selain aplikasi dengan penyemprotan lewat daun, aplikasi priming juga termasuk dalam salah satu biofortifikasi agronomi. Secara agronomis biofortifikasi meliputi penyemprotan, pemupukan tanaman, dan *priming* pada benih. Priming benih merupakan perlakuan sebelum dilakukannya perkecambahan yang dapat meningkatkan kinerja perkecambahan pada lingkungan yang tidak sesuai. Priming membantu benih dengan cara menghidrasi kembali benih sehingga memacu sistem metabolisme untuk kembali bekerja secara optimal.

Menurut Ortiz-Monasterio *et al.* (2007) teknik biofortifikasi dapat meningkatkan kadar konsentrasi nutrisi mikro pada tanaman serta memperbaiki pertumbuhan dan perkembangan pada tanaman. Menurut Mohsin *et al.* (2014) menunjukan bahwa aplikasi Zn pada tanaman melalui

teknik priming benih ataupun penyemprotan dapat meningkatkan pertumbuhan dan produksi sorgum. Peningkatan pertumbuhan tanaman sorgum setelah aplikasi Zn menunjukkan bahwa aplikasi ZnSO_4 melalui priming benih ataupun penyemprotan melalui daun dapat meningkatkan tinggi tanaman, luas daun, dan jumlah daun. Selain dapat meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman, aplikasi Zn pada sorgum juga dapat meningkatkan kandungan Zn pada biji sorgum.

Berdasarkan latar belakang di atas biofortifikasi Zn secara agronomi pada sorgum dapat meningkatkan pertumbuhan dan produksi serta meningkatkan kandungan Zn pada benih sorgum. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh intensitas pengusangan cepat pada viabilitas benih sorgum varietas Super-2 yang dipupuk ZnSO_4 dengan cara aplikasi yang berbeda.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Apakah terdapat pengaruh intensitas pengusangan cepat pada viabilitas benih sorgum varietas Super-2.
2. Apakah terdapat pengaruh cara aplikasi pemupukan ZnSO_4 pada viabilitas benih sorgum varietas Super-2.
3. Bagaimana pengaruh interaksi antara intensitas pengusangan cepat dengan cara aplikasi pemupukan ZnSO_4 pada viabilitas benih sorgum varietas Super-2.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh intensitas pengusangan cepat pada viabilitas benih sorgum varietas Super-2.
2. Mengetahui pengaruh cara aplikasi pemupukan ZnSO_4 pada viabilitas benih sorgum varietas Super-2
3. Mengetahui pengaruh interaksi antara intensitas pengusangan cepat dengan cara aplikasi pemupukan ZnSO_4 pada viabilitas benih sorgum varietas Super-2.

1.4 Kerangka Pemikiran

Pengusangan cepat menggunakan perlakuan fisik yaitu suhu dan kelembaban tinggi ($\pm 41^\circ\text{C}$ dan $\text{RH} \geq 95\%$). Metode pengusangan cepat menggunakan senyawa kimiawi yaitu etanol. Selain periode penderaannya yang lebih cepat (dalam satuan menit), metode ini juga dapat mensterilkan benih dan bersifat kuantitatif. Pengusangan cepat mengakibatkan rusaknya dinding sel benih sorgum yang menghasilkan banyak elektrolit yang keluar sehingga daya hantar listrik (DHL) meningkat dan terjadinya aberasi kromosom oleh reduksi bebas. Selama pengusangan cepat terjadi penurunan fosfolipid pada benih sorgum yang berdampak pada rusaknya integritas membran sehingga semakin lama perlakuan penderaan semakin tinggi nilai DHL. Proses pengusangan cepat berkorelasi dengan penurunan aktivitas peroksidase. Semakin lama pengusangann akan mengakibatkan aktivitas enzim semakin menurun.

Penggunaan benih berkualitas rendah mengurangi daya adaptasi tanaman di lapang dan menyebabkan produksi tanaman menurun. Selain itu, penggunaan benih berkualitas rendah menyebabkan penurunan viabilitas benih karena kemunduran benih yang mengakibatkan penurunan produksi tanaman. Kemunduran benih merupakan mundurnya mutu fisiologis benih yang dapat menimbulkan perubahan menyeluruh di dalam benih baik secara fisik, fisiologis maupun kimiawi sehingga dapat mengakibatkan menurunnya viabilitas benih. Kemunduran benih berkaitan dengan adanya kegiatan enzim dalam metabolisme benih. Hal ini menyebabkan permeabilitas membran meningkat, peningkatan permeabilitas membran karena membran sel tidak utuh.

Meningkatnya permeabilitas membran akan mengakibatkan peningkatan aktivitas perombakan cadangan makanan di dalam benih. Dalam proses tersebut karbohidrat, lemak, dan protein dirombak kedalam bentuk yang lebih sederhana serta menghasilkan uap air, CO₂, dan energi sebagai proses akhir dari respirasi. Pada saat proses perkecambahan benih yang memiliki cadangan makanan yang telah habis akan kehilangan energi yang seharusnya digunakan dalam proses tersebut. Menurunnya viabilitas benih disebabkan oleh adanya perlakuan pengusangan cepat akibat terjadinya peroksidasi lipid pada membran sel benih.

Peroksidasi lipid merupakan proses degradasi oksidatif terhadap lipid yang dapat memengaruhi viabilitas dan kualitas benih sorgum. Proses ini diawali dengan pembentukan radikal bebas yang menginisiasi reaksi berantai oksidasi pada asam lemak tak jenuh dalam membran sel. Akibat dari proses tersebut terjadi kerusakan struktural dan fungsional membran sel yang berdampak pada penurunan daya kecambah dan vigor benih. Faktor-faktor seperti kadar air benih, suhu penyimpanan, dan paparan oksigen dapat mempercepat laju peroksidasi lipid. Aktivitas enzim antioksidan seperti *Superoksida Dismutase* (SOD) dan *katalase* (CAT) berperan penting dalam menekan akumulasi *Reactive Oxygen Species*

(ROS) yang memicu peroksidasi lipid. *Reactive Oxygen Species* (ROS) memiliki sifat radikal dan sangat reaktif terhadap senyawa asam lemak tak jenuh dan lipoprotein membran sel. Benih yang telah mengalami kerusakan pada membran sel akan memiliki viabilitas dan vigor benih yang rendah serta kebocoran terhadap ion-ion benih dalam kapasitas yang besar.

Peningkatan kualitas tanaman dengan meningkatkan kandungan nutrisi pada bagian yang dapat ditanam atau yang dikenal dengan istilah biofortifikasi. Biofortifikasi dapat dilakukan melalui pendekatan agronomi (biofortifikasi agronomi) atau pemuliaan (biofortifikasi genetik). Tujuan biofortifikasi adalah untuk meningkatkan kandungan mikronutrien dari bagian tanaman yang dapat dimakan terutama pada tanaman pangan sehingga mengakibatkan asupan nutrisi mikro lebih tinggi. Biofortifikasi merupakan sarana untuk memberikan nutrisi mikro langsung (pada tanaman).

Sorgum merupakan sumber bahan pangan alternatif yang dapat dikembangkan di Indonesia. Dalam pengembangannya tanaman sorgum masih memiliki banyak kendala salah satunya adalah benih sorgum mengalami kemunduran dalam masa penyimpanan yang tidak dapat dihindari. Benih yang mengalami kemunduran menyebabkan viabilitas menurun dalam waktu yang cukup cepat sehingga benih akan mengalami kemunduran secara perlahan dan menyebabkan pertumbuhan benih sorgum menjadi tidak optimal. Salah satu upaya dalam mengatasi permasalahan tersebut ialah dengan menggunakan kandungan unsur Zn (*zinc*). Kandungan unsur *zinc* berfungsi untuk mempertahankan kualitas benih sorgum agar dapat tahan lebih lama. Dalam proses produksi, ketika benih mengalami kekurangan unsur *zinc* maka selain menghambat kerusakan membran sel pada benih dapat juga menghambat pertumbuhan dari tanaman dengan ditandai pengecilan ukuran daun, ujung akar nekrosis sehingga menekan pertumbuhan dan menyebabkan penurunan hasil.

1.5 Hipotesis

Berdasarkan uraian dari kerangka pemikiran, maka disusun hipotesis sebagai berikut:

1. Terdapat pengaruh intensitas pengusangan cepat pada viabilitas benih sorgum varietas Super-2.
2. Terdapat pengaruh cara aplikasi pemupukan ZnSO_4 pada viabilitas benih sorgum varietas Super-2
3. Terdapat pengaruh interaksi antara intensitas pengusangan cepat dengan cara aplikasi pemupukan ZnSO_4 pada viabilitas benih sorgum varietas Super-2.

II. TINJAUAN PUSTAKA

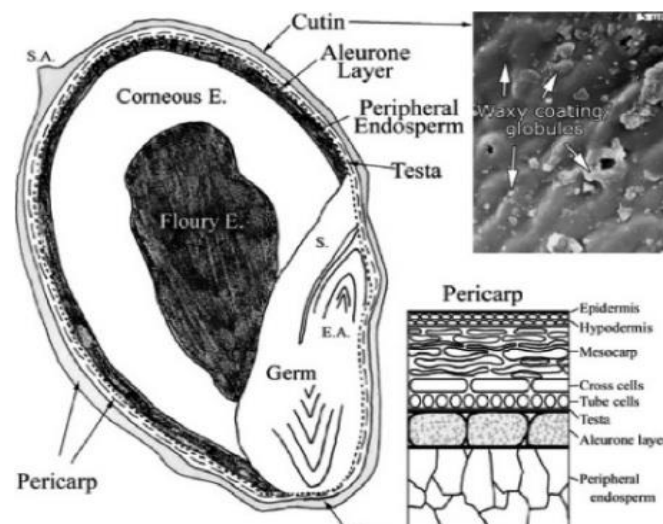
2.1 Taksonomi dan Morfologi Sorgum

Sorgum merupakan tanaman serealia yang dapat tumbuh pada berbagai keadaan lingkungan sehingga baik untuk dikembangkan khususnya pada lahan marginal dan tanah yang kering. Tanaman sorgum memiliki daya adaptasi yang luas, toleran terhadap kekeringan, produktivitas tinggi, dan lebih tahan terhadap hama dan penyakit dibandingkan dengan tanaman pangan lainnya (Yulita dan Risda, 2006). Hal tersebut menjadikan budidaya tanaman sorgum sangat menguntungkan secara ekonomi.

Tanaman sorgum memiliki famili yang sama seperti padi, jagung, gandum, dan tebu (Dicko *et al.* 2006).

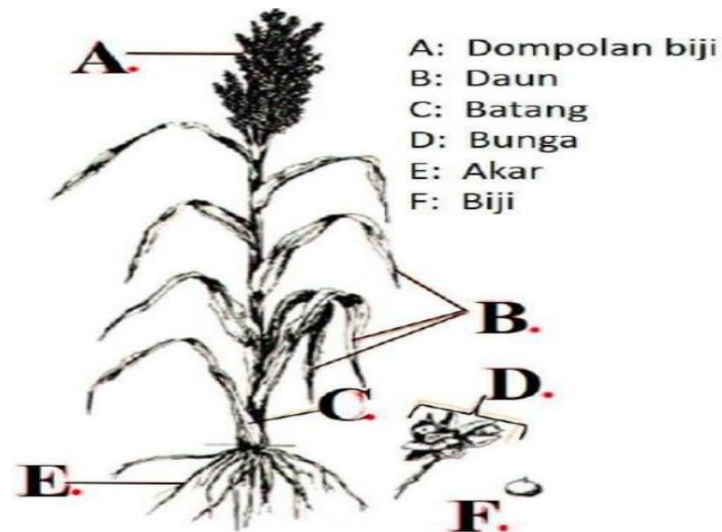
Morfologi tanaman sorgum meliputi akar, batang, daun, tunas, bunga, dan biji. Tanaman sorgum memiliki sistem perakaran serabut yang terdiri dari tiga jenis akar yaitu akar primer, akar sekunder, dan akar nafas (*brace roots*). Tipe batang tanaman sorgum bervariasi dari solid dan kering hingga sekulen dan manis. Bentuk batang tanaman sorgum silinder dengan diameter pada bagian pangkal berkisar antara 0,5-5,0 cm. Tinggi batang tanaman sorgum bervariasi tergantung pada varietasnya yaitu berkisar antara 0,5-4,0 m. Sorgum memiliki daun berbentuk pita yang terstruktur mulai dari helau daun dan pangkal daun. Pada pertemuan antara pelepah dan helaian daun terdapat ligula (*ligule*) dan kerah daun (*dewlaps*). Daun tanaman sorgum yang berada di bagian atas tanaman berukuran lebih

pendek dan lebih kecil yang dikenal dengan sebutan daun bendera (*flag leaf*) (Elangovan *et al.* 2014). Biji sorgum memiliki bentuk, ukuran, dan warna bervariasi yang dipengaruhi oleh jenis dan varietasnya. Biji sorgum berbentuk bulat dan salah satu sisinya berbentuk pipih dengan diameter 4-8 mm. Umumnya biji sorgum tersusun atas embrio, endosperm, dan testa yang dilindungi oleh lapisan yang disebut *pericarp*.



Gambar 1. Struktur benih sorgum (Earp, 2004).

Tanaman sorgum merupakan tanaman biji berkeping satu (*Monocotyledone*) dan dari famili rerumputan (*Poaceae*), tidak memiliki akar tunggang dan perakarannya terdiri atas akar lateral. Tanaman sorgum memiliki 5 jenis spesies yaitu (*Sorghum bicolor* [L.] Moench), (*Sorghum halepense* [L.] Pers), *Sorghum propinquum* (Kunth) Hitchc, *Sorghum alu* Parodi, serta sorgum hasil persilangan antara *Sorghum bicolor* var. Bicolor dengan *Sorghum bicolor* var. Sudanense (Sumarno dkk., 2013). (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) merupakan spesies sorgum yang paling banyak dibudidayakan. Tanaman sorgum diklasifikasikan sebagai berikut menurut Sumarno dkk., (2013):



Gambar 2. Morfologi benih sorgum (Dicko, 2006).

Kingdom : Plantae
Divisi : Magnoliophyta
Kelas : Monocotyledone
Ordo : Poales
Famili : Poaceae
Genus : Sorghum
Spesies : *Sorghum bicolor* [L.] Moench.

Bagian lapisan luar biji sorgum terdiri atas hilum dan perikarp yang mengisi 7,3-9,3% dari bobot biji (Dicko *et al.* 2006). Hilum berada pada bagian dasar biji. Hilum akan berubah warna menjadi gelap atau hitam pada saat biji memasuki fase masak fisiologis. Bagian embrio sorgum meliputi 7,8-12,1% dari bobot biji yang terdiri atas bagian inti embrio, skutelum, calon tunas, dan calon akar. Pada bagian embrio mengandung asam lemak tak jenuh seperti asam linoleat, protein, lisin, dan polisakarida non-pati (Dicko *et al.* 2006). Komponen utama biji sorgum adalah pati yang tersimpan dalam bentuk granula pada bagian endosperm.

Pada bagian endosperm dan perikarp terdapat arabinosilan, α -glukan, vitamin, dan mineral.

Menurut Balai Penelitian Tanaman Serealia (2013) benih varietas Super-1 dan Super-2 yaitu sebagai benih sorgum unggul penghasil bioetanol. Ciri fisik dan komponen kimia benih sorgum varietas Super-1 dan Super-2 disajikan pada Tabel 1.

Table 1. Ciri fisik dan komponen kimia benih sorgum varietas Super-1 dan Super-2

	Varietas	
	Super-1	Super-2
Warna biji	Putih	Krem kemerahan
Panjang biji (mm)	4,37	4,63
Lebar biji (mm)	4,03	4,03
Diameter biji (mm)	2,60	2,92
Bobot 1000 bulir (g) (k.a 10%)	32,10	30,10
Kadar protein (%)	12,96	9,22
Kadar lemak (%)	2,21	3,09
Kadar karbohidrat (%)	71,32	75,62
Kadar tanin (%)	0,11	0,27
Kadar magnesium	90,33	91,11
Kadar fosfor	249,88	255,47

Sumber: Balai Penelitian Tanaman Serealia (2013).

Menurut Palanog *et al.* (2019) benih sorgum varietas Super-1 memiliki tinggi tanaman 2,16 m, berumur 105-110 hari, potensi hasil panen 2,7 ton/ha, kadar gula brix 14,1%, potensi biomassa 17,5 ton/ha dengan potensi etanol 5.702 L/ha. Varietas Super-2 memiliki tinggi tanaman 2,3 m, berumur 115-120 hari, potensi hasil benih 3,0 ton/ha, kadar gula brix 12,7%, potensi etanol 5.532 L/ha, dan potensi biomassa 21,4 ton/ha.

2.2 Metode Pengusangan Cepat

Pengujian pengusangan cepat merupakan metode untuk mengukur vigor daya simpan (VDS) benih. Pengujian ini menempatkan benih pada kondisi suhu dan kelembaban tinggi hingga memicu terjadinya penurunan mutu benih (devigorasi) pada benih sorgum yang diuji. Menurut Sadjad (1999) pengusangan cepat kimiawi merupakan metode yang lebih tepat untuk mengukur vigor daya simpan benih karena pelaksanaannya yang cepat dan cendawan tidak dapat berkembang di lingkungan pada saat pengujian. Menurut Zanzibar (2007) pengusangan cepat digunakan sebagai salah satu metode untuk mengetahui percepatan penurunan kualitas benih dengan memanfaatkan kinerja uap etanol. Pemberian uap etanol merupakan salah satu bentuk upaya untuk menurunkan viabilitas benih dengan menempatkannya pada kondisi yang tidak menguntungkan.

Metode pengusangan benih dengan suhu dan kelembaban tinggi digunakan untuk memberikan presisi yang lebih besar dalam kontrol kelembaban dan suhu yang relatif tinggi (Rodo dan Filho, 2003). Kondisi sub-optimum yang disimulasikan adalah kondisi lingkungan penyimpanan yang memiliki kelembaban tinggi yakni 98% serta suhu ruang penyimpanan yang tergolong tinggi yakni 40°C dan disimpan selama 10 hari. Metode pengusangan cepat digunakan untuk memungkinkan terjadinya devigorasi benih secara bertahap agar proses devigorasi hanya berfokus pada benih yang akan didera.

Pengusangan cepat mengakibatkan rusaknya dinding sel benih kacang polong yang menjadikan banyak elektrolit yang keluar sehingga daya hantar listrik (DHL) meningkat dan terjadinya aberasi kromosom oleh reduksi bebas. Menurut Saenong (1986) selama pengusangan cepat terjadi penurunan fosfolipid pada benih kedelai yang berdampak pada rusaknya integritas membran sehingga semakin lama perlakuan penderaan semakin tinggi nilai DHL nya.

Menurut Tilabeni dan Golpayegani (2011) menyatakan bahwa proses pengusangan cepat berkorelasi dengan penurunan aktivitas peroksidase. Semakin lama pengusangan akan mengakibatkan aktivitas enzim semakin menurun. Pengaruh pengusangan cepat pada benih wortel *Daucus carota* [L.] menyebabkan nilai DHL benih meningkat dengan meningkatnya waktu pengusangan (Maskri *et al.* 2003). Pengusangan cepat pada suhu 41°C selama 96 jam dan RH 100% pada benih *Fraxinus excelsior* L. mengakibatkan penurunan viabilitas benih menjadi 60.5%, sedangkan pada pengusangan selama 48 jam viabilitasnya 87.5% (Ashraf dan Habib, 2011). Hasil penelitian Basra *et al.* (2003) menyatakan bahwa waktu pengusangan dengan daya berkecambah, indeks vigor, kecepatan tumbuh, dan potensi tumbuh maksimum benih jagung 5 varietas menunjukkan semakin lama waktu pengusangan maka nilai daya kecambah, indeks vigor, kecepatan tumbuh benih dan potensi tumbuh maksimum benih 5 varietas jagung akan semakin rendah. Pengusangan cepat secara gradual menurunkan pesentase perkecambahan seiring dengan meningkatnya periode pengusangan cepat. Hasil penelitian Badriah (2012) menunjukkan bahwa pengusangan cepat kimia mampu menurunkan daya berkecambah, potensi tumbuh maksimum, indeks vigor dan kecepatan tumbuh benih jagung. Penelitian yang dilakukan oleh Terryana (2013) menunjukkan bahwa kebocoran membran sel akibat devigorasi dapat menyebabkan penurunan vigor menjadi lebih cepat. Benih yang semakin lama diberikan perlakuan pengusangan akan memiliki nilai konduktivitas yang besar.

Perlakuan benih dengan uap etanol dapat meningkatkan kandungan etanol dalam benih yang mengakibatkan perubahan sifat molekul makro yang berpengaruh terhadap enzim, membran sel, mitokondria, dan organel lainnya yang berperan dalam perkecambahan benih (Pian, 1981). Etanol secara langsung merusak enzim di dalam benih dan secara tidak langsung etanol dapat menghambat pembentukan hormon giberelin karena enzim di dalam benih ikut tersintase (Murniati *et al.* 1984). Hasil penelitian Hsu *et al.* (2003) menunjukkan bahwa pengusangan cepat dapat meningkatkan

peroksidasi lipid, menurunkan level antioksi, dan meningkatkan akumulasi perioksida sehingga menyebabkan penurunan perkecambahan benih. Penelitian McDonough (2004) menunjukkan bahwa secara keseluruhan perubahan fisik, struktural, dan kimia terjadi selama pengusangan.

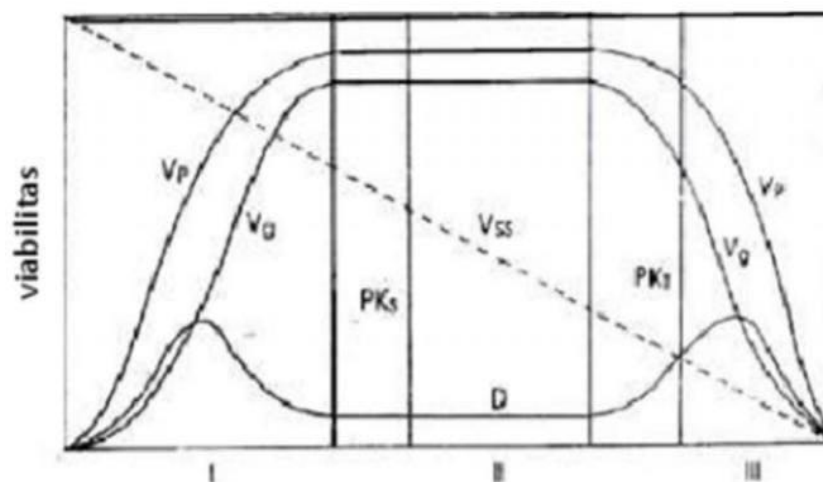
Hasil penelitian Navaniratg (2008) menyatakan bahwa ketahanan terhadap deraan (pengusangan) berhubungan dengan faktor fisik benih seperti ketebalan dan permeabilitas kulit benih. Kondisi udara yang lembab dan panas selain mengakibatkan proses metabolisme benih yang berjalan cepat dan berkurangnya energi dapat mendorong pertumbuhan cendawan. Penderaan dengan suhu 41°C pada benih *Bixa orrelana* [L.] yang diskarifikasi mengakibatkan viabilitas menjadi lebih rendah 50% dibandingkan benih yang tidak diskarifikasi. Penurunan viabilitas benih yang didera secara fisik disebabkan oleh beberapa faktor misalnya karena terjadinya peningkatan asam lemak bebas pada benih kapas *Gossypium hirsutum* [L.] (Iqbal *et al.* 2002).

Menurut Mavi dan Demir (2010) menyatakan bahwa kerusakan terhadap benih *Bixa orrelana* [L.] dikarenakan benih adalah makhluk hidup yang apabila disimpan pada kondisi sub-optimum (suhu dan RH tinggi) terjadi proses katabolisme yaitu peroksidasi lipid yang mengakibatkan kerusakan membran serta menghasilkan produk sampingan yang beracun sehingga menyebabkan benih mengalami penurunan vigor. Pada kondisi tersebut benih akan mengalami respirasi yang mengakibatkan berkurangnya energi benih untuk tumbuh. Benih yang telah diusangkan masih memiliki daya kecambah yang tinggi sehingga mengindikasikan benih bervigor tinggi.

2.3 Viabilitas Benih

Viabilitas benih adalah kemampuan benih untuk tumbuh menjadi kecambah yang ditunjukkan melalui gejala metabolisme atau gejala pertumbuhan (Sadjad, 1994). Uji viabilitas benih dapat dilakukan secara tidak langsung misalnya dengan mengukur gejala-gejala metabolisme atau secara langsung dengan mengamati dan membandingkan unsur-unsur tumbuh penting dari benih dalam periode tertentu (Sutopo, 2002).

Konsep periodisasi viabilitas benih Steinbauer-Sadjad, (1993) menerangkan bahwa hubungan antara viabilitas benih dan periode hidup benih dibagi menjadi tiga bagian yaitu periode I, periode II, dan periode III.



Gambar 3. Konsep periodisasi viabilitas benih Steinbauer-Sadjad, Vp: Viabilitas potensial; Vg: Vigor; dan D: Delta atau selisih antara nilai Vp dan Vg (Sadjad, 1993).

Periode I sebagai periode pembangunan benih yang dimulai pada saat antesis sampai masak fisiologis, periode II sebagai periode simpan dimulai dari saat masak fisiologis sampai benih siap ditanam, dan periode III sebagai periode kritis dimulai pada saat benih keluar dari periode simpan sampai mati. Masak fisiologis terjadi pada saat pengisian cadangan

makanan dalam benih sampai benih memiliki berat kering maksimum. Proses dari masak fisiologis sampai benih siap disimpan disebut periode konservasi (Sadjad, 1993).

Menurut Sadjad (1993) periode konservasi pada hakikatnya terjadi pada kurun periode penyimpanan, tetapi dalam jangka waktu yang relatif pendek dan benih tidak dalam kondisi stationer serta apabila disimpan pada periode simpan. Pada periode konservasi benih akan mengalami kemunduran viabilitas yang dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan seperti dalam periode simpan. Periode II (periode simpan) vigor benih akan dipertahankan agar dapat disimpan dalam jangka waktu yang relatif panjang. Periode III (periode kritikal) terjadi penurunan viabilitas secara cepat. Hal tersebut disebabkan oleh keadaan lapang produksi yang tidak optimum.

Viabilitas benih dapat diukur dengan tolak ukur daya berkecambah (*germination capacity*). Perkecambahan benih adalah muncul dan berkembangnya struktur terpenting dari embrio benih serta kecambah tersebut menunjukkan kemampuan untuk berkembang menjadi tanaman normal pada kondisi lingkungan yang menguntungkan. Viabilitas benih menunjukkan daya hidup benih, aktif secara metabolik, serta memiliki enzim yang dapat mengkatalis reaksi metabolik yang diperlukan untuk perkecambahan dan pertumbuhan kecambah (Copeland dan McDonald, 2001).

2.4 Kemunduran Benih

Kemunduran benih merupakan mundurnya mutu fisiologis benih yang dapat menimbulkan perubahan menyeluruh di dalam benih baik secara fisik, fisiologis, maupun kimiawi yang dapat mengakibatkan menurunnya viabilitas benih. Kemunduran benih berkaitan dengan kegiatan enzim

dalam metabolisme benih. Hal ini menyebabkan permeabilitas membran meningkat, peningkatan permeabilitas membran disebabkan oleh membran sel tidak utuh (Purwanti, 2004).

Kemunduran benih mengakibatkan berbagai perubahan yang menimbulkan kerugian diantaranya penurunan persentase perkecambahan, penurunan vigor benih, degradasi membran sel dan hilang kendali terhadap permeabilitas membran, peningkatan kebocoran solut, berkurangnya kemampuan biosintesis dan respirasi, penurunan laju perkecambahan dan pertumbuhan, penurunan daya simpan, berkurangnya tingkat keseragaman, meningkatnya kepekaan terhadap kondisi cakaman lingkungan terutama pada stadia perkecambahan dan berkurangnya potensi hasil (Jyoti dan Malik, 2013).

2.5 Aplikasi Pupuk ZnSO_4

Zinc termasuk dalam unsur hara mikro karena hanya dibutuhkan dalam jumlah yang relatif sedikit (5-100 mg/kg) pada jaringan tanaman. Zinc merupakan salah satu dari delapan unsur mikro esensial bagi tanaman yang dibutuhkan dalam jumlah yang tepat agar mendapatkan pertumbuhan yang normal dan optimal (Sadeghzadeh, 2013). Zinc terlibat dalam sejumlah proses fisiologis dan metabolisme tanaman seperti enzim sintesis protein, metabolisme karbohidrat, lipid, auksin, asam nukleat, ekspresi gen, dan perkembangan alat reproduksi (Hafeez *et al.* 2012).

Defisiensi *zinc* pada tanaman dapat menyebabkan terjadinya penurunan aktivitas fotosintesis. Hal tersebut terjadi karena berkurangnya aktivitas enzim karbonat dan anhidrase serta terjadinya penurunan kandungan klorofil dan kloroplas (Hamam, 2017). Kekurangan mineral *zinc* juga menyebabkan berkurangnya jumlah pati dan kandungan *zinc* dalam beras, pertumbuhan yang kerdil, daun yang kecil, terjadinya kerusakan biji dan

bunga sehingga menyebabkan berkurangnya jumlah biji, bunga, dan berat kering biji (Holloway *et al.* 2008).

Mineral *zinc* (Zn) berperan penting dalam menjaga kesehatan sistem imun, pertumbuhan, pembentukan jaringan, dan membantu tubuh dalam memerangi infeksi (Hafeez *et al.* 2012). Defisiensi *zinc* dalam tubuh dapat ditandai dengan menurunnya fungsi sel imun yang berperan dalam menghadapi berbagai infeksi. Sistem imun yang terganggu dapat menyebabkan tubuh rentan terhadap infeksi (Widhyari, 2012). Gejala lain yang dapat terjadi akibat defisiensi *zinc* yaitu menurunnya nafsu makan, diare, dan pertumbuhan terhambat (Salguero *et al.* 2000).

2.6 Perkecambahan Benih

Perkecambahan adalah proses munculnya pertumbuhan kecambah aktif yang menghasilkan pecahnya kulit biji dan munculnya semai.

Perkecambahan dapat terjadi karena substrat (karbohidrat, protein, lipid) berperan sebagai penyedia energi yang digunakan dalam proses morfologi (pemunculan organ-organ tanaman seperti akar, daun, dan batang).

Kandungan zat kimia dalam biji merupakan faktor yang sangat menentukan dalam perkecambahan biji (Copeland dan McDonald, 2001).

Menurut Copeland dan McDonald (2001) proses perkecambahan benih merupakan suatu rangkaian dari perubahan morfologi, fisiologi, dan biokimia. Tahapan proses perkecambahan benih yaitu sebagai berikut:

1. Proses penyerapan air oleh benih, melunakkan kulit benih, dan hidrasi dari protoplasma.
2. Aktivitas sel dan enzim-enzim serta naiknya tingkat respirasi benih.
3. Terjadi penguraian bahan-bahan seperti karbohidrat, lemak, dan protein menjadi bentuk-bentuk yang melarut dan ditranslokasikan ke titik-titik tumbuh.

4. Asimilasi dari bahan-bahan yang diuraikan di daerah meristematik untuk menghasilkan energi bagi aktivitas pembentukan komponen dan pembentukan sel-sel baru
5. Pertumbuhan dari kecambah melalui proses pembelahan, pembesaran, dan pembagian sel-sel pada titik tumbuh.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Benih dan Pemuliaan Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada bulan Desember 2024 sampai dengan Januari 2025.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah timbangan elektrik, labu ukur 500 ml, gelas ukur, *seed counter*, *conductivity meter*, gelas mineral, drigen, botol mineral, *oven memmert*, gunting, cutter, alat pengempa kertas, germinator tipe IPB 73 2A/2B, sprayer, nampan plastik, penggaris, kertas label, karet gelang, dan alat tulis.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah benih sorgum varietas Super-2 yang dipanen pada bulan September 2024 dari Sulusuban, Kecamatan Seputih Agung, Kabupaten Lampung Tengah, dan sebelum diberikan perlakuan intensitas pengusangan cepat (IPC) dengan larutan etanol, benih sorgum disimpan selama tiga bulan dalam ruang simpan ber-AC dengan suhu $\pm 18^{\circ}\text{C}$. Bahan lain yang digunakan meliputi aquades, kertas buram, plastik polietilen (PE), dan etanol 96%.

3.3 Rancangan Percobaan dan Analisis Data

Penelitian ini dilakukan menggunakan Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) yang pengelompokannya berdasarkan waktu pelaksanaan pengusangan cepat dengan perlakuan yang disusun secara faktorial (4x3). Faktor pertama adalah intensitas pengusangan cepat (P) yang terdiri dari 4 taraf konsentrasi yaitu tanpa intensitas pengusangan cepat/kontrol perlakuan 0% (p1), intensitas pengusangan cepat perlakuan 8% (p2), intensitas pengusangan cepat perlakuan 16% (p3), dan intensitas pengusangan cepat perlakuan 24% (p4). Faktor kedua adalah cara aplikasi ZnSO_4 (Z) yang terdiri dari 3 cara yaitu tanpa zn/kontrol (z1), priming/perendaman benih 0,5% selama 12 jam (z2), priming + spray 2 kg/ha pada fase vegetatif (z3), sehingga terdapat 12 satuan percobaan dengan 4 ulangan dan disusun dalam 4 blok. Data yang telah diperoleh, diuji homogenitas ragam antar perlakuan menggunakan uji Bartlett dan uji aditivitas data diuji dengan uji Tukey. Jika asumsi tersebut terpenuhi maka dilakukan analisis ragam, apabila terjadi interaksi antara faktor pertama dan faktor kedua dilanjutkan dengan uji beda nyata jujur (BNJ) taraf α 5% untuk membandingkan seluruh rata-rata perlakuan. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *Excel*, *Minitab* versi 17, dan *SigmaPlot* versi 12. Model linear dari Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) yaitu:

$$Y^{ijk} = \mu + B_i + P_j + Z_k + (PZ)_{jk} + \sum_{ijk}$$

Keterangan

- Y^{ijk} : Data pengamatan dari blok ke-i, perlakuan intensitas pengusangan cepat ke-j, dan cara aplikasi pemupukan Zn ke-k.
- μ : Rata-rata umum pengamatan.
- B_i : Pengaruh Blok ke-i.
- P_j : Pengaruh intensitas pengusangan cepat ke-j.
- Z_k : Pengaruh cara aplikasi $ZnSO_4$ ke-k.
- $(PZ)_{jk}$: Pengaruh interaksi antara intensitas pengusangan cepat ke-j dan cara aplikasi $ZnSO_4$ ke-k.
- $\sum_{ijk}$: Galat umum percobaan.

Pada percobaan dalam penelitian ini menggunakan perlakuan faktorial 2 faktor dalam *split-plot* dengan petak utama Intensitas Pengusangan Cepat (P) dan anak petaknya Cara Aplikasi Pemupukan $ZnSO_4$ (Z).

Berikut susunan tata letak percobaan:

Blok 1				Blok 2			
p2z2	p3z1	p4z3	p1z1	p3z3	p4z2	p1z1	p2z3
p2z3	p3z2	p4z2	p1z3	p3z1	p4z3	p1z2	p2z2
p2z1	p3z3	p4z1	p1z2	p3z2	p4z1	p1z3	p2z1
Blok 3				Blok 4			
p1z1	p2z1	p3z2	p4z3	p4z1	p1z3	p3z3	p2z2
p1z2	p2z3	p3z1	p4z2	p4z3	p1z1	p3z2	p2z3
p1z3	p2z2	p3z3	p4z1	p4z2	p1z2	p3z1	p2z1

Gambar 4. Tata letak percobaan *Split Plot* (Intensitas Pengusangan Cepat dan Cara Aplikasi Pemupukan ZnSO₄).

Keterangan:

p1 : Pengusangan cepat dengan larutan etanol konsentrasi 0%.

p2 : Pengusangan cepat dengan larutan etanol konsentrasi 8%.

p3 : Pengusangan cepat dengan larutan etanol konsentrasi 16%.

p4 : Pengusangan cepat dengan larutan etanol konsentrasi 24%.

z1 : Tanpa Zn (kontrol).

z2 : Priming (perendaman benih) 0,5% selama 12 jam.

z3 : Priming dengan larutan etanol ZnSO₄ + H₂O 0,5% selama 12 jam dan spray (penyemprotan daun) 2 kg/ha dalam 400 L air pada fase vegetatif.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Persiapan Benih



Gambar 5. Ruang Penyimpanan Benih.

Benih sorgum yang akan digunakan adalah benih hasil dari pertanaman yang diaplikasi ZnSO_4 dengan cara berbeda, kemudian dikeringkan dengan menggunakan panas matahari hingga kadar air benih diperkirakan berkisar 10%, hasil pemanenan kemudian dirontokkan dan dibersihkan sehingga diperoleh benih yang bersih. Setelah dibersihkan, benih disimpan dalam ruang penyimpanan bersuhu $\pm 18^\circ\text{C}$ dengan lama waktu sebelum digunakan yaitu 90 hari.

Varietas yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Super-2. Benih terlebih dahulu disortir, diambil benih yang berukuran normal, tidak cacat, dan bernas. Kemudian setiap genotipe dihitung 100 butir benih untuk pengujian kecepatan perkecambahan dan keserempakan perkecambahan, serta 50 butir untuk pengujian daya hantar listrik yang kemudian dimasukkan ke dalam plastik klip, sehingga setiap genotipe dibutuhkan 2.400 butir benih untuk setiap percobaan.

3.4.2 Pembuatan Larutan Etanol

Pembuatan larutan pengusangan di bagi menjadi beberapa konsentrasi diantaranya adalah 0%, 8%, 16%, dan 24%. Pada konsentrasi yang pertama hanya menggunakan larutan aquades tanpa larutan etanol (kontrol). Pada larutan kedua yaitu dengan memasukkan 41,6 mL etanol dengan konsentrasi 96% kedalam labu ukur yang berukuran 1.000 mL kemudian ditambahkan larutan aquades sebanyak 458,4 mL, lalu dihomogenkan dan menghasilkan larutan etanol 8%. Pada larutan ketiga, dimasukkan 83,3 mL etanol dengan konsentrasi 96% kedalam labu ukur yang berukuran 1.000 mL kemudian ditambahkan larutan aquades sebanyak 416,7 mL, lalu dihomogenkan dan menghasilkan larutan etanol 16%. Pada larutan keempat, dimasukkan 125 mL etanol dengan konsentrasi 96% kedalam labu ukur yang berukuran 1.000 mL kemudian ditambahkan larutan aquades sebanyak 375 mL, lalu dihomogenkan dan menghasilkan larutan etanol 24%. Menghitung konsentrasi larutan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$M1.V1 = M2.V2$$

Keterangan:

M1 = Konsentrasi larutan sebelum pengenceran.

V1 = Volume larutan sebelum pengenceran.

M2 = Konsentrasi larutan setelah pengenceran.

V2 = Volume larutan setelah pengenceran.

3.4.3 Penyiapan Media Perkecambahan

Media yang digunakan berupa kertas buram berukuran 21,6 cm x 33 cm. Media kertas merang digunakan pada Uji Kecepatan Perkecambahan (UKP) dan Uji Keserempakan Perkecambahan (UKsP). Media

perkecambahan yang digunakan berupa kertas lembab yang diperoleh dengan media kertas buram dengan air, kemudian dikempa hingga mencapai kapasitas lapang kertas. Untuk setiap sampel digunakan 2 lapis kertas di masing-masing sisi, sehingga terdapat 4 lapis kertas untuk setiap gulung sampel uji.

3.4.4 Aplikasi Intensitas Pengusangan Cepat

Aplikasi pengusangan cepat pada benih baru bertujuan sebagai bentuk upaya dalam hal devigorasi yang dilakukan untuk menurunkan viabilitas benih yang menjadi salah satu indikator kemunduran benih. Metode pengusangan cepat yang digunakan yaitu dengan merendam kertas merang menggunakan larutan etanol sesuai konsentrasi masing-masing selama ± 5 menit dalam nampan plastik berukuran besar yang berisikan 50 butir benih, kemudian di tiriskan diatas plastik poliethilen (PE), dan disimpan selama 12 jam dalam tempat yang memiliki kelembaban yang cukup tinggi.



Gambar 6. Pengusangan dengan melembabkan benih sorgum pada kertas buram lembab dalam larutan etanol selama 12 jam.

3.4.5 Uji Viabilitas

Benih sorgum yang telah diberi perlakuan pengusangan cepat kemudian diuji viabilitasnya. Viabilitas benih dilakukan dengan cara pengecambahan pada media kertas lembab menggunakan metode uji kertas digulung dilapisi plastik (UKDdp), dengan teknik demikian benih dapat menyerap (imbibisi) larutan etanol yang ada pada kertas buram lembab tersebut. Pelembaban dalam uji kertas digulung dilapisi plastik (UKDdp) dilakukan selama 12 jam. Uji perkecambahan yang dilakukan adalah Uji Kecepatan Perkecambahan (UKP) dan Uji Kecerempakan Perkecambahan (UKsP).

Pada Uji Kecepatan Perkecambahan (UKP) dan Uji Kecerempakan Perkecambahan (UKsP) masing-masing menggunakan 50 butir benih ditanam pada gulungan kertas merang lembab yang dilapisi plastik, kemudian gulungan diletakkan di dalam germinator pada suhu kamar. Pengamatan UKP dilakukan pada hari ke-2,3,4, dan 5 setelah pengecambahan. Dari UKP dapat diukur Persentase Kecambah Normal (PKN), dan Kecepatan Perkecambahan (KP). Sedangkan, Uji Kecerempakan Perkecambahan (UKsP) dilakukan pada hari ke-4 setelah pengecambahan. Dari UKsP dapat diukur Panjang Akar Primer Kecambah Normal (PAPKN) dan Panjang Tajuk Kecambah Normal (PTKN).



Gambar 7. Uji kertas digulung didirikan dalam plastik (UKDdp).

3.4.6 Pengukuran Nilai Daya Hantar Listrik

Pengukuran nilai daya hantar listrik dilakukan dengan merendam 50 butir benih ke dalam 50 mL aquades selama 24 jam. Pengukuran nilai DHL dilakukan dengan mencelupkan alat *conductivity meter* ke dalam gelas sampel hingga alat tersebut sensornya terendam larutan hasil rendaman benih. Nilai Daya Hantar Listrik akan ditampilkan pada monitor alat tersebut. Pada pengukuran DHL diukur nilai konduktivitas aquades sebagai blanko.

3.5 Variabel Pengamatan

3.5.1 Persentase Kecambah Normal (%/hari)

Menurut Kamil (1982) persentase kecambah normal total adalah total seluruh kecambah normal yang didapat dari perkecambahan 50 butir benih yang diamati. Karakteristik kecambah normal yaitu kecambah yang memiliki akar primer dan sekunder, hipokotil panjang atau pendek, serta terdapat satu daun primer atau satu tunas yang berkecambah secara sempurna. Persentase kecambah normal (PKN) dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$PKN (\%) = \frac{\sum KNi}{n} \times 100\%$$

Keterangan:

PKN = Persentase Kecambah Normal (%).

KN = Kecambah Normal.

n = Jumlah benih yang ditanam pada media perkecambahan.

i = Hari pengamatan pada hari ke-2, 3, 4, dan 5.

3.5.2 Kecepatan Perkecambahan (%)

Kecepatan perkecambahan adalah persentase tingkat kecepatan benih dalam berkecambah yang dilakukan dengan menghitung persentase kecambah normal setiap hari dan diperhitungkan sebagai kecepatan perkecambahan setiap harinya terhitung sejak hari ke-2 hingga hari ke-5. Jumlah benih yang berkecambah diakumulasi dan dihitung menggunakan rumus menurut Copeland dan McDonald (2001):

$$KP (\%) = \frac{G1}{D1} + \frac{G2}{D2} + \frac{G3}{D3} + \dots \frac{Gn}{Dn}$$

Keterangan:

KP = Kecepatan Perkecambahan.

G = Persentase benih yang berkecambah pada hari ke-n.

D = Waktu yang bersesuaian dengan jumlah tersebut.

n = Jumlah hari pada perhitungan terakhir.

3.5.7 Panjang Akar Primer Kecambah Normal (cm)

Panjang akar primer kecambah normal yaitu panjang akar utama dari kecambah normal yang diukur dari pangkal akar yang melekat pada benih hingga ke ujung akar primer menggunakan penggaris. Pengamatan panjang akar primer kecambah normal dilakukan dengan mengambil sepuluh sampel kecambah normal dari hasil 50 butir benih yang dikecambahkan pada hari ke-4 setelah perkecambahan kemudian diukur panjang akar primernya. Nilai panjang akar primer yang telah diperoleh kemudian dirata-ratakan.



Gambar 8. Pengukuran panjang akar primer kecambah normal.

3.5.8 Panjang Tajuk Kecambah Normal (cm)

Panjang tajuk kecambah normal yaitu panjang tajuk kecambah normal yang diukur dari pangkal tajuk yang melekat pada benih hingga ke ujung tajuk menggunakan penggaris. Pengamatan panjang tajuk kecambah normal dilakukan pada sepuluh sampel kecambah normal yang sama seperti pengukuran Panjang Akar Kecambah Normal (PAPKN). Nilai panjang tajuk yang telah diperoleh kemudian dirata-ratakan.



Gambar 9. Pengukuran panjang tajuk kecambah normal.

3.5.10 Daya Hantar Listrik ($\mu\text{S}/\text{cm g}$)

Benih yang digunakan untuk mengukur daya hantar listrik setiap perlakuan yaitu 50 butir kemudian ditimbang menggunakan timbangan analitik untuk memperoleh bobot benih. Selanjutnya benih direndam dalam larutan aquades sebanyak 50 mL selama 24 jam dan disimpan di suhu ruang. Kemudian air rendaman diukur menggunakan *conductivity meter* untuk mengukur daya hantar listrik pada benih yang telah direndam menggambarkan tingkat kebocoran sel pada benih. Satuan perhitungan pada Daya Hantar Listrik (DHL) yaitu $\mu\text{S}/\text{cm g}$. Rumus yang digunakan untuk mengukur DHL sebagai berikut:

$$\text{DHL } (\mu\text{S}/\text{cm g}) = \frac{\text{konduktivitas sampel} - \text{blanko}}{\text{bobot benih}}$$

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan kesimpulan yaitu:

1. Pengaruh intensitas pengusangan cepat menggunakan etanol 0-24% nyata pada viabilitas benih sorgum varietas Super-2 yang ditunjukkan oleh panjang tajuk kecambah normal, panjang akar primer kecambah normal, dan daya hantar listrik.
2. Cara aplikasi pemupukan ZnSO_4 melalui priming benih dan spray pada tanaman sorgum berpengaruh nyata pada viabilitas benih sorgum yang dihasilkan oleh variabel panjang tajuk kecambah normal dan panjang akar primer kecambah normal.
3. Pengaruh interaksi antara intensitas pengusangan cepat dan cara aplikasi pemupukan ZnSO_4 meningkatkan viabilitas benih pada variabel panjang tajuk kecambah normal dan panjang akar primer kecambah normal. Benih sorgum yang dipanen dari pertanaman sorgum yang diaplikasi dengan ZnSO_4 merespon intensitas pengusangan cepat dengan peningkatan panjang tajuk kecambah normal dan penurunan panjang akar primer makin kecil dibandingkan dengan tanpa aplikasi ZnSO_4 .

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penulis menyarankan mengkaji lebih lanjut terkait pengoptimalan konsentrasi intensitas pengusangan cepat dan cara aplikasi pemupukan ZnSO_4 serta mengevaluasi respons varietas sorgum lain terhadap kombinasi stres intensitas pengusangan cepat dan biofortifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, A., Yu, X., dan Li, Y. 2020. Seed priming as a promising technique to improve growth, chlorophyll, photosynthesis and nutrient content in cucumber seedlings. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj Napoca*. 48(1): 116–127.
- Ashraf. A. dan Habib, M. 2011. Ash (*Fraxinus excelsior*) seed quality in relation to seed deterioration under accelerated aging conditions. *Afr. J. Biotechnol.* 10: 6961-6972.
- Badriah, R. 2012. Pemanfaatan alat pengusangan cepat (APC) tipe IPB 77-1 mm untuk pendugaan vigor daya simpan benih jagung (*Zea mays* [L.]) *Skripsi*. Institut Pertanian Bogor. Bogor. Hal 51.
- Balai Penelitian Tanaman Serealia. 2013. <http://balitsereal.litbang.pertanian.go.id/index.php/profil-126/sorgum/511-varietas-super-1-sorgum>. Diakses pada 20 Februari 2025 pukul 14.00 WIB.
- Balai Penelitian Tanaman Serealia. 2013. <http://balitsereal.litbang.pertanian.go.id/index.php/profil-126/sorgum/512-varietas-super-2-sorgum>. Diakses pada 20 Februari 2025 pukul 14.00 WIB.
- Copeland, L.O. dan McDonald, M.B. 2001. *Principles of Seed Science and Technology, 4 Th Edition*. Kluwer Academic Publishers. London.
- Delouche, J. and Baskin, C.C. 1973. Accelerated Aging Techniques for Predicting the Relative Storability of Seed Lots. *Seed Science Technology Journal*. (1): 427-452.
- Dicko, M.H., H. Gruppen, A.S. Traore, W.J.H van Berkel, and A.G.J Voragen. 2006. Sorghum grain as human food in Africa: relevance of content of starch and amylase activities. *African Journal of Biotechnology*. 5 (5): 384-395.

- Dirjen TPH (Direktorat Jendral Tanaman Pangan dan Hortikultura). 2000. *Pedoman Umum Analisa Mutu Benih*. Direktorat Bina Perbenihan.
- Direktorat Serealia. 2013. *Kebijakan Direktorat Jendral Tanaman Pangan dalam Pengembangan Komoditas Serealia untuk Mendukung Pertanian Bioindustri*. Maros. Sulawesi Selatan. 213 hlm.
- Earp, C., Mc Donough, C., and Rooney, L. 2004. Microscopy of pericarp development in the caryopsis of (*Sorgum bicolor* [L.] Moench). *Journal of Cereal Science*. 39(1): 21-27.
- Elangovan, M., Reddy, G.C., Babu, P.K. and Rani, M.J. 2014. *Preliminary evaluation of mini-core collection of sorghum for utilization*. Conference: Global consultation on Millets Promotion for Health & Nutritional Security. Directorate of Sorghum Research. Hyderabad. Hal. 291-292.
- Fitriyah, D., Ubaidillah, M., dan Oktaviani, F. 2020. *Analisis kandungan gizi beras dari beberapa galur pada transgenik pac Nagdong/Ir36*. *Jurnal Ilmu Kesehatan*. 1 (2).
- Gairola, K.C., A.R. dan Nautiyal, A.K. Dwivedi. 2011. Effect of temperatures and germination media on seed germination of *Jathropa curcas* Linn. *Advance in Biores*. 2(2): 66-71.
- Ghazian, M. I. dan Candra, A. 2016. Pengaruh Suplementasi Seng dan Zat Besi Terhadap Tinggi Badan Balita Usia 3-5 Tahun di Kota Semarang. *Journal of Nutrition College*. 5(4): 491–499.
- Hamam, M., Pujiasmanto, B., dan Supriyono. 2017. Peningkatan Hasil Padi (*Oryza sativa* [L.]) dan Kadar Zinc dalam Beras melalui Aplikasi Zinc Sulfat Heptahidrat. *J. Agron. Indonesia*. 45(3): 243-248.
- Hafeez, B., Khanif, Y.M., dan Saleem, M. 2013. Role of Zinc in Plant Nutrition- A Review. *American journal of Experimental Agriculture*. 3 (2): 374-391.

- Hafeez, R., Aziz, T., M. Farooq, A., Wakeel, Z., dan Rengel. 2012. *Zinc Nutrition In Rice Production Systems: A Review*. J. Plant Soil. 361: 203-226.
- Holloway, R.E., Graham, R. D., and Stacey, S. P. 2008. *Micronutrient deficiencies in Austrilian field crops*, Chapter 3 In Alloway, B.J (ed) *Micronutrient deficiencies in Global Crop Production*. Springer. Dordrecht. pp 63-92.
- Hsu, C.C., C.L., Chen, J.J., and Chen, J.M. Sung. 2003. Accelerated aging-enhanced lipid peroxidation in bitter gourd seeds and effects of priming and hot water soaking treatments. *Scientia Horticulturae*. 98(3): 201-212.
- Iqbal and shaazad, A. M., Basyra., Pur-rehman Khalil. 2002. Evaluations of Vigor and Oil Quality in Cutten Seed during Accelerated agen. *J. Agric. Biol.* 48: 318-322.
- Jyoti, C.P. dan Malik. 2013. Seed deterioration: a review. *Int. J. LifeSc. Bt & Pharm. Res.* 2(3): 374-385.
- Kamil, J. 1982. *Teknologi Benih 1*. Angkasa Raya. Padang. Hal. 219-227.
- Khan, M.I.R., Ashfaq, F., Chhillar, H., Irfan, M., and Khan, N.A. 2021. The intricacy of sillicon, plant growth regulators and other signaling molecules for abiotic stress tolerance.
- Manzoor. 2011. Effect Of Zinc Application On Growth And Yield Of Rice (*Oryza sativa* L.) *Int. J. Agro Vet. Med. Sci.* 5: 530-535.
- Maskri, A.Y. AL., M.M. Khan, I.A., and Khan, K. AL-Habsi. 2003. Effect of accelerated ageing on viability, vigor (RGR), lipid peroxidation and leakage in carrot (*Daucus carota* L.) seeds. *Int. J. Agric. Biol. Pakistan.* 4: 580-584.
- Mavi, K., I. Demir. 2007. *Controlled deterioration and accelerated aging tests predict relative seedling emergence potential of melon seed lots*. Hort. Sci. 42: 1431-1435.

- McDonough, C.M., Floyd, C.D., Waniska, R.D., and Rooney, L.W. 2004. Effect of accelerated aging on maize, sorghum, and sorghum meal. *Cereal Science*. 39(3): 351-361.
- Mohsin, A. U., Ahmad, A. U. H., Farooq, M., and Ullah, S. 2014. Influence of Zinc application through seed treatment and foliar spray on growth, productivity and grain quality of hybrid maize. *Journal of Animal and Plant Sciences*. 24(5): 1494–1503.
- Murniati, E., Kartika, T., dan Saenong, S. 1984. Pengaruh gibberellic acid pada jagung (*Zea mays* [L.]) yang diderai uap etanol dan tidak diderai uap etanol terhadap daya berkecambah benih dan aktivitas enzim amilase. *Bul. Agron*. 16(1):1-10.
- Navaniratg, N. K. 2008. Performance of Scarified and non scarified. Of bixa orellana two Accelerated agents for the Prediction of Seed Science Accelerated. *J. Agric Biol. Sci*. 4: 591-595
- Octariani, R. 2023. Pengaruh konsentrasi giberelin dan lama perendaman terhadap invigorasi benih sorgum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) genotipe Marapi. *Skripsi*. Fakultas Pertanian, Universitas Andalas. Padang.
- Ortiz-Monasterio, J., Roas, N. P., Meng, E., Pixley, K. R. T., and Pena, R. J. 2007. Enhancing the mineral and vitamin content of wheat and maize through plant breeding. *Journal of Cereal Science*. 46(3): 293–307.
- Palanog A.D., Calayugan M.I.C., Descalsota G.I., Amparado A., Inabangan M.A., Arocena E.C., Cruz P.C., Borromeo T.H., Lalusin A., Hernandez J.E., Acuin C., Reinke R., and Swamy B.P.M. 2019. Zinc and iron nutrition status in Philippine population and local soils. *Front. Nutri*. 6 (81).
- Pian, Z.A. 1981. Pengaruh uap etil alkohol terhadap viabilitas benih jagung (*Zea mays* [L.]) dan pemanfaatannya untuk menduga daya simpan. *Disertasi*. Sekolah Pasca Sarjana IPB. Bogor.

- Purwanti, S. 2004. Kajian Suhu Ruang Simpan terhadap Kualitas Benih Kedelai Hitam dan Kedelai Kuning. *Jurnal Ilmu Pertanian*. 11(1): 22-31.
- Rodo, A.B. dan Filho, J.M. 2003. Accelerated aging and controlled deterioration for the determination of the physiological potential of onion seeds. *Scienta Agricola*. 60(3): 465-469.
- Sadjad, S. 1993. *Dari Benih Kepada Benih*. PT. Widia Sarana Indonesia. Jakarta.
- Sadjad, S. 1994. *Kuantifikasi Metabolisme Benih*. PT Widia Sarana Indonesia. Jakarta.
- Sadjad, S., E. dan Muniarti, I. Satriyas. 1999. *Parameter Pengujian Benih dari Komparatif ke Simulatif*. Widiasarana Indonesia. Jakarta.
- Sadeghzadeh, B. 2013. A review of zinc nutrition and plant breeding. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 13: 905-927.
- Saenong. 1986. Pendugaan daya simpan benih kedelai (*Glycine max* [L.]). *Tesis*. Program Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Soebagio, H. dan Aqil, M. 2014. *Perakitan dan pengembangan varietas unggul sorgum untuk pangan, pakan, dan bioenergi*. IPTEK Tanaman Pangan. 7 (2): 58-66.
- Sumarno, D.S., Damardjati., Mahyuddin S., dan Hermanto. 2013. *Sorgum: Inovasi Teknologi dan Pengembangan*. IAARD Press: Jakarta.
- Terryana, R.T., M.R. dan Suhartanto, A. Qadir. 2015. Alat Pengusang Cepat IPB 77-1 MM untuk Penapisan Vigor Daya Simpan Benih Kedelai. *J. Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*. 34(3): 229-236.
- Tilabeni, G.H. dan Golpayegani, A. 2011. Effect of seed ageing on physiological and biochemical changes in rice seed (*Oryza sativa* [L.]). *Int. J. Agric. Sci. Iran*. 1: 138-143.

- Valencia, E. dan Purwanto, G. M. 2020. Artificial rice as an alternative functional food to support food diversification program. *KnE Life Sciences*. 177-186.
- Widhyari, S. H. 2012. *Peran dan Dampak Defisiensi Terhadap Sistem Zinc Tanggap Kebal*. Wartazoa. 22 (3).
- Widowati. 2012. *Karakteristik Mutu Gizi dan Diversifikasi Pangan Berbasis Sorgum (Sorghum vulgare)*. Balai Penelitian dan Pengembangan Pasca Panen Pertanian. Bogor. 158 hlm.
- Yulita, R. dan Risda. 2006. *Pengembangan sorgum di Indonesia*. Direktorat Budidaya Serealia. Ditjen Tanaman Pangan. Jakarta.
- Zanzibar, M. 2007. Pengaruh perlakuan pengusangan dengan uap etanol terhadap penurunan kualitas fisiologi benih akor, merbau dan mindi. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*. 4(2): 69-118.
- Zhang, H., *et al.* 2021. Seed priming with ethanol improves drought tolerance in wheat by regulating osmotic adjustment and antioxidant defense. *Journal of Plant Growth Regulation*. 40 (4): 1627-1640.