

**OPTIMALISASI PERTUMBUHAN, HASIL, SERAPAN K DAN DAYA
SIMPAN DUGAAN BENIH TIGA VARIETAS PADI SAWAH
(*Oryza sativa* L.) MELALUI APLIKASI ZINC (Zn)**

TESIS

Oleh

**Khofira Masoyogie
2324011012**



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER AGRONOMI
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**OPTIMALISASI PERTUMBUHAN, HASIL, SERAPAN K DAN DAYA
SIMPAN DUGAAN BENIH TIGA VARIETAS PADI SAWAH
(*Oryza sativa* L.) MELALUI APLIKASI ZINC (Zn)**

**Oleh
Kholfira Masoyogie**

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

**Pada
Program Studi Magister Agronomi
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER AGRONOMI
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

OPTIMALISASI PERTUMBUHAN, HASIL, SERAPAN K DAN DAYA SIMPAN DUGAAN BENIH TIGA VARIETAS PADI SAWAH (*Oryza sativa* L.) MELALUI APLIKASI ZINC (Zn)

Oleh

Kholfira Masoyogie

Padi (*Oryza sativa* L.) merupakan komoditas strategis sebagai sumber pangan nasional bagi sebagian besar penduduk Indonesia. Namun, dalam beberapa tahun terakhir produktivitas padi cenderung menurun akibat degradasi kesuburan tanah dan defisiensi unsur hara, termasuk *zinc* (Zn). Unsur mikro ini memiliki fungsi vital dalam berbagai proses fisiologis tanaman, seperti fotosintesis, pembentukan akar, diferensiasi jaringan vaskular, regulasi hormon pertumbuhan, serta peningkatan efisiensi penyerapan kalium (K) yang mendukung akumulasi hasil.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh aplikasi Zn terhadap pertumbuhan, hasil, serapan K, viabilitas benih, dan kandungan Zn dalam beras pada tiga varietas padi sawah, yaitu Ciherang, Inpari 32, dan Inpari IR Nutri Zinc. Penelitian dilaksanakan di Desa Maja, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung, menggunakan rancangan faktorial strip plot dengan tiga ulangan. Perlakuan terdiri atas P0 (kontrol), P1 (*priming* Zn), P2 (*priming* + *foliar* dua kali pada fase vegetatif), P3 (*priming* + *foliar* dua kali pada fase generatif), dan P4 (*priming* + *foliar spray* dua kali fase vegetatif + dua kali *foliar spray* fase generatif).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi Zn, khususnya P4, memberikan pengaruh sangat nyata terhadap tinggi tanaman, jumlah anakan produktif, waktu berbunga, jumlah bulir per malai, bobot 1.000 butir, gabah kering panen (GKP), dan gabah kering giling (GKG). Perlakuan P4 meningkatkan hasil GKG hingga 13,64 ton ha⁻¹ dan kandungan *zinc* dalam beras sebesar 54,68% dibanding kontrol. Selain itu, P4 memperbaiki mutu fisiologis benih dengan meningkatkan persentase kecambah normal hingga 94,6%, sekaligus menurunkan kecambah abnormal (6,6%) dan benih tidak berkecambah (<2%). Temuan ini menegaskan bahwa aplikasi Zn terintegrasi efektif dalam meningkatkan produktivitas padi, kualitas benih, serta kandungan gizi beras, sehingga berpotensi menjadi strategi biofortifikasi agronomis yang mendukung ketahanan pangan dan gizi masyarakat.

Kata Kunci: Pemupukan Zinc, Pertumbuhan dan Produktivitas Padi, Serapan Kalium, Zn Dalam Beras

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF GROWTH, YIELD, POTASSIUM UPTAKE, AND SEED STORABILITY POTENTIAL OF THREE LOWLAND RICE (*Oryza sativa* L.) VARIETIES THROUGH ZINC (ZN) APPLICATION

By

Kholfira Masoyogie

*Rice (*Oryza sativa* L.) is a strategic commodity and the main staple food for the majority of Indonesia's population. However, in recent years, rice productivity has tended to decline due to soil fertility degradation and micronutrient deficiencies, particularly zinc (Zn). This micronutrient plays a vital role in various physiological processes of plants, including photosynthesis, root development, vascular tissue differentiation, growth hormone regulation, and enhancing potassium (K) uptake efficiency that supports yield accumulation.*

This study aimed to evaluate the effects of Zn application on growth, yield, K uptake, seed viability, and Zn content in rice grains of three rice varieties, namely Ciherang, Inpari 32, and Inpari IR Nutri Zinc. The research was conducted in Maja Village, Pesawaran District, Lampung Province, using a factorial strip-plot design with three replications. Treatments consisted of P0 (control), P1 (seed priming with Zn), P2 (priming + two foliar sprays at the vegetative stage), P3 (priming + two foliar sprays at the generative stage), and P4 (priming + two foliar sprays at the vegetative stage + two foliar sprays at the generative stage).

The results showed that Zn application, particularly P4, had a highly significant effect on plant height, number of productive tillers, flowering time, number of grains per panicle, 1,000-grain weight, harvested dry grain (GKP), and milled dry grain (GKG). P4 treatment increased GKG yield up to 13.64 t ha⁻¹ and enhanced Zn content in rice grains by 54.68% compared to the control. Moreover, P4 improved seed physiological quality by increasing the percentage of normal seedlings to 94.6%, while reducing abnormal seedlings (6.6%) and non-germinated seeds (<2%). These findings confirm that integrated Zn application is effective in improving rice productivity, seed quality, and grain nutritional value, thus offering great potential as an agronomic biofortification strategy to strengthen food and nutrition security.

Keywords: Zinc fertilization, Rice Growth and Productivity, Potassium Uptake, Zn in Rice

Judul Tesis

: **OPTIMALISASI PERTUMBUHAN, HASIL,
SERAPAN K DAN DAYA SIMPAN DUGAAN
BENIH TIGA VARIETAS PADI SAWAH (*Oryza
sativa* L.) MELALUI APLIKASI ZINC (Zn)**

Nama Mahasiswa

: **Kholfira Masoyogie**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **2324011012**

Program Studi

: **Magister Agronomi**

Fakultas

: **Pertanian**

Menyetujui

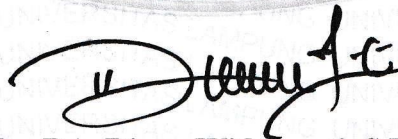
1. **Komisi Pembimbing**



Prof. Dr. Ir. Muhammad Kamal, M.Sc.
NIP.1961010111985031003

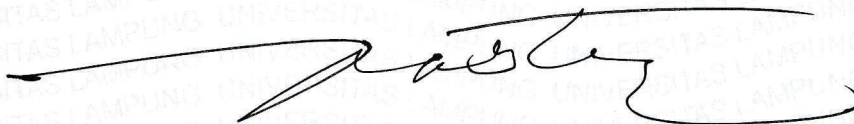


Dr. Ir. Eko Pramono, M.S.
NIP. 196108141986091001



Dr. RA. Diana Widyastuti, S.P., M.Si.
NIP.198104132008122001

2. **Ketua Program Studi Magister Agronomi**



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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji :

Ketua

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

Sekretaris 1

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

Sekretaris 2

: Dr. RA. Diana Widyastuti, S.P., M.Si.

Penguji

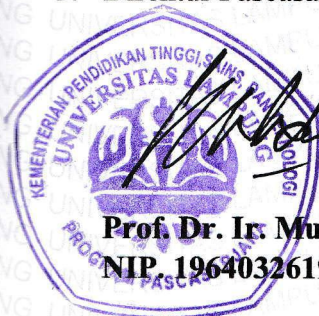
Bukan Pembimbing : Dr. Ir. Muhammad Syamsoel Hadi, M.Sc.

2. Dekan Fakultas Pertanian



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

3. Direktur Pascasarjana Universitas Lampung



Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.
NIP. 196403261989021001

Tanggal Lulus Ujian Tesis : **06 Agustus 2025**

SURAT PERNYATAAN

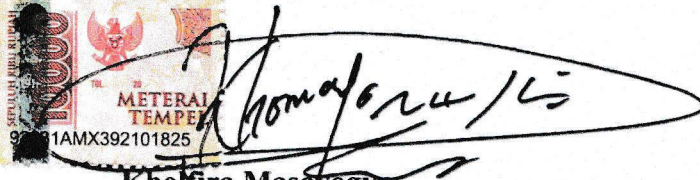
Dengan ini saya menyatakan sebenarnya bahwa :

1. Tesis dengan judul **“OPTIMALISASI PERTUMBUHAN, HASIL, SERAPAN K DAN DAYA SIMPAN DUGAAN BENIH TIGA VARIETAS PADI SAWAH (*Oryza sativa* L.) MELALUI APLIKASI ZINC (Zn)”** adalah hasil karya saya sendiri dan tidak melakukan penjiplakan atas hasil karya orang lain dengan cara tidak sesuai dengan norma etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiarisme. Semua hasil yang tertuang dalam tesis ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung.
2. Pembimbing penulis tesis ini berhak mempublikasikan sebagian atau seluruhnya pada jurnal dengan mencantumkan nama saya sebagai salah satu penulisnya.
3. Hal intelektual hasil karya ilmiah ini diserahkan sepenuhnya pada Universitas Lampung.

Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terbukti ketidakbenaran maka saya bersedia menerima akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 25 Agustus 2025

Pembuat Pernyataan,


Kholifira Masdyogie
NPM. 2324011012



RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Metro, 13 Mei 1995, sebagai anak tunggal dari pasangan Bapak Abunawas Muchtar, B.Sc dengan Ibu Rosdiana, S.Pd.,SD. Penulis menempuh Pendidikan di Sekolah Dasar Negeri 2 Metro Timur, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 4 Metro, Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 3 Metro dan melanjutkan Pendidikan Strata-1 (S1) di Universitas Lampung pada tahun 2013 dengan Program Studi Teknik Pertanian yang berhasil diselesaikan pada tahun 2018. Setelah lulus penulis bekerja di CV. 661 *Group* sebagai Kepala Teknik Tambang (KTT) Batuan Andesit dan pada Desember tahun 2020 penulis diangkat sebagai Pegawai Negeri Sipil Dinas Tanaman Pangan dan Hortikultura Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung sebagai Penyuluh Pertanian Lapangan (PPL) dengan penempatan di Wilayah Kerja Penyuluh Pertanian (WKPP) BPP Marga Punduh.

Penulis melanjutkan studi Strata-2 (S2) pada tahun 2023 di Program Studi Magister Agronomi. Keputusan memilih bidang agronomi dilatarbelakangi oleh keinginan untuk memperkuat landasan keilmuan mengenai tanaman pangan, baik dari aspek fisiologi, budidaya, maupun manajemen pemupukan. Penulis meyakini bahwa penguasaan ilmu agronomi yang komprehensif akan menjadi bekal penting dalam mengembangkan keterampilan akademik sekaligus profesionalitas di bidang pertanian. Melalui studi ini, penulis berupaya untuk mengintegrasikan teori dan praktik dalam pengelolaan tanaman pangan, sehingga dapat memberikan kontribusi nyata dalam peningkatan produktivitas pertanian serta mendukung program pemerintah terkait ketahanan pangan nasional.

"Wahai umat manusia, sesungguhnya Kami menciptakan kamu dari seorang laki-laki dan seorang perempuan dan menjadikan kamu berbangsa-bangsa dan bersuku-suku, supaya kamu saling mengenal. Sesungguhnya orang yang paling mulia di antara kamu di sisi Allah adalah orang yang paling bertakwa di antara kamu. Sesungguhnya Allah Maha Mengetahui lagi Maha Mengenal."

(QS. Al-Hujurat: 13)

“Menjadi Manusia Hartawan Serta Dermawan”

(Motto Hidup)

“Terlahir di **Bumi Sai Wawai** dari wanita **Tuah Bepadan** dengan pribadi **Ramik Ragom**, melangkah menimba ilmu di Negeri **Ragom Gaw**i, lalu mengabdikan dengan prinsip **Andan Jejama** hingga memahami hakikat kemurnian **Sai Bumi Ruwa Jurai**. Segala bekal yang diperoleh diwujudkan dalam semangat **Kebhinekaan** untuk membangun negeri yang gemah ripah loh jinawi dengan tetap menjunjung tinggi nilai **Piil Pesenggiri** guna mewujudkan masyarakat yang Adil Makmur di Ridhoi Allah SWT.”

(Khomayo, 2025)

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji Syukur penulis ucapkan kehadiran ALLAH SWT, karena atas Rahmat dan hidayah-Nya tesis ini dapat diselesaikan. Tesis dengan judul **“Optimalisasi Pertumbuhan, Hasil, Serapan K Dan Daya Simpan Dugaan Benih Tiga Varietas Padi Sawah (*Oryza sativa* L.) Melalui Aplikasi Zinc (Zn)”** adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Pertanian di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A.IPM., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
3. Prof. Dr. Ir. Muhadi, M.Si., selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung.
4. Prof. Dr. Ir. Paul Benyamin Timotiwu, M.S., selaku Ketua Program Studi Magister Agronomi.
5. Prof. Dr. Ir. Muhammad Kamal, M.Sc., selaku pembimbing pertama yang telah memberikan ide dalam penelitian ini serta ilmu yang bermanfaat, motivasi, nasihat, arahan dan bimbingan moral maupun finansial selama proses penyelesaian tesis.
6. Dr. Ir. Eko Pramono, M.S, selaku pembimbing kedua yang telah membimbing, memberikan motivasi, kritik dan saran dalam menyelesaikan rangkaian tesis ini.
7. Dr. RA. Diana Widyastuti S.P., M.Si., selaku pembimbing ketiga yang telah membimbing, memberikan semangat, dan selalu memberikan dampak positif dalam menyelesaikan tesis ini.

8. Dr. Ir. Muhammad Syamsoel Hadi, M.Sc, selaku Penguji sekaligus pembimbing informal saya yang selalu membimbing, mengarahkan, memberikan kritik maupun saran dalam menyelesaikan tesis ini.
9. Seluruh Dosen Program Studi Magister Agronomi atas semua Ilmu yang telah diberikan kepada penulis selama menjadi mahasiswa.
10. Seluruh rekan – rekan BPP Marga Punduh Dinas Tanaman Pangan dan Hortikultura Kabupaten Pesawaran yang telah membantu sehingga penelitian ini berjalan dengan lancar.
11. Feni Asriyanti Zomi, S.Pd dan Hanggum Ratu Khomayo Inton yang telah memberikan dukungan dan menjadi penyemangat selama penelitian ini berlangsung sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.
12. Yunda Eka Kusumawati dan Dytri Anintyas Putri selaku rekan satu tim penelitian biofortifikasi tanaman pangan, sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar.
13. Kanda Abdullah Nadir selaku mentor lapangan yang telah memberikan teori dan praktik selama penelitian budidaya tanaman padi secara profesional.
14. Adinda Hanum Palupi, S.P., Adinda Stevani Hartono, .S.P., Kanda Andri Ismail, S.P. yang telah membantu penelitian ini sehingga berjalan dengan lancar.
15. Bapak Kasimin dan Ibu Sri sekeluarga selaku induk semang yang telah membantu memfasilitasi tempat tinggal selama penelitian ini berlangsung.
16. Karyawan-karyawati di Program Studi Magister Agronomi, Mbak Fitri, Mba Yuli, Mas Edi, dan Mas Udin yang telah memberikan bantuan,
17. Agronomi angkatan 2023 terimakasih atas kebersamaannya selama ini.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kata sempurna, namun penulis berharap semoga tesis ini dapat memberikan informasi dan bermanfaat bagi kita semua. Penulis meminta maaf sebesar besarnya atas segala kekurangan dalam proses penulisan tesis.

Bandar Lampung, 25 Agustus 2025

Kholfira Masoyogie

DAFTAR ISI

Halaman

I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang dan Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	11
1.3 Tujuan Penelitian	11
1.4 Kerangka Pemikiran	12
1.5 Hipotesis	17
II. TINJAUAN PUSTAKA	19
2.1 Tanaman Padi	19
2.1.1 Morfologi Tanaman Padi	20
2.1.1.1 Bagian Vegetatif	20
2.1.1.2 Bagian Generatif	22
2.2 Stadia Pertumbuhan Tanaman Padi	23
2.3 Syarat Tumbuh Tanaman Padi.....	25
2.3.1 Iklim dan Curah Hujan.....	25
2.3.2 Sinar Matahari	26
2.3.3 Ketinggian Tempat	26
2.4 Peran <i>Zinc</i> (Zn) Pada Tanaman	26
2.4.1 Sumber Ketersediaan <i>Zinc</i> (Zn) Pada Tanaman.....	29
2.4.2 Interaksi Penyerapan <i>Zinc</i> (Zn) Dengan Hara Fosfor.....	30
2.5 Peran Kalium Pada Tanaman.....	31
2.6 Keterkaitan <i>Zinc</i> (Zn) Terhadap Serapan Kalium.....	32
2.7 Peran <i>Zinc</i> (Zn) Dalam Penanggulangan <i>Stunting</i>	34
2.7.1 Peran <i>Zinc</i> (Zn) Terhadap Pertumbuhan Balita	35

2.7.2 Sumber dan Jumlah Kebutuhan Zinc (Zn) Bagi Tubuh Manusia	36
2.8 Metode Pengusangan Cepat (MPC).....	37
III. BAHAN DAN METODOLOGI.....	39
3.1 Percobaan I	39
3.1.1 Tempat dan Waktu	39
3.1.2 Bahan dan Alat.....	39
3.1.3 Rancangan Percobaan	39
3.1.4 Pelaksanaan Penelitian.....	41
3.1.4.1 Pembuatan Aplikasi Priming	41
3.1.4.2 Penyemaian.....	41
3.1.4.3 Pengolahan Lahan.....	42
3.1.4.4 Pembuatan Petakan Percobaan	42
3.1.4.5 Penanaman	42
3.1.4.6 Pemupukan	42
3.1.4.7 Pemeliharaan.....	43
3.1.5 Laboratorium	47
3.2 Percobaan II	47
3.2.1 Tempat dan Waktu	48
3.2.2 Bahan dan Alat	48
3.2.3 Rancangan Percobaan.....	48
3.3 Pelaksanaan Penelitian.....	50
3.3.1 Metode Pengusangan Cepat (MPC)	50
3.3.2 Penyiapan Media Perkecambahan.....	50
3.3.4 Pengujian Viabilitas Benih	51
3.3.5 Variabel Pengamatan.....	51
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	54
4.1 Hasil Penelitian	54
4.1.1 Analisis Tanah Kondisi Sebelum Tanam.....	54
4.1.2 Hasil Percobaan I.....	55

4.1.2.1 Tinggi Tanaman (cm)	57
4.1.2.2 Jumlah <i>Tiller</i> (Anakan) (Batang).....	59
4.1.2.3 Jumlah <i>Tiller</i> (Anakan) Produktif (Batang)	60
4.1.2.4 Waktu Berbunga (HST).....	62
4.1.2.5 Jumlah Bulir Per Malai (Butir).....	63
4.1.2.6 Bobot 1000 Butir (g)	65
4.1.2.7 Gabah Hampa (%)	67
4.1.2.8 Gabah Bernas (%).....	68
4.1.2.9 Gabah Kering Panen (%).....	70
4.1.2.10 Gabah Kering Giling (%)	71
4.1.2.11 Kandungan Kalium (K) Pada Jaringan Tanaman (%)....	73
4.1.2.12 Kandungan <i>Zinc</i> (Zn) Pada Beras (ppm).....	75
4.1.3 Hasil Percobaan II.....	79
4.1.3.1 Kecambah Normal (%).....	80
4.1.3.2 Kecambah Abnormal (%).....	84
4.1.3.3 Benih Tidak Berkecambah (%)	89
4.1.3.4 Etanol Terimbibisi Pada Benih (ml).....	90
4.2 Pembahasan.....	92
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	106
5.1 Kesimpulan	106
5.2 Saran	107
DAFTAR PUSTAKA	109

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Hasil Analisis Tanah di Laboratorium Politeknik Negeri Lampung Pada Lokasi Percobaan di Desa Maja Kec. Marga Punduh Kab. Pesawaran	55
2. Hasil Analisis Ragam Pengaruh Aplikasi Zn Terhadap Pertumbuhan dan Produktivitas Tiga Varietas Padi Sawah (<i>Oryza sativa</i> L.).....	56
3. Pengaruh Aplikasi <i>Zinc</i> dan Perbedaan Varietas Terhadap Tinggi Tanaman Padi	58
4. Pengaruh Aplikasi <i>Zinc</i> dan Perbedaan Varietas Terhadap Jumlah <i>Tiller</i> (Anakan) Tanaman Padi	60
5. Pengaruh Aplikasi <i>Zinc</i> dan Perbedaan Varietas Terhadap Jumlah <i>Tiller</i> (anakan) Produktif Tanaman Padi	61
6. Pengaruh Aplikasi <i>Zinc</i> dan Perbedaan Varietas Terhadap Waktu Berbunga Tanaman Padi	63
7. Pengaruh Aplikasi <i>Zinc</i> dan Perbedaan Varietas Terhadap Jumlah Bulir Per Malai	64
8. Pengaruh Aplikasi Zn dan Perbedaan Varietas Terhadap Bobot 1.000 Butir Gabah.....	66
9. Pengaruh Aplikasi <i>Zinc</i> dan Perbedaan Varietas Terhadap Gabah Hampa	68
10. Pengaruh Aplikasi <i>Zinc</i> dan Perbedaan Varietas Terhadap Gabah Bernas.....	69
11. Pengaruh Aplikasi Zn dan Perbedaan Varietas Terhadap Gabah Kering Panen (GKP)	71
12. Pengaruh Aplikasi Zn dan Perbedaan Varietas Terhadap Gabah Kering Giling (GKG)	72
13. Hasil Analisis Pengaruh Aplikasi Zn dan Perbedaan Varietas Terhadap Kandungan Kalium Pada Brangkasan Kering	74
14. Hasil Analisis Pengaruh Aplikasi Zn dan Perbedaan Varietas Terhadap Kandungan <i>Zinc</i> Dalam Beras	77

15. Ringkasan Hasil Analisis Ragam Ketahanan Benih Pada Penderaan Etanol Akibat Aplikasi <i>Zinc</i>	80
16. Pengaruh Aplikasi Zn dan Perbedaan Varietas Terhadap Persentase Kecambah Normal	82
17. Pengaruh Aplikasi Zn dan Perbedaan Varietas Pada Persentase Kecambah Abnormal	86
18. Pengaruh Aplikasi Zn dan Perbedaan Varietas Terhadap Persentase Benih Tidak Berkecambah	90
19. Pengaruh Aplikasi Zn dan Perbedaan Varietas Terhadap Etanol Terimbibisi Ke Dalam Benih	92
20. Analisis Ragam Pengaruh Aplikasi Zn Terhadap Tinggi Tanaman Tiga Varietas Padi Sawah	125
21. Analisis Ragam Pengaruh Aplikasi Zn Terhadap Jumlah <i>Tiller</i> (Anakan)...	125
22. Analisis Ragam Pengaruh Aplikasi Zn Terhadap Jumlah <i>Tiller</i> (Anakan) Produktif	126
23. Analisis Ragam Pengaruh Aplikasi Zn Terhadap Waktu Berbunga.....	126
24. Analisis Ragam Pengaruh Aplikasi Zn Terhadap Jumlah Bulir	127
25. Analisis Ragam Pengaruh Aplikasi Zn Terhadap Bobot 1.000 Butir	127
26. Analisis Ragam Pengaruh Aplikasi Zn Terhadap Persentase Gabah Hampa	128
27. Analisis Ragam Pengaruh Aplikasi Zn Terhadap Persentase Gabah Bernas	128
28. Analisis Ragam Pengaruh Aplikasi Zn Terhadap Persentase Gabah Kering Panen (GKP)	129
29. Analisis Ragam Pengaruh Aplikasi Zn Terhadap Persentase Gabah Kering Giling (GKG)	129
30. Analisis Ragam Pengaruh Aplikasi Zn Terhadap Persentase Kecambah Normal	130
31. Analisis Ragam Pengaruh Aplikasi Zn Terhadap Persentase Kecambah Abnormal	130
32. Analisis Ragam Pengaruh Aplikasi Zn Terhadap Persentase Benih Tidak Berkecambah.....	131

33. Analisis Ragam Pengaruh Aplikasi Zn Terhadap Terimbibisnya Etanol Ke Dalam Benih.....	131
--	-----

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1. Bagan Kerangka Pemikiran.....	17
Gambar 2. NDVI (<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>) pada berbagai stadia atau fase pertumbuhan tanaman padi.....	25
Gambar 3. Tata Letak Percobaan	40
Gambar 4. Tata Letak Percobaan 2	49
Gambar 5. Skema Tata Cara Penderaan Larutan Etanol.....	50
Gambar 6. Respon Tiga Varietas Padi Sawah terhadap Perlakuan <i>Zinc</i> pada Tinggi Tanaman Usia 3–8 MST	58
Gambar 7. Visualisasi Pengaruh Zn Terhadap Malai dan Jumlah Bulir Padi Akibat Perlakuan <i>Zinc</i>	65
Gambar 8. Kandungan kalium pada brangkasan kering fase vegetatif dan generatif pada beberapa varietas padi sawah	75
Gambar 9. Pengaruh perbedaan varietas pada padi sawah dan aplikasi <i>zinc</i> pada kandungan Zn dalam beras (ppm)	78
Gambar 10. Pengaruh aplikasi <i>zinc</i> pada kandungan Zn dalam beras (ppm)	78
Gambar 11. Pengaruh Zn Pada Persentase Kecambah Normal	82
Gambar 12. Visualisasi Pengaruh Zn Pada Kecambah Normal Varietas Ciherang Setelah Pengusangan Etanol 16%.....	83
Gambar 13. Visualisasi Pengaruh Zn Pada Kecambah Normal Varietas Inpari 32 Setelah Pengusangan Etanol 16%	83
Gambar 14. Visualisasi Pengaruh Zn Pada Kecambah Normal Varietas Nutri <i>Zinc</i> Setelah Pengusangan Etanol 16%.....	84
Gambar 15. Pengaruh Zn Pada Persentase Kecambah Abnormal	87
Gambar 16. Visualisasi Kecambah Abnormal Pada Tiga Varietas Padi Sawah...	88
Gambar 17. <i>Priming</i> Benih Menggunakan Zn 0,25% Selama 12 Jam	120

Gambar 18. Penyemaian Tiga Varietas Padi Sawah.....	120
Gambar 19 Penanaman Padi	120
Gambar 20. Pemupukan	120
Gambar 21. Pengamatan Tinggi Tanaman.....	121
Gambar 22. Pemeliharaan Tanaman	121
Gambar 23. Pengamatan Jumlah <i>Tiller</i> (Anakan).....	121
Gambar 24. Pengamatan Jumlah <i>Tiller</i> (Anakan) Produktif.....	121
Gambar 25. Pencabutan Biomasa Fase Vegetatif	122
Gambar 26. Pengamatan Waktu Berbunga	122
Gambar 27. Pengaplikasian Zn 0,5%.....	122
Gambar 28. Pencabutan Biomasa Fase Generatif	122
Gambar 29. Jumlah Bulir Per Malai	122
Gambar 30. Panen	122
Gambar 31. Pengamatan Gabah Hampa dan Gabah Bernas	123
Gambar 32. Penjemuran Gabah Kering Panen	123
Gambar 33. Proses Pemisahan Sekam dan Beras	123
Gambar 34. Proses Penderaan Benih Dengan Etanol 16% Selama 12 Jam.....	124
Gambar 35. Proses Uji Kecambah	124
Gambar 36. Pengamatan Kecambah	124

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Padi (*Oryza sativa* L.) merupakan tanaman yang menghasilkan produk sebagai sumber pangan utama bagi masyarakat Indonesia. Dimana produk yang dihasilkan oleh tanaman padi berupa gabah yang kemudian pada hilir tahap budidaya tanaman menghasilkan beras. Berdasarkan data Badan Pangan Nasional pada tahun 2023 produksi gabah di Indonesia menurun 2,05% dibandingkan dengan tahun 2022. Pada tahun 2022 tercatat produksi gabah di Indonesia sebesar 54.749.000 ton dan pada tahun 2023 turun menjadi 53.636.000 ton (Badan Pangan Nasional, 2023). Penurunan produksi gabah jika ditelisik secara hilirisasi maka ada banyak faktor yang berperan dalam penurunan produktivitas gabah yaitu mulai dari kesuburan tanah, kandungan unsur hara tanah, mikroba pada tanah, kualitas benih, teknik pengelolaan budidaya, teknik pengelolaan pra dan pasca panen.

Permintaan beras semakin meningkat seiring dengan pertambahan jumlah penduduk setiap tahunnya. Pertambahan penduduk setiap tahunnya memberikan implikasi yang nyata bagi ketersediaan dan kebutuhan pangan nasional. Dalam kurun waktu lima tahun terakhir impor beras tertinggi terjadi pada tahun 2023. Berdasarkan data Badan Pangan Nasional pada tahun 2023 Indonesia mengimpor beras sebanyak 3.908 ton, data ini menunjukkan kenaikan 833% dari tahun sebelumnya yaitu sebanyak 419 ton beras dengan tingkat konsumsi mencapai 116,77 kg/kapita (Badan Pangan Nasional, 2023). Hal ini menginterpretasikan begitu besarnya kekurangan dari ketersediaan beras sebagai sumber makanan pokok masyarakat di Indonesia. Selain dari faktor kesuburan tanah, teknik pengelolaan budidaya, teknik pengelolaan pra dan pasca panen ada peran variabel lain yang tidak dapat terikat secara artifisial yaitu iklim. Pada tahun 2023 telah

terjadinya anomali cuaca yaitu El Nino, dimana anomali cuaca El Nino ini juga memberikan implikasi yang cukup serius terhadap produktivitas padi.

Ketersediaan pangan sebagai upaya pemerintah dalam mewujudkan ketahanan pangan bagi masyarakat seharusnya bukan hanya menyediakan pangan secara kuantitas akan tetapi juga menyediakan pangan secara kualitas. Dalam hal ini pemerintah melalui badan terkait telah meneliti serta mengeluarkan varietas – varietas padi unggulan dimana sasaran yang dituju yaitu peningkatan produktivitas padi baik itu secara kuantitas maupun kualitas serta menghasilkan produk beras yang memiliki mutu tinggi, memiliki kandungan nutrisi yang baik bagi masyarakat serta berdaya saing, guna mewujudkan swasembada pangan dalam ketahanan pangan nasional yang berdaulat. Beberapa varietas yang sering dibudidayakan oleh petani sawah adalah varietas Ciherang dan Inpari 32. Beberapa tahun terakhir pemerintah melalui badan terkait telah melakukan riset dan mengeluarkan varietas baru yaitu varietas Nutri *Zinc*.

Inpari IR Nutri *Zinc* merupakan varietas padi sawah pertama di Indonesia yang mengandung Zn (*Zinc*) lebih tinggi, sekitar 25% lebih tinggi dibandingkan varietas lain. Kementerian Pertanian Indonesia melepas varietas ini pada tahun 2019 berdasarkan Surat Keputusan (SK) Menteri Pertanian No. 168/HK.540/C/01/2019. Kandungan *zinc* yang tinggi pada varietas IR Nutri *Zinc* memiliki potensi untuk mencegah *stunting*. *Stunting* adalah kondisi di mana pertumbuhan anak terganggu sehingga tinggi badannya lebih rendah dari standar usianya. Mengonsumsi pangan bergizi, termasuk beras yang kaya *zinc* seperti Inpari IR Nutri *Zinc*, dapat membantu mencegah *stunting*. Varietas ini memiliki kandungan Zn rata-rata 29,54 ppm dan potensi kandungan mencapai 34,51 ppm (Direktorat Jendral Tanaman Pangan, 2023).

Salah satu upaya pemerintah dalam menjaga asupan pangan nasional yang masyarakat dapat dilakukan dengan mengembangkan varietas unggul baru (VUB) fungsional yang ditujukan untuk kebutuhan spesifik. Padi fungsional ini dapat dikembangkan di berbagai daerah dan mampu berproduktivitas sesuai dengan

potensinya, namun diperlukan kajian uji lebih lanjut. Varietas unggul memiliki kemampuan signifikan dalam meningkatkan produktivitas padi, baik melalui peningkatan hasil potensial maupun ketahanan terhadap stres biotik dan abiotik (Sembiring, 2008).

Berdasarkan laporan UNICEF pada tahun 2022 angka malnutrisi anak di Indonesia adalah salah satu yang tertinggi di dunia 1 dari 10 balita mengalami *wasting* (kurus) dan 3 dari 10 anak mengalami *stunting* (bertubuh pendek). Malnutrisi pada ibu dan anak, khususnya dalam upaya preventif *stunting*, masih menjadi prioritas pada tahun 2022. Upaya untuk merevitalisasi layanan gizi esensial pun dipacu (UNICEF Indonesia, 2022).

Seiring dengan tingginya angka *stunting* sebesar 24,4% pada tahun 2021, berdasarkan hasil Studi Status Gizi Indonesia (SSGI) yang dilakukan oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan (Balitbangkes), Kementerian Kesehatan bekerjasama dengan Biro Pusat Statistik (BPS) dan didukung oleh Sekretariat Wakil Presiden RI. Untuk mengatasi masalah *stunting* yang cukup tinggi di Indonesia, Kementerian Pertanian melalui Direktorat Jenderal Tanaman Pangan, sejak tahun 2020 sampai tahun 2022 peduli terhadap percepatan penurunan *stunting* melalui Program Budidaya Padi IR Nutri *Zinc*.

Selain menyediakan pangan yang bergizi secara kualitas tentunya kuantitas produktivitas padi juga harus menjadi sorotan karena sangat penting dalam salah satu upaya menjaga ketahanan pangan nasional. Produktivitas tanaman haruslah didukung oleh ketersediaan hara yang baik. Pertumbuhan tanaman sangat membutuhkan unsur-unsur hara makro dan mikro. Unsur hara makro yang dibutuhkan seperti, C, H, O, N, S, Mg, P, K dan Ca, sedangkan unsur hara mikro yang dibutuhkan tanaman seperti, Fe, Zn, Cu, Mo dan Mn (Purba *et al.*, 2021). Pada fase vegetatif, tanaman membutuhkan fosfor (P) untuk pertumbuhan optimal dan percepatan pembungaan. Menurut Jones Jr. (2012), fosfor (P) memainkan peran penting dalam fase ini. Selain itu, selama proses pematangan buah dan

percepatan pembungaan, fosfor (P) dan kalium (K) sangat diperlukan oleh tanaman.

Kalium (K) adalah unsur hara makro esensial ketiga yang sangat penting untuk pertumbuhan tanaman, metabolisme, dan stabilisasi hasil tanaman (Huang *et al.*, 2022). Kalium mengaktifkan lebih dari 80 enzim dan berperan dalam berbagai proses fisiologis, seperti respirasi, fotosintesis, sintesis protein, translokasi fotoasimilasi, dan regulasi stomata (Perelman *et al.*, 2022).

Serapan kalium yang optimal pada jaringan batang tanaman padi pada fase pembentukan anakan sebesar 1,8 - 2,6 %, pada fase pembungaan 1,4 - 2 % dan pada fase pemasakan 1,5 - 2%. Apabila pada fase pembentukan anakan kandungan kalium pada jaringan tanaman padi < 1,5% serta pada fase pembungaan dan pemasakan kandungan kalium pada jaringan tanaman < 1,2% maka tanaman tersebut dapat dinyatakan dalam kondisi ambang kritis hara kalium (Linguist, 2020).

Kekurangan kalium dapat menyebabkan degradasi klorofil, peningkatan produksi spesies oksigen reaktif (ROS), dan penurunan aktivitas fotosintesis (Hafsi *et al.*, 2014). Kalium mempengaruhi proses fisiologi tanaman dengan mengatur berbagai fungsi penting. Salah satunya adalah kemampuannya untuk memodulasi proses fotosintesis, yang sangat dipengaruhi oleh keberadaan klorofil dalam daun tanaman. Selain itu, kalium membantu mengatur akumulasi dan translokasi nutrisi dalam tanaman, serta mempengaruhi transportasi karbohidrat. Kalium juga berperan dalam mengatur pembukaan dan penutupan stomata pada daun tanaman (Purba *et al.*, 2021).

Zn dan kalium (K) saling terkait dalam meningkatkan proses fisiologis tanaman, yang berujung pada peningkatan tinggi, pertumbuhan, dan kinerja tanaman. Zn dan K berperan dalam aktivitas metabolisme tanaman dan sintesis protein yang penting untuk pertumbuhan dan hasil tanaman. Penerapan pupuk yang mengandung kedua unsur ini secara bersamaan dapat meningkatkan kualitas

agronomi dan parameter hasil tanaman (Khan Ali *et al.*, 2018). Zn memainkan peran penting dalam enzim tanaman yang disebut karbonat anhidrase, yang terdapat di kloroplas dan sitoplasma. Kandungan Zn yang tinggi dapat meningkatkan aktivitas enzim anhidrase yang membantu transfer CO₂ dari bagian cair sel ke kloroplas saat fotosintesis dan meningkatkan konduktansi stomata serta pertukaran gas pada tanaman (Ahmed *et al.*, 2022). Selain itu, pasokan kalium (K) yang cukup memperbaiki efisiensi penggunaan air dengan menjaga keseimbangan osmotik, meningkatkan penyerapan air, dan pada akhirnya meningkatkan hasil panen serta efisiensi penggunaan air (Salem *et al.*, 2022).

Keterkaitan Zn dan kalium (K) terlihat jelas dalam peningkatan serapan nutrisi dan kinerja tanaman. Aplikasi Zn secara eksogen meningkatkan konsentrasi Zn dalam larutan tanah, yang memfasilitasi penyerapan Zn melalui proses difusi dan bagian akar setelah masa berbunga (Raza *et al.*, 2021). Selain itu, aplikasi Zn dapat meningkatkan sistem akar tanaman, yang pada akhirnya meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi (Jat *et al.*, 2013). Peningkatan penyerapan K pada biji-bijian juga terlihat ketika Zn diaplikasikan pada tanaman. Kedua unsur ini, Zn dan K, berkontribusi positif terhadap laju fotosintesis, laju transpirasi, konduktansi stomata, dan efisiensi penggunaan air. Hal ini mendukung peran K dalam osmoregulasi dan meningkatkan kinerja keseluruhan tanaman (Saady *et al.*, 2023).

Tanaman yang unggul tentunya memiliki sistem pertahanan yang baik dalam menjaga keberlangsungan hidup tanaman tersebut. Pada tanaman terdapat enzim – enzim yang memiliki peranan dan fungsi dalam mempertahankan keberlangsungan hidup tanaman tersebut terhadap stres baik stress biotik maupun stres abiotik. Salah satu sistem pertahanan tanaman yaitu pertahanan terhadap *Reactive Oxygen Species* (ROS). ROS dapat menyebabkan stres oksidatif, suatu kondisi di mana ada ketidakseimbangan antara produksi ROS dan kapasitas sel untuk mendetoksifikasi atau memperbaiki kerusakan yang disebabkan oleh ROS.

Stres oksidatif dapat merusak lipid, protein, dan DNA, yang pada akhirnya dapat mengganggu fungsi sel dan menyebabkan kematian sel. Meskipun ROS berpotensi merusak, ROS juga berfungsi sebagai molekul sinyal penting dalam tanaman, mengatur pertumbuhan sel, perkembangan, dan respon terhadap rangsangan lingkungan. ROS dapat memicu mekanisme pertahanan terhadap patogen, membantu menutup stomata untuk mengurangi kehilangan air selama kekeringan, dan berpartisipasi dalam penuaan alami tanaman. Produksi ROS meningkat sebagai respon terhadap stres lingkungan seperti kekeringan, salinitas, suhu ekstrem, dan serangan patogen, mengaktifkan jalur sinyal yang memicu ekspresi gen pertahanan dan produksi molekul pelindung.

Untuk mengendalikan tingkat ROS dan meminimalkan kerusakan, tanaman memiliki berbagai sistem antioksidan, baik enzimatik maupun non-enzimatik. Sistem antioksidan enzimatik meliputi enzim seperti superoksida dismutase (SOD), katalase, dan peroksidase. Peningkatan radikal bebas oksigen akan memicu pembentukan enzim SOD (*Superoxide Dismutase*) yang mendorong pembentukan H_2O_2 secara berlebihan. Superoksida Dismutase (SOD) adalah enzim kunci dalam sistem pertahanan tumbuhan terhadap stres oksidatif. (Sopandie, 2013). Enzim SOD sangat penting dalam menjaga keseimbangan redoks seluler, yang krusial untuk kesehatan dan pertumbuhan tanaman. Enzim SOD merupakan metaloenzim yang aktivitasnya bergantung pada kofaktor logam seperti Cu, Zn, Fe, dan Mn. Berdasarkan kofaktor ini, SOD diklasifikasikan menjadi tiga jenis utama: Cu/Zn-SOD, Fe-SOD, dan Mn-SOD. Cu/Zn-SOD ditemukan di dalam sitosol, ruang ekstraseluler, dan kloroplas pada tumbuhan tingkat tinggi. Di sitosol, Cu/Zn-SOD berperan dalam menjaga keseimbangan redoks internal, sementara di kloroplas, enzim ini melindungi dari stres oksidatif yang dihasilkan selama proses fotosintesis. Fe-SOD juga berlokasi di kloroplas dan memainkan peran serupa dalam menjaga integritas dan fungsi fotosintetik organel ini (Halliwell, 2015).

Zinc (Zn) adalah elemen esensial yang berperan penting dalam berbagai fungsi biokimia dan fisiologis pada tanaman. Kandungan *zinc* yang optimum pada

jaringan batang tanaman padi adalah 25-50 ppm (Linguist, 2020). Salah satu fungsi penting Zn adalah mengaktivasi enzim superoksida dismutase (SOD), khususnya Cu/Zn-SOD. Zn berfungsi sebagai kofaktor yang diperlukan untuk aktivitas enzimatis Cu/Zn-SOD. Dengan mengikat Zn, struktur enzim SOD menjadi stabil dan aktif, yang memungkinkan enzim ini untuk mengkatalisasi dismutasi radikal superoksida menjadi oksigen dan hidrogen peroksida, melindungi sel-sel tanaman dari kerusakan oksidatif. Penelitian menunjukkan bahwa aplikasi Zn dengan cara tertentu mempengaruhi aktivitas enzim superoksida dismutase (SOD) pada daun padi. Aplikasi tanah dengan 5 mg Zn/kg tanah, bersama dengan penyemprotan daun menggunakan larutan ZnSO_4 0,5%, adalah metode yang paling efektif, meningkatkan aktivitas enzim SOD sebesar 27% dibandingkan tanpa aplikasi Zn. Jika diterapkan secara terpisah, penyemprotan daun dengan ZnSO_4 0,5% dan aplikasi tanah masing-masing meningkatkan aktivitas enzim SOD sebesar 20% dan 10,5% dibandingkan tanpa pengaplikasian Zn (Mathpal *et al.*, 2021). Enzim SOD secara keseluruhan memainkan peran penting dalam pertahanan tanaman terhadap stres oksidatif yang disebabkan oleh kondisi lingkungan seperti kekeringan, salinitas, dan serangan patogen. Dengan mengurangi dampak negatif radikal bebas, enzim SOD membantu menjaga integritas seluler, mendukung pertumbuhan, dan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap berbagai tantangan lingkungan, sehingga memastikan adaptasi dan kelangsungan hidup tanaman.

Penyemprotan daun dengan dosis 0,5% ZnSO_4 pada perlakuan 30 dan 60 HST dapat meningkatkan serapan N, P, dan K. Selain itu. Selain itu penyemprotan dengan dosis 0,5% ZnSO_4 pada perlakuan 30 dan 60 HST juga memberikan implikasi terhadap inisiasi pembentukan malai, bobot 1000 butir gabah dan produktivitas yang cukup baik (Sisodiya *et al.*, 2021). Hasil panen yang lebih tinggi dari pemupukan Zn terjadi karena Zn membantu berbagai proses penting dalam tanaman. *Zinc* berperan dalam sistem enzim, regulasi pertumbuhan auksin, dan meningkatkan sintesis serta transportasi karbohidrat ke biji-bijian (Sachdev *et al.*, 1988; Pedda Babu *et al.*, 2007). Senada dengan penelitian (Panwar *et al.*, 2023) aplikasi penyemprotan ZnSO_4 pada fase vegetatif padi berusia 30 dan 45

HST dan fase generatif dengan konsentrasi 0,5% terbukti paling efektif dalam meningkatkan total penyerapan Zn, dengan penyerapan *zinc* meningkat sekitar 79,35% dibandingkan tanaman yang tidak diberikan perlakuan Zn. Serapan total Zn tertinggi ditemukan pada tanaman padi yang disemprot tiga kali dengan ZnSO_4 0,5%. Zn yang diaplikasikan pada daun dapat dengan mudah diserap oleh epidermis daun, lalu dipindahkan melalui floem ke jaringan tanaman yang sedang berkembang dengan bantuan berbagai protein pengangkut. Penyemprotan Zn pada tahap awal reproduksi memungkinkan transfer Zn yang efisien ke bagian reproduktif tanaman, seperti biji.

Konsentrasi Zn dalam biji-bijian berkisar antara 22,36 hingga 46,57 ppm dan pada jerami 19,74 hingga 43,95 ppm Selain itu, Zn yang cukup di rizosfer menjaga konsentrasi Zn yang tinggi dalam biji-bijian, meningkatkan jumlah anakan produktif per rumpun, dan memperbaiki serapan Zn, yang semuanya berkontribusi pada hasil biji-bijian yang lebih baik (Jena *et al.*, 2006).

Dalam rangka mewujudkan ketersediaan pangan yang berkualitas, memiliki mutu nilai gizi tinggi, tentunya kita juga harus melihat secara holistik dalam konsep budidaya. Selain mempertimbangkan dari kecocokan komoditas serta varietas terhadap topografi dan iklim, ketersediaan unsur hara, maka hal terpenting lainnya yang harus diperhatikan menjadi perhatian khusus adalah ketersediaan benih yang berkualitas. Benih yang berkualitas akan menghasilkan tanaman unggul yang nantinya akan memberikan implikasi terhadap pertumbuhan yang optimal dan produktivitas yang baik.

Benih yang disimpan dalam jangka waktu yang semakin panjang atau diusangkan secara intensif cenderung mengalami penurunan viabilitas. Benih merupakan faktor kunci yang mempengaruhi hasil tanaman, sehingga peranannya sangat penting dalam proses produksi tanaman. Kualitas benih tercakup dalam berbagai uji, seperti uji germinasi, uji kesehatan benih, dan uji varietas yang menilai faktor-faktor fisiologis dan fisik benih untuk menentukan tingkat kualitasnya (ISTA, 2022). Perbedaan dalam vigor dan viabilitas benih dipengaruhi oleh kondisi

lingkungan selama perkembangan benih di lapangan, seperti ketersediaan unsur hara, intensitas cahaya, suhu, dan air. Persaingan tanaman akibat perbedaan kerapatan tanam juga memengaruhi penggunaan sumber daya lingkungan, yang berdampak langsung pada kualitas benih yang dihasilkan oleh tanaman induk. Selain itu, faktor genetik juga memainkan peran penting karena setiap varietas memiliki sifat genetik yang unik, mempengaruhi kemampuan menyerap unsur hara dan akhirnya menentukan mutu benih yang dihasilkan (Purnamasari, 2015).

Metode pengusangan cepat dapat digunakan sebagai instrumen memperkirakan vigor dan daya simpan benih dengan mempercepat penurunan mutu, menyerupai kemunduran alami akibat faktor suhu dan kelembaban (McDonald, 1999). Tanda-tanda kemunduran benih termasuk perkecambahan yang tertunda, pertumbuhan lambat, meningkatnya kerentanan terhadap stres lingkungan (Walters, 1998), penurunan persentase perkecambahan, dan meningkatnya produksi kecambah lemah (Veselova & Veselovsky, 2003).

Zn merupakan bagian dari enzim seperti superoksida dismutase dan katalase yang mencegah stres oksidatif pada sel tanaman (Shehata *et al.*, 2009). Penelitian (Slaton *et al.*, 2005) menunjukkan bahwa pemberian Zn pada 30 HST dan 45 HST memiliki korelasi tinggi dengan hasil panen padi. Penelitian yang dilakukan oleh (Saikh *et al.*, 2022) dilaporkan bahwa pengaplikasian ZnSO_4 dengan metode semprot daun konsentrasi 0,5% yang diaplikasikan pada saat penginisasian malai dan 1 minggu setelah pembungaan menunjukkan hasil yang signifikan terhadap jumlah bulir gabah/malai serta produktivitas gabah sebanyak 5,09 t/ha dibandingkan dengan tanpa perlakuan (kontrol) yang hanya menghasilkan produksi 3,38 t/ha. Dalam penelitian lainnya mengatakan penyemprotan ZnSO_4 dengan konsentrasi 0,5 % sebanyak tiga kali yaitu pada 50 HST, 60 HST dan 70 HST dapat meningkatkan bobot 1000 butir gabah dan hasil produktivitas gabah panen (Hashim *et al.*, 2021). Penyerapan Zn tertinggi terjadi pada tanaman yang disemprot tiga kali dengan konsentrasi tersebut. Zn diserap melalui epidermis daun dan dipindahkan ke jaringan tanaman yang berkembang melalui floem, yang meningkatkan transfer Zn ke bagian reproduktif tanaman seperti biji.

Penggunaan Zn juga meningkatkan distribusi nutrisi ke organ generatif seperti malai dan akumulasi brangkasan kering total (Amanullah dan Inamullah, 2016). Selain itu, pemberian Zn melalui daun dapat meningkatkan hasil gabah sekitar 30% (Farooq *et al.*, 2018). Peningkatan hasil gabah yang signifikan ini kemungkinan juga mempengaruhi kualitas daya simpan benih. Dengan peningkatan hasil gabah, benih yang dihasilkan biasanya memiliki kualitas yang lebih baik dan daya simpan yang lebih tinggi karena benih yang lebih sehat dan bernutrisi. Peningkatan akumulasi bahan kering dan distribusi nutrisi yang lebih baik berkontribusi pada daya simpan benih yang lebih baik, yang penting untuk keberhasilan budidaya jangka panjang.

Benih yang berkualitas tentunya viabilitas dan vigornya harus tetap terjaga dengan baik. Benih padi yang disimpan dalam kondisi tidak optimal, seperti kelembaban tinggi, suhu tidak stabil, atau penyimpanan yang berkepanjangan, dapat meningkatkan produksi ROS. Defisiensi *zinc* (Zn) dapat menyebabkan gangguan pada fungsi dan integritas seluler karena Zn memiliki peran penting dalam melindungi sel dari reaksi-reaksi merusak yang disebabkan oleh ROS (Cakmak, 2000). Dalam hal ini *zinc* (Zn) berperan penting dalam melindungi benih dari kerusakan oksidatif dengan mengaktifkan enzim antioksidan seperti superoksida dismutase (SOD). Selain itu, Zn mendukung sintesis protein dan metabolisme karbohidrat yang penting untuk perkembangan awal benih dan keberhasilan perkecambahan. Zn juga memengaruhi pertumbuhan akar dan sistem vaskular benih, yang krusial dalam menyerap air dan unsur hara selama fase awal pertumbuhan. Penggunaan benih dengan konsentrasi *zinc* (Zn) yang tinggi telah terbukti meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman, terutama pada kondisi tanah yang kekurangan Zn. Penelitian yang dilakukan (Yilmaz *et al.*, 1998; Prom-u-thai *et al.*, 2012; Boonchuay *et al.*, 2013) menunjukkan bahwa aplikasi Zn melalui daun dapat meningkatkan konsentrasi Zn pada gabah padi, yang berdampak positif pada kualitas benih dan hasil panen. Dengan konsentrasi Zn yang lebih tinggi dalam benih padi, beberapa manfaat agronomi yang signifikan dapat dicapai, termasuk peningkatan vigor bibit, viabilitas benih yang lebih baik, hasil panen yang lebih tinggi, dan pengurangan jumlah benih yang

diperlukan untuk penanaman. Manfaat ini terutama terlihat pada tanah yang kekurangan Zn (Phuphong *et al*, 2016). Zn berperan penting dalam berbagai proses metabolik tanaman yang mendukung kesehatan dan umur simpan benih. Dengan demikian, suplementasi Zn dapat mengurangi penurunan viabilitas benih, menjaga kondisi optimal untuk perkecambahan dan pertumbuhan benih.

1.2 Rumusan Masalah

1. Apakah aplikasi *zinc* (Zn) berpengaruh terhadap pertumbuhan, hasil serapan kalium (K) dan kandungan Zn dalam beras pada tanaman padi sawah (*Oryza sativa* L.) ?
2. Apakah perbedaan varietas padi sawah (*Oryza sativa* L.) berpengaruh terhadap pertumbuhan, hasil, serapan kalium (K) dan kandungan Zn dalam beras?
3. Apakah pertumbuhan, hasil, serapan kalium (K) dan kandungan Zn dalam beras terhadap aplikasi *zinc* (Zn) dipengaruhi oleh varietas ?
4. Apakah aplikasi *zinc* (Zn) dapat meningkatkan kualitas daya simpan dugaan benih padi sawah (*Oryza sativa* L.) ?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh aplikasi *zinc* (Zn) pada tanaman padi sawah (*Oryza sativa* L.) terhadap pertumbuhan, hasil, serapan kalium (K) dan kandungan Zn dalam beras.
2. Mengetahui pengaruh varietas terhadap pertumbuhan, hasil, serapan kalium (K) dan kandungan Zn dalam beras pada padi sawah (*Oryza sativa* L.).
3. Mengetahui apakah terdapat pengaruh interaksi antara aplikasi *zinc* (Zn) dan varietas padi (*Oryza sativa* L.) terhadap pertumbuhan, hasil, serapan kalium (K), serta kandungan *zinc* dalam beras.
4. Mengetahui pengaruh aplikasi *zinc* (Zn) pada tanaman padi sawah (*Oryza sativa* L.) terhadap kualitas daya simpan dugaan benih.

1.4 Kerangka Pemikiran

Padi (*Oryza sativa* L.) adalah komoditas yang sangat penting dan menjadi sumber makanan pokok bagi penduduk Indonesia. Sebanyak 95% penduduk Indonesia mengonsumsi beras sebagai bahan makanan utama. Kandungan gizi yang terdapat dalam beras menjadikan padi sebagai komoditas esensial untuk memenuhi kebutuhan pangan (Lutfi *et al.*, 2013). Sebagai makanan pokok, beras sangat sulit digantikan oleh bahan pangan lain, sehingga ketersediaannya menjadi prioritas utama bagi masyarakat untuk memenuhi kebutuhan karbohidrat. Beras menyediakan karbohidrat yang membuat kenyang dan mudah diubah menjadi energi (Donggulo *et al.*, 2017).

Penurunan produksi padi disebabkan oleh alih fungsi lahan yang berubah menjadi perumahan atau kawasan industri, serta transformasi dari sektor agraris ke sektor non-agraris. Akibat dari berkurangnya lahan pertumbuhan produksi padi menjadi melandai (Sanny, 2010).

Selain dari faktor alih fungsi lahan ada faktor abiotik lainnya seperti anomali cuaca, degradasi unsur hara tanah mulai dari pH tanah yang masam, berkurangnya aktivitas mikroba baik bagi tanah, sampai dengan masalah kekeringan yang disebabkan penurunan fungsi tanah dalam mengikat air dan menyediakan nutrisi bagi tanaman. Disisi lain ada faktor biotik seperti hama penyakit tanaman dan gulma. Pemakaian pupuk yang berlebih dapat merusak tanah lahan pertanian selain itu juga dapat menyebabkan tanaman mudah terserang oleh hama. Salah satu contoh dampak pemakaian pupuk Urea berlebih akan menyebabkan tanaman mudah rebah dan lebih disukai oleh hama. Dalam waktu yang Panjang akan berdampak juga pada kondisi kesehatan tanah, dimana tanah akan menjadi padat dan pejal sehingga pori-pori tanah menjadi berkurang dan tanah kehilangan kemampuan dalam mengikat air. Oleh sebab itu Kementrian Pertanian RI menginstruksikan pemakaian pupuk harus menggunakan metode 5T yaitu Tepat Dosis, Tepat Waktu, Tepat Bentuk, Tepat Sasaran dan Tepat Cara.

Indonesia merupakan negara yang terkenal sebagai negara agraris dengan negara yang memiliki tanah subur, akan tetapi seiring berjalannya waktu telah terjadi degradasi dan pengalih fungsian lahan pertanian yang mana akan berdampak mengancam ketahanan pangan nasional. Padi yang merupakan makanan pokok sumber makanan utama bagi masyarakat Indonesia mengalami penurunan produktivitas. Diketahui berdasarkan data Badan Pangan Nasional pada tahun 2023 produksi gabah di Indonesia menurun 2,05% dibandingkan dengan tahun 2022. Pada tahun 2022 tercatat produksi gabah di Indonesia sebesar 54.749.000 ton dan pada tahun 2023 turun menjadi 53.636.000 ton (Badan Pangan Nasional, 2023). Untuk menjadi negara yang adidaya negara bukan hanya harus memastikan ketersediaan pangan secara kuantitas akan tetapi negara juga harus menyediakan bahan pangan secara kualitas. Di mana sumber pangan yang berkualitas dapat membuat masyarakat menjadi sehat dan generasi penerus bangsa menjadi cerdas.

Berdasarkan laporan UNICEF pada tahun 2022 angka malnutrisi anak di Indonesia adalah salah satu yang tertinggi di dunia, 1 dari 10 balita mengalami *wasting* (kurus) dan 3 dari 10 anak mengalami *stunting* (bertubuh pendek). Malnutrisi ibu dan anak, khususnya pencegahan *stunting*, masih menjadi prioritas pada tahun 2022. Upaya untuk merevitalisasi layanan gizi esensial pun dipacu (Laporan UNICEF 2022).

Stunting adalah kondisi gagal pertumbuhan pada anak akibat kekurangan gizi dalam jangka waktu yang lama. Kondisi ini menyebabkan anak lebih pendek dibandingkan anak seusianya yang tumbuh normal. Penyebab utamanya adalah asupan makanan yang tidak memenuhi kebutuhan gizi yang diperlukan.

Seiring dengan tingginya angka *stunting* sebesar 24,4% tahun 2021 hasil Studi Status Gizi Indonesia (SSGI) yang dilakukan oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan (Balitbangkes) Kementerian Kesehatan bekerjasama dengan Biro Pusat Statistik (BPS) dan didukung oleh Sekretariat Wakil Presiden RI. Untuk mengatasi masalah *stunting* yang cukup tinggi di Indonesia, Kementerian Pertanian melalui Direktorat Jenderal Tanaman Pangan, sejak tahun

2020 sampai tahun 2022 peduli terhadap percepatan penurunan *stunting* melalui Program Budidya Padi Nutri *Zinc*.

Zinc merupakan unsur hara mikro esensial yang memiliki peran penting bagi kesehatan tubuh manusia dan tanaman. Pada tanaman, *zinc* memiliki peran dalam mengoptimalkan pertumbuhan tanaman, hasil panen, dan meningkatkan kualitas gizi (Hamam et al., 2018). Namun, ketersediaan *zinc* dalam tanah umumnya hanya sekitar 50% dari standar kebutuhan tanaman, yaitu 1,5 ppm (Mishra & Dash, 2014). Oleh karena itu, perlu dilakukan penginduksian unsur mikro *zinc* secara eksogen pada tanaman untuk meningkatkan ketersediaannya dalam tanah. Menurut Alloway (2008), dosis aplikasi pupuk *zinc* sulfat berkisar antara 4,5-34 kg/ha. Pemupukan *zinc* dengan dosis 16 kg/ha terbukti mampu meningkatkan berat gabah padi dan kandungan *zinc* dalam beras secara signifikan (Sunar, 2021).

Penambahan unsur mikro *zinc* (Zn) pada tanaman padi dapat dilakukan dengan cara rekayasa genetik seperti pada padi varietas IR Nutri *Zinc*. Selain dengan cara rekayasa genetik penambahan unsur mikro Zn dapat dilakukan dengan cara menginduksi secara eksogen dengan cara pemupukan menggunakan pupuk Zn pada lahan sawah maupun dengan cara penyemprotan pada tanaman padi.

Pemberian unsur mikro *zinc* (Zn) pada fase vegetatif dapat meningkatkan berat tajuk pada tanaman, meningkatkan tandan biji permalai dan jumlah biji permalai (Mustafa, 2011). Selain itu, pengaplikasian *zinc* pada fase generatif atau saat pembungaan dapat mengurangi risiko rontoknya bakal buah (Alloway, 2008). Pengaplikasian semprot ZnSO_4 dengan konsentrasi 0,5% pada padi, baik pada fase vegetatif (30 dan 45 HST) maupun fase generatif, terbukti paling efektif dalam meningkatkan penyerapan Zn, dengan peningkatan sekitar 79,35% dibandingkan kontrol (Panwar et al., 2023). Pada penelitian yang dilakukan oleh (Saikh et al, 2022) dilaporkan bahwa pengaplikasian ZnSO_4 dengan metode semprot daun konsentrasi 0,5% yang diaplikasikan pada saat penginisasian malai dan 1 minggu setelah pembungaan menunjukkan hasil yang signifikan terhadap jumlah bulir gabah/malai serta produktivitas gabah sebanyak 5,09 t/ha

dibandingkan dengan tanpa perlakuan (kontrol) yang hanya menghasilkan produksi 3,38 t/ha. Senada dengan penelitian (Hashim *et al.*, 2021) penyemprotan ZnSO_4 dengan konsentrasi 0,5 % sebanyak tiga kali yaitu 50 HST, 60 HST dan 70 HST dapat meningkatkan bobot 1000 butir dan hasil produktivitas gabah. Penyerapan Zn tertinggi terjadi pada tanaman yang disemprot tiga kali dengan konsentrasi tersebut. Zn diserap melalui epidermis daun dan dipindahkan ke jaringan tanaman yang berkembang melalui floem, yang meningkatkan transfer Zn ke bagian reproduktif tanaman seperti biji.

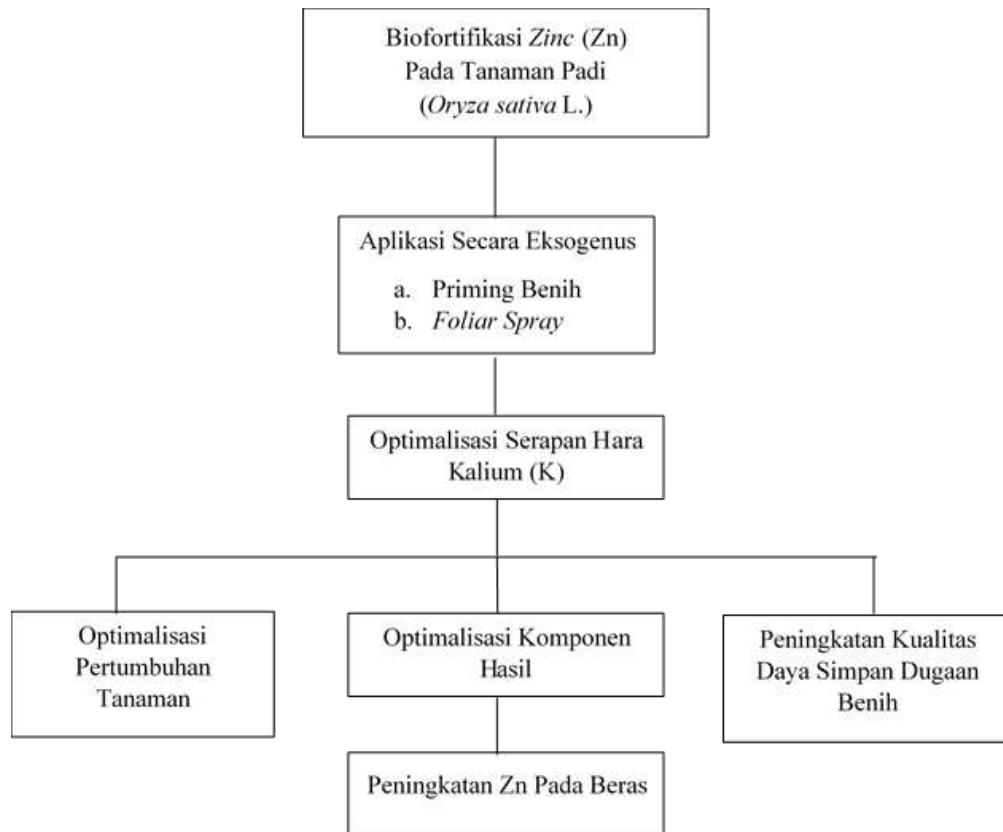
Kalium (K) adalah unsur hara makro esensial yang penting untuk pertumbuhan tanaman, metabolisme, dan stabilisasi hasil (Huang *et al.*, 2022). K mengaktifkan lebih dari 80 enzim dan terlibat dalam proses fisiologis seperti fotosintesis dan regulasi stomata (Perelman *et al.*, 2022). Pada jaringan batang tanaman padi, serapan kalium (K) optimal adalah 1,8-2,6% pada fase pembentukan anakan, 1,4-2% pada fase pembungaan, dan 1,5-2% pada fase pemasakan. Apabila kalium <1,5% pada fase anakan serta pada fase pembungaan dan pemasakan kalium <1,2% ini mengindikasikan bahwa tanaman padi dalam kondisi kritis hara kalium (Agronomy Research & Information Center, 2020). Zn dan K berinteraksi dalam meningkatkan metabolisme, sintesis protein, dan kualitas tanaman, sehingga penerapan pupuk yang mengandung kedua unsur ini dapat meningkatkan hasil tanaman (Khan Ali *et al.*, 2018).

Biofortifikasi adalah salah satu upaya di bidang pertanian untuk meningkatkan kandungan gizi pangan yang merupakan salah satu faktor penting dalam ketahanan pangan nasional. Biofortifikasi beras menjadi penting sebagai salah satu inovasi dalam memperbaiki mutu gizi beras melalui peningkatan kandungan zat gizi, di antaranya mineral besi dan *zinc* (Indrasari & Kristamtini, 2018). *Zinc* (Zn) memiliki peran penting dalam pertanian, tidak hanya dalam mengatasi masalah *stunting* pada tanaman tetapi juga dalam meningkatkan serapan kalium, aktivitas enzim superoksida dismutase (SOD), dan kualitas benih. Kekurangan Zn dapat menyebabkan *stunting*, menghambat pertumbuhan tanaman, dan mengganggu berbagai proses fisiologis. Dengan suplai Zn yang cukup, tanaman

dapat memperbaiki pertumbuhan dan meningkatkan penyerapan kalium, yang esensial untuk fotosintesis, transportasi nutrisi, dan regulasi air. Selain itu, Zn adalah kofaktor penting bagi enzim SOD, enzim yang melindungi sel dari kerusakan oksidatif yang disebabkan oleh ROS (*Reactive Oxygen Species*). Peningkatan aktivitas enzim SOD membantu mengurangi stres oksidatif, menjaga integritas sel, dan meningkatkan viabilitas benih. Zn juga memperlambat kemunduran benih selama penyimpanan dengan mengurangi kerusakan oksidatif, memastikan benih tetap dalam kondisi optimal untuk perkecambahan dan pertumbuhan awal tanaman. Dengan demikian, aplikasi Zn dengan dosis dan waktu yang tepat dapat memperbaiki kesehatan tanaman, meningkatkan aktivitas antioksidan, dan menghasilkan benih berkualitas tinggi dengan daya simpan yang lebih lama.

Tanaman padi memerlukan nutrisi yang mencukupi untuk mencapai produktivitas yang optimal. Unsur hara makro seperti C, H, O, N, S, Mg, P, K, dan Ca, serta unsur hara mikro seperti Fe, Zn, Cu, Mo, dan Mn sangat penting dalam memenuhi kebutuhan tanaman (Purba *et al.*, 2021). Fosfor (P) khususnya penting untuk pertumbuhan vegetatif dan pembungaan tanaman, sedangkan kalium (K) memainkan peran krusial dalam fotosintesis, transportasi nutrisi, dan regulasi stomata (Jones Jr., 2012; Purba *et al.*, 2021). Zinc (Zn) juga berperan vital dengan meningkatkan efisiensi penyerapan K melalui pemeliharaan integritas sel dan aktivitas enzim, serta mendukung proses fotosintesis dan metabolisme energi tanaman (Purba *et al.*, 2021). Dengan memperhatikan semua ini, ketersediaan nutrisi yang baik seperti P, K, dan Zn menjadi kunci dalam meningkatkan produktivitas dan kualitas tanaman padi. Dengan peningkatan konsentrasi Zn dalam benih padi, manfaat agronomi yang signifikan dapat diperoleh, termasuk peningkatan vigor bibit, viabilitas benih, hasil panen yang lebih tinggi, dan pengurangan jumlah benih yang diperlukan untuk penanaman, terutama pada tanah yang kekurangan Zn (Phuphong *et al.*, 2016). Selain itu, kadar Zn yang lebih tinggi juga dapat meningkatkan kualitas daya simpan benih, berkat perannya dalam berbagai proses metabolik yang mendukung kesehatan dan umur simpan benih.

Bedasarkan hal diatas maka perlu dilakukan penelitian terkait metode biofortifikasi *zinc* (Zn) dengan cara aplikasi secara eksogen :



Gambar 1. Bagan Kerangka Pemikiran

1.5 Hipotesis

1. Pengaplikasian *inc* (Zn) memberikan pengaruh pada pertumbuhan, hasil, kandungan kalium pada jaringan tanaman, serta kandungan Zn dalam beras.
2. Perbedaan varietas memberikan pengaruh pada pertumbuhan, hasil, kandungan kalium pada jaringan tanaman, serta kandungan Zn dalam beras.

3. Terdapat pengaruh interaksi antara aplikasi *zinc* (Zn) dan varietas padi pada pertumbuhan, hasil, serapan kalium (K), serta kandungan *zinc* dalam beras.
4. Aplikasi *zinc* (Zn) pada tanaman padi sawah (*Oryza sativa* L.) berpengaruh pada peningkatan kualitas daya simpan dugaan benih.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Padi

Tanaman padi (*Oryza sativa* L.) adalah tanaman pangan semusim yang berbentuk rumput dan tumbuh berumpun. Di Indonesia, padi banyak dibudidayakan karena memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi terhadap berbagai kondisi lingkungan. Padi merupakan tanaman pertanian kuno yang berasal dari Benua Asia dan Afrika Barat, dengan sejarah penanaman yang dimulai sekitar tahun 3.000 SM di Zhejiang, Cina. Menurut USDA (2017) yang dikutip dalam Kurniawan (2020), padi diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom : *Plantae*
Divisi : *Spermatophyta*
Class : *Monocotyledoneae*
Ordo : *Poales*
Famili : *Gramineae*
Genus : *Oryza*
Spesies : *Oryza sativa* L.

Tanaman padi memiliki dua kelompok organ utama yaitu organ vegetatif dan organ generatif. Organ vegetatif mencakup akar, batang, dan daun, sedangkan organ generatif meliputi malai, bunga, dan gabah. Pertumbuhan padi terbagi menjadi tiga fase utama: vegetatif, generatif, dan pemasakan. Pada fase vegetatif, tanaman mengalami peningkatan tinggi, jumlah anakan, dan luas daun. Untuk varietas padi dengan siklus hidup pendek (120 hari), fase ini berlangsung sekitar 55 hari, sementara untuk varietas padi dengan siklus hidup panjang (150 hari), fase ini berlangsung sekitar 85 hari. Fase generatif, yang dimulai dari

pembentukan malai hingga pembungaan, berlangsung selama sekitar 35 hari pada kedua jenis varietas. Fase pemasakan, yang terjadi dari pembungaan hingga tanaman siap dipanen, membutuhkan waktu sekitar 30 hari (Rahayu, 2017).

Tanaman padi memiliki akar berbentuk serabut yang tumbuh dari lembaga dan terus berkembang masuk ke dalam tanah. Sekitar 5-8 hari setelah akar serabut pertama muncul, akar-akar baru tumbuh dari batang pendek dalam bentuk akar serabut kecil dengan bulu-bulu akar berwarna putih (Budi, 2014).

2.1.1 Morfologi Tanaman Padi

Padi adalah tanaman berumur pendek yang biasanya memiliki siklus hidup kurang dari satu tahun dan hanya menghasilkan satu kali panen. Setelah berbuah dan dipanen, tanaman padi tidak akan tumbuh kembali seperti sebelumnya, melainkan mati. Berdasarkan Hasanah (2007), tanaman padi terbagi menjadi dua bagian utama, yaitu:

2.1.1.1 Bagian Vegetatif

a. Akar

Akar adalah bagian dari tanaman yang berperan dalam menyerap air dan nutrisi dari tanah serta mengangkutnya ke bagian atas tanaman. Pada tanaman padi, terdapat beberapa jenis akar: (1) akar tunggang, yang tumbuh saat benih berkecambah; (2) akar serabut, yang muncul setelah tanaman berusia 5-6 hari, berkembang dari akar tunggang yang berubah menjadi akar serabut; (3) akar rumput, yang muncul dari akar tunggang dan akar serabut, berfungsi sebagai saluran pada kulit akar bagian luar dan penting dalam penyerapan air dan nutrisi; (4) akar tanjung, yang tumbuh dari ruas batang bagian bawah.

b. Batang

Tanaman padi memiliki batang yang beruas-ruas, dengan panjang batang yang bervariasi tergantung jenisnya. Padi varietas unggul biasanya memiliki batang yang lebih pendek dibandingkan dengan padi lokal. Sementara itu, jenis padi yang tumbuh di tanah rawa dapat mencapai panjang antara 2 hingga 6 meter.

c. *Tiller* (Anakan)

Tanaman padi membentuk rumpun bersama anakan yang tumbuh di dasar batang. Anakan ini berkembang secara bertahap, mulai dari anakan pertama, kemudian anakan kedua, anakan ketiga, dan seterusnya.

d. Daun

Tanaman yang termasuk dalam keluarga rumput-rumputan memiliki daun dengan bentuk dan susunan yang bervariasi. Setiap jenis tanaman memiliki karakteristik daun yang unik. Daun padi dapat dikenali dari adanya sisik dan daun telinga, yang membedakannya dari jenis rumput lainnya. Bagian-bagian daun padi meliputi:

1. Helaian Daun

Helaian daun padi terletak di sepanjang batang dan berbentuk memanjang seperti pita. Panjang dan lebar helai daun padi beragam tergantung pada varietasnya.

2. Pelepah Daun

Pelepah daun adalah bagian yang membungkus batang padi. Fungsinya adalah untuk memberikan dukungan pada ruas batang yang memiliki jaringan lunak, dan ini selalu terjadi pada tanaman padi.

3. Lidah Daun

Lidah daun berada di perbatasan antara helaian daun dan upih. Panjang lidah daun bervariasi tergantung pada varietas padi yang ditanam, begitu pula dengan warnanya, yang juga berbeda-beda sesuai varietas.

2.1.1.2 Bagian Generatif

a. Malai

Malai merupakan kumpulan bunga padi (*spikelet*) yang muncul dari buku teratas. Bulir-bulir padi terdapat pada cabang pertama dan kedua, dengan sumbu utama malai berada di ruas terakhir batang. Panjang malai bervariasi tergantung pada varietas padi dan metode bercocok tanam yang digunakan, dapat dikategorikan menjadi tiga jenis: pendek (kurang dari 20 cm), sedang (20-30 cm), dan panjang (lebih dari 30 cm).

b. Buah Padi

Buah padi yang sering disebut gabah, merupakan ovarium yang telah matang dan bersatu dengan lemma serta palea. Gabah merupakan hasil dari proses penyerbukan dan pembuahan, terdiri dari beberapa bagian: embrio (calon batang dan daun), endosperm (bagian besar dari buah atau biji padi), dan bekatul (bagian berwarna cokelat).

c. Gabah

Gabah memiliki keaneka ragaman bentuk, tergantung dengan varietas. Genotipe yang memiliki hasil gabah tinggi ditandai oleh tingginya persentase gabah isi. Semakin tinggi persentase gabah isi suatu genotipe semakin tinggi produktivitas genotipe tersebut (Herdiyanti *et al*, 2021)

2.2 Stadia Pertumbuhan Tanaman Padi

Menurut Makarim dan Suhartatik (2009), pertumbuhan padi dapat dibagi menjadi sepuluh stadia dalam tiga fase utama:

a. Stadia 0 Germinasi

Pada fase ini, benih mulai berkecambah dan muncul dari tanah. Di hari kedua atau ketiga setelah penyemaian, daun pertama akan menembus koleoptil. Pada akhir fase ini, daun pertama mulai tampak meski masih melengkung, dan bakal akar mulai memanjang.

b. Stadia 1 Pertunasan (*Seedling*)

Fase ini dimulai ketika benih berubah menjadi bibit dan daun pertama tumbuh tegak, berlanjut hingga munculnya anakan pertama dan terbentuknya minimal lima daun. Selama fase ini, daun terus tumbuh dengan kecepatan satu daun setiap 3-4 hari.

c. Stadia 2 Pembentukan Anakan (*Tillering*)

Pada fase ini, pembentukan anakan pertama dimulai dan berlangsung sampai jumlah anakan maksimum tercapai. Anakan muncul dari tunas aksialar pada buku batang dan terus berkembang hingga tanaman memasuki fase pemanjangan batang.

d. Stadia 3 Pemanjangan Batang (*Stem Elongation*)

Pada fase ini, tanaman mengalami pemanjangan batang sebelum malai terbentuk atau setelah jumlah anakan maksimum tercapai.

e. Stadia 4 Pembentukan Malai Sampai Bunting (*Panicle Initiation to Booting*)

Malai mulai terbentuk pada ruas buku utama dan kemudian pada anakan dengan pola yang tidak teratur. Bakal malai (primordia) muncul sebagai kerucut putih sepanjang 1,0-1,5 mm dan terus berkembang ke atas di dalam pelepah daun bendera, menyebabkan pelepah daun bendera menggelembung.

f. Stadia 5 Keluarnya Malai (*Heading Stage*)

Pada fase ini, malai mulai muncul dari pelepah daun bendera dan berkembang hingga sepenuhnya keluar. Tanaman padi dinyatakan telah memasuki fase berbunga apabila bunga telah keluar sebanyak 50% dari jumlah populasi tanaman.

g. Stadia 6 Pembungaan (*Anthesis Stage*)

Fase ini dimulai ketika benang sari bunga yang paling ujung pada setiap cabang malai terlihat keluar dari bulir, menandakan proses pembuahan. Pembungaan berlangsung hingga hampir semua bulir pada malai mekar.

h. Stadia 7 Gabah Matang Susu (*Milk Grain Stage*)

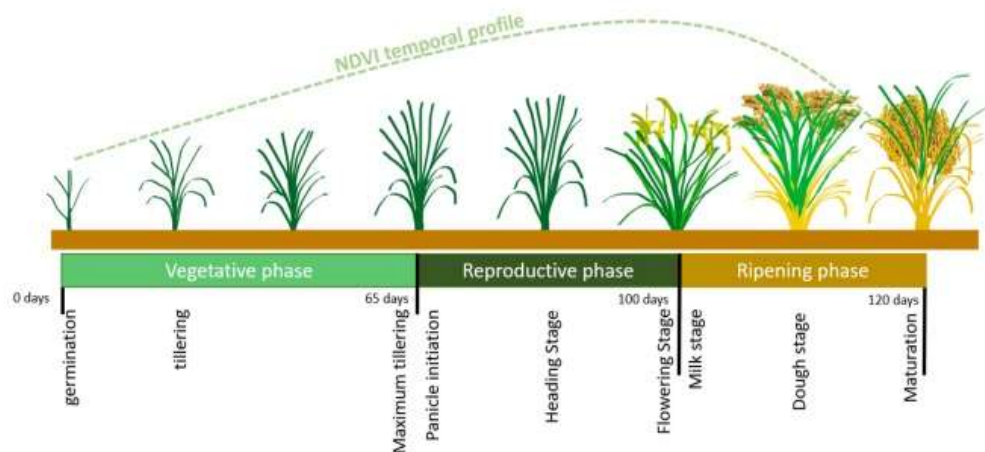
Gabah mulai terisi cairan putih susu atau santan dan jika ditekan, cairan tersebut akan keluar. Malai mulai berwarna hijau dan merunduk, sementara pelayuan pada dasar anakan mulai tampak. Daun bendera dan dua daun di bawahnya tetap hijau.

i. Stadia 8 Gabah Setengah Matang (*Dough Grain Stage*)

Isi gabah yang mirip larutan putih susu berubah menjadi gumpalan lunak yang kemudian mengeras. Beberapa gabah mulai menguning. Pelayuan dari anakan dan daun di bagian dasar tanaman semakin jelas, dengan tanaman mulai menguning dan dua daun terakhir pada setiap anakan mulai mengering.

j. Stadia 9 Gabah Matang Penuh (*Mature Grain Stage*)

Pada fase ini, semua gabah matang sepenuhnya, berwarna kuning, dan mengeras. Daun bagian atas mengering dengan cepat.



Gambar 2. NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) pada berbagai stadia atau fase pertumbuhan tanaman padi (Mosleh *et al.*, 2015)

2.3 Syarat Tumbuh Tanaman Padi

Meskipun padi merupakan tanaman yang umum dijumpai di banyak tempat, namun tanaman ini memiliki persyaratan khusus agar dapat tumbuh dengan baik. Pertumbuhan padi memerlukan perlakuan tertentu serta dukungan dari faktor-faktor alam, termasuk iklim dan kondisi tanah (Hasanah, 2007).

2.3.1 Iklim dan Curah Hujan

Iklim memegang peranan penting dalam pertumbuhan tanaman, termasuk padi. Tanaman padi paling baik tumbuh di daerah dengan iklim yang hangat dan lembab. Faktor-faktor seperti curah hujan, temperatur, ketinggian tempat, sinar matahari, angin, dan musim sangat berpengaruh (Hasanah, 2007). Di antara faktor iklim tersebut, curah hujan menjadi salah satu yang paling vital. Padi

membutuhkan curah hujan yang mencukupi, minimal sekitar 200 mm per bulan atau lebih, dengan distribusi yang merata selama 4 bulan. Curah hujan yang memadai akan berdampak positif pada pengairan, sehingga kebutuhan akan genangan air yang diperlukan oleh tanaman padi di sawah dapat terpenuhi (Hasanah, 2007).

2.3.2 Sinar Matahari

Sinar matahari adalah esensial bagi kelangsungan hidup semua organisme, termasuk tanaman padi. Proses fotosintesis, khususnya dalam pengembangan dan kematangan buah padi, membutuhkan paparan sinar matahari yang memadai. Intensitas cahaya matahari berperan penting dalam proses-proses ini (Hasanah, 2007).

2.3.3 Ketinggian Tempat

Hubungan antara ketinggian tempat dan pertumbuhan tanaman padi memiliki pola yang terkait erat dengan variabel suhu. Daerah yang terletak pada ketinggian antara 0 hingga 650 meter, dengan rentang suhu berkisar 20,5°C hingga 22,5°C, termasuk 96% dari luas tanah di Jawa, dianggap sangat cocok untuk pertumbuhan tanaman padi. Sementara itu, wilayah yang memiliki ketinggian antara 650 hingga 1.500 meter, dengan suhu sekitar 22,5°C, masih dianggap cocok untuk pertumbuhan tanaman padi (Hasanah, 2007).

2.4 Peran Zinc (Zn) Pada Tanaman

Zinc memiliki peran krusial dalam berbagai fungsi biologis pada tanaman, termasuk dalam pembentukan etanol dan aktivitas enzim. Etanol terutama diproduksi di jaringan meristematik seperti ujung akar dalam kondisi anaerobik. Dampak kekurangan *zinc* terhadap aktivitas alkohol dehidrogenase dalam kondisi aerobik belum sepenuhnya diketahui (Broadley *et al.*, 2012). Namun, kekurangan *zinc* terbukti menurunkan aktivitas alkohol dehidrogenase dalam kondisi

anaerobik. Sebagai contoh, pada tanaman padi sawah (*Oryza sativa* L.) yang terendam air, aktivitas alkohol dehidrogenase pada akar meningkat dua kali lipat pada tanaman yang mendapatkan cukup *zinc* dibandingkan dengan tanaman yang kekurangan *zinc*. Konsentrasi *zinc* (Zn) dalam tanaman dapat bervariasi antara 15–20 mg/kg hingga lebih dari 300 mg/kg berat kering (Bryson *et al.*, 2014). Menurut Storey (2007), konsentrasi *zinc* yang dibutuhkan tanaman pada umumnya berkisar antara 15 hingga 20 mg/kg. Toksisitas *zinc* jarang terjadi, akan tetapi dapat muncul jika tanah terkontaminasi oleh produk sampingan dari penambangan, peleburan, atau lumpur limbah (Broadley *et al.*, 2012; Reed dan Martens, 1996). Gejala toksisitas biasanya muncul pada konsentrasi *zinc* 100 mg/kg atau lebih, dengan konsentrasi yang lebih tinggi, seperti 300 mg/kg, menjadi lebih umum (Storey, 2007). Namun, tingkat racun pada setiap tanaman bervariasi antar spesies, dan konsentrasi di atas 350 mg/kg sering kali masih berada dalam batas yang dapat diterima untuk tanaman.

Zinc juga memengaruhi aktivitas enzim lain seperti tembaga-*zinc* superoksida dismutase (CuZnSOD) dan karbonat anhidrase. Ketika *zinc* disuplai, aktivitas karbonat anhidrase yang penting untuk fotosintesis lebih cepat dibandingkan dengan enzim superoksida dismutase dan alkohol dehidrogenase, menandakan bahwa karbonat anhidrase mendapat prioritas dalam penggunaan *zinc* (Li *et al.*, 2013).

Karbonat anhidrase, enzim yang mengandung *zinc*, terlibat dalam fotosintesis dengan mengkatalisis reaksi hidrasi antara karbon dioksida (CO_2) dan bikarbonat (HCO_3^-). Enzim ini berada di kloroplas dan sitoplasma, dan berfungsi menjaga keseimbangan CO_2 serta HCO_3^- (Sandmann dan Boger, 1983). Penambahan *zinc* pada daun padi dapat meningkatkan aktivitas karbonat anhidrase, yang akan memberikan implikasi terhadap perbaikan fotosintesis dan kandungan klorofil daun (Qiao *et al.*, 2014). Akan tetapi pengaplikasian *zinc* secara berlebihan dapat mengurangi fotosintesis karena menghambat konduktansi stomata, meskipun efeknya pada fotokimia relatif kecil (Sagardoy *et al.*, 2010).

Karbonat anhidrase juga penting dalam mekanisme pemekatan CO₂ pada tanaman dan alga. Pada cyanobacteria, sistem pemekatan CO₂ melibatkan karbonat anhidrase untuk penyerapan CO₂ dan HCO₃⁻ serta konversi intraseluler kedua senyawa ini (Kupriyanova *et al.*, 2013). Karboksisom pada *cyanobacteria*, yang mengandung ribulosa-1,5-bifosfat karboksilase/oksigenase (Rubisco) dan karbonat anhidrase, meningkatkan konsentrasi CO₂ di sekitar Rubisco, mendukung fotosintesis. Di alga, karbonat anhidrase menghasilkan CO₂ dari HCO₃⁻ di lumen tilakoid, yang kemudian berdifusi ke pirenoid kompartemen kloroplas penting untuk fiksasi CO₂ (Sinetova *et al.*, 2012; Zarzycki *et al.*, 2013). Peran karbonat anhidrase berbeda antara tanaman C3 dan C4 serta di antara kloroplas mesofil dan bundel-selubung pada tanaman C4. Tanaman C4, yang memiliki konsentrasi CO₂ lebih tinggi di jaringan daun, cenderung menunjukkan pertumbuhan dan hasil yang lebih baik dalam kondisi panas, kering, terang, atau asin dibandingkan dengan tanaman C3 (Ludwig, 2013).

Zn merupakan bagian dari enzim seperti superoksida dismutase dan katalase yang mencegah stres oksidatif pada sel tanaman (Shehata *et al.*, 2009). Penelitian oleh Slaton *et al.* (2005) menunjukkan bahwa pemberian Zn pada 30 HST dan 45 HST memiliki korelasi tinggi dengan hasil panen padi. Penelitian yang dilakukan oleh (Saikh *et al.*, 2022) dilaporkan bahwa pengaplikasian ZnSO₄ dengan metode semprot daun konsentrasi 0,5% yang diaplikasikan pada saat penginisasian malai dan 1 minggu setelah pembungaan menunjukkan hasil yang signifikan terhadap jumlah bulir gabah/malai serta produktivitas gabah sebanyak 5,09 t/ha dibandingkan dengan tanpa perlakuan (kontrol) yang hanya menghasilkan produksi 3,38 t/ha. Dalam penelitian lainnya mengatakan penyemprotan ZnSO₄ dengan konsentrasi 0,5 % sebanyak tiga kali yaitu pada 50 HST, 60 HST dan 70 HST dapat meningkatkan bobot 1000 butir gabah dan hasil produktivitas gabah panen (Hashim *et al.*, 2021). Penyerapan Zn tertinggi terjadi pada tanaman yang disemprot tiga kali dengan konsentrasi tersebut. Zn diserap melalui epidermis daun dan dipindahkan ke jaringan tanaman yang berkembang melalui floem, yang meningkatkan transfer Zn ke bagian reproduktif tanaman seperti biji.

Penggunaan Zn juga meningkatkan distribusi nutrisi ke organ generatif seperti malai dan akumulasi brangkasan kering total (Amanullah dan Inamullah, 2016). Selain itu, pemberian Zn melalui daun dapat meningkatkan hasil gabah sekitar 30% (Farooq *et al.*, 2018).

Penambahan *zinc* pada tanaman dapat meningkatkan aktivitas SOD dan membantu tanaman mengatasi efek stres, mendukung pertumbuhan yang lebih baik (Cakmak *et al.*, 1997). Superoksida dismutase (SOD) adalah enzim penting yang membantu mengatasi stres oksidatif pada tanaman dengan mengubah superoksida (O_2^-) menjadi oksigen (O_2) dan hidrogen peroksida (H_2O_2) (Abreu dan Cabelli, 2010). Superoksida adalah radikal bebas yang terbentuk selama fotosintesis dan akibat stres biotik serta abiotik, seperti kekurangan nutrisi atau kondisi lingkungan yang ekstrem (Apel dan Hirt, 2004; Foyer dan Noctor, 2000). Tanaman yang kekurangan *zinc* sering menunjukkan tanda-tanda stres oksidatif, seperti penurunan aktivitas enzim SOD dan akumulasi senyawa berbahaya (Sharma *et al.*, 2004).

2.4.1 Sumber Ketersediaan Zinc (Zn) Pada Tanaman

Zinc merupakan unsur hara mikro esensial yang memiliki peran penting bagi kesehatan tubuh manusia dan tanaman. Pada tanaman, *zinc* memiliki peran dalam mengoptimalkan pertumbuhan tanaman, hasil panen, dan meningkatkan kualitas gizi (Hamam *et al.*, 2018). Namun, ketersediaan *zinc* dalam tanah umumnya hanya sekitar 50% dari standar kebutuhan tanaman, yaitu 1,5 ppm (Mishra & Dash, 2014). *Zinc* diserap oleh tanaman dalam bentuk Zn^{2+} , hasil dari pelapukan mineral, dan terkandung dalam tanaman sekitar 0,002%. Ketersediaan *Zinc* dalam tanah bervariasi antara 16-300 ppm. *Zinc* berfungsi sebagai kofaktor penting dalam banyak enzim. Kebutuhan *zinc* dalam satu siklus pertumbuhan tanaman setara dengan kebutuhan mangan. Kekurangan *zinc* pada tanaman dapat menyebabkan gejala seperti klorosis, pertumbuhan tanaman yang kerdil, pemendekan ruas batang, dan pengecilan daun (Uchida, 2000).

Defisiensi *zinc* (Zn) merupakan masalah utama bagi pertanian global dan kesehatan manusia. Faktor-faktor yang mempengaruhi ketersediaan Zn di tanah meliputi rendahnya kandungan Zn total, pH tanah yang tinggi, serta tingginya kandungan kalsit, bahan organik, dan konsentrasi Na, Ca, Mg, bikarbonat, dan fosfat (Iszaki, 2014). *Zinc* biasanya diserap oleh tanaman dalam bentuk kation divalen (Zn^{2+}), tetapi pada pH tinggi, Zn dapat diserap sebagai ZnOH^+ . Dalam tanaman, Zn diangkut di xilem dengan mengikat asam organik atau sebagai Zn^{2+} bebas, dan di floem, Zn sering terikat pada zat organik terlarut (Kochian, 1991). Kandungan Zn di kerak bumi bervariasi sesuai jenis batuan, dengan granit dan basalt memiliki kadar sekitar 40-100 mg/kg, sementara batuan sedimen seperti batu kapur dan pasir memiliki kadar yang lebih rendah (Bryson *et al.*, 2014). Tanah dengan kandungan Zn di bawah 10 mg/kg dianggap rendah, sedangkan yang di atas 200 mg/kg sering terkontaminasi (Alloway, 2009). *Zinc* di tanah berasal dari lima sumber utama yaitu larutan tanah, Zn yang terserap di permukaan tanah, bahan organik, oksida dan karbonat, serta mineral primer dan sekunder (Shuman, 1991). Aktivitas Zn^{2+} dalam larutan tanah dapat dipengaruhi oleh mineral oksida franklinite yang mengendap atau larut tergantung pada konsentrasi Zn (Lindsay, 1991; Ma dan Lindsay, 1993). *Zinc* juga dapat berasosiasi dengan bahan organik dan oksida melalui proses kimia seperti adsorpsi dan pembentukan kompleks permukaan (Shuman, 1991).

2.4.2 Interaksi Penyerapan *Zinc* (Zn) Dengan Hara Fosfor

Interaksi antara *zinc* (Zn) dan fosfor (P) dapat memengaruhi bagaimana tanaman menyerap dan menyimpan Zn. Tanaman yang kekurangan Zn seringkali memiliki kandungan fosfor yang tinggi, mungkin karena pertumbuhannya yang terhambat (Lynch *et al.*, 2012). Jika tanah diberikan pupuk fosfor dalam jumlah banyak, ini bisa menyebabkan defisiensi Zn karena fosfor dapat mengurangi kelarutan Zn (Lynch *et al.*, 2012). Selain itu, fosfor yang berlebihan dapat menghambat pertumbuhan akar dan mengurangi kemampuan akar untuk berkolaborasi dengan mikoriza arbuskular, sehingga mengurangi penyerapan Zn (Ryan *et al.*, 2008). Pupuk fosfor juga dapat menurunkan kadar Zn dalam biji dan daun pada beberapa

tanaman seperti gandum dan barley (Izsaki, 2014; Ryan *et al.*, 2008). Namun, pemupukan fosfor juga dapat meningkatkan panjang dan massa akar, yang mungkin membantu penyerapan Zn dan unsur hara lainnya (Fageria *et al.*, 2014). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa menambahkan pupuk Zn dapat membantu mengimbangi penurunan konsentrasi Zn akibat pemupukan fosfor (Zhang *et al.*, 2012). Oleh karena itu, penting untuk mengelola pasokan fosfor dan Zn dengan hati-hati agar tanaman tetap sehat dan bergizi.

2.5 Peran Kalium Pada Tanaman

Kalium adalah salah satu unsur hara esensial bagi tanaman, setelah nitrogen dan fosfor, yang diserap dalam bentuk ion K^+ . Meskipun kadar total kalium di tanah bisa cukup tinggi, sekitar 2,6% dari total berat tanah, ketersediaan kalium untuk tanaman biasanya rendah. Tanaman membutuhkan kalium dalam jumlah yang cukup besar. Jika kalium di tanah atau dari air irigasi tidak mencukupi, tanaman dapat mengalami kekurangan kalium yang menyebabkan penurunan produksi (Ismunadji *et al.*, 1988).

Sumber kalium dalam larutan tanah berasal dari pelarutan mineral-mineral seperti feldspar, mika, dan liat, kalium yang tertukar di koloid tanah, serta mineralisasi bahan organik dan pupuk (Mengel dan Kirkby, 2001). Kalium menyusun sekitar 2,6% dari kerak bumi dan 2-2,5% dari bahan induk tanah, setara dengan 40-50 ton kalium per hektar. Tanaman menyerap kalium dalam bentuk K^+ melalui proses difusi, aliran massa, dan intersepsi akar, dengan kalium menyusun sekitar 1% dari total bagian tanaman.. Kalium berperan sebagai salah satu komponen utama dalam protoplasma, lemak, dan selulosa. Fungsinya mencakup metabolisme karbohidrat, seperti pembentukan dan pemecahan pati, serta mentranslokasikan gula hasil fotosintesis untuk pertumbuhan tanaman. Selain itu, kalium mengatur pemanfaatan dan penyerapan unsur hara lain, menetralkan asam organik penting, dan meningkatkan aktivitas berbagai enzim sebagai katalisator. Kalium juga berperan dalam mengatur pembukaan dan penutupan stomata, membantu tanaman beradaptasi dengan perubahan iklim dan mengelola penggunaan air. Kelebihan

kalium dapat mengurangi dampak negatif dari pemberian nitrogen berlebih, seperti meningkatkan ketahanan tanaman terhadap hama dan penyakit serta mengurangi kerentanan terhadap kerusakan pada bagian tanaman (Purba *et al.*, 2021).

Kalium (K) umumnya terakumulasi dalam jumlah yang lebih besar dibandingkan dengan nutrisi mineral lainnya dalam tanaman pangan, kecuali nitrogen (N) pada beberapa spesies. Tanaman seperti padi dataran rendah dan tinggi (*Oryza sativa* L.), kacang kering (*Phaseolus vulgaris*), jagung (*Zea mays*), dan kedelai (*Glycine max*) menunjukkan pola penyerapan yang berbeda. Pada padi sawah, padi gogo, dan jagung, kalium menumpuk paling banyak di jerami dan gabah dibandingkan dengan unsur hara makro lainnya. Sementara itu, pada kacang-kacangan, nitrogen adalah unsur yang paling banyak terakumulasi di jerami dan gabah dibandingkan dengan unsur hara lainnya.

Kekurangan kalium dapat menyebabkan degradasi klorofil, peningkatan produksi spesies oksigen reaktif (ROS), dan penurunan aktivitas fotosintesis (Hafsi *et al.*, 2014). Kalium mempengaruhi proses fisiologi tanaman dengan mengatur berbagai fungsi penting. Salah satunya adalah kemampuannya untuk memodulasi proses fotosintesis, yang sangat dipengaruhi oleh keberadaan klorofil dalam daun tanaman. Selain itu, kalium membantu mengatur akumulasi dan translokasi nutrisi dalam tanaman, serta mempengaruhi transportasi karbohidrat. Kalium juga berperan dalam mengatur pembukaan dan penutupan stomata pada daun tanaman (Purba *et al.*, 2021).

2.6 Keterkaitan Zinc (Zn) Terhadap Serapan Kalium

Kalium diserap oleh tanaman dari tanah dalam bentuk ion (K^+) dan berperan penting dalam mendukung berbagai proses metabolisme tanaman (Winarso, 2005). Unsur ini mempengaruhi lebih dari 50 enzim, baik secara langsung maupun tidak langsung. Kekurangan kalium dapat mengganggu berbagai proses, seperti akumulasi karbohidrat, penurunan kadar pati, dan penumpukan senyawa

nitrogen dalam tanaman. Tanaman yang kekurangan kalium sering menunjukkan gejala, seperti batang yang lemah dan mudah roboh (Cheng, *et al.*, 2013)

Serapan kalium yang optimal pada jaringan batang tanaman padi pada fase pembentukan anakan sebesar 1,8 - 2,6 %, pada fase pembungaan 1,4 - 2 % dan pada fase pemasakan 1,5 - 2%. Apabila pada fase pembentukan anakan kandungan kalium pada jaringan tanaman padi < 1,5% serta pada fase pembungaan dan pemasakan kandungan kalium pada jaringan tanaman < 1,2% maka tanaman tersebut dapat dinyatakan dalam kondisi ambang kritis hara kalium (Linguist, 2020).

Zn dan kalium (K) saling terkait dalam meningkatkan proses fisiologis tanaman, yang berujung pada peningkatan tinggi, pertumbuhan, dan kinerja tanaman. Zn dan K berperan dalam aktivitas metabolisme tanaman dan sintesis protein, yang penting untuk pertumbuhan dan hasil tanaman. Kolaborasi antara kalium dan *zinc* dalam meningkatkan produksi tanaman didasarkan pada peran sinergis keduanya dalam mendukung proses fisiologis yang penting. Kalium berfungsi dalam translokasi hasil fotosintesis dari daun ke bagian tanaman yang sedang berkembang, seperti biji, yang memastikan penggunaan energi dari fotosintesis secara efisien untuk pertumbuhan dan pengisian biji. Selain itu, kalium juga berperan dalam sintesis protein yang mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman. Di sisi lain, *zinc* berperan penting dalam berbagai reaksi enzimatik yang mengatur metabolisme tanaman, termasuk sintesis protein dan aktivitas enzim. Aplikasi *zinc* melalui penyemprotan daun dapat meningkatkan efisiensi fotosintesis, yang berkontribusi pada peningkatan hasil dan kualitas biji. Penelitian menunjukkan bahwa kombinasi aplikasi kalium dan *zinc*, misalnya dengan dosis 375 kg/ha kalium dan 15 kg/ha *zinc*, dapat secara signifikan meningkatkan karakter pertumbuhan dan produktivitas tanaman gandum, menunjukkan bahwa interaksi kedua unsur ini memberikan efek sinergis yang lebih besar dibandingkan dengan aplikasi masing-masing unsur secara terpisah. Dengan meningkatkan ketersediaan kedua nutrisi ini, tanaman dapat mencapai potensi pertumbuhan dan hasil yang lebih tinggi serta meningkatkan kualitas biji yang dihasilkan. Penerapan pupuk

yang mengandung kedua unsur ini secara bersamaan dapat meningkatkan kualitas agronomi dan parameter hasil tanaman (Khan Ali *et al.*, 2018).

Keterkaitan Zn dan kalium (K) terlihat jelas dalam peningkatan serapan nutrisi dan kinerja tanaman. Aplikasi Zn secara eksogen meningkatkan konsentrasi Zn dalam larutan tanah, yang memfasilitasi penyerapan Zn melalui proses difusi dan bagian akar setelah masa berbunga (Raza *et al.*, 2021). Selain itu, aplikasi Zn dapat meningkatkan sistem akar tanaman, yang akan memberikan implikasi peningkatan efisiensi penyerapan nutrisi (Jat *et al.*, 2013). Peningkatan penyerapan K pada biji-bijian juga terlihat ketika Zn diaplikasikan pada tanaman. Kedua unsur ini, Zn dan K, berkontribusi positif terhadap laju fotosintesis, laju transpirasi, konduktansi stomata, dan efisiensi penggunaan air. Hal ini mendukung peran K dalam osmoregulasi dan meningkatkan kinerja keseluruhan tanaman (Saady *et al.*, 2023).

2.7 Peran Zinc (Zn) Dalam Penanggulangan *Stunting*

Tubuh manusia mengandung sekitar 1,5–2,5 gram *zinc* (Zn) yang tersebar di berbagai jaringan, organ, dan cairan tubuh, termasuk hati, pankreas, ginjal, tulang, dan otot. Sebagai mikromineral yang paling banyak kedua dalam tubuh, *zinc* berperan dalam berbagai proses penting seperti pembelahan sel, pembentukan tulang, dan sistem kekebalan tubuh. Secara umum, pertumbuhan anak membutuhkan zat gizi, baik itu gizi makro maupun gizi mikro. Zat gizi makro seperti karbohidrat, protein, dan lemak, serta zat gizi mikro seperti zat besi (Fe) dan *zinc* (Zn) untuk mencegah *stunting* (Merryana dan Bambang, 2016). *Zinc*, sebagai salah satu zat gizi mikro, memainkan peran penting dalam sistem kekebalan tubuh, membantu melawan infeksi oleh bakteri patogen. Kekurangan *zinc* dapat melemahkan sistem imun, meningkatkan risiko diare dan infeksi saluran pernapasan, serta berkontribusi pada *stunting* dan keterlambatan kematangan seksual (Anindita, 2012).

Stunting adalah gangguan pertumbuhan pada anak yang disebabkan oleh kekurangan gizi. Fenomena ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk kekurangan gizi pada ibu hamil dan anak balita, serta pengasuhan yang tidak memadai, seperti kurangnya pengetahuan ibu tentang gizi yang berakibat pada pola asuh yang salah. Selain itu, faktor lain seperti layanan kesehatan yang terbatas, akses yang kurang terhadap makanan sehat, dan kondisi sanitasi yang buruk turut menyumbang tingginya kasus *stunting* di Indonesia (TNP2K, 2017). Namun, faktor utama penyebab *stunting* adalah ketidakcukupan asupan gizi selama 1000 Hari Pertama Kehidupan (HPK) anak (Sutarto *et al.*, 2018).

2.7.1 Peran Zinc (Zn) Terhadap Pertumbuhan Balita

Stunting atau gagal tumbuh terjadi ketika anak tidak berkembang dengan baik. *Zinc* sangat penting untuk pertumbuhan karena membantu pembelahan sel, sintesis protein dan DNA, serta metabolisme energi (Ramadhan *et al.*, 2020). *Zinc* juga terlibat dalam proses pencernaan karbohidrat, protein, dan lemak, dan meningkatkan kadar *Insulin-like Growth Factor* (IGF-I), yang mendorong pertumbuhan (Kusudaryati, 2014). Kekurangan *zinc* dapat menghambat pertumbuhan dan menyebabkan *stunting* pada anak (Hidayati *et al.*, 2019). *Stunting* atau kondisi tinggi badan sangat pendek pada balita, dapat dipengaruhi oleh kekurangan *zinc*. *Zinc* penting untuk pertumbuhan dan perkembangan tulang, termasuk dalam mempercepat pertumbuhan tulang. Selain itu, vitamin D membantu metabolisme tulang, dan *zinc* mendukung proses ini dengan merangsang sintesis DNA di tulang (Marahayu & Kartasurya, 2018). *Zinc* juga berinteraksi dengan hormon penting untuk pertumbuhan tulang seperti somatomedin, osteokalsin, testosteron, tiroid, dan insulin. Konsentrasi *zinc* tertinggi ada di tulang dibandingkan jaringan tubuh lainnya, menandakan perannya yang krusial dalam pertumbuhan anak (Dewi & Adhi, 2014). Pasokan makanan dengan kandungan *zinc* yang memadai dapat membantu mencegah *stunting* pada balita dengan mendukung pemanjangan tulang.

2.7.2 Sumber dan Jumlah Kebutuhan Zinc (Zn) Bagi Tubuh Manusia

Zinc adalah mikromineral esensial yang penting setelah besi, dengan kebutuhan harian sekitar ≤ 100 mg. Tubuh manusia mengandung sekitar 2-2,5 gram *zinc*, yang tersebar di hati, pankreas, ginjal, otot, dan tulang. Jaringan yang kaya *zinc* termasuk mata, kelenjar prostat, sperma, kulit, rambut, dan kuku. *Zinc* diserap di usus halus, lalu diangkut oleh albumin dan transferin ke aliran darah dan hati.

Kelebihan *zinc* disimpan di hati sebagai metalotionin, sementara sisanya didistribusikan ke pankreas dan jaringan tubuh lainnya. Sumber *zinc* tinggi meliputi daging merah tanpa lemak, sereal gandum, kacang-kacangan, dan polong-polongan (25-50 mg/kg), sementara sumber sedang termasuk ayam dan daging berlemak tinggi (10-25 mg/kg). Makanan rendah *zinc* mencakup ikan, umbi, sayur, dan buah-buahan (<10 mg/kg) (Hidayati *et al.*, 2019).

Zinc banyak ditemukan dalam makanan seperti daging, susu, dan beberapa jenis makanan laut, dan *zinc* dari sumber hewani lebih mudah diserap dibandingkan dari sumber nabati yang sering mengandung fitat yang mengikat *zinc*. Penyerapan *zinc* dalam tubuh juga dipengaruhi oleh kadar besi dan tembaga dalam makanan. Makanan yang kaya besi dapat mengurangi penyerapan *zinc*, tetapi juga menurunkan penyerapan tembaga (Widya Karya Pangan dan Gizi, 1998).

Kebutuhan *zinc* tubuh bervariasi yaitu berkisar 4 – 6 mg/hari. Menurut Angka Kecukupan Gizi (AKG), bayi memerlukan 5 mg/hari, anak usia 1–10 tahun memerlukan 10 mg/hari, dan anak di atas 10 tahun membutuhkan 15 mg/hari (Widya Karya Pangan dan Gizi, 1998).

Dalam upaya mencukupi kebutuhan gizi berupa *zinc* maka pemerintah telah melepas varietas Nutri *Zinc*. Inpari IR Nutri *Zinc* memiliki potensi kandungan Zn mencapai 34,51 ppm (3,45 mg/100 gram beras) dengan rata-rata kandungan Zn 29,54 ppm. Inpari IR Nutri *Zinc* adalah varietas padi sawah (pertama di Indonesia) yang memiliki kandungan unsur Zn (*Zinc*) lebih tinggi ($\pm 25\%$) daripada varietas yang lain. Dilepas pada tahun 2019 dengan Surat Keputusan (SK) Menteri Pertanian No. 168/HK.540/C/01/2019. Kandungan potensi gizi *zinc*

dalam varietas Nutri *Zinc* lebih besar daripada varietas padi lainnya seperti Ciherang sebesar 24,06 ppm (2,4 mg/100 gram beras) dan Inpari 32 yaitu sebesar 28,2 ppm (2,82 mg/100 gram beras).

2.8 Metode Pengusangan Cepat (MPC)

Metode Pengusangan Cepat (MPC) adalah teknik untuk memperkirakan mutu benih, khususnya terkait dengan daya simpan benih. Metode ini melibatkan perlakuan benih dengan etanol, yang menyebabkan kemunduran atau devigorasi, mirip dengan proses alami di mana viabilitas benih menurun seiring waktu penyimpanan (Zanzibar, 2007). Dengan menggunakan MPC, dapat diperkirakan seberapa lama benih dapat bertahan sebelum viabilitasnya menurun, sesuai dengan gambaran kemunduran benih dalam kondisi penyimpanan yang lebih lama (Nurisma *et al.*, 2015). Informasi tentang mutu benih yang diperoleh dari metode ini sangat berguna dalam menilai daya simpan benih (Rasyid, 2012).

Penyimpanan benih dalam jangka waktu yang lama atau pengusangan intensif dapat mengakibatkan penurunan viabilitas benih. Benih adalah faktor kunci dalam hasil tanaman, dan kualitasnya sangat penting dalam produksi tanaman. Kualitas benih mencakup berbagai aspek, termasuk daya berkecambah, viabilitas, vigor, dan daya simpan, serta melibatkan elemen fisik, fisiologis, dan genetik (Sadjad, 1993; ISTA 2022).

Vigor dan viabilitas benih dipengaruhi oleh kondisi lingkungan saat benih berkembang, seperti ketersediaan unsur hara, cahaya, suhu, dan air, serta kompetisi antara tanaman yang memengaruhi penggunaan sumber daya. Faktor genetik juga berperan penting, karena setiap varietas memiliki sifat genetik yang berbeda yang memengaruhi kemampuan menyerap unsur hara dan menentukan mutu benih (Purnamasari, 2015).

Metode Pengusangan Cepat dapat digunakan untuk memperkirakan vigor dan daya simpan benih dengan mempercepat penurunan mutu benih, meniru proses kemunduran alami akibat suhu dan kelembaban (McDonald, 1999). Tanda

kemunduran benih meliputi penurunan perkecambahan, pertumbuhan lambat, peningkatan kerentanan terhadap stres lingkungan (Walters, 1998), dan peningkatan produksi kecambah lemah (Veselova & Veselovsky, 2003).

III. BAHAN DAN METODOLOGI

3.1 Percobaan I

Pengaruh aplikasi *zinc* (Zn) terhadap pertumbuhan, hasil, kandungan Zn dalam beras dan serapan kalium (K) tiga varietas padi sawah (*Oryza sativa* L.).

3.1.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di lahan sawah Desa Maja Kecamatan Marga Punduh, Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung pada Juli sampai dengan November 2024.

3.1.2 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini, Zn sulfat heptahidrat ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), aquades, etanol, benih padi Varietas Ciherang, Inpari 32, dan Inpari Nutri *Zinc* yang sudah *dipriming*, pupuk urea, pupuk, SP36, KCL, insektisida dan fungisida. Sedangkan, alat yang digunakan dalam penelitian ini, timbangan digital, tali rafia, *hand sprayer*, gelas ukur, plastik klip, waring, meteran, dan alat tulis.

3.1.3 Rancangan Percobaan

Percobaan ini menggunakan rancangan petak jalur (RPJ) yang terdiri dari dua faktor. Faktor pertama adalah perlakuan *zinc* aplikasi *zinc* yang terdiri dari *priming* dengan aquades selama 12 jam (P0) Kontrol, (P1) *Priming* Zn 0,25% selama 12 jam (P2) *Priming* Zn 0,25% selama 12 Jam + *Folliar Spray* Zn 0,5% fase vegetatif awal (25 HST) dan *Folliar Spray* 0,5% fase vegetatif akhir (40 HST), (P3) *Priming* Zn 0,25% selama 12 Jam + *Folliar Spray* Zn 0,5% fase generatif pengisian bulir (65 HST) dan *Folliar Spray* Zn 0,5% fase generatif

masak susu (75 HST), (P4) *Priming* Zn 0,25% selama 12 Jam + *Folliar Spray* Zn 0,5% fase vegetatif awal (25 HST) dan *Folliar Spray* 0,5% fase vegetatif akhir (40 HST) + *Folliar Spray* Zn 0,5% fase generatif pengisian bulir (65 HST) dan *Folliar Spray* Zn 0,5% fase generatif masak susu (75 HST). Faktor kedua adalah benih padi yang terdiri dari Varietas Ciherang (V1), Inpari-32 (V2), dan Inpari Nutri Zinc (V3). Masing-masing perlakuan diulang tiga kali, sehingga terdapat 45 satuan percobaan dengan total rumpun sebanyak 8.640 dan populasi tanaman keseluruhan sebanyak 25.920 batang indukan padi. Homogenitas ragam antar perlakuan diuji dengan dianalisis menggunakan Analisis Ragam (ANOVA). Sebelum ANOVA, dilakukan Uji Bartlett untuk menguji homogenitas ragam, dan Uji Aditivitas Tukey untuk menguji kesesuaian model aditif. Apabila hasil ANOVA menunjukkan perbedaan yang signifikan, maka dilanjutkan dengan Uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf 5% untuk mengidentifikasi perbedaan antar perlakuan. Analisis data menggunakan aplikasi R Studio (R.4.3.2). Berikut ini adalah tata letak percobaan (Gambar 3).

I

V1P1	V1P3	V1P4	V1P2	V1P0
V2P1	V2P3	V2P4	V2P2	V2P0
V3P1	V3P3	V3P4	V3P2	V3P0

II

V2P2	V2P0	V2P3	V2P1	V2P4
V3P2	V3P0	V3P3	V3P1	V3P4
V1P2	V1P0	V1P3	V1P1	V1P4

III

V3P0	V3P2	V3P4	V3P1	V3P3
V1P0	V1P2	V1P4	V1P1	V1P3
V2P0	V2P2	V2P4	V2P1	V2P3

Gambar 3. Tata Letak Percobaan

Keterangan:

V1: Varietas Ciherang

V2: Inpari-32

V3: Inpari Nutri Zinc

P0 : *Priming* Aquades selama 12 jam

P1 : *Priming* Zn 0,25% selama 12 Jam

P2 : *Priming* Zn 0,25% selama 12 Jam + *Folliar Spray* Zn 0,5% fase vegetatif awal (25 HST) dan *Folliar Spray* 0,5% fase vegetatif akhir (40 HST)

P3 : *Priming* Zn 0,25% selama 12 Jam + *Folliar Spray* Zn 0,5% fase generatif pengisian bulir (65 HST) dan *Folliar Spray* Zn 0,5% fase generatif masak susu (75 HST)

P4 : *Priming* Zn 0,25% selama 12 Jam + *Folliar Spray* Zn 0,5% fase vegetatif awal (25 HST) dan *Folliar Spray* 0,5% fase vegetatif akhir (40 HST) + *Folliar Spray* Zn 0,5% fase generatif pengisian bulir (65 HST) dan *Folliar Spray* Zn 0,5% fase generatif masak susu (75 HST)

3.1.4 Pelaksanaan Penelitian

3.1.4.1 Pembuatan Aplikasi *Priming*

Pembuatan Larutan dan Aplikasi *Priming* Larutan 0,25% $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dibuat dengan cara melarutkan 2,5 g 0,25% $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ pada 1000 ml aquades.

Aplikasi *priming* dilakukan dengan cara merendam 1 kg/varietas benih kedalam 5 liter aquades yang telah dilarutkan $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ke dalam ember selama 12 jam.

Priming 3 varietas padi menggunakan $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan 3 varietas padi sebagai kontrol, dengan demikian *priming* dibuat terpisah dalam 6 wadah ember yang berbeda. Benih yang telah di *priming* selama 12 jam, kemudian ditiriskan sebelum dilakukan penyemaian.

3.1.4.2 Penyemaian

Benih padi yang telah dilakukan *priming* dengan Zn selama 12 jam kemudian disemai di lahan sawah dengan cara ditebar jarang pada 6 bedengan semaian yang telah disiapkan. Dibuat enam bedengan semaian, antar bedengan diberikan jarak sebagai batas pembeda tiap varietas dan benih tebar kontrol (*priming* aquades selama 12 jam). Setelah 20 hari maka bibit padi dari lahan semaian dipindahkan ke lahan sawah yang telah siap.

3.1.4.3 Pengolahan Lahan

Pengolahan diawali dengan pembajakan sawah dengan menggunakan *hand tractor*. Kemudian pembuatan petakan dengan menggunakan cangkul. Selanjutnya lahan di air untuk pembajakan. Pembajakan dilakukan dengan kedalaman kurang lebih 15 – 25 cm. Hingga tanah benar – benar membalik dan hancur. Setelah dibajak, dilakukan penggaruan, setelah air dalam petakan dibuang dan disisakan sedikit untuk membasahi bongkahan – bongkahan tanah. Penggaruan dilakukan berulang agar tanah menjadi rata, rumput-rumput akan terbendam, dan penanaman bibit padi menjadi mudah. Setelah penggaruan, lahan dilakukan perataan dengan menggenangi air selama 7 hari.

3.1.4.4 Pembuatan Petakan Percobaan

Pembuatan petakan percobaan diawali dengan pengukuran lahan dan diseuaikan dengan topografi lahan sawah. Setiap petak percobaan dibuat dengan ukuran 3 m x 4 m dengan menggunakan cangkul. dibuat pematang – pematang kecil lebar 20 cm dengan ketinggian 10 cm. Pematang ini dibuat pada keliling setiap petak percobaan dengan tujuan untuk mencegah air pada setiap petakan tercampur sehingga pengaplikasian perlakuan akan lebih presisi.

3.1.4.5 Penanaman

Bibit padi ditanam pada lahan sawah tadah hujan dengan jarak tanam 25 cm x 25 cm pada setiap petak berukuran 12 m² dan ditanam sebanyak 3 bibit padi/petak. Didapatkan jumlah populasi 663 batang indukan/petak dengan total populasi tanaman keseluruhan sebanyak 29.835 batang indukan padi.

3.1.4.6 Pemupukan

Pemupukan dilakukan berdasarkan hasil analisis tanah. Didapatkan hasil analisis status hara tanah sawah dengan N,P dan K berstatus rendah sehingga didapatkan kebutuhan dosis spesifik lokasi yaitu Urea 300 kg ha⁻¹, SP-36 100 kg ha⁻¹ dan

KCL 50 kg ha⁻¹ dan pemupukan dilakukan dalam beberapa tahap. Pemupukan dasar menggunakan SP-36, pemupukan kedua menggunakan Urea + KCl dan pemupukan ketiga menggunakan KCL. Pemupukan dilakukan pada setiap petakan dengan mengkonversi kebutuhan pupuk tanaman per petak m², maka didapatkan kebutuhan pupuk tanaman per petak m² (12 m²) sebanyak 120 gram SP-36, 360 gram Urea dan 60 gram KCL.

3.1.4.7 Pemeliharaan

Pemeliharaan tanaman meliputi pengendalian OPT (Organisme Pengganggu Tanaman) yang terdiri gulma, penyakit, dan hama.

3.1.4.8 Aplikasi Penyemprotan Zinc (Zn) Konsentrasi 0,5% ZnSO₄

Penyemprotan larutan *zinc* dilakukan sesuai dengan perlakuan yang diuji, yakni pada fase vegetatif awal (25 HST) vegetatif akhir (40 HST), fase pengisian bulir (65 HST) atau sekitar 10-15 hari setelah keluar malai dan fase masak susu yaitu 15-20 hari setelah berbunga ditandai dengan biji berisi cairan menyerupai susu, bulir kelihatan berwarna hijau (75 HST). Penyemprotan dilakukan dengan cara semprot daun pada bagian permukaan atas dan permukaan bawah daun padi. Sebelum dilakukan pengaplikasian secara *foliar* pada tanaman padi maka dilakukan kalibrasi terlebih dahulu terhadap tangki semprot yang digunakan untuk menentukan jumlah kebutuhan air dan *zinc* (Zn) yang akan digunakan, sehingga pengaplikasian dapat dilakukan dengan efektif dan efisien.

3.1.4.9 Variabel Pengamatan

Pengamatan dilakukan pada fase pertumbuhan dan fase reproduktif tanaman. Pengamatan dilakukan di lokasi penanaman. Kemudian, beberapa sampel tanaman dibawa ke laboratorium untuk dianalisis.

3.1.4.9.1 Fase Vegetatif

a. Tinggi Tanaman (cm)

Pengukuran tinggi tanaman dengan cara mengukur padi dari permukaan tanah hingga ujung daun dinyatakan dalam centimeter (cm). Pengukuran tinggi tanaman mulai diamati pada 3 minggu setelah tanam (MST) dan selanjutnya diamati sampai dengan 8 minggu setelah tanam (MST) dilakukan dengan mengukur 5 sampel tanaman pada setiap ulangan.

b. Jumlah *Tiller* (Anakan) (Batang)

Penghitungan *tiller* dilakukan mulai dari 3 minggu setelah tanam (MST) sampai dengan vegetatif maksimum, yaitu 7 minggu setelah tanam (MST) atau ditandai dengan mulai keluarnya malai. Perhitungan dilakukan dengan menghitung 5 rumpun sampel tanaman. Penghitungan *tiller* dilakukan setiap 1 minggu sekali *Tiller* dihitung berdasarkan rumus :

$$\textit{Tiller} = \text{Total Batang Padi Dalam Rumpun} - \text{Jumlah Indukan Ditanam}$$

. 3.1.4.9.2 Fase Generatif

a. Jumlah *Tiller* (Anakan) Produktif (Batang)

Jumlah *tiller* (anakan) produktif dihitung setelah tanaman mulai mengeluarkan malai, dengan melihat jumlah *tiller* yang mengeluarkan malai/rumpun pada saat sebelum panen.

b. Waktu Berbunga (HST)

Penghitungan waktu (hari) berbunga dilakukan dengan melihat bunga yang keluar pada rumpun. Padi dinyatakan telah masuk fase berbunga apabila bunga yang keluar sudah lebih dari 50% dari total populasi per petak percobaan.

c. Jumlah Bulir Gabah Per Malai (Butir)

Pengamatan jumlah bulir gabah per malai dilakukan dengan cara merontokkan bulir pada setiap malai sampel dan menghitung seluruh bulir, baik yang hampa maupun yang bernas, dari lima rumpun sampel tanaman per petak percobaan.

d. Bobot 1.000 Butir (g)

Bobot 1.000 butir gabah diperoleh dengan menimbang 1.000 butir gabah dari setiap ulangan menggunakan timbangan digital, dan hasilnya dinyatakan dalam gram (g).

e. Persentase Gabah Hampa (%)

Persentase gabah hampa dihitung dengan cara memisahkan gabah hampa dari gabah bernas dalam setiap rumpun sampel. Adapaun rumus persentase gabah hampa sebagai berikut :

$$\text{Persentase Gabah Hampa} = \frac{\text{Total Gabah Hampa}}{\text{Total Gabah Bernas}} \times 100\%$$

f. Persentase Gabah Bernas (%)

Persentase gabah hampa dihitung dengan cara memisahkan gabah bernas dari gabah hampa dalam setiap rumpun sampel. Adapaun rumus persentase gabah bernas sebagai berikut :

$$\text{Persentase Gabah Hampa} = \frac{\text{Total Gabah Bernas}}{\text{Total Gabah Hampa}} \times 100\%$$

3.1.4.10 Produksi

Produktivitas hasil panen didapat dengan menghitung rata – rata hasil produksi gabah per satuan luas petak percobaan.

a. Bobot Gabah Kering Panen (Kg Per Petak m²)

Bobot gabah kering panen diperoleh dengan menimbang gabah sampel yang telah dipisahkan dari tanaman setelah proses panen.

$$\text{Bobot GKP (kg)} = \frac{\text{Rata-Rata Bobot Bulir Rumpun}}{\text{Sampel} \times \text{Jumlah Populasi Rumpun Per Petak}}$$

b. Bobot Gabah Kering Giling (Kg Per Petak m²)

Bobot gabah kering giling dihitung berdasarkan hasil konversi dari gabah kering panen ke gabah kering giling dengan kadar air standar GKG yaitu 12- 14%.

$$\text{Bobot GKG (Kg)} = \frac{100 - \text{Kadar Air (Panen)}}{100 - \text{K.A. Standar GKG}} \times \text{Bobot GKP (Kg)}$$

3.1.5 Laboratorium

a. Analisis Tanah

Analisis dilakukan dengan mengumpulkan lima sampel tanah secara acak dari beberapa titik lahan di sawah yang akan digunakan sebagai lahan percobaan, pengambilan sampel dengan cara mengambil tanah kedalaman sekitar 10 -15 cm dari permukaan tanah. Sampel tersebut kemudian digabungkan menjadi satu sampel komposit. Sampel komposit ini selanjutnya dianalisis di Laboratorium Analisis Politeknik Negeri Lampung (POLINELA).

b. Analisis Serapan Kalium

Analisis serapan kalium dilakukan dengan mengukur kadar kalium dalam jaringan tanaman. Analisis dilakukan satu kali pada fase vegetatif dan satu kali pada generatif dengan mengambil sampel biomassa dari 3 kelompok setiap petak percobaan. Kemudian sampel tersebut dikompositkan menjadi 15 sampel (15 perlakuan) dan dilakukan analisis di Laboratorium Tanah, Tanaman, Pupuk dan Air Badan Standarisasi Instrumen Pertanian Cimanggu, Jawa Barat.

c. Analisis Serapan *Zinc* pada Beras

Analisis serapan *zinc* pada beras dilakukan dengan menumbuk sampel gabah (GKG) menjadi beras, kemudian dikumpulkan beras dari setiap sampel perlakuan. Hasil sampel beras kemudian di analisis di Laboratorium Tanah, Tanaman, Pupuk dan Air Badan Standarisasi Instrumen Pertanian Cimanggu, Jawa Barat.

3.2 Percobaan II

Pengaruh aplikasi *zinc* (Zn) terhadap daya simpan dugaan benih tiga varietas padi sawah (*Oryza sativa* L.).

3.2.1 Tempat dan Waktu

Benih padi berasal dari lahan sawah Desa Maja Kecamatan Marga Punduh Kabupaten Pesawaran . Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Benih dan Pemuliaan Tanaman Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada November 2024 sampai dengan Januari 2025

3.2.2 Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Benih Padi Varietas Ciherang, Inpari 32, dan Inpari Nutri *Zinc* hasil panen di lapangan, aquades, etanol, air, tissue, plastik *wrapping*, plastik klip, karet gelang, kertas CD (buram), dan plastik.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gunting, *cutter*, pipet ukur, label sampel, timbangan elektrik, cawan petri, germinator tipe IPB 73 2A/2B, mistar, conductivity meter tipe WTW Inolab series, sprayer, oven, nampan, alat pengempa kertas, gelas plastik transparan 240 ml, dan alat tulis.

3.2.3 Rancangan Percobaan

Percobaan ini menggunakan rancangan petak jalur (RPJ) yang terdiri dari dua faktor. Faktor pertama adalah benih hasil panen perlakuan aplikasi *zinc* di lapangan yang terdiri dari *priming* dengan aquades selama 12 jam (P0) Kontrol, (P1) *Priming* Zn 0,25% selama 12 jam (P2) *Priming* Zn 0,25% selama 12 Jam + *Folliar Spray* Zn 0,5% fase vegetatif awal (25 HST) dan *Folliar Spray* 0,5% fase vegetatif akhir (40 HST), (P3) *Priming* Zn 0,25% selama 12 Jam + *Folliar Spray* Zn 0,5% fase generatif pengisian bulir (65 HST) dan *Folliar Spray* Zn 0,5% fase generatif masak susu (75 HST), (P4) *Priming* Zn 0,25% selama 12 Jam + *Folliar Spray* Zn 0,5% fase vegetatif awal (25 HST) dan *Folliar Spray* 0,5% fase vegetatif akhir (40 HST) + *Folliar Spray* Zn 0,5% fase generatif pengisian bulir (65 HST) dan *Folliar Spray* Zn 0,5% fase generatif masak susu (75 HST). Faktor kedua adalah konsentrasi etanol 16%. Masing-masing perlakuan diulang tiga kali

dengan mengikuti kelompok perlakuan yang telah dilakukan di lapangan, sehingga terdapat 45 satuan percobaan. Homogenitas ragam antar perlakuan diuji dengan Uji ANOVA, Uji Bartlett dan aditivitas data diuji dengan Uji Tukey. Uji lanjut menggunakan Uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf 5%. Analisis data menggunakan aplikasi R Studio (R.4.3.2). Berikut ini adalah tata letak percobaan (Gambar 4).

I

V1P1	V1P3	V1P4	V1P2	V1P0
V2P1	V2P3	V2P4	V2P2	V2P0
V3P1	V3P3	V3P4	V3P2	V3P0

II

V2P2	V2P0	V2P3	V2P1	V2P4
V3P2	V3P0	V3P3	V3P1	V3P4
V1P2	V1P0	V1P3	V1P1	V1P4

III

V3P0	V3P2	V3P4	V3P1	V3P3
V1P0	V1P2	V1P4	V1P1	V1P3
V2P0	V2P2	V2P4	V2P1	V2P3

Gambar 4. Tata Letak Percobaan 2

Keterangan:

V1: Varietas Ciherang

V2: Inpari-32

V3: Inpari Nutri Zinc

P1 : *Priming* Zn 0,25% selama 12 Jam

P2 : *Priming* Zn 0,25% selama 12 Jam + *Folliar Spray* Zn 0,5% fase vegetatif awal (25 HST) dan *Folliar Spray* 0,5% fase vegetatif akhir (40 HST)

P3 : *Priming* Zn 0,25% selama 12 Jam + *Folliar Spray* Zn 0,5% fase generatif pengisian bulir (65 HST) dan *Folliar Spray* Zn 0,5% fase generatif masak susu (75 HST)

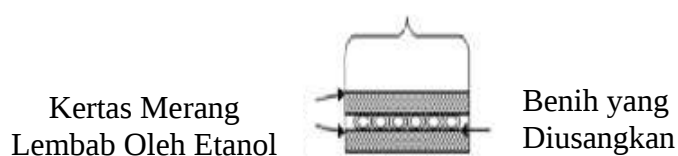
P4 : *Priming* Zn 0,25% selama 12 Jam + *Folliar Spray* Zn 0,5% fase vegetatif awal (25 HST) dan *Folliar Spray* 0,5% fase vegetatif akhir (40 HST) +

*Folliar Spray Zn 0,5% fase generatif pengisian bulir (65 HST) dan
Folliar Spray Zn 0,5% fase generatif masak susu (75 HST)*

3.3 Pelaksanaan Penelitian

3.3.1 Metode Pengusangan Cepat (MPC)

Pengusangan cepat dilakukan dengan cara LPLE (Lama Penyerapan Larutan Etanol) selama 12 jam dengan cara melembabkan benih padi pada kertas merang yang telah basah (kapasitas lapang) dalam larutan etanol konsentrasi 16% (Pramono *et al.*, 2020). Sebanyak 50 butir benih padi dimasukkan dan disusun ke dalam cawan petri yang di dalamnya telah di alasi dengan kertas merang basah kemudian setelah benih disusun rapih diatas benih ditutup kertas merang yang telah basah sehingga seluruh bagian benih baik bagian atas permukaan benih maupun bagian bawah permukaan benih basah oleh larutan etanol konsentrasi 16%. Dari 50 butir benih tersebut digunakan untuk tiga jenis pengujian: uji kecambah normal, uji kecambah abnormal, dan uji benih tidak berkecambah. Perlakuan pengusangan kimiawi dilakukan dengan melembabkan benih padi hasil panen dari lapangan yaitu benih P0,P1,P2, P3 dan P4. Benih yang dihasilkan dari 5 perlakuan pada percobaan I selanjutnya dilakukan penderaan dengan etanol konsentrasi 16%.



Gambar 5. Skema Tata Cara Penderaan Larutan Etanol
(Pramono *et al.*, 2020)

3.3.2 Penyiapan Media Perkecambahan

Media yang digunakan terdiri dari kertas merang dan kertas CD berukuran 35 x 20 cm, yang dibasahi dengan air dan kemudian dipres menggunakan alat pengempa kertas. Setiap gulungan sampel memerlukan dua lapis kertas di

setiap sisi media, sehingga totalnya ada empat lapis kertas untuk setiap gulungan sampel uji.

3.3.4 Pengujian Viabilitas Benih

Benih padi yang telah mengalami perlakuan pengusangan cepat kemudian diuji viabilitasnya. Pengujian viabilitas dilakukan dengan metode pengecambahan menggunakan uji kertas digulung dengan lapisan plastik (UKDdp). Uji perkecambahan mencakup uji kecambah normal, uji kecambah abnormal dan uji benih tidak berkecambah. Selanjutnya juga dilihat jumlah etanol yang terimbibisi ke dalam benih untuk melihat ketahanan benih terhadap deraan.

Untuk uji kecepatan perkecambahan, kertas merang yang dibasahi dan dilapisi plastik disiapkan, kemudian 50 butir benih padi diletakkan secara zig-zag di atasnya. Kertas ini digulung dan ditempatkan dalam germinator tipe IPB 73 2A/2B pada suhu kamar. Pengamatan untuk UKP dilakukan pada hari ke-5 dan ke-7. Hasil dari uji UKP jumlah kecambah normal total, kecambah abnormal, dan benih tidak berkecambah.

3.3.5 Variabel Pengamatan

a. Persentase Kecambah Normal

Kecambah normal adalah kecambah yang menunjukkan perkembangan yang sempurna, dengan akar, batang, dan daun yang berkembang dengan baik, serta tidak ada kelainan atau cacat yang menghambat pertumbuhannya. Kecambah ini memenuhi kriteria kualitas untuk spesies yang diuji dalam tes germinasi (ISTA, 2022). Persentase kecambah normal dihitung dengan melihat rasio jumlah kecambah normal yang didapat dari pengamatan 50 butir benih yang diuji. Persentase kecambah normal dihitung dengan membagi jumlah kecambah yang memiliki akar primer lengkap dan tumbuh secara normal pada hari ketujuh pengamatan dengan jumlah total benih yang ditanam, kemudian dikalikan 100%.

$$\text{PKN (\%)} = \frac{\sum \text{KN}_i}{n} \times 100\%$$

Keterangan:

PKN = Persentase Kecambah Normal (%)

KN = Kecambah Normal.

n = Jumlah benih yang ditanam pada media perkecambahan.

i = Hari pengamatan pada hari ke-5 dan 7.

(Pramono *et al.* 2020; ISTA, 2022)

a. Kecambah Abnormal (KAN)

Kecambah abnormal merupakan kecambah yang secara fisik menunjukkan pertumbuhan plumula dan radikula yang kurang baik serta perkembangan yang lemah. Pengamatan terhadap kecambah abnormal dilakukan pada hari ke-7 setelah tanam dengan menghitung seluruh jumlah kecambah yang termasuk dalam kategori tersebut. Persentase kecambah abnormal dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\text{KAN (\%)} = \frac{\text{jumlah kecambah abnormal}}{\text{jumlah benih contoh yang diujikan}} \times 100\%$$

(ISTA 2022; Putri, 2025)

b. Benih Tidak Berkecambah

Benih tidak berkecambah dilihat dari penampilan fisiknya seperti plumula dan radikula tidak menunjukkan pertumbuhan yang baik dan perkembangannya lemah. Benih tidak berkecambah dapat dilihat pada hari ke-7 setelah tanam dengan menghitung seluruh jumlah benih tidak berkecambah. Persentase benih tidak berkecambah dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\text{KAN (\%)} = \frac{\text{jumlah benih tidak berkecambah}}{\text{jumlah benih contoh yang diujikan}} \times 100\%$$

(Pramono, 2024)

c. Etanol Terimbibisi Ke Dalam Benih

Pengukuran volume etanol terimbibisi dilakukan untuk mengevaluasi tingkat kerusakan membran sel sebagai indikator kemunduran fisiologis benih. Semakin besar volume etanol yang terserap, semakin tinggi tingkat kebocoran membran, yang mencerminkan penurunan viabilitas dan vigor benih. Sebanyak 50 butir benih ditimbang, kemudian dilembabkan dalam larutan etanol konsentrasi 16% pada cawan petri selama 12 jam. Setelah dilembabkan benih ditiriskan dan ditimbang kembali. Selisih bobot sebelum dan sesudah perlakuan digunakan untuk menentukan volume etanol yang terimbibisi sebagai cerminan tingkat kerusakan membran dan kemunduran fisiologis benih. Volume etanol yang terimbibisi ke dalam benih dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Volume Etanol Terimbibisi} = (\text{BB 2} - \text{BB 1}) \times \text{Densitas Etanol}$$

Keterangan : BB 1 = Bobot Benih Sebelum Penderaan (Bobot Awal)

BB 2 = Bobot Benih Setelah Penderaan (Bobot Akhir)

(Pramono, 2024)

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa :

1. Aplikasi *zinc* (ZnSO_4 0,5%) melalui *priming* benih dan *foliar spray* pada fase vegetatif dan generatif memberikan pengaruh sangat nyata terhadap peningkatan tinggi tanaman, jumlah *tiller*, *tiller* produktif, waktu berbunga, jumlah bulir per malai, bobot 1.000 butir, persentase gabah hampa, persentase gabah bernas, gabah kering panen (GKP) dan gabah kering giling (GKG). Perlakuan P4 (*priming* dan aplikasi Zn pada fase vegetatif serta generatif) menunjukkan respons pertumbuhan dan hasil terbaik, mampu mempertahankan kandungan kalium selama fase generatif, serta meningkatkan kandungan *zinc* dalam beras hingga rata-rata 56% dibandingkan perlakuan kontrol.
2. Faktor varietas berpengaruh nyata terhadap parameter hasil, seperti jumlah tinggi tanaman, *tiller* (anakan) produktif, persentase gabah hampa dan bernas, serta sangat nyata terhadap waktu berbunga, bobot 1.000 butir, GKP, dan GKG. Parameter jumlah *tiller* (anakan) total, dan jumlah bulir menunjukkan repon tidak berbeda nyata. Varietas Nutri *Zinc* menunjukkan serapan kalium dan kandungan Zn dalam beras tertinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa varietas lebih berpengaruh pada hasil dan mutu gabah dibandingkan pertumbuhan vegetatif.
3. Interaksi antara aplikasi *zinc* (ZnSO_4) 0,5% dan varietas memberikan pengaruh sangat nyata terhadap bobot 1.000 butir, gabah kering panen (GKP), dan gabah kering giling (GKG) serta dapat mempertahankan

kandungan kalium dalam jaringan tanaman pada fase generatif. Varietas Ciherang menunjukkan respon tertinggi terhadap perlakuan P4 (*priming* dan aplikasi Zn pada fase vegetatif serta generatif), dengan peningkatan kandungan Zn dalam beras sebesar 75%, diikuti Inpari 32 sebesar 52% dan Nutri *Zinc* 40%.

4. Aplikasi *zinc* (ZnSO_4) 0,5% melalui *priming* dan *foliar spray* pada fase vegetatif serta generatif terbukti meningkatkan viabilitas dan daya simpan dugaan benih, ditunjukkan oleh meningkatnya persentase kecambah normal serta menurunnya persentase kecambah abnormal dan benih tidak berkecambah.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka saran yang bisa diberikan yaitu :

1. Penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas aplikasi *zinc* yang dikombinasikan dengan pupuk makro, serta melakukan penanaman pada musim yang sama (penanaman serentak) dalam satu hamparan sawah.
2. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan aplikasi *zinc* (Zn) melalui penyemprotan pada fase awal pertumbuhan, dimulai sejak tanaman berusia 7 hari setelah tanam (HST). Pendekatan ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi interaksi *zinc* terhadap inisiasi dan perkembangan anakan (*tiller*) serta peningkatan jumlah anakan produktif secara lebih optimal.
3. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji kualitas fisiologis benih secara lebih mendalam melalui serangkaian uji vigor, seperti *uji percepatan perkecambahan*, uji daya simpan benih, uji konduktivitas

listrik (*electrical conductivity test*), uji kekuatan kecambah (*seedling growth test*), serta uji perendaman terkontrol (*controlled deterioration test*). Pengujian tersebut bertujuan untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai viabilitas, ketahanan, dan potensi pertumbuhan awal benih hasil perlakuan *zinc*.

4. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengeksplorasi lebih lanjut pengaruh imbibisi etanol pada benih hasil perlakuan *zinc*. Penelitian ini perlu fokus pada bagaimana imbibisi etanol dapat mempengaruhi daya kecambah, vigor benih, dan kandungan *zinc* dalam benih setelah perlakuan. Hal ini bertujuan untuk memahami lebih dalam potensi interaksi antara *zinc* dan imbibisi etanol dalam meningkatkan serta mempertahankan kualitas daya simpan benih.

DAFTAR PUSTAKA

- Abreu, I. A., & Cabelli, D. E. 2010. Superoxide dismutases—a review of the metal-associated mechanistic variations. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)—Proteins and Proteomics*, 1804(2): 263–274.
<https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2009.11.005>
- Ahmed, N., Hussain, H. Z., Ali, M., & Rahi, A. A. 2022. Effect of Zn on chlorophyll contents, gas exchange attributes and Zn concentration in rice. *Pakistan Journal of Botany*, 54: 17–24.
- Alloway, B. J. 2008. *Zinc in soils and crop nutrition* (2nd ed.). Brussels & Paris: International Zinc Association (IZA) and International Fertilizer Industry Association (IFA).
- Alloway, B. J. 2009. *Micronutrient deficiencies in global crop production*. Dordrecht: Springer.
- Amanullah, & Inamullah. 2016. Dry matter partitioning and harvest index differ in rice genotypes with variable rates of phosphorus and zinc nutrition. *Rice Science*, 23(2): 78–87. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2015.09.006>
- Anindita, L. 2012. Stunting pada anak di Indonesia: Dampak kekurangan gizi kronis terhadap pertumbuhan tulang dan kesehatan. *Jurnal Gizi Indonesia*, 23(4): 55–67.
- Apel, K., & Hirt, H. 2004. Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology*, 55: 373–399.
<https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141701>
- Badan Pangan Nasional. 2023. *Buku statistik konsumsi pangan nasional*. Jakarta: Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk. 2023. *Petunjuk teknis edisi 3: Analisis kimia tanah, tanaman, air, dan pupuk*. Bogor: Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Boonchuay, P., Cakmak, I., Rerkasem, B., & Prom-U-Thai, C. 2013. Effect of different foliar zinc application at different growth stages on seed zinc concentration and its impact on seedling vigor in rice. *Soil Science and Plant Nutrition*, 59(2): 180–188.
<https://doi.org/10.1080/00380768.2013.763382>

- Broadley, M. R., Brown, P. H., Cakmak, I., Rengel, Z., & Zhao, F. J. 2012. Function of nutrients: Micronutrients. In P. Marschner (Ed.), *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3rd ed., hlm. 171–222). London: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00007-8>
- Broadley, M. R., White, P. J., Hammond, J. P., Zelko, I., & Lux, A. 2007. Zinc in plants. *New Phytologist*, 173(4): 677–702. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.01996.x>
- Bryson, G. M., Mills, H. A., & Robinson, J. B. 2014. *Plant analysis handbook III: A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide* (3rd ed.). Athens: Micro-Macro Publishing.
- Budi, P. A. 2014. Karakteristik F1 dari persilangan padi lokal Bengkulu pada lahan sawah bukaan baru. Skripsi. Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu.
- Cakmak, I. 2000. Tansley review: Role of zinc in protecting plant cells from reactive oxygen species. *New Phytologist*, 146(2): 185–205. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00630.x>
- Cakmak, I. 2008. Zinc and plant health. In *Micronutrients in agriculture* (hlm. 365–383). Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6893-3_20
- Cakmak, İ., Marschner, H., & Aydın, M. 1997. Concentration of zinc and activity of copper/zinc-superoxide dismutase in leaves of rye and wheat cultivars differing in sensitivity to zinc deficiency. *Journal of Plant Physiology*, 151(1): 91–95. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(97\)80040-4](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(97)80040-4)
- Chang, S., et al. 2005. Effects of zinc on the reproductive growth and flowering of rice. *Plant Science*, 168(5): 1202–1209. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.10.005>
- Cheng, W., & Zhang, Z. 2013. Effects of potassium on crop growth and development. *Field Crops Research*, 137: 131–138. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.10.016>
- Copeland, L., & McDonald, M. 2001. *Principles of seed science and technology* (4th ed.). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Dewi, H., & Adhi, A. 2014. Zinc in human bone health. *International Journal of Nutritional Science*, 21(2): 123–136.
- Direktorat Jenderal Tanaman Pangan. 2023. *Inpari IR Nutrizinc: Varietas padi yang kaya zinc untuk peningkatan gizi*. Jakarta: Kementerian Pertanian Republik Indonesia.

- Donggulo, C. V., Lapanjang, I. M., & Made, U. 2017. Pertumbuhan dan hasil tanaman padi (*Oryza sativa* L.) pada berbagai pola jajar legowo dan jarak tanam. *Jurnal Agroland*, 24(1): 27–35.
- Fageria, N. K., Moreira, A., Moraes, L. A. C., & Moraes, M. F. 2014. Root growth, nutrient uptake, and nutrient-use efficiency by roots of tropical legume cover crops as influenced by phosphorus fertilization. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 45: 555–569. <https://doi.org/10.1080/00103624.2013.867062>
- Farooq, M., Ullah, A., Rehman, A., Nawaz, A., Nadeem, A., Wakeel, A., Nadeem, F., & Siddique, K. H. M. 2018. Application of zinc improves the productivity and biofortification of fine grain aromatic rice grown in dry seeded and puddled transplanted production systems. *Field Crops Research*, 216: 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.11.004>
- Foyer, C. H., & Noctor, G. 2000. Oxygen processing in photosynthesis: Regulation and signaling. *New Phytologist*, 146: 359–388.
- Hafeez, B., Khanif, Y. M., & Saleem, M. 2013. Role of zinc in plant nutrition – A review. *American Journal of Experimental Agriculture*, 3(2): 374–391.
- Hafsi, C., Debez, A., & Abdelly, C. 2014. Potassium deficiency in plants: Effects and signaling cascades. *Acta Physiologiae Plantarum*, 36: 1055–1070. <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1491-2>
- Halliwell, B. 2015. *Antioxidant and anti-inflammatory components of foods*. Brussels: ILSI Europe.
- Hamam, M., Pujiasmanto, B., & Supriyono, D. 2018. Peningkatan hasil padi (*Oryza sativa* L.) dan kadar zinc dalam beras melalui aplikasi zinc sulfat heptahidrat. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 45(3): 243–250.
- Hashim, M. S., Singh, V. K., Singh, K. K., Dhar, S., & Rathore, M. 2021. Effect of foliar application of iron and zinc on performance of transplanted rice in middle Gangetic Plains of Bihar. *Journal of AgriSearch*, 8(2): 72–78.
- Herdianti, H., Sulistiyono, E., & Purwono. 2021. Pertumbuhan dan produksi beberapa varietas padi (*Oryza sativa* L.) pada berbagai interval irigasi. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 49(2): 129–135.
- Hidayati, N., Sri Rahayu, & Kurniawati, D. 2019. Angka kecukupan gizi (AKG) zinc di Indonesia. *Jurnal Gizi Pangan*, 17(2): 56–64.
- Huang, W., Lin, M., Liao, J., Li, A., Tsewang, W., Chen, X., et al. 2022. Effects of K deficiency on the growth of tea (*Camellia sinensis*) and strategies for optimizing K levels in soil: A critical review. *Horticulturae*, 8(7): 660. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070660>

- Imran, M., Zhang, G., & Zhao, X. 2021. The role of zinc in promoting rice growth and development under abiotic stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40(4): 757–768. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10494-2>
- Indrasari, S. D., & Kristamsari. 2018. Biofortifikasi mineral Fe dan Zn pada beras: Perbaikan mutu gizi bahan pangan melalui pemuliaan tanaman. *Jurnal Litbang Pertanian*, 37(1): 9–16.
- Ismunadji, M., & Ardjasa, W. S. 1988. Pengaruh fosfat dan hara lain terhadap keracunan besi pada padi sawah. Bogor: Balai Penelitian Tanaman Pangan.
- International Seed Testing Association (ISTA). 2022. *International Rules for Seed Testing 2022*. Full Issue i–19-8 (300). <https://doi.org/10.15258/istarules.2022.F>
- Izsaki, Z. 2014. Effects of phosphorus supplies on the nutritional status of maize (*Zea mays* L.). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 45: 516–529.
- Jat, G., Majumdar, S. P., Jat, N. K., & Mazumdar, S. P. 2013. Potassium and zinc fertilization of wheat (*Triticum aestivum*) in western arid zone of India. *Indian Journal of Agronomy*, 58: 67–71.
- Jena, P. K., Rao, C. P., & Subbiah, G. 2006. Effect of zinc management practices on growth, yield and economics in transplanted rice. *Oryza*, 43(4): 326–328.
- Jones, J. B. Jr. 2012. *Plant nutrition and soil fertility manual*. Boca Raton: CRC Press.
- Juanda, M., et al. 2020. Analysis of seedling abnormalities and seed quality. *Jurnal Pertanian*, 41(6): 243–250.
- Kadir, M., Abidin, Z., Mulyawan, R., Bachtiar, T., Yuniarto, A., Yusra, S., Citraresmini, A., Sofyan, E. T., Joy, B., & Mulyani, O. 2023. *Kesuburan tanah*. Yayasan Kita Menulis.
- Khan Ali, M., et al. 2018. Improving growth and yield of potato through potassium and zinc fertilization. *Pure and Applied Biology*, 7(3): 992–997. <https://doi.org/10.19045/bspab.2018.700117>
- Kochian, L. V. 1991. Mechanism of micronutrient uptake and translocation in plants. In J. J. Mortvedt (Ed.), *Micronutrients in agriculture* (pp. 229–296). Madison: Soil Science Society of America.
- Kolo, B. A., & Tefa, M. I. 2016. Effect of aging on membrane stability and imbibition in rice seeds. *Seed Science Research*, 26(1): 45–53.

- Kupriyanova, E. V., Pronina, N. A., & Los, D. A. 2013. Specific features of the system of carbonic anhydrases of alkaliphilic cyanobacteria. *Russian Journal of Plant Physiology*, 60(4): 465–471.
- Kurniawan. 2020. Studi pengembangan kelompok tani dalam mengembangkan usaha tani padi organik di Desa Sumber Makmur Kecamatan Kalaena Kabupaten Luwu Timur. Skripsi tidak diterbitkan. Fakultas Pertanian, Universitas Cokroaminoto Palopo, Sulawesi Selatan.
- Li, Y. T., Zhang, Y., Shi, D., Liu, X., Qin, J., Ge, Q., Xu, L. P., Xiangliang, Li, W., Zhu, Y., & Xu, J. 2013. Spatial-temporal analysis of zinc homeostasis reveals the response mechanisms to acute zinc deficiency in *Sorghum bicolor*. *New Phytologist*, 200: 1102–1115.
<https://doi.org/10.1111/nph.12433>
- Lindsay, W. L. 1991. Zinc solubility and activity as affected by soil pH. In J. J. Mortvedt, et al. (Eds.), *Micronutrients in agriculture* (2nd ed., pp. 185–210). Madison: Soil Science Society of America.
- Linguist, B. 2020. Optimal and critical nutrient concentration in rice tissue. *Agronomy Fact Sheet*. Agronomy Research & Information Center, University of California.
- Ludwig, M. 2013. The advantages of C4 photosynthesis in hot and arid environments. *Journal of Plant Physiology*, 170(5): 473–482.
- Lutfi, M., Agung, W., Gunomo, N., Pisang, P., & Gondok, E. 2013. Analisis kinerja pita tanam organik sebagai media perkecambahan benih padi (*Oryza sativa* L.) sistem tabela dengan desain tertutup dan terbuka. *Jurnal Teknik Pertanian dan Lingkungan*, 1(2): 59–68.
- Lynch, J., Marschner, P., & Rengel, Z. 2012. Effect of internal and external factors on root growth and development. In P. Marschner (Ed.), *Mineral nutrition of higher plants* (3rd ed., pp. 331–346). London: Academic Press.
- Ma, Y., & Lindsay, W. L. 1993. Speciation and activity of Zn^{2+} in soils with franklinite presence. *Soil Science Society of America Journal*, 57(2): 442–448.
- Makarim, A., & Suhartatik, E. 2009. *Morfologi dan fisiologi tanaman padi*. Subang: Balai Besar Penelitian Tanaman Padi.
- Marahayu, & Kartasurya, R. 2018. Zinc and its role in growth hormone synthesis in children. *Journal of Clinical Nutrition*, 34(3): 201–210.
- Marschner, H. 2012. *Mineral nutrition of higher plants* (3rd ed.). London: Academic Press.

- Mathpal, B., Srivastava, P. C., Shankhdhar, D., & Shankhdhar, S. C. 2015. Improving key enzyme activities and quality of rice under various methods of zinc application. *Physiological and Molecular Biology of Plants*, 21(4), 553–560. <https://doi.org/10.1007/s12298-015-0321-3>
- McDonald, M. B. 1999. Seed deterioration: Physiology, repair and assessment. *Seed Science and Technology*, 27(1), 177–237.
- Mengel, K., & Kirkby, E. A. 2001. *Principles of plant nutrition* (5th ed.). Kluwer Academic Publishers.
- Mishra, P., & Dash, D. 2014. Rejuvenation of biofertiliser for sustainable agriculture economic development (SAED). *Consilience: The Journal of Sustainable Development*, 11(1), 41–61.
- Mosleh, M. K., Hassan, Q. K., & Chowdhury, E. H. 2015. Application of remote sensors in mapping rice area and forecasting its production: A review. *Sensors (Switzerland)*, 15(1), 769–791.
- Mustafa. 2011. Effect of method and time of zinc application on growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal for Agro Veterinary and Medical Sciences*, 5(6), 530.
- Nurisma, I., Agustiansyah, & Kamal, M. 2015. Pengaruh jenis kemasan dan suhu ruang simpan terhadap viabilitas benih sorgum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench). *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 15(3), 183–190.
- Panwar, D., Mishra, A., Pachauri, R., & Guru, S. 2023. Effect of foliar zinc nutrition on yield and zinc use efficiency of rice (*Oryza sativa* L.). *The Pharma Innovation Journal*, 12(2), 2205–2208.
- Pedda Babu, P., et al. 2007. Influence of zinc and organics on rice yield and zinc use efficiency in Vertisol and Entisol. *Plant Archives*, 20(1), 1477–1480.
- Perelman, A., Imas, P., & Bansal, S. K. 2022. Potassium and zinc improve physiological performance, nutrient use efficiency, and yield in crops. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1363248.
- Phuphong, C., Cakmak, I., Dell, B., & Prom-u-Thai, C. 2016. Effects of foliar application of zinc on grain yield and zinc concentration of rice in farmers' fields. *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences*, 17(3).
- Pramono, E., Hadi, M. S., & Kamal, M. 2020. Viabilitas benih kedelai (*Glycine max* [L.] Merrill) sejalan dengan penyimpanan alamiah dan pengusangan cepat dengan etanol. *Jurnal Agrotropika*, 19(1), 43–56.
- Pramono, E. 2024. Instruksi pengujian etanol terimbibisi ke dalam benih padi menggunakan larutan etanol 16% sebagai indikator vigor benih

(komunikasi pribadi penyusunan tesis, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, 29 Oktober 2024).

- Pramono, E. 2025. Diskusi tentang metode pengusangan cepat pada benih padi [Bimbingan tesis, Universitas Lampung].
- Prom-u-Thai, C., Rerkasem, B., Yazici, A., & Cakmak, I. 2012. Zinc priming promotes seed germination and seedling vigor of rice. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175(4), 482–488.
- Purba, T., Ningsih, H., Purwaningsih, Junaedi, A. S., Gunawan, B., Firgiyanto, & Refa. 2021. *Tanah dan nutrisi tanaman*. Yayasan Kita Menulis.
- Purnamasari, L., Pramono, E., & Kamal. 2015. Pengaruh jumlah tanaman per lubang terhadap vigor benih tiga varietas sorgum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) dengan metode pengusangan cepat (MPC). *Agroteknologi Unila: Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 15(2), 107–114.
- Puspitaningtyas, D., et al. 2018. Imbibition sensitivity and membrane integrity of aged rice seeds. *Journal of Seed Technology*, 40(3), 89–98.
- Putri, D. A. 2025. Kajian akumulasi biomassa, serapan nitrogen (N), dan kandungan zinc (Zn) beberapa varietas padi sawah (*Oryza sativa* L.) akibat aplikasi zinc (Zn) dan uji vigor benih padi pada kondisi salin (Tesis Magister, Program Studi Agronomi, Pascasarjana, Universitas Lampung).
- Qiao, Y., Li, C., & Yan, C. 2014. Zinc and its role in promoting photosynthesis and chlorophyll synthesis in rice. *Plant Physiology*, 161(4), 2678–2686. <https://doi.org/10.1104/pp.113.227808>
- Rahayu, I. 2017. Pengaruh umur panen dan jenis pupuk terhadap produksi tanaman padi (*Oryza sativa* L.) hidroponik sebagai pakan ternak (Skripsi, Fakultas Peternakan, Universitas Padjadjaran, Sumedang).
- Ramadhan, L., Putri, R., & Salim, A. 2020. Dampak kekurangan Zn pada reproduksi anak dan pertumbuhan. *Jurnal Gizi dan Pangan*, 18(3), 101–110.
- Raza, M. A., Liu, J., & Zhang, M. 2020. Impact of zinc application on rice yield and quality in calcareous soils. *Agronomy*, 10(6), 853. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060853>
- Raza, S., Zia-ur-Rehman, M., Alghamdi, S. A., Alghanem, S. M., & Alghamdi, S. A. 2021. Potassium and zinc improves physiological performance and productivity of wheat under salt stress. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1363248. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1363248>

- Ryan, M. H., McInerney, J. K., Record, J. K., & Angus, J. F. 2008. Zinc bioavailability in wheat grain in relation to phosphorus fertilization, crop sequence, and mycorrhizal fungi. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88, 208–216.
- Sachdev, M. S., et al. 1988. Effect of zinc nutrition on economic productivity of rice (*Oryza sativa*) and soil biological properties. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 92(3), 1227–1232.
- Sadjad, S. 1993. *Kuantitas metabolisme benih*. Rasindo.
- Sagardoy, R., Vazquez, S., Florez-Sarasa, I. D., et al. 2010. Stomatal and mesophyll conductances to CO₂ are the main limitations to photosynthesis in sugar beet (*Beta vulgaris*) plants grown with excess zinc. *New Phytologist*, 187, 145–158.
- Saikh, R., Murmu, K., Sarkar, A., Mondal, R., & Jana, K. 2022. Effect of foliar zinc application on growth and yield of rice (*Oryza sativa*) in the Indo-Gangetic Plains of India. *Nusantara Bioscience*, 14(2), 182–187.
- Salem, E. M. M., Kenawey, M. K. M., Saudy, H. S., & Mubarak, M. 2022. Influence of silicon forms on nutrient accumulation and grain yield of wheat under water deficit conditions. *Gesunde Pflanzen*.
<https://doi.org/10.1007/s10343-022-00629-y>
- Sanny, L. 2010. Analisis produksi beras di Indonesia. *Binus Business Review*, 1(1), 245.
- Saudy, H. S., Salem, E. M., & Abd El-Momen, W. R. 2023. Effect of K silicate and irrigation on grain nutrient uptake and water use efficiency of wheat under calcareous soils. *Gesunde Pflanzen*, 75, 647–654.
<https://doi.org/10.1007/s10343-022-00729-9>
- Sembiring, H. 2008. Kebijakan penelitian dan rangkuman hasil penelitian BB Padi dalam mendukung peningkatan produksi beras nasional. Dalam *Prosiding Seminar Apresiasi Hasil Penelitian Padi Menunjang P2BN* (hlm. 39–59). Subang: Balai Besar Penelitian Tanaman Padi.
- Sharma, P. N., Kumar, P., & Tewari, R. K. 2004. Early signs of oxidative stress in wheat plants subjected to zinc deficiency. *Journal of Plant Nutrition*, 27, 451–463.
- Shehata, S., Zayed, B., Naeem, E., Seedex, S., & El-Gohary, A. 2009. Response of rice (*Oryza sativa* L.) to different levels of zinc and sulfur under saline soil. *Egyptian Journal of Applied Sciences*, 24.
<https://doi.org/10.21608/ejss.2021.79007.1451>

- Shuman, L. M. 1991. Chemical forms of micronutrients in soils. In J. J. Mortvedt, F. R. Cox, L. M. Shuman, & R. M. Welch (Eds.), *Micronutrients in agriculture* (2nd ed., hlm. 113–144). Madison: Soil Science Society of America.
- Sinetova, M. A., et al. 2012. Identification and functional role of the carbonic anhydrase Cah3 in *Chlamydomonas reinhardtii*. *The Plant Journal*, 71(3): 385–394.
- Singh, A., & Roychoudhury, A. 2022. Mechanism of crosstalk between cytokinin and gibberellin. In *Signaling and Communication in Plants*. Springer.
- Singh, R., & Raza, M. 2017. Rice seed treatment and their influence on seed quality and germination. *International Journal of Agricultural Science and Technology*, 10(2): 85–92.
- Sisodiya, R., Ray, M., Dubey, A., Waskley, M., Verma, S., & Ahmed, S. 2021. Assessment of different doses of zinc on growth and yield of different rice (*Oryza sativa*) cultivars. *Biological Forum – An International Journal*, 13(3b): 291–294.
- Slaton, N. A., Norman, R. J., & Wilson, C. E., Jr. 2005. Effect of zinc source and application time on zinc uptake and grain yield of flood-irrigated rice. *Agronomy Journal*, 97: 272–278. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0272>
- Sopandie, D. 2013. *Fisiologi adaptasi tanaman terhadap cekaman abiotik pada agroekosistem tropika*. Bogor: IPB Press.
- Storey, J. B. 2007. Zinc. In A. V. Barker & D. J. Pilbeam (Eds.), *Handbook of Plant Nutrition* (hlm. 411–435). CRC Press.
- Sunar. 2021. Respon pertumbuhan, produksi dan kandungan zinc (Zn) tanaman padi (*Oryza sativa* L.) terhadap teknik pemberian dan dosis pupuk zinc sulfat. *Jurnal Agrisia*, 14(1): 1–13.
- Taiz, L., & Zeiger, E. 2010. *Plant physiology* (5th ed.). Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Uchida, R. 2000. *Essential nutrients for plant growth: Nutrient functions and deficiency symptoms*. University of Hawaii at Manoa.
- UNICEF Indonesia. 2022. *Menuju masa depan Indonesia bebas masalah kekurangan gizi*. Jakarta: UNICEF Indonesia.
- Veselova, T. V., & Veselovsky, V. A. 2003. Investigation of atypical germination changes during accelerated ageing of pea seeds. *Seed Science and Technology*, 31(3): 517–530. <https://doi.org/10.15258/sst.2003.31.3.01>

- Walters, C. 1998. Understanding the mechanisms and kinetics of seed aging. *Seed Science Research*, 8: 223–244.
- Widya Karya Pangan dan Gizi. 1998. *Angka kecukupan gizi (AKG) mineral dan vitamin*. Jakarta: Depkes RI.
- Winarso, S. 2005. *Kesuburan tanah, dasar kesehatan dan kualitas tanah*. Yogyakarta: Gava Media.
- Yilmaz, A., Ekiz, H., Gültekin, I., Torun, B., Barut, H., Karanlik, S., & Cakmak, I. 1998. Effect of seed zinc content on grain yield and zinc concentration of wheat grown in zinc-deficient calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition*, 21(11): 2257–2264. <https://doi.org/10.1080/01904169809365561>
- Zanzibar, M. 2007. Pengaruh perlakuan pengusangan dengan uap etanol terhadap penurunan kualitas fisiologi benih akor (*Acacia auriculiformis*), merbau (*Intsia bijuga*), dan mindi (*Melia azedarach*). *Jurnal Penelitian Tanaman Hutan*, 4(2): 199–206.
- Zarzycki, J., et al. 2013. Cyanobacterial carboxysomes: Microcompartments that facilitate CO₂ fixation. *Nature Reviews Microbiology*, 11(5): 410–419. <https://doi.org/10.1038/nrmicro3038>
- Zastrow, M. L., & Pecoraro, V. L. 2014. Designing hydrolytic zinc metalloenzymes. *Biochemistry*, 53(6): 957–978.
- Zhang, Y. Q., Deng, Y., Chen, R. Y., Cui, Z. L., Chen, X. P., Yost, R., Zhang, F. S., & Zou, C. Q. 2012. The reduction in zinc concentration of wheat grain upon increased phosphorus fertilization and its mitigation by foliar zinc application. *Plant and Soil*, 361: 143–152.