

LAPORAN AKHIR

PENGUJIAN EFEKTIVITAS PUPUK MIKRO Cu DAN Zn TERHADAP PENINGKATAN PERTUMBUHAN DAN HASIL TANAMAN PADI



Tim Penyusun:

Sutan Tarmizi Lubis, S.P., M.Sc.

Betha Silmia, S.Hut., M.Sc.

POLITEKNIK LPP YOGYAKARTA

2025

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Penelitian : Pengujian Efektivitas Pupuk Mikro Cu Dan Zn Terhadap Peningkatan Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Padi

Bidang Penelitian : Agronomi Tanaman

Ketua Peneliti

a. Nama Lengkap : Sutan Tarmizi Lubi S.P., M.Sc.

b. NIDN : 5457772673130303

c. Jabatan Fungsional : Tenaga Pengajar

d. Program Studi : Pengelolaan Perkebunan

e. Nomor HP : 085270044510

f. Alamat surel (email) : stn@polteklpp.ac.id

Anggota Peneliti (1)

a. Nama Lengkap : Betha Silmia, S.Hut.,M.Sc.

b. NIDN/NIM : 21.050.10

c. Perguruan Tinggi : Universitas Turnojoyo Madura

Menyetujui,
Kepala UP2M

Yogyakarta, 2 September 2025
Dosen Pelaksana,



(Dr. Anna Kusumawati, S.P., M. Sc.)
NIDN: 0505048602

(Sutan Tarmizi Lubis, S.P., M.Sc.)
NUPTK: 5457772673130303

Mengetahui,

Direktur Politeknik LPP Yogyakarta



Dr.Ir. M. Mustangin , S.T., M. Eng., IPM

RINGKASAN EKSEKUTIF

Penelitian efektivitas pupuk mikro Cu dan Zn dilaksanakan di Mlati, Sleman menggunakan metode Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) dengan 8 perlakuan, terdiri atas kontrol tanpa pupuk (P0), NPK tunggal (P1), serta kombinasi NPK dengan berbagai dosis pupuk mikro (P2–P7). Hasil analisis menunjukkan bahwa aplikasi pupuk mikro mampu memperbaiki sifat kimia tanah, terutama meningkatkan ketersediaan hara mikro Cu dan Zn, serta mendorong serapan hara lebih tinggi pada jaringan daun. Dibandingkan dengan kontrol (P0), perlakuan P3–P7 memberikan peningkatan hasil panen nyata, yaitu sebesar 46–132% lebih tinggi, dengan perlakuan P6 menunjukkan hasil yang terbaik karena menghasilkan produksi tertinggi (8,45 ton/ha) serta jumlah anakan terbanyak. Peningkatan ini juga ditunjang dengan nilai *Relative Agronomic Effectiveness* (RAE) >200 pada perlakuan P3–P7, yang menegaskan efisiensi pemanfaatan hara meningkat dengan aplikasi pupuk mikro. Walaupun tinggi tanaman tidak berbeda signifikan, perbaikan sifat tanah, peningkatan ketersediaan hara mikro, dan serapan jaringan daun membuktikan bahwa kombinasi NPK + pupuk mikro, khususnya dosis P6, lolos uji efektivitas sesuai kriteria (>15% peningkatan hasil, perbaikan sifat tanah, dan peningkatan serapan hara), sehingga layak direkomendasikan sebagai teknologi pemupukan yang efektif dan produktif.

DAFTAR ISI

RINGKASAN EKSEKUTIF.....	3
DAFTAR ISI.....	4
DAFTAR TABEL.....	5
DAFTAR GAMBAR.....	6
I. PENDAHULUAN.....	7
1.1 Latar Belakang.....	7
1.2 TUJUAN.....	9
1.3 KERANGKA PEMIKIRAN.....	9
II. METODOLOGI PENELITIAN.....	12
III. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	15
3.1 Hasil Uji Mutu Pupuk yang Diuji.....	15
3.2 Kondisi Iklim Mikro.....	16
3.3 Hasil Analisis Tanah Sebelum Pelaksanaan Uji.....	23
3.4 Analisis Variabel Hasil Pengukuran.....	24
3.5 <i>Relative Agronomic Effectiveness</i> (RAE).....	32
3.6 Kriteria Lulus Uji Efektivitas.....	34
IV. KESIMPULAN.....	36
V. DAFTAR PUSTAKA.....	37
V. LAMPIRAN.....	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Rincian perlakuan pengujian produk pupuk.....	12
Tabel 2. Pengujian mutu pupuk pupuk mikro.....	15
Tabel 3. Hasil Analisis Tanah Sebelum Pelaksaaan Uji.....	24
Tabel 4. Kandungan Hara Tersedia Tanah dan Serapan Hara Jaringan Daun Padi pada Berbagai Perlakuan Pupuk Mikro pupuk mikro.....	25
Tabel 5. Respon tinggi tanaman dan jumlah anakan padi terhadap pupuk pupuk mikro.....	30

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Suhu rata-rata periode Desember 2024-Mei 2025.....	17
Gambar 2. Kelembaban rata – rata periode Desember 2024 – Mei 2025.....	19
Gambar 3. Curah hujan periode Desember 2024 – Mei 2025.....	21
Gambar 4. Lama penyinaran matahari periode Desember 2024 – Mei 2025.....	23
Gambar 5. Nilai RAE perlakuan penambahan pupukpupuk mikro.....	33

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Komoditas tanaman yang diusahakan oleh para pekebun di Indonesia secara umum masih belum memberikan produksi maksimal. Komoditas tanaman tersebut terutama mencakup pangan, hortikultura dan perkebunan. Semua komoditas tanaman yang masuk ke dalam masing-masing subsektor tersebut realisasi produktivitasnya masih jauh di bawah potensi yang seharusnya. Produktivitas tanaman dapat dikategorikan ke dalam tiga tingkatan yaitu *potential productivity*, *attainable productivity* dan *existing productivity*. *Potential productivity* merupakan produktivitas tanaman pada tingkatan pemulia yang memungkinkan tercapai ketika tanaman dikelola dalam populasi dan lingkungan terbatas (lingkungan yang kesemua anasirnya terkendali dan sangat sesuai dengan syarat tumbuh tanaman dimaksud). Dalam ranah operasional produksi tanaman, *potential productivity* ini tidak akan mungkin dapat dicapai mengingat populasi tanaman yang dikelola jumlahnya sangat besar, luasan lahan yang dikelola juga sangat besar dan faktor-faktor lingkungan yang ada di dalamnya tidak sepenuhnya terkontrol. *Attainable productivity* adalah produktivitas tanaman maksimal yang paling memungkinkan dapat diwujudkan jika operasional produksi dijalankan dengan memenuhi semua aspek intensifikasi. Secara umum pada komoditas tanaman, *attainable productivity* nilainya yaitu 80% dari *potential productivity*. Sedangkan *existing productivity* yaitu capaian produktivitas yang saat ini dapat dicapai oleh suatu komoditas tanaman.

Pada kondisi pengelolaan operasional produksi tanaman yang baik nilai dari *existing productivity* seharusnya sama dengan *attainable productivity*. Namun demikian, di Indonesia pada saat ini nilai *existing productivity* masih jauh di bawah *attainable productivity*. Hal ini terjadi karena operasional produksi tanaman dijalankan dengan tidak memenuhi beberapa aspek yang dibutuhkan, dan hal ini berlaku luas di kalangan para pelaku produksi tanaman di Indonesia. Secara nasional, nilai *existing productivity* hanya sekitar 50% dari *potential productivity*, dan hal ini berlaku umum pada sebagian besar komoditas tanaman. Kejadian ini selanjutnya disebut sebagai kesenjangan hasil (*yield gap*).

Tim peneliti telah memiliki pengalaman panjang terkait kajian-kajian yang berhubungan dengan kejadian kesenjangan hasil pada sebagian besar komoditas tanaman yang menjadi andalan Indonesia. Hasil kajian yang telah dilakukan memberikan informasi bahwa urutan penyebab utama kejadian kesenjangan hasil yaitu 1) defisiensi nutrisi, 2) kehilangan hasil akibat manajemen panen yang tidak proper, 3) penggunaan bahan tanam asalan, 4) pengelolaan gulma yang tidak proper, 5) pengelolaan pemangkasan yang tidak proper (khusus untuk tanaman tahunan), 6) pengelolaan cover crops yang tidak proper dan 7) kehilangan hasil akibat serangan hama-penyakit. Hasil kajian yang telah dilakukan pada banyak komoditas tanaman mengindikasikan bahwa faktor defisiensi nutrisi adalah penyebab utama terjadinya masalah kesenjangan hasil.

Hasil tanaman pada semua komoditas di Indonesia dapat dimaksimalkan melalui minimalisasi kesenjangan hasil, bahkan jika memungkinkan yaitu menghilangkan kesenjangan hasil. Berdasarkan pada uraian di paragraf sebelumnya telah disebutkan bahwa penyebab pertama kejadian kesenjangan hasil yaitu masalah defisiensi nutrisi. Oleh karena itu, faktor utama yang diperlukan untuk dapat menghilangkan kejadian kesenjangan hasil yaitu melalui optimalisasi ketersediaan nutrisi tanaman. Ketersediaan nutrisi tanaman dapat optimal jika dilakukan pengelolaan nutrisi secara presisi. Penyediaan nutrisi tanaman merupakan aspek utama yang wajib dipenuhi dalam rangka menghilangkan kejadian kesenjangan hasil.

Penyediaan nutrisi tanaman secara optimal dilakukan melalui manajemen pemupukan secara presisi. Material pupuk merupakan komponen utama dalam manajemen nutrisi. Oleh karena itu, pupuk merupakan aspek utama untuk menjamin penyediaan nutrisi secara optimal bagi tanaman yang diusahakan. Berdasarkan pada hasil analisa ekonomi pada beberapa komoditas tanaman utama Indonesia, dapat diketahui bahwa komponen pupuk menguasai sekitar 40% dari biaya produksi total. Situasi ini menyebabkan pupuk merupakan penentu utama sustainabilitas dalam operasional produksi tanaman. Menimbang hal ini

maka material pupuk yang digunakan dalam operasional produksi tanaman haruslah efektif untuk digunakan. Untuk dapat memastikan bahwa suatu material pupuk memiliki efektivitas tinggi ketika digunakan dalam operasional produksi tanaman harus ditempuh melalui serangkaian aktivitas pengujian efektivitas yang diselenggarakan oleh institusi penelitian yang terpercaya (kredibel).

1.2 TUJUAN

- a) Mengetahui pengaruh aplikasi pupuk mikro majemuk pupuk mikro yang diproduksi oleh PT. Ditya Chemindo pada pertumbuhan, komponen hasil dan hasil tanaman padi.
- b) Mengetahui tingkat efektivitas pupuk mikro majemuk pupuk mikro yang diproduksi oleh PT. Ditya Chemindo ketika diaplikasikan dalam operasional produksi beberapa jenis tanaman
- a) Menentukan dosis pupuk yang efektif dan tidak efektif ketika diaplikasikan dalam operasional produksi padi

1.3 KERANGKA PEMIKIRAN

PT. Ditya Chemindo pada saat ini telah memproduksi pupuk mikro majemuk yang terfokus untuk mencukupi ketersediaan hara seng (Zn), tembaga (Cu) dan boron (B). Karakteristik produk pupuk yang demikian memiliki kekuatan sekaligus keunikan untuk dapat bersaing di market pupuk. Para produsen pupuk secara umum pada saat ini masih terfokus pada upaya untuk mencukupi ketersediaan hara makro primer khususnya nitrogen (N), fosfor (P) dan kalium (K). Beberapa produsen mulai berekspansi untuk memproduksi produk pupuk di luar sumber N, P dan K. Namun demikian, secara umum ekspansi yang mereka lakukan masih terbatas pada upaya untuk memenuhi ketersediaan hara makro lainnya yaitu kalsium (Ca), magnesium (Mg) dan sulphur (S).

Rangkaian kajian sebelumnya yang telah dilakukan oleh tim peneliti memberikan informasi bahwa faktor pembatas produksi tanaman dari aspek nutrisi yang saat

ini jamak ditemukan di sentra-sentra pertanian Indonesia justru adalah hara mikro esensial. Untuk hara makro, secara umum tingkat ketercukupannya sudah lebih baik jika dibandingkan dengan hara mikro karena produk pupuk yang memasok keperluan hara makro tersebut pilihannya saat ini sudah banyak. Kondisi tersebut menyebabkan limitasi produksi tanaman di sentra-sentra pertanian di Indonesia jarang yang faktor penyebabnya adalah defisiensi hara makro. Melalui kajian yang telah dilakukan secara rinci ditemukan bahwa *limiting factor* penyebab kesenjangan hasil di sentra-sentra pertanian Indonesia yaitu kejadian defisiensi hara mikro esensial.

Secara spesifik, produk pupuk yang dihasilkan oleh PT. Ditya Chemindo hanya terfokus pada upaya untuk mencukupi kebutuhan tiga hara esensial mikro yaitu Zn, Cu dan B. Strategi yang ditempuh ini juga sangat tepat karena hanya terfokus pada tiga hara mikro esensial yaitu Zn, Cu dan B, tidak melebar ke hara mikro esensial lainnya. Kenapa pilihan strategi ini tepat? Karena tipikal tanah pertanian di Indonesia yang merupakan kawasan hujan tropis basah tentu saja untuk hara mikro esensial selain Zn, Cu dan B sudah cukup melimpah tingkat ketersediaannya di dalam tanah, terutama besi (Fe), mangan (Mn), molybdenum (Mo) dan khlor (Cl). Oleh karena itu, penyediaan produk pupuk untuk mencukupi ketersediaan hara Fe, Mn, Mo dan Cl menjadi tidak relevan dan tidak strategis mengingat tingkat ketersediaan keempat hara mikro esensial tersebut di dalam tanah-tanah Indonesia sangat melimpah.

Tingkat ketersediaan hara Zn, Cu dan B di tanah-tanah Indonesia secara umum rendah mengingat tipikal iklim yang merupakan *tropical rain forest* dengan tingkat curah hujan tinggi. Kondisi tersebut menyebabkan tanaman yang diusahakan di Indonesia lebih berpotensi mengalami kejadian defisiensi hara Zn, Cu dan B jika dibandingkan dengan hara mikro esensial lainnya. Oleh karena itu, untuk mencukupi kebutuhan hara Zn, Cu dan B bagi tanaman dipasok melalui aplikasi pupuk. Menimbang adanya peluang ini, maka pilihan yang diambil oleh PT. Ditya Chemindo untuk menghasilkan produk pupuk mikro majemuk focus Zn, Cu dan B sudah sangat tepat, relevan dan strategis.

Hara Zn, Cu dan B tergolong hara esensial mikro. Tingkat ketersediaan hara-hara ini di tanah Indonesia rendah sehingga wajib dipasok melalui kegiatan pemupukan. Hara Zn esensial bagi tanaman karena terlibat dalam sintesis protein dan hormone auksin. Defisiensi hara Zn menyebabkan hambatan pertumbuhan, pemendekan panjang internode, tanaman menjadi roset dan interveinal klorosis pada daun muda. Hara Cu juga merupakan hara mikro esensial. Hara ini esensial karena terlibat dalam proses fotosintesis terutama tahapan reaksi cahaya untuk proses revolusi oksigen. Sedangkan hara B esensial bagi tanaman karena terlibat dalam metabolisme karbohidrat. Hara ini juga esensial bagi tanaman karena menentukan pembungaan, perkecambahan polen dan metabolime N. Defisiensi B menyebabkan distorsi dan malformasi pada organ-organ yang baru dibentuk, kerontokan bunga, rendahnya fruitset dan kegagalan membentuk umbi pada tanaman yang berumbi.

Penelitian yang akan dilakukan terfokus untuk menguji efektivitas pupuk yang diproduksi oleh PT. Ditya Chemindo. Produk pupuk mikro majemuk tersebut secara umum dimaksudkan untuk mencukupi kebutuhan tanaman terhadap hara Zn, Cu dan B sehingga kajian akan terfokus pada ketiga hara tersebut. Pupuk mikro majemuk pupuk mikro concetrated mengandung unsur mikro Zn sebanyak 1,69% hara mikro Cu sebanyak 0,8%.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Pengujian efektivitas produk pupuk akan dilakukan terhadap pupuk mikro majemuk yang diproduksi oleh PT. Ditya Chemindo. Tujuan umum dari penelitian ini yaitu mengetahui efektivitas pupuk terhadap pertumbuhan, komponen hasil dan hasil tanaman dan atau efisiensi penggunaan pupuk. Sebanyak 6 produk pupuk tersebut ditargetkan untuk mencukupi kebutuhan hara Zn, Cu dan B beberapa jenis tanaman. Menimbang hal ini, maka kegiatan penelitian akan dilakukan di lokasi lahan yang memiliki tanah dengan status hara Zn, Cu dan B rendah sehingga diperoleh respon pemupukan yang signifikan.

Kegiatan penelitian untuk keperluan pengujian efektivitas pupuk akan dilakukan di tanah yang memiliki kandungan hara Zn, Cu dan B rendah. Macam jenis tanaman model untuk keperluan pengujian yang akan dilakukan yaitu tanaman padi. Jenis tanaman model tersebut adalah yang terpilih untuk kegiatan pengujian karena berumur lebih dari 2,5 bulan. Varietas tanaman uji yang akan digunakan untuk masing-masing jenis tanaman yaitu varietas yang telah resmi dilepas oleh Kementerian Pertanian dan dominan dipergunakan oleh para pekebun.

Kegiatan pengujian akan dilakukan terhadap pupuk mikro majemuk. Percobaan lapangan akan disusun dengan rancangan lingkungan acak kelompok lengkap (RAKL) faktor tunggal dengan empat blok sebagai ulangan. Perlakuan yang akan diuji yaitu pemupukan, terdiri dari delapan aras pemupukan untuk masing-masing produk pupuk. Rincian perlakuan untuk masing-masing produk pupuk yang diuji dapat dilihat di Tabel 1.

No	Perlakuan	Pupuk Mikro Majemuk	Urea	ZA	SP-36	KCl
1	Kontrol	0	0	0	0	0
2	1 Dosis NPK	0	1	1	1	1
3	1 Dosis NPK + 0,5 Dosis Pupuk Mikro Majemuk	0,5	1	1	1	1
4	3/4 Dosis NPK + 0,5 Dosis Pupuk Mikro Majemuk	0,5	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$
5	1 Dosis NPK + 1 Dosis	1	1	1	1	1

	Pupuk Mikro Majemuk					
6	3/4 Dosis NPK + 1 Dosis Pupuk Mikro Majemuk	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$
7	1 Dosis NPK + 1,5 Dosis Pupuk Mikro Majemuk	1,5	1	1	1	1
8	3/4 Dosis NPK + 1,5 Dosis Pupuk Mikro Majemuk	1,5	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$

Ukuran petak per perlakuan per blok yang akan digunakan dalam pengujian menyesuaikan dengan jenis tanaman uji. Pada jenis tanaman uji padi ukuran petak per perlakuan per blok yaitu 20 m², dengan petak panen 5 m². Sedangkan untuk jenis tanaman cabai ukuran petak per perlakuan per blok yaitu 20 m² terbagi ke dalam 4 bedengan, masing-masing bedengan berukuran 0,8m x 5m. Masing-masing unit penelitian untuk setiap produk pupuk terdiri dari delapan aras perlakuan, dengan empat blok sebagai ulangan sehingga secara total terdapat 42 petak perlakuan. Jika masing-masing petak perlakuan memiliki luasan 20 m² maka setiap unit percobaan menggunakan lahan seluas 1.100 m².

Satuan percobaan akan diletakkan secara acak dalam kesatuan (satu ulangan atau blok) dan tidak terpengaruh. Letak ulangan akan dibuat tegak lurus dengan arah gradien kesuburan tanah. Dosis dan cara aplikasi pupuk disesuaikan dengan perlakuan yang akan diujikan. Pemeliharaan tanaman lainnya diluar aspek pemupukan mengacu pada prosedur standar budidaya tanaman untuk setiap jenis komoditas. Pengendalian hama dan penyakit yang dapat mengganggu pelaksanaan dan pencapaian hasil penelitian akan dilakukan secara maksimal dengan pendekatan preventif.

Variabel pengamatan terbagi ke dalam tiga macam kelompok yaitu pertumbuhan tanaman, komponen hasil dan hasil. Pengamatan pertumbuhan tanaman akan dilakukan secara berkala sesuai dengan umur jenis tanaman yang diuji mencakup variabel tinggi tanaman, jumlah daun, diameter batang dan jumlah anakan (khusus untuk padi). Variabel hasil tanaman akan diukur dari petak panen. Ukuran petak panen yaitu 5 m². Setelah mendapatkan ukuran hasil per petak panen, data tersebut selanjutnya dikonversi ke per hektar. Contoh tanaman (sampel) untuk

pengukuran data pertumbuhan akan diambil secara acak dengan jumlah sampel sesuai jumlah populasi tanaman.

Data yang akan dikumpulkan disesuaikan dengan jenis tanaman uji. Data tersebut secara rinci yaitu:

1. Data karakteristik tanah awal: kandungan pH, Zn, Cu dan B tersedia Data kandungan dan serapan Zn, Cu dan B daun tanaman saat fase pengisian biji.
2. Data karakteristik tanah akhir saat panen akhir: kandungan Zn, Cu dan B tersedia
3. Data pertumbuhan tanaman: tinggi tanaman dan jumlah anakan
4. Data komponen hasil dan hasil pada saat panen akhir

Data kandungan hara tanah, kandungan dan serapan hara jaringan, pertumbuhan, komponen hasil dan hasil tanaman akan diolah secara statistik dengan analisis varian (ANOVA) dilanjutkan menggunakan uji perbandingan antar rerata perlakuan yaitu HSD Tukey pada α 5%. Keseluruhan analisa data akan dilakukan menggunakan SAS Software. Sedangkan untuk penilaian efektivitas pupuk secara agronomis akan dilakukan dengan perhitungan nilai relativitas agronomi (*relative agronomic effectiveness- RAE*). Nilai RAE akan ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$RAE = \frac{\text{Hasil pupuk yang diuji} - \text{kontrol}}{\text{Hasil pupuk standar} - \text{kontrol}} \times 100 \%$$

Pupuk yang diuji secara statistik akan dinyatakan efektif jika penambahan produk pupuk tersebut nyata meningkatkan pertumbuhan dan atau produksi tanaman dibandingkan dengan perlakuan standar. Efektivitas pupuk yang diuji juga dinilai berdasarkan RAE yang dianalisis menggunakan regresi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi penelitian terletak di Desa Margokaton, Kecamatan Seyegan, Kabupaten Sleman, Provinsi D.I. Yogyakarta, pada bulan Januari 2025 sd April 2025 Wilayah ini berada pada ketinggian sekitar 100 – 150 mdpl dengan koordinat geografis 7° 43'08.1"S 110° 17'29.6"E. Lahan penelitian yang digunakan merupakan lahan pertanian padi dengan jenis tanah Inceptisol, dengan luasan lahan yang digunakan seluas 1.100 m² pada setiap unit percobaan. Kondisi iklim mikro di lokasi penelitian diamati selama 3 bulan saat mulai penanaman.

3.1 Hasil Uji Mutu Pupuk yang Diuji

Pengujian terhadap pupuk pupuk mikro dilakukan berdasarkan beberapa parameter pengujian yakni kandungan unsur Zn, B, kadar air, serta logam berat As, Hg, Pb, dan Cd. Hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan logam Zinc (Zn) dan Boron (B) dalam sampel masing-masing sebesar 5,83% dan 1,21%. Metode yang digunakan untuk mengukur keduanya adalah ICP-OES, yang dikenal akurat dalam analisis unsur logam. Nilai tersebut tergolong tinggi dan menunjukkan bahwa pupuk pupuk mikro dapat menjadi sumber hara mikro yang potensial bagi tanaman. Selain itu, kadar air (free moisture) pupuk ini relatif rendah yakni 1,92%, yang menunjukkan kestabilan fisik produk serta mempermudah dalam penyimpanan dan aplikasi di lapangan.

Tabel 2. Pengujian mutu pupuk pupuk mikro

Parameter	Satuan	Hasil	Metode
Zn	%	5.83	PO/GEN-PK/19 (ICP-OES)
B	%	1.21	PO/GEN-PK/19 (ICP-OES)
Kadar air	%	1.92	AOAC 22 nd Ed., 2023, method 965.08
As	ppm	0.3	AOAC 22 nd Ed., 2023, method 965.09
Hg	ppb	Tidak terdeteksi	AOAC 22 nd Ed., 2023, method 971.21
Pb	ppm	5.4	AOAC 22 nd Ed., 2023, method 965.09
Cd	ppm	12.5	AOAC 22 nd Ed., 2023, method 965.09

Apabila dibandingkan dengan persyaratan teknis minimal pupuk anorganik berdasarkan Peraturan Menteri Pertanian No. 43/Permentan/SR.140/8/2011, kandungan unsur mikro dalam pupuk pupuk mikro berada jauh di atas ambang

batas minimum yang disyaratkan untuk pupuk mikro padat majemuk, yaitu Zn minimal 0,5% dan B minimal 0,25%. Hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa kandungan Zn dalam pupuk mikro lebih dari 11 kali lipat lebih tinggi dibanding standar minimal, sedangkan B hampir 5 kali lipat lebih tinggi. Hasil analisis logam berat menunjukkan bahwa kandungan arsen (As) dalam pupuk sebesar 0,3 ppm, timbal (Pb) sebesar 5,4 ppm, dan kadmium (Cd) sebesar 12,5 ppm, seluruhnya tercatat jauh di bawah batas maksimal yang ditetapkan (As 100 ppm, Pb 500 ppm, dan Cd 100 ppm). Sementara itu, merkuri (Hg) tidak terdeteksi (<1 ppb), dengan ambang batas 10 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa pupuk mikro tidak hanya memenuhi persyaratan mutu berdasarkan Permentan No. 43/2011, tetapi juga memiliki potensi sebagai sumber hara mikro yang aman bagi tanaman.

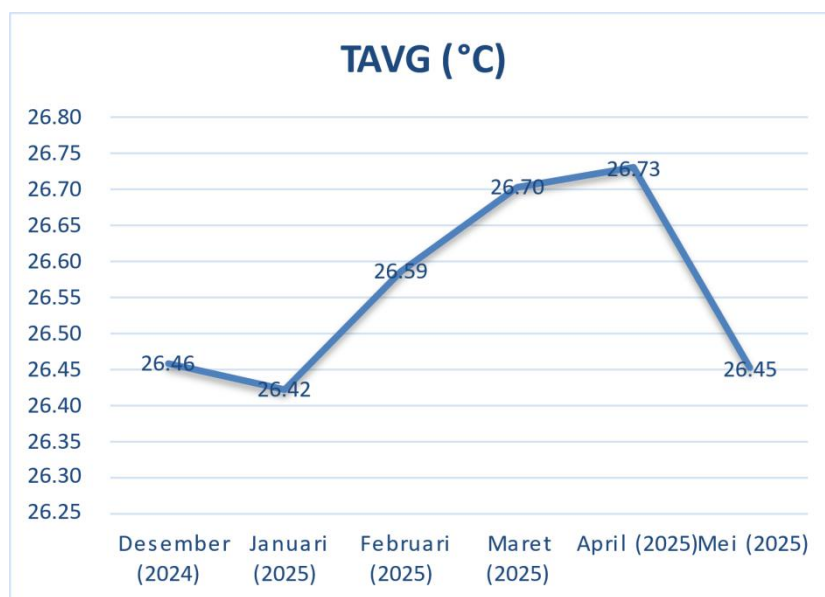
3.2 Kondisi Iklim Mikro

Penelitian ini dilakukan pada lahan bekas pertanaman padi, dengan pemantauan kondisi iklim mikro selama periode empat bulan, yaitu dari Januari hingga April. Observasi terhadap variabel iklim mikro dilakukan langsung di lokasi penelitian, mencakup intensitas cahaya, kelembaban udara, suhu udara, serta data curah hujan bulanan yang diperoleh dari BMKG Kabupaten Sleman. Faktor-faktor iklim seperti curah hujan, suhu, kelembapan, dan durasi penyinaran diketahui berperan penting dalam menentukan tingkat produktivitas tanaman. Lingkungan dengan kondisi iklim yang sesuai sangat diperlukan untuk mendukung pertumbuhan optimal dan hasil panen padi yang tinggi. Sebaliknya, ketidaksesuaian kondisi iklim dapat menyebabkan penurunan potensi hasil (Li *et al.*, 2024). Oleh karena itu, pemantauan terhadap variabel iklim mikro di sekitar lahan pertanaman menjadi aspek yang krusial dalam mendukung keberhasilan budidaya padi.

3.3.1 Suhu Udara

Suhu udara merupakan salah satu faktor lingkungan utama yang memengaruhi kecepatan pertumbuhan tanaman. Perannya sangat penting dalam

proses fotosintesis, karena aktivitas fotosintetik sangat peka terhadap stres akibat perubahan suhu. Tanaman C4 memerlukan suhu yang lebih tinggi untuk fotosintesis dibandingkan tanaman C3, seiring dengan perbedaan suhu optimum kerja enzim RuDP-karboksilase pada tanaman C3 dan PEP-karboksilase pada tanaman C4 (Yamori *et al.*, 2013). Suhu yang hangat disertai paparan sinar matahari selama 7 hingga 9 jam per hari mendukung pembentukan anakan, pertumbuhan batang, serta mempercepat proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Fageria *et al.*, 2010). Peningkatan suhu pada awalnya mampu meningkatkan produktivitas tanaman, akan tetapi, panas yang berlebihan di luar kisaran suhu optimal dapat menyebabkan stres panas, yang berdampak negatif pada hasil panen. Pada produksi padi, suhu tinggi selama tahap pembungaan dapat menyebabkan kemandulan bulir padi, yang pada akhirnya membatasi hasil panen.



Gambar 1. Suhu rata-rata periode Desember 2024-Mei 2025

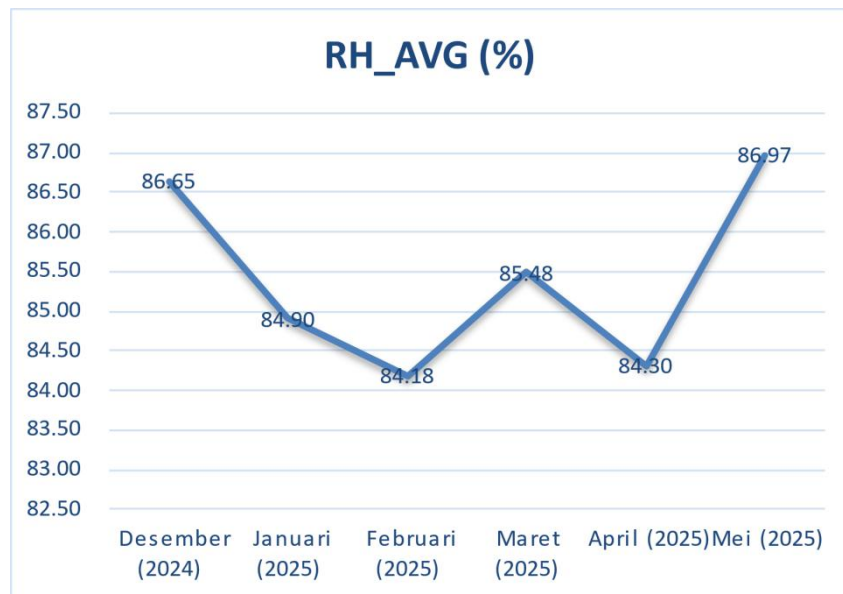
Gambar 1 menunjukkan hasil pengamatan suhu udara rata-rata (TAVG) di lokasi pertanaman padi dari Desember 2024 hingga Mei 2025. Rerata suhu berkisar antara 26,42°C hingga 26,73°C, dengan fluktuasi relatif kecil dari bulan ke bulan. Puncak suhu rata-rata terjadi pada April 2025 sebesar 26,73°C, sementara suhu terendah tercatat pada Januari 2025, yaitu 26,42°C. Suhu udara merupakan salah satu faktor lingkungan utama yang memengaruhi proses fisiologis tanaman padi, termasuk fotosintesis, transpirasi, dan pembungaan. Suhu optimal untuk pertumbuhan vegetatif padi berkisar antara 25°C hingga 32°C,

sementara untuk fase reproduktif (pembungaan hingga pengisian bulir), suhu idealnya yakni di bawah 27°C karena suhu yang tinggi akan menurunkan kemampuan serbuk sari untuk melakukan pembuahan (Khanal *et al.*, 2024). Oleh karena itu, suhu yang tercatat pada lokasi penelitian masih berada dalam rentang optimal untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman padi. Suhu tinggi pada fase pembungaan dapat menyebabkan kemandulan bulir, yang berdampak pada penurunan hasil. Fotosintesis tanaman padi juga sangat sensitif terhadap perubahan suhu. Suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan peningkatan laju respirasi, yang pada akhirnya mengurangi akumulasi karbohidrat untuk pertumbuhan dan pembentukan hasil (Hatfield & Prueger, 2015).

Dapat diamati bahwa suhu udara di lokasi pertanaman menunjukkan pola fluktuatif yang berkaitan erat dengan dinamika pertukaran energi di atmosfer. Fluktuasi ini, meskipun masih dalam kisaran optimal untuk pertumbuhan padi, tetap dapat menimbulkan stres jika mendekati ambang batas toleransi fisiologis tanaman di mana suhu tertinggi yakni pada fase pembungaan dan pengisian benih di bulan April dengan nilai 26,73 yang mendekati ambang batas suhu optimum untuk pembungaan. Suhu udara yang terlalu tinggi, terutama saat fase kritis seperti pembungaan, dapat menyebabkan gangguan metabolisme tanaman padi. Suhu tinggi juga memengaruhi stabilitas membran sel dan aktivitas enzim fotosintetik, serta memicu produksi spesies oksigen reaktif (ROS) yang menyebabkan stres oksidatif pada jaringan daun (Wahid *et al.*, 2007). Akumulasi ROS pada suhu tinggi dapat mempercepat degradasi klorofil, sehingga menurunkan efisiensi fotosintesis dan berdampak langsung terhadap penurunan akumulasi biomassa serta hasil panen (Zahra *et al.*, 2023). Selain itu, Taratima *et al.* (2022), menyatakan bahwa suhu tinggi dapat menghambat biosintesis klorofil dan menyebabkan gangguan fungsi fisiologis seperti pengaturan stomata dan keseimbangan air. Oleh karena itu, meskipun suhu di lokasi penelitian masih berada dalam kisaran yang relatif aman, potensi stres akibat suhu ekstrem tetap menjadi perhatian penting dalam sistem budidaya padi yang berkelanjutan.

3.3.2 Kelembaban udara

Kelembaban lingkungan menggambarkan kandungan uap air di udara yang dapat dinyatakan sebagai kelembaban mutlak, kelembaban nisbi (relatif) maupun defisit tekanan uap air. Kelembaban lingkungan, khususnya kelembaban relatif merupakan salah satu faktor penting dalam pertumbuhan tanaman termasuk tanaman C3. Kelembaban relatif yaitu perbandingan antara jumlah uap air yang ada di udara dengan jumlah maksimum uap air yang dapat ditampung udara pada suhu tertentu yang dinyatakan dalam persen (%). Kelembaban relatif (RH) secara langsung memengaruhi hubungan air tanaman dan secara tidak langsung memengaruhi pertumbuhan daun, fotosintesis, penyerbukan, dan terjadinya penyakit tanaman.



Gambar 2. Kelembaban rata – rata periode Desember 2024 – Mei 2025

Gambar 2 menunjukkan data kelembaban udara rata-rata (RH_AVG) dari Desember 2024 hingga Mei 2025 di lokasi pertanaman padi. Nilai kelembaban berkisar antara 84,18% hingga 86,97%, dengan kelembaban tertinggi terjadi pada Mei 2025 sebesar 86,97%, dan terendah pada Februari 2025 sebesar 84,18%. Penelitian oleh Yan *et al.* (2021) menunjukkan bahwa pada fase pengisian bulir, kombinasi suhu tinggi ($\geq 35^{\circ}\text{C}$) dan kelembaban relatif rendah (75 % vs 85 %) signifikan menurunkan berat butir dan kualitas beras. Secara umum, nilai kelembaban di lokasi tergolong tinggi dan relatif stabil, mencerminkan kondisi

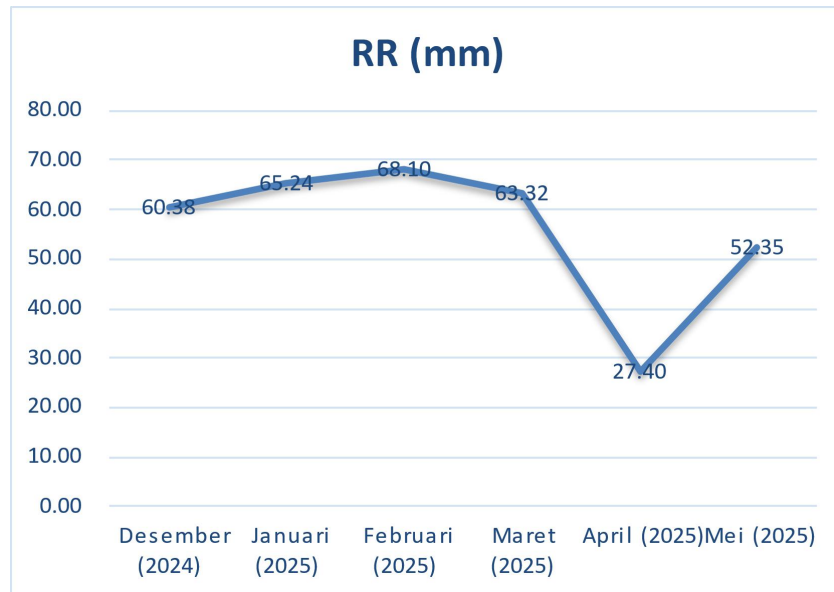
tropis yang mendukung pertumbuhan padi. Kelembaban udara merupakan faktor lingkungan penting yang memengaruhi laju transpirasi dan keseimbangan air dalam tanaman. Padi membutuhkan lingkungan dengan kelembaban relatif tinggi, terutama pada fase vegetatif dan generatif, untuk mendukung proses fisiologis seperti fotosintesis, pembentukan anakan, serta pengisian bulir. Kelembaban yang terlalu rendah dapat meningkatkan laju transpirasi, menyebabkan tanaman kehilangan air lebih cepat dari proses penyerapan, yang berdampak pada penurunan turgor sel dan pertumbuhan tanaman.

Selain itu, kelembaban yang cukup juga membantu menjaga buka-tutup stomata yang efisien, sehingga mendukung difusi CO₂ untuk fotosintesis. Namun, kelembaban yang terlalu tinggi dalam waktu lama juga dapat meningkatkan risiko serangan penyakit seperti blast dan hawar daun, yang umumnya berkembang pesat di lingkungan lembab (Bevitori *et al.*, 2021). Dengan demikian, tingkat kelembaban yang terpantau di lokasi pertanaman tergolong ideal untuk budidaya padi, meskipun pengelolaan lingkungan mikro tetap diperlukan untuk menghindari akumulasi kelembaban berlebih yang dapat menstimulasi perkembangan patogen.

3.3.3 Curah Hujan

Informasi mengenai jumlah curah hujan dan jumlah hari tanpa hujan merupakan parameter penting dalam perencanaan budidaya tanaman padi (Surmaini *et al.*, 2020). Padi di Indonesia umumnya dibudidayakan di lahan sawah tadah hujan maupun irigasi, sehingga sangat bergantung pada ketersediaan air, khususnya dari curah hujan pada musim tanam. Curah hujan memengaruhi berbagai fase pertumbuhan padi, mulai dari fase vegetatif, reproduktif hingga pematangan, serta berperan dalam menjaga kondisi kelembaban tanah yang optimal bagi pertumbuhan akar dan proses fisiologis tanaman. Selain itu, curah hujan juga dapat memengaruhi dinamika hama dan penyakit, serta menentukan kelancaran pengolahan lahan, penanaman, dan panen (Sukarta *et al.*, 2018). Ketersediaan air yang berlebih atau kekurangan akibat distribusi curah hujan yang

tidak merata dapat menyebabkan penurunan hasil melalui genangan atau kekeringan pada fase-fase kritis pertumbuhan.



Gambar 3. Curah hujan periode Desember 2024 – Mei 2025

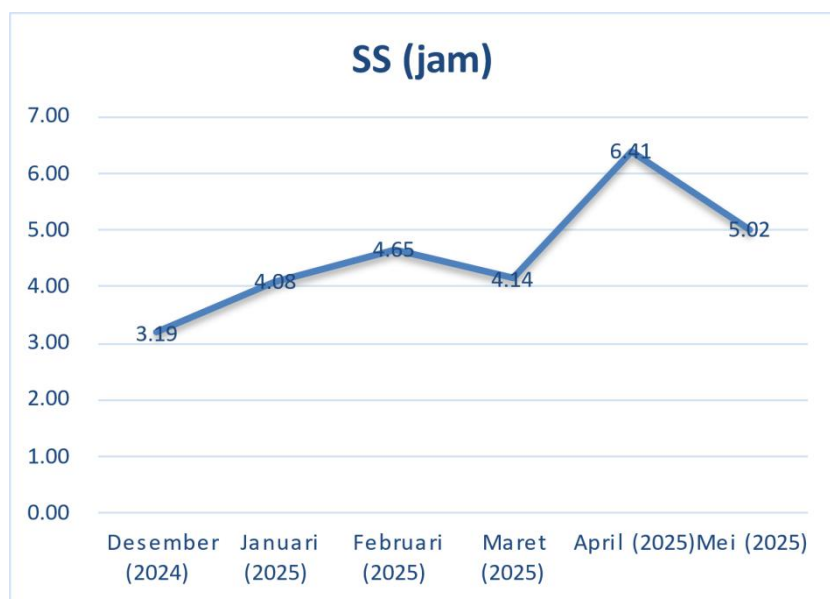
Distribusi curah hujan bulanan selama masa tanam padi di lokasi penelitian disajikan pada Gambar 3. Data menunjukkan bahwa curah hujan tertinggi terjadi pada Februari 2025 sebesar 68,10 mm, sedangkan nilai terendah tercatat pada April 2025 sebesar 27,40 mm. Secara umum, tren curah hujan dari Desember 2024 hingga Maret 2025 tergolong cukup stabil dengan fluktuasi ringan, sebelum menurun tajam pada bulan April, kemudian kembali meningkat pada Mei 2025. Tanaman padi membutuhkan pasokan air yang cukup dan stabil, terutama pada fase awal pertumbuhan vegetatif hingga pengisian bulir. Menurut Surmaini *et al.* (2020), distribusi curah hujan yang merata selama masa pertumbuhan lebih penting dibandingkan total curah hujan secara keseluruhan karena padi sangat sensitif terhadap kekeringan, khususnya pada fase pembungaan dan pengisian bulir. Fluktuasi curah hujan yang signifikan, seperti yang terjadi antara Maret dan April, berpotensi menyebabkan ketidakseimbangan suplai air tanah dan mengganggu aktivitas fisiologis tanaman.

Idealnya, kebutuhan curah hujan untuk budidaya padi berkisar antara 100–200 mm per bulan (Li *et al.*, 2024). Dengan demikian, curah hujan yang tercatat di lokasi penelitian relatif berada di bawah kisaran ideal tersebut. Terutama pada bulan April, nilai curah hujan yang hanya mencapai 27,40 mm berpotensi

menimbulkan stres air pada tanaman jika tidak diimbangi dengan sistem irigasi tambahan. Penurunan curah hujan yang tajam tersebut perlu diantisipasi dalam sistem budidaya melalui pengelolaan air berbasis prediksi cuaca untuk menjaga produktivitas tetap optimal di tengah ketidakpastian iklim.

3.3.4 Lama Penyinaran

Lama penyinaran matahari merupakan salah satu faktor iklim utama yang memengaruhi proses fotosintesis, pertumbuhan, serta hasil tanaman padi. Intensitas dan durasi cahaya matahari yang mencukupi sangat dibutuhkan terutama selama fase vegetatif dan reproduktif, seperti pada tahap pembentukan anakan, pembungaan, dan pengisian bulir. Penelitian oleh Singh *et al.* (2023), menunjukkan bahwa selama fase kritis pertumbuhan, seperti P4 (pembungaan) dan P5 (pengisian bulir). Selain itu, studi oleh Ma *et al.* (2022), di Tiongkok mengungkapkan bahwa hubungan antara lama penyinaran dan hasil padi membentuk pola inverted U-shaped, di mana peningkatan durasi penyinaran akan meningkatkan hasil hingga titik optimal, tetapi dapat menurun jika melebihi ambang tersebut akibat peningkatan laju evapotranspirasi dan stres tanaman. Oleh karena itu, ketersediaan cahaya matahari yang cukup dan merata selama musim tanam sangat penting untuk mendukung pembentukan biomassa dan pengisian bulir secara maksimal.



Gambar 4. Lama penyinaran matahari periode Desember 2024 – Mei 2025

Berdasarkan gambar 4, pada bulan Desember 2024, lama penyinaran tercatat paling rendah, yaitu 3,19 jam per hari. Nilai ini menunjukkan kondisi cuaca yang sangat mendung dan basah yang umumnya terjadi pada puncak musim hujan. Penyinaran mulai meningkat pada Januari selama 4,08 jam dan Februari 2025 selama 4,65 jam, sebelum sedikit menurun pada Maret dengan waktu penyinaran selama 4,14 jam. Peningkatan signifikan terjadi pada April 2025 dengan lama penyinaran mencapai puncak tertinggi sebesar 6,41 jam per hari. Setelah itu, pada Mei 2025 terjadi sedikit penurunan menjadi 5,02 jam per hari.

Peningkatan lama penyinaran pada bulan April dan Mei menunjukkan kondisi cuaca yang lebih cerah dan kering, yang umumnya menguntungkan bagi tanaman padi pada fase pengisian bulir dan pemasakan. Sebaliknya, rendahnya penyinaran pada bulan Desember hingga Maret dapat membatasi aktivitas fotosintetik dan menghambat pertumbuhan vegetatif, terutama jika tidak diimbangi dengan kecukupan hara dan pengelolaan air yang baik. Menurut Singh *et al.* (2023), penyinaran kurang dari 4 jam per hari pada fase reproduktif dapat menurunkan jumlah gabah bernas dan hasil total panen. Oleh karena itu, meskipun total lama penyinaran selama musim tanam masih dalam kisaran yang mendukung, distribusi yang tidak merata ini perlu menjadi perhatian, terutama dalam penyesuaian waktu tanam agar fase kritis pertumbuhan bertepatan dengan periode penyinaran optimal. Dalam konteks agroklimat tropis, idealnya tanaman padi memerlukan lama penyinaran antara 6 hingga 9 jam per hari, terutama pada fase reproduktif, untuk mencapai potensi hasil yang optimal (Singh *et al.*, 2023).

3.3 Hasil Analisis Tanah Sebelum Pelaksanaan Uji

Ketersediaan unsur hara makro dan mikro berperan penting dalam mendukung kemampuan tanaman beradaptasi terhadap kondisi lingkungan yang beragam. Kedua kelompok hara ini memiliki sifat kimia berbeda dan dapat saling memengaruhi penyerapan, sehingga menimbulkan interaksi di wilayah rhizosfer maupun di dalam jaringan tanaman. Interaksi tersebut dapat berupa perubahan ketersediaan akibat pengaruh muatan ion. Selain itu, interaksi juga terjadi akibat kemiripan sifat ion yang menimbulkan kompetisi dalam proses adsorpsi, absorpsi,

translokasi, maupun fungsi fisiologis, sebagaimana yang umumnya terjadi di antara Ca^{2+} dan Mg^{2+} , serta keterkaitannya dengan K^{+} , yang dapat saling menghambat atau menyeimbangkan penyerapan bila salah satunya berlebih (Li *et al.*, 2024). Pemahaman mengenai interaksi antarhara ini penting untuk pengelolaan pemupukan yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Tabel 3. Hasil Analisis Tanah Sebelum Pelaksaaan Uji

Unsur (mg/kg)			pH
B	Cu	Zn	
59.26	5.82	43.93	6.02

Hasil analisis tanah di lokasi penelitian sebelum pengaplikasian dan pengujian pupuk, diperoleh hasil bahwa kandungan Boron sebesar 59.26 mg/kg tergolong sangat tinggi jika dibandingkan dengan kisaran kecukupan umum tanaman. Sementara kandungan Zn sebesar 43.93 mg/kg yang tergolong tinggi dengan nilai di atas 5 mg/kg. Kandungan tembaga (Cu) sebesar 5,82 mg/kg menunjukkan kondisi yang relatif mencukupi bagi kebutuhan tanaman. Kadar kritis tembaga di tanah umumnya <1 mg/kg, sehingga nilai yang diperoleh dalam analisis ini dapat dikategorikan baik. Nilai pH tanah sebesar 6,02 menunjukkan kondisi tanah yang sedikit masam dan termasuk kategori netral ke masam ringan. Kondisi ini masih tergolong ideal untuk ketersediaan sebagian besar unsur hara mikro, termasuk B, Cu, dan Zn.

3.4 Analisis Variabel Hasil Pengukuran

3.4.1 Pengaruh Perlakuan terhadap Kandungan Hara Tanah dan Serapan Hara Daun

Ketersediaan unsur hara di dalam tanah sangat dipengaruhi oleh kombinasi pemupukan yang diberikan. Unsur mikro seperti Tembaga (Cu) dan Seng (Zn) memiliki peran penting dalam mendukung metabolisme tanaman. Tembaga berperan dalam aktivitas enzim oksidase serta lignifikasi yang memengaruhi kekuatan jaringan tanaman. Sementara seng berfungsi dalam sintesis auksin, pembentukan klorofil, serta mengaktifkan berbagai enzim penting dalam metabolisme tanaman (Bindraban

et al., 2020). Ketersediaan hara pada tanah akan mempengaruhi hara yang diserap ke dalam jaringan tanaman sehingga mempengaruhi proses pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu, pemupukan dengan pupuk mikro yang dipadukan dengan NPK diharapkan dapat meningkatkan ketersediaan unsur mikro di tanah, sehingga mendukung pertumbuhan vegetatif maupun produktivitas padi.

Tabel 4. Kandungan Hara Tersedia Tanah dan Serapan Hara Jaringan Daun Padi pada Berbagai Perlakuan Pupuk Mikro pupuk mikro

Perlakuan	Unsur (mg/kg)			
	Cu		Zn	
	Tanah	Daun	Tanah	Daun
P0	4.22 b	0.97 ab	47.79 a	16.24 ab
P1	7.84 ab	1.22 ab	44.59 a	12.91 ab
P2	7.90 ab	0.99 ab	42.25 a	10.51 b
P3	8.52 ab	0.54 b	44.72 a	23.63 a
P4	9.20 ab	1.68 ab	43.67 a	13.72 ab
P5	10.44 a	1.36 ab	46.91 a	17.22 ab
P6	11.26 a	2.26 a	49.65 a	18.23 ab
P7	11.36 a	1.52 ab	49.49 a	16.12 ab
CV (%)	23.94	34.34	9.89	24.96

Keterangan : nilai yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama mengindikasikan perbedaan yang tidak signifikan berdasarkan Uji Tukey dengan taraf nyata 5%

Berdasarkan hasil analisis tanah, kandungan Cu terendah terdapat pada perlakuan kontrol (P0) sebesar 4,22 mg/kg, sedangkan tertinggi pada P7 ($\frac{3}{4}$ dosis NPK + $1\frac{1}{2}$ dosis pupuk mikro) sebesar 11,36 mg/kg. Namun secara statistik, perbedaan antarperlakuan tidak menunjukkan hasil yang berbeda nyata. Hal serupa terjadi pada unsur Zn tanah yang relatif stabil di semua perlakuan, berkisar 42,25 – 49,65 mg/kg yang menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata pada semua perlakuan. Akan tetapi hasil tertinggi diperoleh pada perlakuan P7 ($\frac{3}{4}$ dosis NPK + $1\frac{1}{2}$ dosis pupuk mikro). Stabilitas Zn ini menunjukkan bahwa lahan penelitian memiliki ketersediaan Zn yang sudah cukup tinggi, sehingga tambahan pupuk mikro tidak berpengaruh signifikan terhadap akumulasi Zn di tanah.

Serapan hara dalam jaringan tanaman merupakan parameter penting untuk mengevaluasi efektivitas pemupukan, karena ketersediaan hara di tanah tidak selalu berbanding lurus dengan jumlah yang dapat diserap oleh tanaman. Efisiensi penyerapan tersebut dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain bentuk kimia unsur hara, mobilitasnya dalam tanah, interaksi antarunsur, serta kapasitas fisiologis akar dalam menyerap ion. Hasil serapan hara pada jaringan daun memperlihatkan variasi nilai yang lebih beragam (Havlin *et al.*, 2020).

Unsur Cu pada daun berkisar 0,54–2,26 mg/kg, dengan serapan tertinggi diperoleh pada P6 ($\frac{1}{2}$ dosis NPK + 1 dosis pupuk mikro), meskipun secara statistik tidak berbeda nyata. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan pupuk mikro dalam dosis seimbang dapat meningkatkan ketersediaan Cu dalam bentuk yang lebih mudah diserap oleh tanaman. Sementara itu, kandungan Zn dalam daun berkisar 10,51–23,63 mg/kg, dengan nilai tertinggi pada P3 (1 dosis NPK + 1 dosis pupuk mikro) dan berbeda nyata dengan P2 (12,14 mg/kg). Perbedaan ini menunjukkan bahwa meskipun kadar Zn tanah relatif homogen, serapan tanaman tetap dipengaruhi oleh bentuk hara yang tersedia, kondisi perakaran, dan interaksi antarunsur.

Secara umum, hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi pupuk mikro pupuk mikro pada berbagai kombinasi dosis NPK mampu meningkatkan ketersediaan hara mikro Cu dan Zn di tanah. Perlakuan terbaik untuk menghasilkan Cu tanah tertinggi yakni pada P7, tetapi serapan Cu justru tertinggi pada P6. Sementara Zn tersedia pada tanah dengan tertinggi diperoleh pada perlakuan P6, akan tetapi P3 mampu menghasilkan serapan Zn tertinggi. Meskipun secara statistik perbedaan tidak signifikan, tren data menunjukkan bahwa kombinasi dosis NPK yang lebih tinggi dengan penambahan mikro pupuk mikro cenderung meningkatkan status hara mikro tanah. Hal ini menegaskan pentingnya pemupukan terpadu antara NPK dan mikronutrien untuk memperbaiki kesuburan tanah dan mendukung produktivitas tanaman padi.

Perbedaan antara ketersediaan unsur mikro di tanah dan serapan tanaman menunjukkan bahwa penyerapan hara tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah yang tersedia di tanah, tetapi juga oleh bentuk kimia unsur, mobilitasnya, interaksi antarunsur, serta kapasitas fisiologis akar untuk menyerap ion (Havlin *et al.*). Tembaga (Cu) berperan sebagai kofaktor berbagai enzim oksidase yang penting dalam respirasi, lignifikasi, serta aktivitas antioksidan tanaman, sedangkan seng (Zn) merupakan kofaktor lebih dari 300 enzim yang terlibat dalam sintesis protein, metabolisme karbohidrat, serta regulasi hormon dan pertumbuhan vegetatif (Huang *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2025). Interaksi antarunsur di tanah, misalnya antara Cu, Zn, dan unsur lainnya, dapat memengaruhi ketersediaan bioaktif dan serapan tanaman, meskipun kadar Zn tanah relatif stabil, bentuk hara yang tersedia, kompetisi dengan ion lain, dan aktivitas akar menentukan seberapa banyak Zn dapat diserap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi NPK dengan pupuk mikro pupuk mikro meningkatkan status hara mikro di tanah dan jaringan tanaman, tetapi perbedaan antara ketersediaan tanah dan serapan daun menegaskan pentingnya pemupukan terpadu yang memperhitungkan interaksi kimia, mobilitas hara, dan kebutuhan fisiologis tanaman untuk mendukung pertumbuhan optimal (Hernández-Santana *et al.*, 2022).

3.4.2 Pengaruh Perlakuan terhadap Pertumbuhan Vegetatif dan Hasil Tanaman

Pertumbuhan tanaman sangat bergantung kepada ketersediaan nutrisi yang memenuhi kebutuhan tanaman. Unsur hara makro merupakan elemen esensial yang diperlukan tanaman dalam jumlah besar untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan yang optimal. Nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) adalah tiga unsur hara utama yang secara berpengaruh pada produktivitas tanaman padi. Nitrogen (N) berperan sentral dalam proses metabolisme tanaman, terutama dalam fotosintesis dan reaksi-reaksi bioenergetik yang melibatkan adenosin trifosfat (ATP). Nitrogen merupakan komponen utama klorofil, protein struktural dan fungsional, serta berbagai enzim yang mengatur proses fisiologis penting. Selain itu, nitrogen mendukung sintesis dan penggunaan karbohidrat oleh tanaman, yang

berkontribusi pada pertumbuhan vegetatif dan pembentukan biomassa secara keseluruhan (Murtaza *et al.*, 2016).

Fosfor (P) memiliki peran penting dalam proliferasi sistem perakaran, pembentukan dan pengisian bulir secara seragam, serta peningkatan hasil dan mutu gabah. Fosfor merupakan komponen struktural dalam nukleotida seperti adenosin difosfat (ADP) dan adenosin trifosfat (ATP), yang berfungsi sebagai molekul pembawa energi dalam berbagai proses biokimia (Plaxton & Tran, 2011). Selain itu, fosfor juga berperan dalam proses fotosintesis, pembelahan sel (mitosis), serta pertumbuhan dan diferensiasi jaringan tanaman. Ketersediaan fosfor yang cukup sangat menentukan potensi hasil tanaman secara keseluruhan (Murtaza *et al.*, 2016).

Kalium (K) berfungsi dalam pemeliharaan potensial membran sel dan pengaturan tekanan turgor, yang penting untuk ekspansi dan pembesaran sel (Wang *et al.*, 2022). Kalium juga memfasilitasi proses pembukaan dan penutupan stomata, serta mendukung perkembangan tabung serbuk sari yang penting dalam proses reproduksi tanaman (Fan *et al.*, 2022). Selain itu, kalium berperan dalam aktivasi berbagai enzim metabolik dan dalam translokasi senyawa seperti nitrat dan sukrosa, yang diperlukan untuk pertumbuhan dan pengisian bulir (Kamal *et al.*, 2016).

Unsur hara mikro memainkan peran penting dalam mendukung pertumbuhan, perkembangan, dan produktivitas tanaman padi. Di antara unsur-unsur tersebut, seng (Zn), tembaga (Cu), dan boron (B) memiliki fungsi fisiologis dan biokimia yang krusial. Seng (Zn) merupakan elemen esensial yang terlibat dalam regulasi transkripsi gen dan berbagai proses biologis lainnya melalui keberadaannya dalam protein struktural yang mengandung motif *zinc finger*, yang mampu berikatan dengan DNA. Zinc berfungsi sebagai kofaktor dalam berbagai enzim yang berperan dalam sintesis karbohidrat dan protein, menjaga stabilitas membran sel, mengatur biosintesis hormon auksin, serta mendukung pembentukan dan viabilitas serbuk sari. Defisiensi Zn diketahui sebagai salah satu kendala umum

pada sistem budidaya tanaman pangan, termasuk padi, yang dapat mengakibatkan penurunan hasil dan kualitas biji (Dhakad *et al.*, 2020). Pada tanaman padi, gejala defisiensi Zn mencakup kehilangan turgiditas yang menyebabkan layu, keterlambatan pertumbuhan, klorosis pada daun bagian bawah, perubahan warna daun menjadi keperakan atau berwarna perunggu, serta dalam kondisi akut dapat menyebabkan kematian bibit (Kumar *et al.*, 2017).

Tembaga (Cu) juga merupakan unsur mikro yang berperan dalam berbagai proses metabolisme tanaman. Tembaga memiliki peran penting dalam pemanfaatan besi selama proses biosintesis klorofil dan dalam sistem enzimatik yang melibatkan oksidase, termasuk sitokrom oksidase dan plastosianin yang terlibat dalam transfer elektron pada fotosintesis (Cohu & Pilon, 2016). Kekurangan Cu dapat menyebabkan akumulasi Fe di jaringan tanaman, mengganggu sintesis klorofil, serta menghambat pertumbuhan tanaman (Yamasaki & Pilon, 2016). Selain itu, Cu berfungsi sebagai komponen dalam enzim redoks yang mengkatalisis reaksi oksidasi-reduksi pada sel tanaman. Defisiensi Cu sering ditemukan pada tanah bertekstur ringan seperti tanah berpasir, tanah berkapur, tanah laterit, atau tanah dengan kandungan bahan organik yang tinggi. Gejala morfologi dari defisiensi Cu meliputi klorosis, daun berwarna hijau kebiruan, daun muda yang tidak menggulung, ujung daun runcing menyerupai jarum, penurunan jumlah anakan, serta menurunnya viabilitas serbuk sari (Lilay *et al.*, 2024).

Boron (B) berfungsi dalam proses deposisi kation, pengaturan keseimbangan ion, serta pengaruhnya terhadap penyerapan dan interaksi dengan unsur hara lain. Boron berperan dalam sintesis dan stabilisasi dinding sel, perkembangan sel-sel baru pada jaringan meristematik, serta dalam translokasi asimilasi seperti gula, pati, dan fosfat serta mengatur mekanisme IAA (Rehman *et al.*, 2018). Kekurangan B pada tanaman padi sering terjadi pada kondisi lingkungan yang ekstrem, baik terlalu lembap maupun kering, dan dapat menghambat pertumbuhan vegetatif maupun generatif. Defisiensi boron pada fase inisiasi malai dapat mengakibatkan kegagalan pembentukan malai, sehingga berdampak signifikan terhadap potensi hasil. Gejala khas defisiensi B antara lain munculnya pucuk daun

berwarna putih serta gejala menggulung pada daun yang masih muda (Brdar-Jokanović, 2020).

Keseimbangan antara unsur hara makro dengan unsur hara mikro berperan penting bagi metabolisme tanaman yang akan berdampak kepada pertumbuhan tanaman dan secara lanjut akan mempengaruhi hasil tanaman. Pengamatan pengaruh pemupukan terhadap respon vegetatif dan produksi padi varietas INPARI 32 HDB dilakukan pada variabel tinggi tanaman, jumlah anakan, dan tonase gabah yang dihasilkan. Padi dengan Varietas INPARI 32 HDB cocok ditanam pada ekosistem sawah dataran rendah sampai dengan ketinggian 600 mdpl dengan tinggi tanaman berkisar pada 97 cm dan jumlah gabah per malainya mencapai 118 butir. Varietas ini memiliki potensi hasil mencapai 8,42 t/ha gabah kering giling dengan rata-rata hasilnya pada angka 6,30 t/ha gabah kering giling.

Tabel 5. Respon tinggi tanaman dan jumlah anakan padi terhadap pupuk mikro

Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm)					Jumlah Anakan		Panen (ton/ha)
	2 MSA	4 MSA	6 MSA	8 MSA	10 MSA	6 MSA	8 MSA	
P0	37.30 a	70.35 a	87.75 a	100.95 a	103.45 a	11.35 c	13.50 c	3.64 b
P1	39.30 a	71.45 a	88.50 a	101.00 a	102.75 a	18.20 a	19.15 a	4.34 b
P2	36.45 a	69.50 a	88.95 a	101.85 a	104.50 a	14.90 abc	16.45 abc	5.55 ab
P3	40.30 a	72.25 a	90.25 a	102.65 a	104.55 a	14.40 abc	15.43 abc	5.84 ab
P4	38.05 a	72.70 a	91.15 a	103.95 a	106.05 a	17.25 ab	18.00 ab	6.34 ab
P5	41.25 a	72.35 a	92.85 a	105.05 a	107.15 a	13.50 bc	14.65 bc	8.16 a
P6	42.25 a	72.95 a	90.95 a	103.95 a	106.05 a	15.65 abc	16.70 abc	8.42 a
P7	38.15 a	71.75 a	88.80 a	101.60 a	103.70 a	14.65 abc	15.63 abc	7.03 ab
CV (%)	9.02	4.43	4.07	3.23	3.13	12.95	11.51	25.54

Keterangan : nilai yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama mengindikasikan perbedaan yang tidak signifikan berdasarkan Uji Tukey dengan taraf nyata 5%

Pengamatan variabel tinggi tanaman dilakukan pada 2 MSA, 4 MSA, 6 MSA, 8 MSA, dan 10 MSA. Secara umum, hasil pengamatan menunjukkan tidak terdapat perbedaan tinggi tanaman yang signifikan pada masing-masing perlakuan hingga 6 MSA. Namun, pada pengamatan 8 dan 10 MSA, perlakuan P0 (kontrol)

memberikan hasil tinggi tanaman terendah, meskipun tidak berbeda nyata. Perlakuan P5 secara konsisten menunjukkan tinggi tanaman yang relatif tinggi sejak 2 MSA hingga 10 MSA, meskipun perbedaan tidak signifikan secara statistik. Pertumbuhan tinggi tanaman difokuskan pada 10 MSA, secara umum perlakuan P0-P7 memberikan hasil yang tidak berbeda nyata untuk pertumbuhan tinggi tanaman padi. Sehingga dapat diketahui bahwa penambahan pupuk mikro majemuk pupuk mikro sebanyak 0 hingga 1,5 dosis dan diimbangi pemberian NPK sebanyak 0 sampai dengan 1 dosis rekomendasi umum mampu meningkatkan tinggi tanaman padi. Namun demikian hasil tertinggi diperoleh pada perlakuan P5 dengan pemberian masukan pupuk mikro pupuk mikro yang merupakan Pupuk Mikro Majemuk pada dosis 1 dosis dengan 0,75 Dosis NPK. Peningkatan tinggi tanaman yang dipengaruhi oleh pemberian pupuk mikro diduga karena kandungan Zn sebesar 1,69% dan Cu sebesar 0,8% yang mendukung proses metabolisme tanaman. Zinc diketahui berperan penting dalam sintesis hormon auksin, aktivitas enzim, dan pembelahan sel, yang kesemuanya berkontribusi terhadap pemanjangan batang (Dhakad *et al.*, 2020). Tembaga (Cu) juga memainkan peran dalam sintesis klorofil dan fungsi enzimatik penting seperti plastosianin dalam fotosintesis (Yruela, 2013).

Jumlah anakan menunjukkan perbedaan signifikan pada 6 dan 8 MSA, dengan P1 memiliki jumlah anakan tertinggi pada kedua waktu tersebut 18,20 dan 19,15. Namun demikian, secara statistik, perlakuan P1 tidak berbeda nyata dengan sebagian besar perlakuan lain, kecuali P0 yang menunjukkan jumlah anakan paling sedikit. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan unsur mikro terutama Zn dan Cu dalam pupuk mikro berperan dalam mendorong pembentukan anakan produktif melalui pengaruhnya terhadap pembelahan sel dan aktivitas jaringan meristematik (Fageria *et al.*, 2014). Namun, pada umumnya jumlah anakan tinggi tidak selalu diikuti oleh peningkatan hasil jika anakan yang terbentuk tidak produktif.

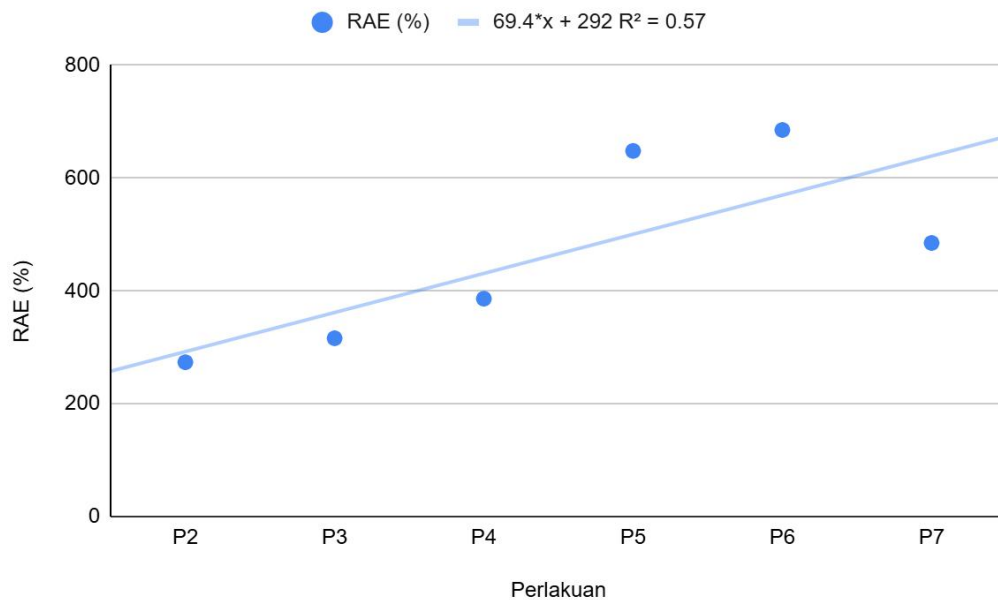
Hasil panen tertinggi diperoleh pada perlakuan P6 sebesar 8,42 ton/ha yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan P5, tetapi berbeda nyata dengan P0 dan P1. Sementara potensi hasil INPARI 32 HDB mampu mencapai 8,42 t/ha. Perlakuan

P6 mampu meningkatkan hasil panen mencapai 94% dibandingkan dengan P1. Perlakuan ini memberikan kombinasi yang optimal antara jumlah anakan, tinggi tanaman yang proporsional, dan kandungan unsur mikro yang mendukung pengisian bulir. Meskipun P1 memiliki jumlah anakan paling banyak, hasil panennya tidak sebanding, menunjukkan bahwa tidak semua anakan berkembang menjadi malai produktif. Namun demikian, secara umum perlakuan P2 sampai dengan P7 tidak memberikan hasil yang berbeda nyata sehingga dapat diketahui bahwa penambahan pupuk mikro majemuk pupuk mikro sebanyak 0,5 hingga 1,5 dosis dan diimbangi pemberian NPK sebanyak 0,75 sampai dengan 1 dosis rekomendasi umum mampu meningkatkan hasil panen padi. Kandungan Zn dan Cu dalam pupuk mikro kemungkinan besar turut berperan dalam efisiensi pengisian bulir, karena Zn diketahui penting dalam transportasi karbohidrat dan sintesis protein, sedangkan Cu terlibat dalam proses respirasi dan ketahanan tanaman terhadap stres (Rehman *et al.*, 2021). Hasil ini menunjukkan bahwa hasil panen tidak hanya ditentukan oleh jumlah anakan atau tinggi tanaman, tetapi oleh interaksi kompleks antara fisiologi tanaman, keberadaan unsur mikro, serta keseimbangan nutrisi makro dan mikro (Kumari *et al.*, 2019). Keberadaan unsur mikro dan makro yang seimbang mampu mengoptimalkan pertumbuhan tanaman yang mampu mendukung hasil panen.

3.5 Relative Agronomic Effectiveness (RAE)

Relative Agronomic Effectiveness (RAE) digunakan untuk mengukur seberapa efektif perlakuan pemupukan tertentu jika dibandingkan dengan perlakuan standar atau rekomendasi umum. Semakin besar nilai RAE, semakin tinggi pula efektivitas perlakuan pemupukan tersebut (Agsari *et al.*, 2020). Nilai RAE dinyatakan dalam bentuk persentase, yang menggambarkan peningkatan hasil tanaman akibat penggunaan suatu perlakuan pupuk, dibandingkan dengan hasil tanaman dari pemupukan standar. Perlakuan pupuk standar memiliki nilai RAE sebesar 100%, sehingga setiap perlakuan baru atau modifikasi dianggap efektif jika mampu menghasilkan nilai RAE yang mendekati atau melebihi angka tersebut (Subandi *et al.*, 2016). Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan,

berikut ini disajikan nilai RAE dalam bentuk persentase. Berdasarkan perhitungan hasil panen, diperoleh hasil sebagai berikut.



Gambar 5. Nilai RAE perlakuan penambahan pupuk pupuk mikro

Berdasarkan grafik yang ditampilkan pada Gambar 5, terlihat adanya tren peningkatan nilai Relative Agronomic Effectiveness (RAE) dari perlakuan P2 hingga mencapai nilai tertinggi pada perlakuan P6, kemudian menurun pada perlakuan P7. Nilai RAE tertinggi diperoleh pada perlakuan P6, yaitu mendekati 700%, yang menunjukkan efektivitas agronomis tertinggi dalam meningkatkan hasil tanaman. Sementara itu, nilai RAE terendah terdapat pada perlakuan P2, yaitu sekitar 270%. Seluruh perlakuan dari P2 hingga P7 menunjukkan nilai RAE yang berada jauh di atas 100%, yang merupakan nilai acuan efektivitas standar pemupukan. Hal ini menandakan bahwa penambahan pupuk mikro majemuk pupuk mikro dalam perlakuan-perlakuan tersebut secara umum memberikan kontribusi positif yang signifikan terhadap hasil tanaman. Meskipun nilai koefisien determinasi ($R^2 = 0,57$) menunjukkan hubungan yang sedang antara perlakuan dan nilai RAE, tren garis regresi tetap memperlihatkan pola peningkatan efektivitas hingga perlakuan tertentu. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa aplikasi pupuk pupuk mikro mampu meningkatkan efektivitas

agronomis dibandingkan pemupukan standar, dengan perlakuan P6 sebagai kombinasi perlakuan paling optimal dalam penelitian ini.

3.6 Kriteria Lulus Uji Efektivitas

Kriteria lulus uji efektivitas didasarkan pada hasil panen, RAE, pertumbuhan tanaman, dan perbaikan sifat tanah. Berdasarkan kriteria tersebut maka diperoleh hasil bahwa perlakuan kontrol (P0) menghasilkan panen sebesar 3,64 t/ha, sedangkan semua perlakuan dengan penambahan NPK maupun pupuk mikro mampu meningkatkan hasil lebih dari 15%. Peningkatan hasil tertinggi diperoleh pada perlakuan P6 ($\frac{1}{2}$ dosis NPK + 1 dosis pupuk mikro) dengan produktivitas mencapai 8,42 t/ha, atau meningkat sebesar 131% dibanding kontrol. Perlakuan P5 (1 dosis NPK + $\frac{1}{2}$ dosis pupuk mikro) juga menunjukkan hasil tinggi yakni 8,16 t/ha, meningkat 124% dibanding kontrol. Selain itu berdasarkan analisis RAE (*Relative Agronomic Effectiveness*) menunjukkan bahwa perlakuan P3 hingga P7 memiliki nilai RAE >200% yang berada di atas 85%. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan pupuk mikro dalam kombinasi dengan NPK memberikan keuntungan agronomis yang sangat tinggi dibandingkan dengan penggunaan NPK saja (P2). Pencapaian RAE di atas 200% mengindikasikan bahwa pupuk mikro tidak hanya meningkatkan produktivitas, tetapi juga memberikan efisiensi pemanfaatan hara yang lebih baik.

Berdasarkan variabel pertumbuhan tanaman, tinggi tanaman pada 10 MSA berada pada kisaran 103,7–107,2 cm. Perlakuan kontrol menghasilkan tinggi tanaman 103,45 cm, dan perlakuan dengan pupuk mikro menunjukkan sedikit peningkatan. Namun, jika dibandingkan dengan kriteria uji efektivitas, tidak ada perlakuan yang mampu mencapai kenaikan 20% atau lebih dibanding kontrol dengan ambang batas $\geq 124,14$ cm. Dengan demikian, untuk tinggi tanaman, pupuk mikro belum memenuhi kriteria efektivitas. Meski demikian, parameter jumlah anakan menunjukkan tren positif dengan nilai lebih tinggi dibanding kontrol, terutama pada perlakuan P1, P4, dan P6 yang mendukung terbentuknya malai lebih banyak pada fase generatif.

Setelah dilakukan uji coba dengan aplikasi pupuk pupuk mikro, terjadi peningkatan kandungan hara mikro dalam tanah, terutama pada perlakuan dengan dosis kombinasi NPK + pupuk mikro. Kandungan Cu tanah meningkat signifikan, misalnya pada perlakuan P6 tercatat 11,36 mg/kg, jauh lebih tinggi dibandingkan nilai awal dengan nilai ± 5 mg/kg sebelum uji. Begitu pula dengan kandungan Zn tanah, yang pada awalnya rendah, meningkat pada perlakuan dengan pupuk mikro sehingga mendukung ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa pupuk pupuk mikro memenuhi kriteria LULUS uji efektivitas.

IV. KESIMPULAN

Pengaplikasian pupuk mikro majemuk sebesar 1,5 dosis dan 1 Dosis NPK memberikan hasil panen padi tertinggi dan mampu meningkatkan efektivitas agronomis dibandingkan pemupukan standar.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Agsari, D., Utomo, M., Hidayat, K.F. and Niswati, A., 2020. Respon serapan hara makro-mikro dan produksi tanaman jagung (*Zea mays* L.) terhadap pemupukan nitrogen dan praktik olah tanah jangka panjang. *Journal of Tropical Upland Resources (J. Trop. Upland Res.)*, 2(1), pp.46-59.
- Bevitori, R., Nandi, R., Biswas, K., et al. (2023). *Comparison of major rice fungal diseases and their interactions with climate factors*. ScienceCentral.
- Brdar-Jokanović, M., 2020. Boron toxicity and deficiency in agricultural plants. *International journal of molecular sciences*, 21(4), p.1424.
- Cohu, C. M., & Pilon, M. (2016). *Copper trafficking in plants and its implication on cell wall dynamics*. *Frontiers in Plant Science*, 7, 601.
- Dhakad, R., Singh, A., & Verma, P. (2020). *Role of zinc in enhancing growth and grain quality of rice*. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(3), 456–468.
- Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Li, Y. C. (2014). The role of nutrient efficient plants in improving crop yields in the twenty first century. *Journal of Plant Nutrition*, 37(6), 857–872.
- Fageria, N. K., Carvalho, G. D., Santos, A. B., Ferreira, E. P. B., & Knupp, A. M. (2011). Chemistry of Lowland Rice Soils and Nutrient Availability. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42(16), 1913–1933.
- Fan, L., Li, X., Chen, Q., & Zhang, Y. (2022). Exogenous potassium enhances pollen germination and pollen tube growth in *Arabidopsis*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 180, 217–225.
- Hatfield, J. L., & Prueger, J. H. (2015). Temperature Extreme: Effect on Plant Growth and Development. *Weather and Climate Extremes*, 10, 4–10.
- Havlin, J. and Heiniger, R., 2020. Soil fertility management for better crop production. *Agronomy*, 10(9), p.1349.
- Hernández-Santana, V., Díaz-Espejo, A., & Perez-Martin, A. (2022). Interactions between water transport and nutrient uptake in plants under drought. *Frontiers in Plant Science*, 13, 839214.
- Huang, S., Zhao, J., & Liu, Q. (2023). Functions and strategies for enhancing zinc availability in plants. *Frontiers in Plant Science*, 14, 958637.
- Kamal, A., Hassan, H., & Zaheer, I. (2016). Potassium nutrition improves physiological functions in rice growth and yield. *Journal of Plant Nutrition*, 39(8), 1132–1143.
- Khanal, D., Bastakoti, B. and Banjade, D., 2024. A review: elevated nighttime temperature impacts on rice. *International Journal of Plant & Soil Science*, 36(8), pp.437-446.
- Kumar, S., Sharma, N., & Rao, A. (2017). *Zinc deficiency symptoms and management in paddy*. *Annals of Plant Nutrition and Fertilization*, 12(2), 99–108.
- Kumari, R., Meena, M. C., & Singh, V. (2019). Role of micronutrients in rice cultivation and management strategy in organic agriculture. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(1), 1616–1620.
- Li, C., Mao, X., Zheng, M. and Han, M., 2024. Adapting Seasonal Rice Cultivation Strategies for Food Security in Response to Climate Change Impacts. *Sustainability*, 16(16), p.6748.

- Li, J., Zhang, L., Wang, C., & Xu, Y. (2024). Effects of water management and temperature on rice (*Oryza sativa* L.) growth and yield. *Field Crops Research*, 301, 108980.
- Lilay, M. et al. (2024). *Linking the key physiological functions of essential micronutrients to their deficiency symptoms in plants. New Phytologist*.
- Ma, X., Liu, Y., & Chen, Z. (2022). *Adapting seasonal rice cultivation strategies for food security in response to climate variability in China. Sustainability*, 16(16), 6748.
- Murtaza, B., Murtaza, G., Sabir, M., Amjad, M. and Imran, M., 2016. Nitrogen management in rice-wheat cropping system in salt-affected soils. *Soil science: Agricultural and environmental perspectives*, pp.67-89.
- Plaxton, W.C. and Tran, H.T., 2011. Metabolic adaptations of phosphate-starved plants. *Plant physiology*, 156(3), pp.1006-1015.
- Rehman, A.U., Farooq, M., Rashid, A., Nadeem, F., Stuerz, S., Asch, F., Bell, R.W. and Siddique, K.H., 2018. Boron nutrition of rice in different production systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(3), p.25.
- Rehman, H. U., et al. (2021). Role of copper nutrition in plant growth, development and stress tolerance. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(3), 841–856.
- Singh, A., et al. (2023). *Critical weather limits for paddy rice under diverse ecosystems of India. Frontiers in Plant Science*.
- Subandi, M., S. Hasani, dan W. Satriawan. 2016. Tingkat efisiensi dan efektivitas pupuk hayati dalam menstutstitusi pupuk nitrogen dan fosfor pada tanaman jagung (*Zea mays* L.). *Jurnal Agrista* 20(3): 140-149.
- Sukarta, A.I.N., Sugiarto, Y. and Koesmaryono, Y., 2018. Projection of Rice Blast Diseases in West Java Region based on Climate Change Scenario. *Agromet*, 32(2), pp.62-70.
- Surmaini, E. and Hadi, T.W., 2020. Verifikasi Prediksi Curah Hujan Ensemble Menggunakan Metode Roc. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 21(1), pp.37-44.
- Taratima, W., Chuanchumkan, C., Maneerattanarungroj, P., Trunjaruen, A., Theerakulpisut, P. and Dongsansuk, A., 2022. Effect of heat stress on some physiological and anatomical characteristics of rice (*Oryza sativa* L.) cv. KDML105 callus and seedling. *Biology*, 11(11), p.1587.
- Taratima, W., Chuanchumkan, C., Maneerattanarungroj, P., Trunjaruen, A., Theerakulpisut, P. and Dongsansuk, A., 2022. Effect of heat stress on some physiological and anatomical characteristics of rice (*Oryza sativa* L.) cv. KDML105 callus and seedling. *Biology*, 11(11), p.1587.
- Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2007). Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany*, 61(3), 199 - 223. & CSIRO (2013). A phenotypic marker for quantifying heat stress impact during microsporogenesis in rice. *Functional Plant Biology*, 41(1), 48 - 55.
- Wang, Y., Wu, W.-H., & Huang, Y. (2022). Potassium in plants: Growth regulation, signaling, and environmental stress tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 172, 56–69. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.01.001>

- Wang, Y., Li, Z., & Chen, H. (2025). Molecular mechanisms of plant responses to copper: uptake, transport, and homeostasis. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(13), 6993.
- Yamasaki, H., & Pilon, M. (2016). *Molecular mechanisms of plant responses to copper: from deficiency to excess*. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(13), 6993.
- Yamori, W., Hikosaka, K., & Way, D. A. (2013). Temperature Response of Photosynthesis in C₃, C₄, and CAM Plants. *Photosynthesis Research*, 10(10), 159–175.
- Yan, Q., Zhang, S., Xu, H., et al. (2021). *Detrimental effects of heat stress on grain weight and quality in rice (Oryza sativa L.) are aggravated by decreased relative humidity*. *Frontiers in Plant Science*.
- Yruela, I. (2013). Copper in plants: acquisition, transport and interactions. *Functional Plant Biology*, 40(6), 593–606.
- Zahra, N., Hafeez, M.B., Ghaffar, A., Kausar, A., Al Zeidi, M., Siddique, K.H. and Farooq, M., 2023. Plant photosynthesis under heat stress: Effects and management. *Environmental and Experimental Botany*, 206, p.105178.

Lampiran.2 Biodata Ketua Tim Peneliti/Pelaksana

A. Identitas Diri

1	Nama Lengkap	Sutan Tarmizi Lubis
2	Jenis Kelamin	Laki-laki
3	Jabatan Fungsional	Tenaga Pengajar
4	NIK	1274052511940003
5	NUPTK	5457772673130303
6	Tempat dan Tanggal Lahir	Tanjungbalai 25 Nopember 1994
7	e-mail	stn@poltek.ac.id
8	No Hp	085270044510
9	Alamat Kantor	Jl. Urip Sumoharjo No.1, Klitren, Kec. Gondokusuman, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta 55222
10	No Telepon/Faks	(0274) 555776
11	Lulusan yanag Telah Dihasilkan	-
12	Bidang Keahlian / Kepakaran Sub Bidang Kepakaran	Budidaya Tanaman Perkebunan / Sistem Produksi Tanaman

B. Riwayat Pendidikan

	S-1	S-2	S-3
Nama Perguruan Tinggi	USU	UGM	-
Bidang Ilmu	Agroekoteknologi	Agronomi	-
Tahun Masuk-Lulus	2012-2016	2019-2021	
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi	Pengaruh Zat Pengatur Tumbuh dan Komposisi Media Tanam Terhadap Keberhasilan Sambung Ubi Mukibat	Tanggapan Anatomi Tanaman Kakao Terhadap Pemberian Beberapa Dosis Pupuk Kalsium	-
Nama Pembimbing	Dr. Nini Rahmawati, S.P., M.Si. (Pembimbing 1) Dr.Ir.T. Irmansyah, M.P (Pembimbing 2)	Eka Tarwaca Susila Putra, S.P.,M.P., Ph.D (Pembimbing 1) Ir. Budiastuti Kurniasih, M.Sc., Ph.D. (Pembimbing 2)	-

C. Pengalaman Penelitian dalam 5 Tahun Terakhir (Bukan Skripsi,Tesis maupun Disertasi)

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber Dana	Jumlah (Juta Rp)

1	2025	Pengembangan model DSS untuk prediksi status hara NPK tebu, rekomendasi pemupukan NPK tebu dan proyeksi hasil panen tebu Ratoon	PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang	Rp. 495.000.000
2	2023	Pengembangan model DSS untuk prediksi status hara NPK tebu, rekomendasi pemupukan NPK tebu dan proyeksi hasil panen tebu	PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang	Rp. 590.000.000
3	2023	Produksi dan Komersialisasi Pupuk NPK Custom Komoditas Tebu untuk Peningkatan Produktivitas , Rendemen dan Produksi Gula Nasional	PT. Pupuk Indonesia Holding	Rp. 250.000.000
4	2023	Pengembangan penanda-penanda biokemis sifat hemat pupuk K progeni-progeni kelapa sawit	Ristek Dikti	Rp. 85.000.000
5	2022	Optimalisasi Produksi Kedelai Melalui Intercropping dengan Kelapa Sawit Fase TBM-1 Wilayah Oprasional PTPN III (Persero)	PTPN III Holding	Rp. 250.000.000
6	2022	Program percepatan Pengembangan Kawasan Agropolitan Segobatom dan Palempari Kabupaten Kediri	BAPEDA Kab. Kediri	Rp. 200.000.000

D. Pengalaman Pengabdian Kepada Masyarakat dalam 5 Tahun Terakhir

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber Dana	Jumlah (Juta Rp)
1	2025	Pengembangan Agroindustri Lokal untuk Mendukung Ketahanan Pangan dan Kemandirian Ekonomi di Padukuhan Gandekan, Kalurahan Guwosari, Kabupaten Bantul.	Politeknik LPP	Rp. 800.000
2	2022	Inovasi Kebun Campuran Di Lereng Selatan Pegunungan Menore Sidoharjo, Samigaluh, Kulon Progo Untuk Mewujudkan Ekonomi Biosirkular Yang Produktif, Resilien Dan Berkelanjutan. (Tahun Kedua) Produksi Dan Komersialisasi Specialty	LPPM UGM	Rp. 40.000.000

		Coffe		
--	--	-------	--	--

E. Publikasi Artikel Ilmiah dalam Jurnal dalam 5 Tahun Terakhir

No	Judul Artikel Ilmiah	Nama Jurnal	Volume/Nomor/ Tahun
1	Agriculture Science	Anatomical Characteristics of Cocoa Plant Roots at Some Level of Calcium fertilization (agriculture science 2022)	2022

F. Pemakalah Seminar Ilmiah (*Oral Presentation*) dalam 5 Tahun Terakhir

No	Nama Pertemuan Ilmiah	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
1			

G. Karya Buku dalam 5 Tahun Terakhir

No	Judul Buku	Tahun	Jumlah Halaman	Penerbit
1				

H. Pengalaman Merumuskan Kebijakan Publik/Rekayasa Sosial Lainnya dalam 5 Tahun Terakhir

No	Judul Buku/Judul/Tema/Jenis Rekayasa Sosial Lainnya yang Telah Diterapkan	Tahun	Tempat Penerapan	Respon Masyarakat
1				

I. Penghargaan dalam 10 Tahun Terakhir (dari pemerintah, asosiasi atau institusi lainnya)

No	Jenis Penghargaan	Instansi Pemberi Penghargaan	Tahun
1			

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila dikemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi. Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya sebagai dokumen pelengkap Laporan Usulan Penelitian Hibah Kompetitif Politeknik LPP Yogyakarta Tahun 2025.

Yogyakarta, 2 September 2025


Sutan Tarmiz Lubis
NUPTK. 5457772673130303



DIREKTORAT PERBENIHAN
DIREKTORAT JENDERAL
TANAMAN PERTANIAN
KEMENTERIAN PERTANIAN



DINAS PERTANIAN DAN
KETAHANAN PANGAN
DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

PADI

INPARI 32 HDB

Nomor seleksi	: BP10620F-BB4-15-BB8
Asal seleksi	: Ciherang/IRBB64
Umur tanaman	: 120 hari setelah sebar
Bentuk tanaman	: Tegak
Tinggi tanaman	: 97 cm
Daun bendera	: Tegak
Jumlah gabah per malai	: ± 118 butir
Bentuk gabah	: Medium
Warna gabah	: Kuning bersih
Kerontokan	: Sedang
Kerebahan	: Agak tahan
Tekstur nasi	: Sedang
Kadar amilosa	: $\pm 23,46$ %
Berat 1000 butir	: 27,1 gram
Rata – rata hasil	: 6,30 t/ha GKG
Potensi hasil	: 8,42 t/ha GKG
Ketahanan terhadap hama	: Agak rentan terhadap wereng batang coklat biotipe 1, 2, dan 3
Ketahanan terhadap penyakit	: Tahan terhadap hawar daun bakteri patotipe III, agak tahan patotipe IV dan VIII. Tahan blas ras 033, agak tahan ras 073, rentan terhadap blas ras 133 dan 173 serta agak tahan tungro ras Lanrang
Anjuran tanam	: Cocok ditanam diekosistem sawah dataran rendah sampai ketinggian 600 mdpl
Pemulia	: Aan A. Daradjat, Cucu Gunarsih, Trias Sitaresmi, Nafisah

SK Menteri Pertanian 4996/Kpts/SR.120/12/2013
Tanggal 18 Desember 2013



Gebyar Perbenihan Tanaman Pangan Tahun 2023



Dokumentasi Kegiatan

