

LAPORAN AKHIR

PENGUJIAN EFEKTIVITAS PUPUK MIKRO MAJEMUK Cu DAN Zn TERHADAP PENINGKATAN PERTUMBUHAN DAN HASIL TANAMAN BAWANG MERAH



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 Majemuk Cu Dan Zn Terhadap Peningkatan Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Bawang Merah

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 : 5457772673130303

c. Perguruan Tinggi : Universitas Turnojoyo Madura

Menyetujui,
Kepala UP2M



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

Yogyakarta, 2 September 2025
Dosen Pelaksana,

(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

Produksi komoditas tanaman pekebun di belum optimal akibat kesenjangan hasil yang dipicu defisiensi hara, sehingga diperlukan pemupukan presisi. Penelitian ini mengevaluasi efektivitas pupuk mikro majemuk Pupuk mikro (Zn, Cu, B) terhadap bawang merah di Kelurahan Srigading, Kec. Sanden, Kab. Bantul (Januari–April) 2025 pada tanah pasir pantai; luas tiap perlakuan 160 m². Parameter yang diuji meliputi mutu pupuk (Zn, Cu serta logam berat As, Hg, Pb, Cd), kondisi tanah pra/pasca tanam, ketersediaan Cu dan Zn, pertumbuhan vegetatif, hasil, dan efisiensi agronomis (RAE). Hasil menunjukkan kandungan Zn tinggi dan Cu memadai; As dan Cd sangat rendah–rendah (aman), sedangkan Pb kategori sedang sehingga perlu pemantauan. Dibanding kontrol, hasil umbi meningkat 63–134% dan nilai RAE umumnya melampaui standar (P1), kecuali pada P2. Pertumbuhan vegetatif antar perlakuan bervariasi namun tidak berbeda nyata. Peningkatan hara tersedia lebih jelas pada Cu (≥100%) dibanding Zn. Secara keseluruhan, Pupuk mikro berpengaruh nyata terhadap kriteria uji efektivitas; perlakuan P7 paling konsisten meningkatkan hasil, RAE, hara tersedia, dan hara daun, sehingga direkomendasikan untuk pemupukan bawang merah pada lahan pasir pantai dengan tetap memonitor kadar Pb.

Kata kunci: bawang merah; pupuk mikro majemuk; zinc; tembaga; RAE; pasir pantai

DAFTAR ISI

RINGKASAN EKSEKUTIF.....	1
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.....	13
III. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	16
3.1. Kondisi Umum Lokasi Penelitian.....	16
3.2. Hasil Uji Mutu Pupuk yang Diuji.....	21
3.3. Hasil Analisis Tanah Sebelum dan Setelah Pelaksanaan Uji.....	23
3.4. Analisis Variabel Hasil Pengukuran (Pertumbuhan dan Hasil) 27	
3.5. Relative Agronomic Effectiveness (RAE).....	32
3.6. Kriteria Lulus Uji Efektivitas.....	34
IV. KESIMPULAN.....	34
V. DAFTAR PUSTAKA.....	35
Lampiran – Lampiran:.....	Error! Bookmark not defined.
Lampiran 1. SUSUNAN PERSONALIA PELAKSANA KAJIAN.....	Error!
Bookmark not defined.	

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Rincian perlakuan pengujian produk pupuk.....	13
Tabel 2. Pengujian mutu pupuk Pupuk mikro.....	22
Tabel 3. Ketersediaan hara B, Cu, dan Zn pada tanah media tumbuh bawang merah.....	25
Tabel 4. Kandungan hara B, Cu, dan Zn pada daun bawang merah.....	26
Tabel 5. Pertumbuhan dan produksi bawang merah pada 4 MSA.....	30

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Suhu rata-rata periode Januari – Mei 2025.....	17
Gambar 2.Kelembaban rata-rata periode Januari – Mei 2025.....	18
Gambar 3.Curah hujan periode Januari – Mei 2025.....	19
Gambar 4. Lama penyinaran matahari periode Januari – Mei 2025.....	21
Gambar 5. Relative Agronomic Efficiency perlakuan pemupukan bawang merah.....	33

I. PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Komoditas tanaman yang diusahakan oleh para pekebun di 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 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 . 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 . 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 dapat dimaksimalkan melalui minimalisasi kesenjangan hasil, bahkan jika memungkinkan yaitu menghilangkan kesenjangan hasil. Mendasarkan 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. Mendasarkan pada hasil analisa ekonomi pada beberapa komoditas tanaman utama , 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 Pupuk mikro yang diproduksi oleh PT. Dyriz terhadap pertumbuhan, komponen hasil dan hasil tanaman bawang merah
- b) Mengetahui tingkat efektivitas pupuk Pupuk mikro yang diproduksi oleh PT. Dyriz ketika diaplikasikan pada tanaman bawang merah
- c) Menentukan dosis pupuk Pupuk mikro yang efektif dan tidak efektif ketika diaplikasikan dalam operasional produksi bawang merah
- d) Mengetahui pengaruh aplikasi pupuk Pupuk mikro yang diproduksi oleh PT. Dyriz terhadap kandungan unsur hara B, Cu, dan Zn daun bawang merah
- e) Mengetahui pengaruh aplikasi pupuk Pupuk mikro yang diproduksi oleh PT. Dyriz terhadap kandungan B, Cu, dan Zn yang tersedia pada tanah sesuai taraf perlakuan dosis yang diterapkan

1.3. KERANGKA PEMIKIRAN

PT. Dyriz 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 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 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 yaitu kejadian defisiensi hara mikro esensial.

PT. Dyriz lebih terfokus untuk menghasilkan produk pupuk yang menangani ketercukupan hara mikro esensial. Secara spesifik, produk pupuk yang dihasilkan oleh PT. Dyriz 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 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 sangat melimpah.

Tingkat ketersediaan hara Zn, Cu dan B di tanah-tanah secara umum rendah mengingat tipikal iklim yang merupakan *tropical rain forest* dengan tingkat curah hujan tinggi. Kondisi tersebut menyebabkan tanaman yang diusahakan di 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. Dyriz untuk menghasilkan produk pupuk mikro majemuk fokus 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 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 metabolisme 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 bertujuan untuk menguji pengaruh produk pupuk mikro majemuk Pupuk mikro yang diproduksi oleh PT. Dyriz

terhadap kandungan hara Cu dan Zn daun bawang merah serta ketersediaan hara tersebut di tanah media tumbuh bawang merah. Produk pupuk mikro majemuk tersebut secara umum dimaksudkan untuk mencukupi kebutuhan tanaman terhadap hara Cu dan Zn sehingga kajian akan terfokus pada dua hara tersebut.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Pengujian kandungan hara daun dan ketersediaan hara tanah akan dilakukan terhadap produk pupuk mikro majemuk Pupuk mikro yang diproduksi oleh PT. Dyriz . Tujuan umum dari penelitian ini yaitu mengetahui pengaruh pemupukan terhadap kandungan hara B, Cu, Zn daun bawang merah dan ketersediaan hara tanah media tumbuh. Produk pupuk tersebut ditargetkan untuk mencukupi kebutuhan hara Zn, Cu dan B tanaman bawang merah. 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.

Tabel 1. Rincian perlakuan pengujian produk pupuk

Kode	Perlakuan	Pupuk Mikro Majemuk	Urea	ZA	SP-36	KCI
P0	Kontrol	0	0	0	0	0
P1	1 Dosis NPK	0	1	1	1	1
P2	1 Dosis NPK + 0,5 Dosis Pupuk Pupuk mikro	0,5	1	1	1	1
P3	3/4 Dosis NPK + 0,5 Dosis Pupuk Pupuk mikro	0,5	$\frac{3}{4}$	3/4	3/4	3/4
P4	1 Dosis NPK + 1 Dosis Pupuk Pupuk mikro	1	1	1	1	1
P5	3/4 Dosis NPK + 1 Dosis Pupuk Pupuk mikro	1	$\frac{3}{4}$	3/4	3/4	3/4
P6	1 Dosis NPK + 1,5 Dosis Pupuk Pupuk mikro	1,5	1	1	1	1
P7	3/4 Dosis NPK + 1,5 Dosis Pupuk Pupuk mikro	1,5	$\frac{3}{4}$	3/4	3/4	3/4

Kegiatan penelitian untuk keperluan pengujian efektivitas pupuk akan dilakukan di tanah yang memiliki kandungan hara Zn, Cu dan B rendah. Tanaman bawang merah terpilih untuk kegiatan pengujian karena berumur lebih dari 2,5 bulan. Tanaman bawang merah yang digunakan

berasal dari varietas Tajuk yang telah resmi dilepas oleh Kementerian Pertanian dan dominan dipergunakan oleh para pekebun.

Percobaan lapangan menggunakan 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.

Ukuran petak per perlakuan per blok yang akan digunakan dalam pengujian ini sebagai berikut, 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 meliputi kandungan hara total daun dan hara tersedia sesuai dengan perlakuan pemupukan yang diterapkan. 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 Zn, Cu, dan B total dan tersedia
2. Data kandungan hara Zn, Cu, dan B daun tanaman bawang merah.
3. Data karakteristik tanah akhir saat panen akhir: kandungan Zn, Cu dan B tersedia

Data kandungan hara daun dan hara tersedia 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.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kondisi Umum Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di Kelurahan Srigading, Kecamatan Sanden, Kabupaten Bantul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, pada bulan Januari sd April. Wilayah ini termasuk dataran rendah dengan ketinggian sekitar 2-10 mdpl dengan koordinat geografis -8.0019371, 110.2594713. Lahan penelitian yang digunakan merupakan lahan pertanian hortikultura dan pangan dengan jenis tanah pasir pantai (non sawah), dengan luasan lahan yang digunakan seluas 160 m² /jenis pupuk. Kondisi iklim mikro di lokasi penelitian diamati selama 3 bulan saat mulai penanaman.

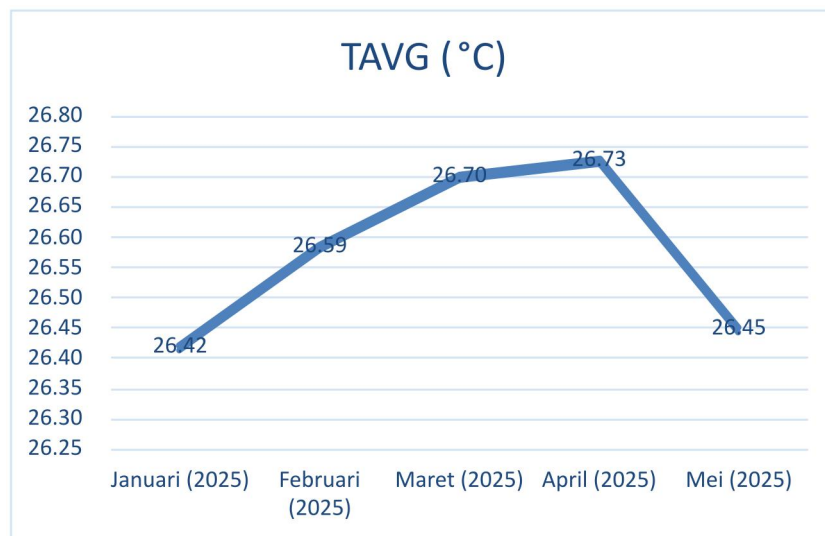
3.1.1. Kondisi Iklim Mikro

Penelitian ini dilakukan selama empat bulan, yaitu dari Januari sampai dengan 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 bawang merah 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 pertanian menjadi aspek yang krusial dalam mendukung keberhasilan budidaya bawang merah.

A. Suhu Udara

Suhu udara dianggap sebagai komponen atmosferik yang vital untuk pertumbuhan bawang merah karena walaupun bawang merah tergolong tanaman yang mampu beradaptasi pada berbagai tipe iklim, setiap fase pertumbuhan bawang merah memerlukan suhu yang spesifik sehingga

penentuan musim tanam dan manajemen sumberdaya di dalam sistem produksi bawang merah perlu direncanakan dengan seksama. Gambar 1 menunjukkan hasil pengamatan suhu udara rata-rata (TAVG) di lokasi pertanaman bawang merah selama periode Desember 2024 - 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.

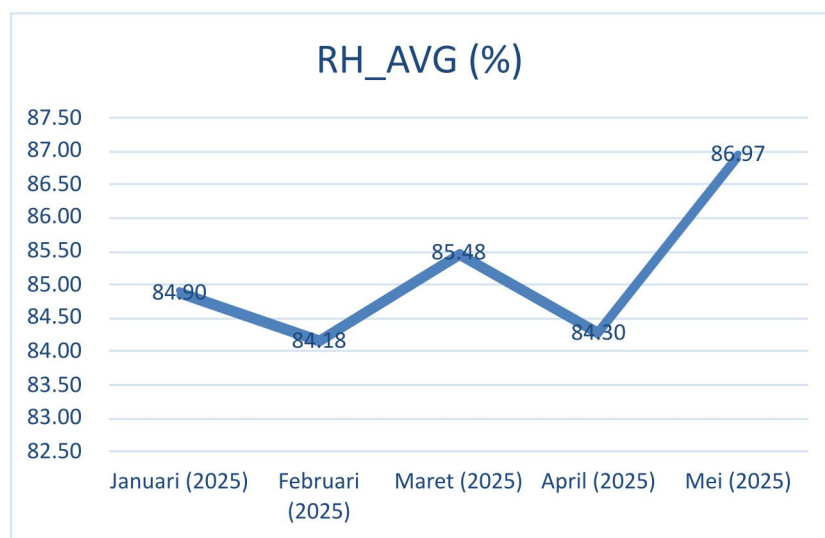


Gambar 1. Suhu rata-rata periode Januari – Mei 2025

Pada masa perkecambahan dan awal pertumbuhan vegetatif, bawang merah dapat tumbuh optimal pada rentang suhu 18 – 25°C. Apabila suhu lingkungan melebihi rentang suhu optimal, maka berpotensi menghambat perkecambahan bawang merah. Suhu rata-rata mencapai 26°C pada bulan Januari-Februari dan berpotensi menghambat pertumbuhan vegetatif awal bawang merah, sehingga penting untuk mengurangi faktor pembatas lain seperti ketersediaan hara agar tanaman mampu beradaptasi pada lingkungan yang ekstrem. Di sisi lain, fase pembentukan dan perkembangan umbi memerlukan suhu yang lebih tinggi dan panjang hari yang lebih lama dengan suhu ideal berkisar 20 – 30°C. Namun, suhu ekstrem yang melebihi 35°C dapat mengakibatkan dormansi, ukuran umbi yang kecil, dan distribusi asimilat yang tidak berimbang untuk pembentukan umbi.

B. 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 Januari – Mei 2025

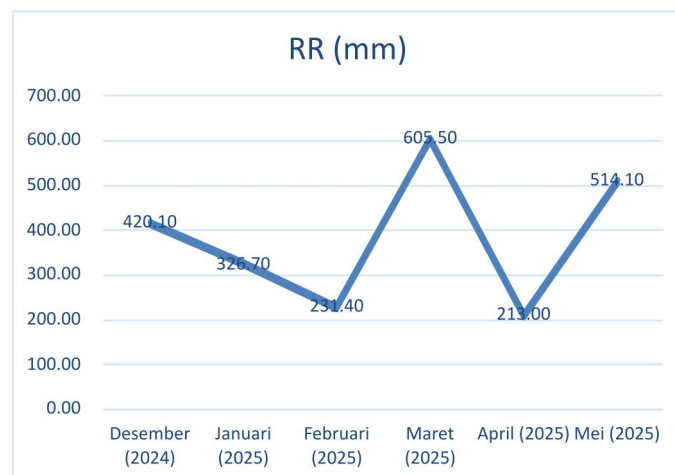
Gambar 2 menunjukkan data kelembaban udara rata-rata (RH_AVG) dari Desember 2024 hingga Mei 2025 di lokasi pertanian bawang merah. Nilai kelembaban berkisar antara 84,18% hingga 86,97%, dengan kelembaban tertinggi terjadi pada Mei 2025 sebesar 86,97%, dan terendah pada Februari 2025 sebesar 84,18%. Secara umum, nilai kelembaban di lokasi tergolong tinggi dan relatif stabil, mencerminkan kondisi tropis yang mendukung pertumbuhan bawang merah. Kelembaban

udara merupakan faktor lingkungan penting yang memengaruhi laju transpirasi dan keseimbangan air dalam tanaman.

Kelembaban relatif yang ideal untuk pertumbuhan dan keragaan fisiologis bawang merah berkisar 60 – 80%. Kelembaban yang sangat tinggi (>90%) merupakan lingkungan yang kondusif untuk patogen termasuk fungi. Kelembaban dan suhu tinggi mengakibatkan penurunan kualitas sirkulasi udara selama perkembangan umbi sehingga berpengaruh terhadap kualitas dan daya simpan bawang merah.

C. Curah Hujan

Bawang merah memerlukan kelembaban yang konsisten terutama selama periode pertumbuhan vegetatif dan fase perkembangan umbi. Setiap varietas memerlukan curah hujan yang spesifik, namun secara umum curah hujan yang merata dengan intensitas 300 – 500 mm selama musim tanam merupakan kondisi ideal terutama jika sistem produksi tersebut hanya mengandalkan hujan sebagai sumber ketersediaan air.



Gambar 3. Curah hujan periode Januari – Mei 2025

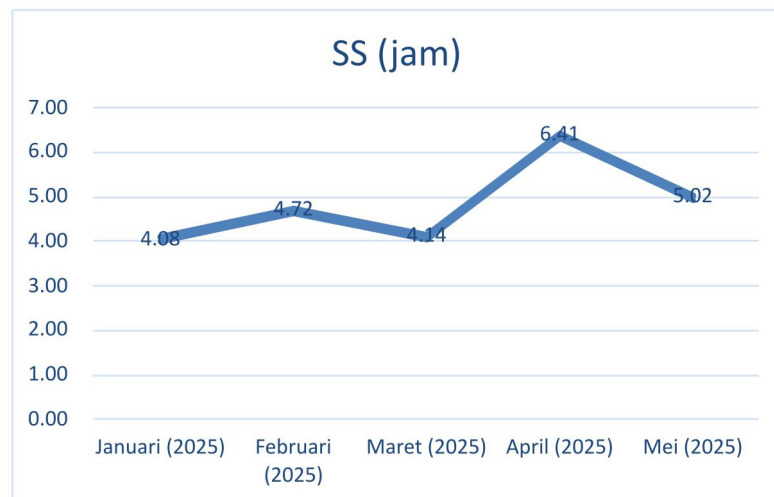
Distribusi curah hujan bulanan selama masa tanam kubis di lokasi penelitian disajikan pada Gambar 3. Curah hujan selama periode penelitian tergolong sangat tinggi berdasarkan kriteria BMKG (>300 mm). Data menunjukkan bahwa curah hujan tertinggi terjadi pada Maret 2025 sebesar 605,50 mm, sedangkan nilai terendah tercatat pada April 2025 sebesar 213 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.

D. Lama penyinaran matahari

Cahaya merupakan salah satu aspek vital bagi tanaman sebagai sumber energi dalam pembentukan asimilat untuk menunjang berbagai proses fisiologis tanaman terutama aktivitas stomata. Pembukaan stomata merupakan mekanisme kompleks yang dipengaruhi oleh pensinyalan cahaya, konversi cahaya-energi, transpor ion, dan aktivitas metabolik pada sel penjaga. Sel penjaga pada stomata terdiri atas vakuola-vakuola yang dapat merespon terhadap intensitas cahaya. Pada kondisi tertutup, vakuola sel penjaga akan berukuran kecil. Sementara, stomata terbuka ketika terjadi perpindahan ion dari sitosol ke vakuola sel penjaga melalui channel ke bagian tonoplast sehingga vakuola akan membesar. Kondisi cekaman, misalnya intensitas cahaya rendah, memicu pelepasan osmotika dari vakuola sel penjaga sehingga stomata tertutup (Shimazaki et al., 2007).

Lama penyinaran matahari berasosiasi erat dengan intensitas cahaya yang dapat diterima oleh tanaman. Bawang merah tergolong tanaman hari panjang terutama pada fase perkembangan umbi. Dengan kata lain, bawang merah memerlukan penyinaran matahari dengan durasi tertentu untuk mengoptimalkan perkembangan umbi. Pada umumnya, bawang merah memerlukan 12 – 16 jam panjang hari selama fase tersebut. Apabila lama penyinaran matahari lebih pendek dibandingkan titik kritis, maka berpotensi mengakibatkan ukuran umbi yang kecil, jumlah daun yang lebih sedikit, dan pertumbuhan stagnan.



Gambar 4. Lama penyinaran matahari periode Januari – 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. Lama penyinaran matahari pada masa penanaman cenderung rendah karena penelitian dilakukan saat musim hujan sehingga fotoperiodisasi tergolong rendah.

3.2. Hasil Uji Mutu Pupuk yang Diuji

Pengujian terhadap pupuk Pupuk mikro dilakukan berdasarkan enam parameter pengujian yakni kandungan unsur Zn, Cu, As, Hg, Pb, dan Cd (Tabel 2). Hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan logam Zn (seng) dan Cu (tembaga) dalam sampel masing-masing sebesar 1.73% dan 0.93%. Kedua unsur ini tergolong sebagai logam esensial yang dibutuhkan dalam jumlah kecil oleh tubuh manusia dan hewan, serta sering digunakan dalam formulasi produk nutrisi atau pakan. Metode yang

digunakan untuk mengukur keduanya adalah ICP-OES, yang dikenal akurat untuk analisis unsur logam. Nilai tersebut tergolong wajar dan tidak menunjukkan indikasi kontaminasi berlebih, sehingga dari sisi kandungan Zn dan Cu, sampel ini masih dalam batas aman untuk penggunaan yang relevan. Kandungan unsur Zn yang tergolong tinggi pada produk ini dapat menunjang pertumbuhan tanaman. Sementara, hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar unsur Cu tergolong memadai untuk mendukung aktivitas enzimatik dan fotosintesis.

Untuk unsur berbahaya seperti arsen (As), merkuri (Hg), timbal (Pb), dan kadmium (Cd), hasil menunjukkan bahwa Hg tidak terdeteksi, sementara As, Pb, dan Cd masing-masing terdeteksi sebesar 0.03 ppm, 4.6 ppm, dan 0.2 ppm. Metode AOAC yang digunakan merupakan standar internasional yang terpercaya dalam pengujian residu logam berat. Kandungan arsen dan kadmium tergolong rendah, namun kadar timbal sebesar 4.6 ppm perlu diperhatikan karena bisa mendekati atau melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh beberapa regulasi, tergantung pada jenis produk dan penggunaannya.

Tabel 2. Pengujian mutu pupuk Pupuk mikro

Parameter	Satuan	Hasil	Metode
Zn	%	1.73	PO/GEN-PK/19 (ICP-OES)
Cu	%	0.93	PO/GEN-PK/19 (ICP-OES)
As	ppm	0.03	AOAC 22 nd Ed., 2023, method 965.09
Hg	ppb	Tidak terdeteksi	AOAC 22 nd Ed., 2023, method 971.21
Pb	ppm	4.6	AOAC 22 nd Ed., 2023, method 965.09
Cd	ppm	0.2	AOAC 22 nd Ed., 2023, method 965.09

Secara keseluruhan, sampel menunjukkan profil logam yang relatif aman, dengan kandungan logam esensial yang cukup tinggi dan logam toksik yang sebagian besar berada dalam batas deteksi rendah. Namun, perhatian khusus perlu diberikan pada kadar timbal, terutama jika produk ini ditujukan untuk konsumsi manusia atau hewan. Evaluasi lebih lanjut terhadap regulasi lokal dan internasional sangat disarankan untuk memastikan kepatuhan terhadap standar keamanan yang berlaku.

3.3. Hasil Analisis Tanah Sebelum dan Setelah Pelaksanaan Uji

Ketersediaan hara makro dan mikro juga mempengaruhi kemampuan tanaman untuk beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang beragam. Hara makro dan mikro memiliki sifat kimia yang beragam dan dapat saling mempengaruhi penyerapan oleh tanaman sehingga menimbulkan interaksi antar hara. Interaksi tersebut dapat ditemukan di rhizosfer maupun di dalam tanaman dan diklasifikasikan menjadi dua kategori. Kategori pertama adalah interaksi antar ion yang terjadi karena ion mampu membentuk ikatan kimia sesuai dengan muatan yang dimiliki, misalnya pengapuran pada tanah asam dapat menurunkan konsentrasi hampir semua hara kecuali Mo. Sementara, kategori kedua adalah interaksi antara ion yang memiliki struktur kimia yang sama sehingga saling berkompetisi dalam adsorpsi, absorpsi, translokasi, dan fungsi di rhizosfer maupun di dalam tanaman, misalnya antara Ca^{2+} dan Mg^{2+} (Fageria, 2001).

Kandungan hara daun merupakan implikasi kapasitas penyerapan hara oleh tanaman dan ketersediaan hara di dalam tanah. Ketersediaan air sebagai media translokasi hara dari tanah ke tanaman juga merupakan salah satu faktor penting yang menentukan kemampuan penyerapan tanaman. Polaritas yang dimiliki oleh air berperan penting dalam pengikatan senyawa organik hidrofilik maupun garam mineral yang terdapat di tanah (Scharwies & Dinneny, 2019). Penyerapan mineral pada tanaman, baik penyerapan akar maupun transportasi hara di dalam

jaringan tanaman, berkaitan erat dengan air karena penyerapan mineral umumnya terjadi bersamaan dengan penyerapan air (Bárcana & Carvajal, 2020).

Interaksi antar hara di dalam tanaman memungkinkan hubungan sinergistik maupun antagonistik. Hubungan sinergistik antar unsur hara dapat terjadi ketika ketersediaan suatu unsur hara dapat meningkatkan konsentrasi unsur hara lainnya, sebaliknya hubungan antagonistik terjadi ketika ketersediaan suatu unsur hara menghambat penyerapan unsur hara lainnya (Rietra et al., 2017).

Interaksi antara Zn dan N bersifat sinergis (Ji et al., 2022; Li et al., 2022). Pemupukan Zn meningkatkan distribusi N ke daun (19-49%) pada tanaman padi, sementara pemupukan N mampu meningkatkan distribusi Zn ke daun (1.68-6.37 kali lebih tinggi) serta mengaktifkan gen transporter Zn di akar dan tunas (Ji et al., 2022). Unsur Zn memiliki hubungan antagonis dengan P, Fe, Mn, B, dan Na (Loneragan & Webb, 1993). Tembaga (Cu) merupakan hara mikro esensial yang berperan penting dalam rantai transport elektron pada proses fotosintesis dan respirasi, deteksi etilen, metabolisme dinding sel, proteksi terhadap cekaman oksidatif, dan biogenesis kofaktor molybdenum. Pada kondisi toksisitas Cu, tanaman dapat mengalami pelemahan fungsi kompleks klorofil akibat adanya substitusi Mg oleh Cu (Yruea, 2009). Di samping itu, Cu berinteraksi secara antagonis terhadap P. Konsentrasi Cu tinggi dapat menghambat penyerapan P yang diindikasikan oleh upaya tanaman untuk meningkatkan aktivitas transporter Pi di bagian akar mentimun (Feil et al., 2020). Unsur Cu merupakan penyusun utama plastosianin (PC) yang berperan sebagai carrier elektron antara kompleks sitokrom b6f dan fotosistem I (PSI) dan dapat diserap oleh tanaman melalui transporter COPT yang memiliki afinitas tinggi terhadap Cu⁺ (Schulten & Krämer, 2017).

Penelitian ini menggunakan bawang merah dengan varietas tajuk sebagai tanaman model untuk pengujian pemupukan. Varietas tajuk merupakan varietas bawang merah yang diintroduksi dari Thailand dengan daya simpan umbi 3 – 4 bulan setelah panen. Varietas ini cocok dibudidayakan di kawasan dataran rendah dan memiliki potensi produksi 12 – 16 ton/ha. Selain itu, varietas tajuk mampu beradaptasi dengan baik pada musim kemarau, tahan terhadap hujan, dan memiliki aroma yang sangat tajam sehingga cocok digunakan sebagai bahan baku bawang goreng.

Tabel 3. Ketersediaan hara B, Cu, dan Zn pada tanah media tumbuh bawang merah

Perlakuan	Kandungan hara tersedia tanah (mg/kg)		
	B	Cu	Zn
P0	-	6.91 a	45.27 a
P1	-	7.07 a	43.70 a
P2	-	7.21 a	45.41 a
P3	-	7.73 a	47.59 a
P4	-	8.07 a	39.72 a
P5	-	9.46 a	39.54 a
P6	-	9.51 a	23.63 b
P7	-	9.60 a	28.73 b
CV (%)	-	12.54	7.23

Keterangan: nilai yang diikuti oleh huruf yang sama mengindikasikan perbedaan yang tidak signifikan berdasarkan Tukey-HSD pada taraf 5%.

Pengujian tanah awal menunjukkan kandungan Cu dan Zn tanah mencapai 1.67 mg/kg dan 43.56 mg/kg, secara berurutan. Selain itu, pH tanah bersifat agak asam dengan nilai 6.16, yang mengindikasikan bahwa kondisi tersebut ideal untuk menunjang ketersediaan hara mikro. Ketersediaan Cu media tumbuh bawang merah pada setiap perlakuan tidak menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan. Sebaliknya, perlakuan P6 dan P7 menunjukkan ketersediaan Zn yang secara signifikan lebih rendah dibandingkan perlakuan lainnya (Tabel 3).

Respon tanaman terhadap ketersediaan hara bervariasi, sehingga interaksi hara di dalam tanaman bersifat spesifik, bergantung terhadap kondisi lingkungan tumbuh dan kapasitas fisiologis tanaman. Peningkatan dosis pemupukan tidak menentukan peningkatan serapan hara oleh

tanaman dan ketersediaan hara di tanah. Ketersediaan hara di dalam tanah utamanya ditentukan oleh pH. Unsur hara mikro, terutama Zn dan Cu, umumnya melimpah pada pH 6.0 – 6.5 dan menurun seiring peningkatan pH.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan Cu daun bawang merah secara umum tidak menunjukkan perbedaan signifikan antar perlakuan pemupukan. Perlakuan P6 dan P7 menunjukkan kandungan Cu daun yang berbeda signifikan dengan perlakuan P0, namun tidak berbeda signifikan dengan perlakuan lainnya. Sementara, daun bawang merah pada perlakuan P4 menunjukkan kandungan Zn tertinggi dan berbeda signifikan dengan perlakuan lain, kecuali terhadap perlakuan P3 dan P5 (Tabel 4).

Tabel 4. Kandungan hara B, Cu, dan Zn pada daun bawang merah

Perlakuan	Kandungan hara daun (mg/kg)		
	B	Cu	Zn
P0	-	0.74 b	8.38 c
P1	-	1.07 ab	8.64 c
P2	-	1.14 ab	9.45 bc
P3	-	1.34 ab	11.39 abc
P4	-	1.30 ab	15.29 a
P5	-	1.68 ab	14.27 ab
P6	-	2.05 a	9.70 bc
P7	-	1.92 a	8.70 c
CV (%)	-	25.16	16.94

Keterangan: nilai yang diikuti oleh huruf yang sama mengindikasikan perbedaan yang tidak signifikan berdasarkan Tukey-HSD pada taraf 5%.

Hasil penelitian ini mengungkap bahwa perlakuan P7 secara konsisten menunjukkan kandungan Cu tersedia dan Cu daun yang tidak signifikan dengan P6 walaupun tidak signifikan, namun lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Pada perlakuan yang sama, kandungan unsur Zn tersedia dan Zn daun menunjukkan pola sebaliknya. Perlakuan P7 menunjukkan kandungan hara Zn tersedia dan Zn daun yang secara signifikan lebih rendah terutama terhadap P4. Pola ketidakselarasan ini

berkaitan dengan interaksi antara unsur Cu dan Zn yang cenderung kompetitif. Penelitian Rahman & Schoenau (2022) mengungkapkan bahwa unsur Cu dan Zn merupakan hara yang bersifat kompetitif. Seringkali ketersediaan hara mikro yang berasal dari kelompok logam disebabkan oleh pembentukan kompleks Cu-Zn yang tidak larut. Unsur Cu bersifat lebih kompetitif dibandingkan Zn untuk bidang serapan di sistem perakaran dan permukaan koloid tanah, sehingga pemupukan Cu dapat mempengaruhi dinamika Zn di dalam tanah dan kapasitas penyerapan oleh akar. Sebaliknya, pemupukan Zn mampu menurunkan produksi tanaman akibat hambatan penyerapan Cu. Kompetisi kompleks ion Cu dan Zn di sistem perakaran tanaman dapat mengakibatkan ketidakseimbangan Cu dan Zn di dalam tanaman. Kemampuan adsorpsi unsur Cu yang kuat terhadap bahan organik tanah dan senyawa mineral dapat menghambat ketersediaan ion pada lahan kering akibat jalur difusi yang panjang. Unsur Cu dapat mengalami transformasi melalui pembentukan ikatan dengan senyawa organik, sementara unsur Zn mampu berikatan dengan unsur oksihidroksida. Afinitas unsur Cu terhadap bahan organik lebih kuat dibandingkan Zn, sehingga unsur tersebut mampu membentuk kelat melalui pembentukan kompleks *innersphere*. Sebaliknya, unsur Zn dapat membentuk senyawa kompleks melalui reaksi pertukaran ion atau adsorpsi oleh permukaan mineral oksihidroksida.

3.4. Analisis Variabel Hasil Pengukuran (Pertumbuhan dan Hasil)

Tanaman memerlukan hara makro dan mikro dengan rasio yang seimbang untuk mendukung proses fisiologis yang berkontribusi terhadap pembentukan biomassa. Kebutuhan tanaman terhadap hara makro lebih banyak dibandingkan hara mikro karena hara makro umumnya memiliki fungsi sebagai penyusun komponen struktural maupun kompleks enzim yang penting bagi tanaman. Unsur N, P, dan S merupakan penyusun utama protein dan asam nukleat. N dan Mg merupakan penyusun utama klorofil. Unsur P dapat membentuk ikatan energi yang kuat dan terlibat

dalam aliran energi di dalam tanaman. Sementara, K merupakan hara makro yang tidak menjadi penyusun senyawa organik namun berperan dalam osmoregulasi dan aktivitas enzim di dalam tanaman (Hossner, 2008). Sebaliknya, hara mikro merupakan unsur yang dibutuhkan dalam jumlah yang terbatas oleh tanaman dan bersifat toksik apabila tersedia dalam jumlah berlebihan.

Hara mikro esensial merupakan kategori hara mikro yang berperan penting dan terlibat langsung di dalam proses metabolisme dan tanaman dapat mengalami hambatan pertumbuhan apabila hara tersebut tidak tersedia di dalam tanah. Kelompok hara mikro esensial meliputi besi (Fe), mangan (Mn), tembaga (Cu), seng (Zn), boron (B), molibdenum (Mo), dan klorin (Cl) (Tripathi et al., 2015). Besi berperan dalam pembentukan klorofil dan diserap oleh tanaman dalam bentuk ion Fe^{3+} sehingga pada kondisi tanah alkalis (pH tinggi) dapat terjadi pengikatan ion Fe^{3+} oleh mineral tanah dan mengakibatkan defisiensi besi pada tanaman (Rout & Sahoo, 2015). Tembaga berperan dalam transport elektron pada proses fotosintesis dan respirasi, biosintesis dinding sel, dan metabolisme sekunder tanaman (Schulten & Krämer, 2017; Yruela, 2009). Seng berperan dalam sintase protein, regulasi aktivitas fitohormon, pengaturan integritas dan fungsi membrane plasma melalui pengendalian pembentukan dan detoksifikasi ROS (Suganya et al., 2020). Sementara, boron merupakan hara mikro yang berfungsi dalam polinasi, lignifikasi, dan peningkatan ketahanan tanaman terhadap cekaman melalui pembentukan senyawa fenolik (Lewis, 2019).

Walaupun hara mikro diperlukan dalam konsentrasi rendah di dalam tanaman, hara mikro secara tidak langsung berperan penting dalam distribusi asimilat (*assimilate partitioning*). Proses distribusi asimilat dipengaruhi oleh beberapa faktor meliputi fotosintesis, kapasitas asimilat yang dapat diterima oleh *sink*, efisiensi jaringan pengangkut, dan metabolisme enzim serta senyawa lain di dalam *sink* untuk memanfaatkan

asimilat. Unsur Zn, Cu, dan B berperan penting dalam sintesis enzim sebagai kofaktor dan senyawa primer tanaman. Unsur B, misalnya, berperan dalam regulasi kekuatan struktural membrane sel dan transport antar membrane melalui aktivasi enzim dan protein membran tertentu seperti sucrose synthase dan invertase yang termasuk enzim penting dalam metabolisme sukrosa. Aktivitas enzim-enzim tersebut akan mempengaruhi kemampuan *sink* untuk memanfaatkan asimilat dan kapasitas asimilat yang dapat diterima oleh sink.

Penelitian ini menggunakan bawang merah dengan varietas tajuk sebagai tanaman model untuk pengujian pemupukan. Varietas tajuk merupakan varietas bawang merah yang diintroduksi dari Thailand dengan daya simpan umbi 3 – 4 bulan setelah panen. Varietas ini cocok dibudidayakan di kawasan dataran rendah dan memiliki potensi produksi 12 – 16 ton/ha. Selain itu, varietas tajuk mampu beradaptasi dengan baik pada musim kemarau, tahan terhadap hujan, dan memiliki aroma yang sangat tajam sehingga cocok digunakan sebagai bahan baku bawang goreng.

Pengamatan terhadap respon vegetatif dan produksi bawang merah varietas Tajuk pada 4 MSA menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan antar masing – masing perlakuan berdasarkan tinggi tanaman dan jumlah daun. Namun demikian, perlakuan P7 menunjukkan respon vegetatif terutama tinggi tanaman yang lebih baik dibandingkan perlakuan lainnya. Produksi bawang merah pada perlakuan P7 merupakan perlakuan terbaik dan berbeda signifikan terutama dengan P2 dan P0, namun tidak berbeda signifikan dengan perlakuan lainnya. Hasil ini mengindikasikan bahwa peningkatan respon vegetatif bawang merah yang selaras dengan peningkatan produksi tanaman. Penelitian terhadap bawang merah oleh Purba (2014) juga menunjukkan bahwa peningkatan dosis NPK berkontribusi terhadap peningkatan bobot kering umbi mencapai 10,66 ton/ha. Di samping itu, kebutuhan hara mikro juga penting untuk menunjang pertumbuhan bawang merah terutama ketika memasuki masa

pembentukan umbi. Penelitian oleh Putri et al. (2024) menunjukkan bahwa dosis pupuk Zn 0.5 kg/ha berkontribusi terhadap peningkatan jumlah bunga bawang merah.

Walaupun perlakuan pemupukan tidak memberikan pengaruh yang signifikan, secara umum respon pertumbuhan vegetatif dan produksi bawang merah pada perlakuan P2 hingga P7, baik ditinjau berdasarkan tinggi tanaman dan jumlah daun, lebih tinggi dibandingkan perlakuan standar petani yakni P1. Hal ini mengindikasikan bahwa modifikasi dosis pemupukan perlu mempertimbangkan keseimbangan hara makro dan mikro untuk mendukung optimasi respon pertumbuhan sehingga berkontribusi terhadap peningkatan biomassa tanaman.

Perlakuan P7 menunjukkan hasil panen yang tertinggi mencapai 9.27 ton/ha. Nilai tersebut hampir mencapai rata-rata produktivitas nasional yang mencapai 9.93 ton/ha berdasarkan data BPS pada tahun 2020 (BPS, 2020), namun 7.76% lebih rendah dibandingkan tahun 2022 yang mencapai 10.05 ton/ha. Apabila dibandingkan dengan produktivitas regional Jawa dan luar Jawa pada tahun 2018 – 2022, hasil panen bawang merah pada penelitian ini lebih tinggi 15% dan 44%, secara berurutan. Dengan demikian, perlakuan P7 dapat digunakan sebagai rekomendasi pemupukan bawang merah untuk menunjang kebutuhan produksi nasional.

Tabel 5. Pertumbuhan dan produksi bawang merah pada 4 MSA

Perlakuan	Tinggi tanaman (cm)	Jumlah daun	Panen (Ton/ha)
P0	14.63 a	12.75 a	3.97 c
P1	14.00 a	9.38 a	7.19 ab
P2	15.25 a	11.13 a	6.46 b
P3	15.00 a	12.38 a	7.20 ab
P4	16.13 a	12.50 a	8.08 ab
P5	15.38 a	10.75 a	7.48 ab
P6	14.13 a	9.25 a	7.74 ab
P7	17.00 a	10.63 a	9.27 a
CV (%)	23.23	30.31	13.24

Keterangan: nilai yang diikuti oleh huruf yang sama mengindikasikan perbedaan yang tidak signifikan berdasarkan Tukey-HSD pada taraf 5%.

Pengamatan terhadap respon vegetatif dan produksi bawang merah varietas Tajuk pada 4 MSA menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan antar masing – masing perlakuan berdasarkan tinggi tanaman dan jumlah daun. Namun demikian, perlakuan P7 menunjukkan respon vegetatif terutama tinggi tanaman yang lebih baik dibandingkan perlakuan lainnya. Produksi bawang merah pada perlakuan P7 merupakan perlakuan terbaik dan berbeda signifikan terutama dengan P2 dan P0, namun tidak berbeda signifikan dengan perlakuan lainnya. Hasil ini mengindikasikan bahwa peningkatan respon vegetatif bawang merah yang selaras dengan peningkatan produksi tanaman (Tabel 5). Penelitian terhadap bawang merah oleh Purba (2014) juga menunjukkan bahwa peningkatan dosis NPK berkontribusi terhadap peningkatan bobot kering umbi mencapai 10.66 ton/ha. Di samping itu, kebutuhan hara mikro juga penting untuk menunjang pertumbuhan bawang merah terutama ketika memasuki masa pembentukan umbi. Penelitian oleh Putri et al. (2024) menunjukkan bahwa dosis pupuk Zn 0.5 kg/ha berkontribusi terhadap peningkatan jumlah bunga bawang merah.

Pemupukan Zn meningkatkan distribusi N ke daun (19-49%) pada tanaman padi, sementara pemupukan N mampu meningkatkan distribusi Zn ke daun (1.68-6.37 kali lebih tinggi) serta mengaktifkan gen transporter Zn di akar dan tunas (Ji et al., 2022). Unsur Zn memiliki hubungan antagonis dengan P, Fe, Mn, B, dan Na (Loneragan & Webb, 1993). Namun diantara hubungan antagonis Zn dengan beberapa unsur tersebut, interaksi antagonis antara Zn dan P tergolong hubungan yang seringkali mengakibatkan penurunan pertumbuhan yang signifikan pada tanaman. Konsentrasi P yang tinggi di media tanam mengakibatkan penurunan konsentrasi Zn yang signifikan pada bagian tunas dan bulir gandum (Ova et al., 2015). Unsur Zn dan B berkontribusi terhadap peningkatan

pertumbuhan vegetatif dan biomassa bawang Bombay (*Allium cepa*) (Alam et al., 2010).

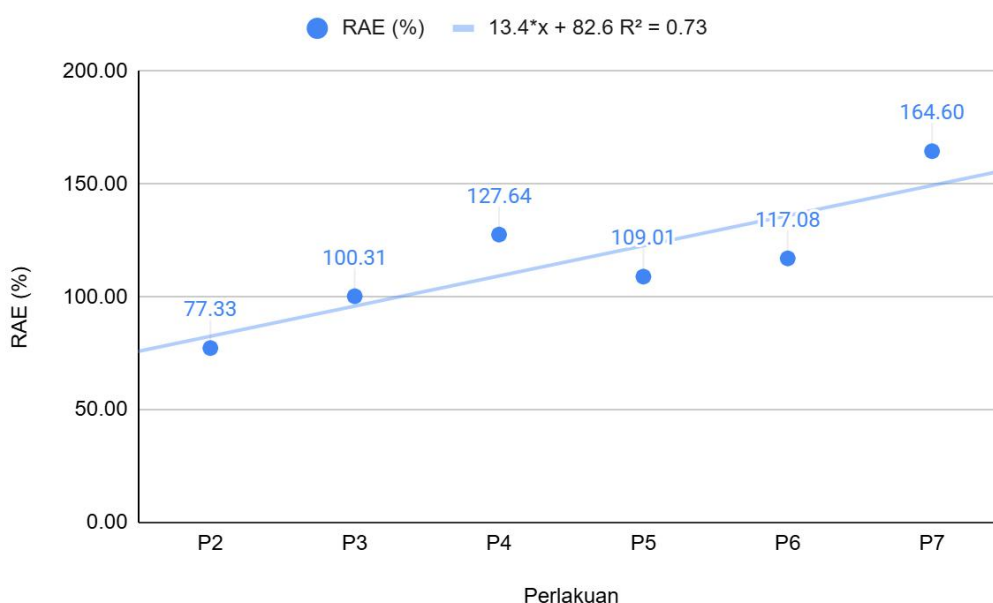
Interaksi unsur B dan N menunjukkan hubungan yang dinamis. Pada tanaman Brassica napus yang mengalami defisiensi B terjadi percepatan senescence pada daun tua, akibat aktivasi SGR1 yang memicu degradasi klorofil. Pada kondisi B terpenuhi, tanaman mampu memproduksi antioksidan yang cukup untuk menekan ROS walaupun di saat bersamaan terjadi defisiensi N. Di sisi lain, pada kondisi defisiensi B terjadi remobilisasi N dari daun tua (source) ke daun muda (sink) serta akumulasi gula pada daun tua (Wang et al., 2022).

Sementara, tembaga (Cu) berperan penting dalam pemisahan umbi pada tanaman bawang Bombay (*Allium cepa*) (Alam et al., 2010). Selain itu, Cu merupakan hara mikro esensial yang berperan penting dalam rantai transport elektron pada proses fotosintesis dan respirasi, deteksi etilen, metabolisme dinding sel, proteksi terhadap cekaman oksidatif, dan biogenesis kofaktor molybdenum. Pada kondisi toksisitas Cu, tanaman dapat mengalami pelemahan fungsi kompleks klorofil akibat adanya substitusi Mg oleh Cu (Yruela, 2009). Di samping itu, Cu berinteraksi secara antagonis terhadap P. Konsentrasi Cu tinggi dapat menghambat penyerapan P yang diindikasikan oleh upaya tanaman untuk meningkatkan aktivitas transporter Pi di bagian akar mentimun (Feil et al., 2020). Unsur Cu merupakan penyusun utama plastosianin (PC) yang berperan sebagai carrier elektron antara kompleks sitokrom b6f dan fotosistem I (PSI) dan dapat diserap oleh tanaman melalui transporter COPT yang memiliki afinitas tinggi terhadap Cu⁺ (Schulten & Krämer, 2017).

3.5. Relative Agronomic Effectiveness (RAE)

Efisiensi pemupukan bawang merah direpresentasikan oleh nilai Relative Agronomic Efficiency (RAE). Nilai tersebut dapat digunakan untuk

membandingkan efektivitas pemupukan dalam menunjang pertumbuhan tanaman sehingga dapat dijadikan rujukan aplikasi pemupukan baik dalam skala terbatas maupun skala luas. Nilai RAE pemupukan bawang merah cenderung mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan dosis kombinasi pupuk. Secara umum, nilai RAE perlakuan uji pupuk mengindikasikan tingkat efisiensi pemupukan yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan kontrol, kecuali perlakuan P2. Perlakuan P7 menunjukkan nilai RAE tertinggi mencapai 164,40% yang mengindikasikan bahwa perlakuan tersebut 64,40% lebih efisien dibandingkan P1 sebagai perlakuan standar untuk meningkatkan pertumbuhan dan hasil panen bawang merah. Sebaliknya, perlakuan P2 menunjukkan nilai RAE 77,33% yang mengindikasikan bahwa perlakuan tersebut kurang efisien dibandingkan perlakuan standar. Sementara, perlakuan P3 menunjukkan efisiensi yang hampir setara dengan perlakuan standar karena menunjukkan nilai RAE 100,31%.



Gambar 5. Relative Agronomic Efficiency perlakuan pemupukan bawang merah

3.6. Kriteria Uji Efektivitas

Penentuan kriteria lulus uji efektivitas pupuk ditetapkan berdasarkan peningkatan hasil tanaman, nilai RAE, pertumbuhan vegetatif, dan peningkatan unsur hara di tanah setelah pengujian. Secara umum, hasil panen bawang merah yang diperoleh melampaui perlakuan kontrol hingga lebih dari 100% (berkisar 63 – 134%). Selain itu, nilai RAE juga melampaui perlakuan standar (P1) sehingga mengindikasikan efektivitas pemupukan, kecuali perlakuan P2. Pertumbuhan vegetatif tanaman bawang merah pada perlakuan pemupukan (P2 – P7) dibandingkan perlakuan kontrol dan standar menunjukkan hasil yang bervariasi namun tidak berbeda signifikan. Sementara, apabila ditinjau berdasarkan kandungan unsur hara tersedia, peningkatan unsur hara jelas terlihat pada unsur Cu dibandingkan unsur Zn, dengan peningkatan melebihi 100%. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa pupuk Pupuk mikro memenuhi kriteria LULUS uji efektivitas.

IV. KESIMPULAN

Perlakuan P7 secara konsisten menunjukkan peningkatan hasil tanaman, nilai RAE, pertumbuhan vegetatif, unsur hara tersedia, dan kandungan unsur hara daun dibandingkan perlakuan lainnya. Dengan demikian, perlakuan P7 dapat dijadikan sebagai rekomendasi pemupukan bawang merah.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Alam, M., Abedin, M., & Azad, M. (2010). Effect of micronutrients on growth and yield of onion under calcaerous soil environment. *International Research Journal of Plant Science*, 1(3), 56–61.
- Bárzana, G., & Carvajal, M. (2020). Genetic regulation of water and nutrient transport in water stress tolerance in roots. *Journal of Biotechnology*, 324, 134–142. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2020.10.003>
- Fageria, V. D. (2001). Nutrient Interactions in Crop Plants. *Journal of Plant Nutrition*, 24(8), 1269–1290. <https://doi.org/10.1080/01904168309363074>
- Feil, S. B., Pii, Y., Valentinuzzi, F., Tiziani, R., Mimmo, T., & Cesco, S. (2020). Copper toxicity affects phosphorus uptake mechanisms at molecular and physiological levels in *Cucumis sativus* plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 157, 138–147. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.10.023>
- Hossner, L. R. (2008). Macronutrients. In W. Chesworth (Ed.), *Encyclopedia of Soil Science. Encyclopedia of Earth Sciences Series* (pp. 443–445). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3995-9_337
- Ji, C., Li, J., Jiang, C., Zhang, L., Shi, L., Xu, F., & Cai, H. (2022). Zinc and nitrogen synergistic act on root-to-shoot translocation and preferential distribution in rice. *Journal of Advanced Research*, 35, 187–198. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2021.04.005>
- Lewis, D. H. (2019). Boron: the essential element for vascular plants that never was. *New Phytologist*, 221(4), 1685–1690. <https://doi.org/10.1111/nph.15519>
- Loneragan, J. F., & Webb, M. J. (1993). Interactions Between Zinc and Other Nutrients Affecting the Growth of Plants. *Zinc in Soils and Plants*, 119–134. https://doi.org/10.1007/978-94-011-0878-2_9
- Ova, E. A., Kutman, U. B., Ozturk, L., & Cakmak, I. (2015). High phosphorus supply reduced zinc concentration of wheat in native soil

- but not in autoclaved soil or nutrient solution. *Plant and Soil*, 393, 147–162. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2483-8>
- Purba, R. (2014). Applications of NPK Phonska and KCl Fertilizer for the Growth and Yield of Shallots (*Allium Ascalonicum*) in Serang, Banten. *International Journal of Applied Science and Technology*, 4(3), 197–203.
- Putri, R. W., Syam'Un, E., & Ulfa, F. (2024). Exogenous Zinc Application and Generative Traits of Three Local Shallot Varieties. *HAYATI Journal of Biosciences*, 31(1), 94–101. <https://doi.org/10.4308/hjb.31.1.94-101>
- Rahman, N., & Schoenau, J. (2022). Zinc and copper interactions under variable soil phosphorus and moisture conditions in selected Saskatchewan soils. *Journal of Plant Nutrition*, 45(3), 311–331. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1952223>
- Rietra, R. P. J. J., Heinen, M., Dimkpa, C. O., & Bindraban, P. S. (2017). Effects of Nutrient Antagonism and Synergism on Yield and Fertilizer Use Efficiency. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(16), 1895–1920. <https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1407429>
- Rout, G. R., & Sahoo, S. (2015). Role of Iron in Plant Growth and Metabolism. *Reviews in Agricultural Science*, 3(0), 1–24. <https://doi.org/10.7831/ras.3.1>
- Scharwies, J. D., & Dinneny, J. R. (2019). Water transport, perception, and response in plants. *Journal of Plant Research*, 132(3), 311–324. <https://doi.org/10.1007/s10265-019-01089-8>
- Schulten, A., & Krämer, U. (2017). *Interactions Between Copper Homeostasis and Metabolism in Plants*. 111–146. https://doi.org/10.1007/124_2017_7
- Shimazaki, K. I., Doi, M., Assmann, S. M., & Kinoshita, T. (2007). Light regulation of stomatal movement. *Annual Review of Plant Biology*, 58, 219–247. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105434>
- Suganya, A., Saravanan, A., & Manivannan, N. (2020). Role of Zinc Nutrition for Increasing Zinc Availability, Uptake, Yield, and Quality of

- Maize (*Zea Mays* L.) Grains: An Overview. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51(15), 2001–2021.
<https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1820030>
- Tripathi, D. K., Singh, S., Singh, S., Mishra, S., Chauhan, D. K., & Dubey, N. K. (2015). Micronutrients and their diverse role in agricultural crops: advances and future prospective. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37(7), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s11738-015-1870-3>
- Yruela, I. (2009). Copper in plants: Acquisition, transport and interactions. *Functional Plant Biology*, 36(5), 409–430.
<https://doi.org/10.1071/FP08288>

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	PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang	Rp. 495.000.000

		Ratoon		
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 Operasional PTPN III (Persero)	PTPN III Holding	Rp. 250.000.000
6	2022	Program percepatan Pengembangan Kawasan Agropolitan Segobatan 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 Coffe	LPPM UGM	Rp. 40.000.000

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 Calsium 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 BukuJudul/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

DESKRIPSI VARIETAS

BAWANG MERAH VARIETAS TAJUK

Asal : Introduksi dari Thailand

Silsilah : Seleksi positif

Golongan varietas : Klon

Tinggi tanaman : 26,4 – 40,0 cm

Bentuk penampang daun : Silindris, tengah berongga

Ukuran daun : Panjang 27 – 32 cm; Lebar 0,49 – 0,54 cm

Warna daun : Hijau muda (RHS 141 D)

Jumlah daun per umbi : 3 – 8 helai

Jumlah daun per rumpun : 15 – 48 helai

Umur panen (80 % batang melemas) : 52 – 59 hari

Bentuk umbi : Bulat

Ukuran umbi : Tinggi 2,1 – 3,4 cm; Diameter 0,8 – 2,7 cm

Warna umbi : Merah muda (Pink RHS 64 D)

Berat per umbi : 5 – 12 gram

Jumlah umbi per rumpun : 5 – 15 umbi

Berat umbi per rumpun : 30 – 80 gram

Jumlah anakan : 6 – 12

Daya simpan umbi pada suhu 27 - 30 °C : 3 – 4 bulan setelah panen

Susut bobot umbi (basah – kering simpan) : 22 – 25 %

Hasil umbi per hektar : 12 – 16 ton

Populasi per hektar : 200.000 tanaman

Kebutuhan benih per hektar : 1.000 kg

Penciri utama : Warna daun hijau muda (Light Green 41 RHS 141 D), bentuk umbi bulat dengan diameter terluas mendekati ujung akar, warna umbi merah muda (Pink RHS 64 D)

Keunggulan varietas : Beradaptasi dengan baik pada musim kemarau dan tahan terhadap hujan, memiliki aroma yang sangat tajam, sehingga cocok digunakan sebagai bahan baku bawang goreng

Wilayah adaptasi : Sesuai di dataran rendah di Kabupaten Nganjuk

Dokumentasi Kegiatan

