

**PERTUMBUHAN DAN HASIL DUA VARIETAS BAWANG MERAH
(*Allium cepa* L. Agregatum group) ASAL BIJI PADA
BERBAGAI KONSENTRASI NIKEL DENGAN SISTEM
HIDROPONIK KRATKY**

*GROWTH AND YIELD OF SHALLOTS (*Allium cepa* L. Agregatum
group) CULTIVARS GROWN FROM TRUE SEEDS AT VARIOUS
NICKEL CONCENTRATIONS USING KRATKY HYDROPONIC
SYSTEM*

**KRISNA GERNANDUS KUSE
G012212004**



PROGRAM MAGISTER AGROTEKNOLOGI

FAKULTAS PERTANIAN

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024

**PERTUMBUHAN DAN HASIL DUA VARIETAS BAWANG MERAH
(*Allium cepa* L. Aggregatum group) ASAL BIJI PADA
BERBAGAI KONSENTRASI NIKEL DENGAN SISTEM
HIDROPONIK KRATKY**

Tesis

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister

Program Studi Agroteknologi

disusun dan diajukan oleh

KRISNA GERNANDUS KUSE

G012212004

kepada

**PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

TESIS

PERTUMBUHAN DAN HASIL DUA VARIETAS BAWANG MERAH (*Allium cepa* L. Aggregatum group) ASAL BIJI PADA BERBAGAI KONSENTRASI NIKEL DENGAN SISTEM HIDROPONIK KRATKY

KRISNA GERNANDUS KUSE

G012212004

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Magister Agroteknologi
Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin
pada tanggal 22 Februari 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

Dr. Ir. Muh. Riadi, M.P.
NIP. 19640905 198903 1 003

Prof. Ir. Rinaldi Sjahril, M.Agr., Ph.D.
NIP. 19660925 199412 1 001

**Ketua Program Studi
Magister Agroteknologi**

**Dekan Fakultas Pertanian
Universitas Hasanuddin**

Dr. Ir. Muh. Riadi, M.P.
NIP. 19640905 198903 1 003



Prof. Dr. Ir. Saengke, M.Sc.
NIP. 19631231 198811 1 005

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis berjudul “Pertumbuhan dan Hasil Dua Varietas Bawang merah (*Allium cepa* L. Aggregatum group) Asal Biji pada berbagai Konsentrasi Nikel dengan Sistem Hidroponik Kratky” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Dr. Ir. Muh. Riadi, M.P. sebagai Pembimbing Utama dan Prof. Ir. Rinaldi Sjahril, M.Agr., Ph.D. sebagai Pembimbing Pendamping. Karya ilmiah ini belum diajukan dan sedang tidak diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang telah diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan didalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini sedang dalam proses publikasi di SABRAO Journal of Breeding and Genetics sebagai artikel dengan judul “Nickel Fertilization Impact on the Growth, Physiological, and Bulb Yield of Shallot with Hydroponic Culture”.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 22 Februari 2024



**Krisna Gernandus Kuse
NIM G012212004**

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala limpahan berkat, rahmat, hidayah, petunjuk, nikmat kesehatan dan kesempatan serta kasih sayang-Nya sehingga penyusunan tesis yang berjudul “Pertumbuhan Dan Hasil Dua Varietas Bawang Merah (*Allium cepa* L. Aggregatum group) Asal Biji Pada Berbagai Konsentrasi Nikel Dengan Sistem Hidroponik Kratky” dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penulisan tesis ini banyak mengalami kendala, namun adanya bantuan dan dukungan serta kerjasama dari berbagai pihak sehingga kendala-kendala tersebut dapat dihadapi dan teratasi. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada :

1. Ayahanda Piter Kuse, S.E, Ibunda Ary Purwaningsih, Ibu Nening Astina, dan saudara-saudaraku atas limpahan kasih sayang dan bantuan moral serta semangat dan doa yang tanpa henti diberikan kepada penulis, juga kepada keluarga besarku yang telah memberi perhatian dan bantuan baik secara moril maupun materil.
2. Dr. Ir. Muh. Riadi, M.P, selaku ketua penasehat, sekaligus ketua Program Studi Magister Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin dan Prof. Ir. Rinaldi Sjahril, M.Agr., Ph.D. selaku anggota penasehat yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam memberi bimbingan dan motivasi kepada penulis.
3. Dr. Ir. Feranita Haring, M.P., dan Dr. Ir. Muh. Jayadi, M.P. selaku penguji internal serta Prof. Dr. Ir. Sahardi Mulia, MS, selaku penguji eksternal yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran, serta kritik dan saran dalam penyempurnaan tesis ini.
4. Bapak dan Ibu dosen Program Studi Magister Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin yang telah memfasilitasi dalam proses perkuliahan dan penelitian.
5. Kolega seperjuangan pada Program Magister Agroteknologi angkatan 2021(2) yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran selama proses penelitian dan penyusunan tulisan ini terkhusus kepada Muh. Faried, S.P., M.Si., Muh. Mu'min S.P., M.Si., Padil Wijaya S. Tr. P., Abd. Jalil S.P., Remi

Widana Putri S.P., M.Si., Cennawati S.P., M.Si., Reynaldi Laurenze S.P., M.Si., Andi Besse Sri Putri, S.Si., M.Si., Dwi Indra Fitriani S. Tr. P., dan Abd. Akbar, S.P., M.Si.

6. Keluarga besar bapak Umar serta warga dusun Bombongi yang telah membantu dalam proses penelitian.
7. Serta kepada semua pihak-pihak yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu dalam tulisan ini yang telah berjasa dalam memberi dukungan dan bantuan serta motivasi kepada penulis.

Semoga segala bantuan dan kebaikan yang diberikan mendapat balasan yang baik dan berlipat ganda dari Tuhan Yang Maha Esa. Penulis juga menyadari bahwa selama penelitian dan penyusunan tulisan ini masih terdapat banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Dengan kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membangun dan mendorong penulis untuk menulis karya yang lebih baik di masa yang akan datang.

Akhir kata, penulis berharap semoga tesis ini dapat berguna bagi para pembaca dan pihak-pihak lainnya sehingga membantu dalam menambah ilmu pengetahuan yang pada akhirnya membantu memajukan bangsa dan negara.

Makassar, 22 Februari 2024

Krisna Gernandus Kuse

ABSTRAK

KRISNA GERNANDUS KUSE. **Pertumbuhan Dan Hasil Dua Varietas Bawang Merah (*Allium cepa* L. *Aggregatum* group) Asal Biji Pada Berbagai Konsentrasi Nikel Dengan Sistem Hidroponik Kratky** (dibimbing oleh Muh. Riadi dan Rinaldi Sjahril).

Nikel (Ni) merupakan hara mikro esensial dan diketahui mampu mempengaruhi pertumbuhan dan hasil tanaman pada konsentrasi rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan menganalisis pengaruh pemupukan Ni dengan konsentrasi rendah terhadap pertumbuhan dan hasil dua varietas bawang merah asal biji pada sistem budidaya hidroponik. Penelitian disusun menggunakan rancangan petak terpisah dengan varietas Lokananta dan Sanren F1 sebagai petak utama dan konsentrasi Ni 0; 0,025; 0,1; dan 0,4 mg L⁻¹ sebagai anak petak, diulang sebanyak tiga kali. Data dianalisis menggunakan sidik ragam dan jika terdapat pengaruh nyata dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil pada taraf 5%. Selanjutnya, dilakukan uji korelasi Pearson untuk mengetahui hubungan antar parameter dan analisis lintas untuk melihat besarnya pengaruh suatu parameter terhadap parameter lainnya. Penelitian ini menunjukkan bahwa varietas memberikan respon yang berbeda terhadap berbagai konsentrasi Nikel. Hasil penelitian menemukan adanya pengaruh varietas, konsentrasi Nikel, dan interaksinya terhadap komponen pertumbuhan, fisiologi, dan hasil tanaman bawang merah. Terdapat interaksi antara varietas dan konsentrasi Nikel pada parameter tinggi tanaman umur 75 hari setelah semai. Varietas Lokananta menunjukkan respon linier menurun seiring dengan peningkatan konsentrasi Nikel sedangkan Sanren F1 menunjukkan respon kuadrat positif. Penelitian ini belum menemukan konsentrasi Nikel yang mampu meningkatkan hasil tanaman bawang merah secara nyata. Nikel dengan konsentrasi 0,4 mg L⁻¹ secara signifikan menurunkan berat umbi kering dan berat kering tanaman per rumpun serta meningkatkan kandungan Nikel pada umbi, namun pada konsentrasi yang lebih rendah (0,025 mg L⁻¹) tidak ditemukan perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan kontrol. Varietas Sanren F1 memberikan hasil umbi kering per rumpun terbaik (51,71 g) dibandingkan dengan Lokananta (45,29 g) pada sistem hidroponik. Atribut diameter umbi total, tinggi tanaman, dan jumlah umbi per rumpun memberikan pengaruh langsung positif terhadap berat umbi kering per rumpun sedangkan jumlah daun, jumlah anakan, dan rasio daun umbi per rumpun memberikan pengaruh langsung negatif. Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan Nikel dengan konsentrasi yang lebih rendah untuk menemukan konsentrasi optimal yang mampu meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman bawang merah serta mengetahui respon pada varietas bawang merah tropika.

Kata kunci: hara mikro Nikel, nutrisi tanaman, pemupukan, produktivitas, TSS.

ABSTRACT

KRISNA GERNANDUS KUSE. **Growth and Yield of Two Shallots Varieties (*Allium cepa* L. *Aggregatum* group) grown from True Seed at Various Nickel Concentration in Kratky Hydroponic System** (supervised by Muh. Riadi and Rinaldi Sjahril).

Nickel (Ni) is an essential micronutrient and it is known to affect plant growth and yield at low concentrations. This study aims to investigate and analyze the effect of Ni fertilization with low concentrations on the growth and yield of two shallot cultivars seed-origin in a hydroponic cultivation system. The study was arranged using a split plot design with cultivars (Lokananta and Sanren F1) as the main plot and Ni concentrations (0, 0.025, 0.1, and 0.4 mg L⁻¹) as subplots, replicated three times. Data were analyzed using analysis of variance and any significant effect was followed by Least Significant Difference test at 5% level. Furthermore, Pearson correlation test was conducted to determine the relationship between parameters and Path analysis to see the magnitude of each parameter's influence on other parameters. The results found that there was an effect of cultivars, Nickel concentrations, and their interactions on the growth, physiology, and yield components of shallot. There is an interaction between cultivars and Nickel concentration on the parameter of plant height at 75 days after seedling. Lokananta cultivar showed a declining linear response as the Nickel concentration increased whereas Sanren F1 cultivar showed a positive quadratic response. Moreover, this study has not found Nickel concentrations that can significantly increase the yield of shallot plants. Nickel at a concentration of 0.4 mg L⁻¹ significantly decreased the dry bulb weight and dry weight of plants per clump while increasing the Nickel content in the bulbs, but at a lower concentration (0.025 mg L⁻¹) no significant difference was found compared to the control. Sanren F1 cultivars gave the best dry bulb yield per clump (51.71 g) compared to Lokananta (45.29 g) in the hydroponic system. The attributes of total bulb diameter, plant height, and number of bulbs per clump gave a positive direct effect on the weight of dry bulbs per clump while the number of leaves, number of tillers, and ratio of bulb : leaves weight per clump gave a negative direct effect. Future research is recommended to use Nickel with lower concentrations to find the optimal concentration that can increase the growth and yield of shallot plants as well as determine the response to other tropical shallot cultivars.

Keywords: crop productivity, fertilization, plant nutrition, Nickel micronutrient, TSS.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN PENGAJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Kegunaan Penelitian.....	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Varietas Unggul Bawang Merah dalam Peningkatan Produksi.....	6
2.2. Peran Unsur Hara Bagi Tanaman Bawang Merah	7
2.3. Nikel (Ni)	12
2.4. Kerangka Pikir Penelitian	14
2.5. Hipotesis.....	15
BAB III. METODE PENELITIAN	16
3.1. Tempat dan Waktu.....	16

3.2. Alat dan Bahan	16
3.3. Metode Penelitian	16
3.4. Pelaksanaan Penelitian	17
3.5. Parameter Pengamatan.....	21
3.6. Analisis Data.....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1 Hasil	26
4.2 Pembahasan.....	47
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	52
5.1 Kesimpulan.....	52
5.2 Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN.....	67

DAFTAR TABEL

Nomor	halaman
1. Penemuan esensialitas unsur mikro bagi tanaman	10
2. Interaksi dua arah antara dua varietas bawang merah asal biji dan konsentrasi nikel pada umur 75 hari setelah semai	26
3. Rata-rata jumlah daun (helai) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel umur 89 hari setelah semai.....	27
4. Rata-rata jumlah anakan (batang) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel umur 103 hari setelah semai.....	28
5. Rata-rata berat umbi segar per rumpun (g) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	32
6. Rata-rata berat umbi kering per rumpun (g) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	34
7. Rata-rata berat kering tanaman per rumpun (g) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	35
8. Rata-rata jumlah umbi per rumpun (siung) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	36
9. Rata-rata indeks klorofil (CCI) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	38
10. Rata-rata kadar Nikel umbi (mg kg berat basah ⁻¹) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	42
11. Rata-rata diameter daun (mm) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	44
12. Rata-rata berat daun segar per luas area daun (g cm ⁻²) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	44
13. Rata-rata berat umbi kering per siung (g) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	46

DAFTAR GAMBAR

Nomor	halaman
1. Data series perkembangan bawang merah nasional tahun 2011-2022 ..	2
2. Skema kerangka pikir penelitian.....	15
3. Skema sistem hidroponik	18
4. Proses pembuatan larutan stok nikel 100 mg L ⁻¹	19
5. Grafik tinggi tanaman dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi Ni di berbagai waktu pengamatan.....	27
6. Grafik jumlah daun per rumpun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi Ni di berbagai waktu pengamatan.....	28
7. Grafik jumlah anakan per rumpun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi Ni di berbagai waktu pengamatan	29
8. Grafik umur panen dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	30
9. Grafik panjang akar dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	30
10. Grafik berat daun segar dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	31
11. Grafik berat segar tanaman per rumpun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	32
12. Grafik rasio daun umbi segar dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	33
13. Grafik berat daun kering per rumpun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	33
14. Grafik regresi pengaruh konsentrasi Nikel terhadap berat umbi kering per rumpun.....	34
15. Grafik regresi pengaruh konsentrasi Nikel terhadap berat kering tanaman per rumpun	35
16. Grafik diameter umbi total per rumpun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi Nikel	37
17. Grafik susut berat umbi dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.....	37

18.	Grafik indeks panen dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	38
19.	Grafik kadar klorofil a daun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	39
20.	Grafik kadar klorofil b daun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	40
21.	Grafik kadar klorofil total daun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	40
22.	Grafik kadar karotenoid daun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	41
23.	Grafik total padatan terlarut daun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	42
24.	Grafik regresi pengaruh konsentrasi Nikel terhadap kadar Nikel umbi bawang merah.....	43
25.	Grafik kadar Nitrat umbi dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi Nikel	43
26.	Grafik diameter umbi per siung dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel	45
27.	Diagram jalur hubungan antara komponen pertumbuhan dan hasil terhadap berat umbi kering per rumpun.....	47

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Tabel	halaman
1a.	Rata-rata tinggi tanaman (cm) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi Nikel umur 75 hari setelah semai.....	68
1b.	Sidik ragam tinggi tanaman dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi Nikel umur 75 hari setelah semai.....	68
2a.	Rata-rata jumlah daun per rumpun (helai) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi Nikel umur 89 hari setelah semai	69
2b.	Sidik ragam jumlah daun per rumpun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi Nikel umur 89 hari setelah semai	69
3a.	Rata-rata jumlah anakan per rumpun (batang) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi Nikel umur 103 hari setelah semai	70
3b.	Sidik ragam jumlah daun per rumpun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi Nikel umur 103 hari setelah semai	70
4a.	Umur panen (hari setelah semai) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	71
4b.	Analisis ragam umur panen dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	71
5a.	Panjang akar (cm) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	72
5b.	Analisis ragam panjang akar dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	72
6a.	Berat daun segar per rumpun (g) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	73
6b.	Analisis ragam berat daun segar per rumpun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	73
7a.	Berat umbi segar (g) per rumpun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	74
7b.	Analisis ragam berat umbi segar per rumpun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	74
8a.	Berat segar tanaman per rumpun (g) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	75

8b.	Analisis ragam berat segar tanaman per rumpun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	75
9a.	Rasio daun umbi segar per rumpun (%) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	76
9b.	Analisis ragam rasio daun umbi dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	76
10a.	Berat daun kering per rumpun (g) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	77
10b.	Analisis ragam berat daun kering per rumpun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	77
11a.	Berat umbi kering per rumpun (g) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	78
11b.	Analisis ragam berat umbi kering per rumpun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	78
12a.	Berat kering tanaman per rumpun (g) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	79
12b.	Analisis ragam berat kering tanaman per rumpun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	79
13a.	Jumlah umbi per rumpun (siung) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	80
13b.	Analisis ragam jumlah umbi per rumpun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	80
14a.	Diameter umbi total per rumpun (mm) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	81
14b.	Analisis ragam diameter umbi total per rumpun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	81
15a.	Susut umbi per rumpun (%) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	82
15b.	Analisis ragam susut umbi per rumpun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	82
16a.	Indeks panen per rumpun (%) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	83
16b.	Analisis ragam indeks panen per rumpun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	83

17a.	Indeks klorofil daun (CCI) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.....	84
17b.	Analisis ragam indeks klorofil daun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.....	84
18a.	Kadar klorofil a daun ($\mu\text{g mL}^{-1}$) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel	85
18b.	Analisis ragam kadar klorofil a daun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel	85
19a.	Kadar klorofil b daun ($\mu\text{g mL}^{-1}$) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel	86
19b.	Analisis ragam kadar klorofil b daun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel	86
20a.	Kadar klorofil total daun ($\mu\text{g mL}^{-1}$) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.....	87
20b.	Analisis ragam kadar klorofil total dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.....	87
21a.	Kadar karotenoid daun ($\mu\text{g mL}^{-1}$) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.....	88
21b.	Analisis ragam kadar karotenoid daun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel	88
22a.	Total padatan terlarut daun (%) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel	89
22b.	Analisis ragam total padatan terlarut daun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel	89
23a.	Kadar Nikel umbi ($\text{mg kg berat basah}^{-1}$) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel	90
23b.	Analisis ragam kadar nikel umbi dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel	90
24a.	Kadar Nitrat umbi ($\text{mg kg berat basah}^{-1}$) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.	91
24b.	Analisis ragam kadar nitrat umbi dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi nikel.....	91
25a.	Diameter daun (mm) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi Nikel	92
25b.	Sidik ragam diameter daun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi Nikel	92

26a.	Berat daun segar per luas area daun (g cm^{-2}) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi Nikel.....	93
26b.	Sidik ragam berat daun segar per luas area daun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi Nikel	93
27a.	Diameter umbi per siung (mm) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi Nikel	94
27b.	Sidik ragam diameter umbi per siung dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi Nikel.....	94
28a	Berat umbi kering per siung (g) dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi Nikel	95
28b	Sidik ragam berat umbi kering per siung dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi Nikel.....	95
29.	Matriks korelasi antara komponen pertumbuhan dan hasil pada dua varietas bawang merah pada berbagai konsentrasi Nikel	96
30	Matriks korelasi antara komponen pertumbuhan, hasil per rumpun, hasil per umbi, dan komponen daun pada dua varietas bawang merah pada berbagai konsentrasi Nikel	97
31	Matriks korelasi antar komponen daun dan hasil per umbi pada dua varietas bawang merah pada berbagai konsentrasi Nikel.....	98
32	Analisis lintas komponen pertumbuhan dan hasil terhadap berat umbi kering per rumpun dua varietas bawang merah asal biji pada berbagai konsentrasi Nikel	99
33	Analisis lintas komponen daun terhadap berat umbi kering per siung dua varietas bawang merah pada berbagai konsentrasi Nikel.....	99
34	Hasil analisis kandungan air baku	99
35	Komposisi unsur hara nutrisi hidroponik GOODPLANT®	100
36	Deskripsi varietas bawang merah	100

Nomor	Gambar	halaman
1.	Denah Penelitian	102
2.	<i>Layout</i> sistem hidroponik	103
3.	Data suhu dan kelembaban udara selama penelitian	104
4.	Penampilan tanaman bawang merah asal biji yang diaplikasi Ni pada umur 88 hari setelah semai	105
5.	Penampilan tanaman bawang merah asal biji yang diaplikasi Ni pada umur 115 hari setelah semai	106
6.	Penampilan umbi dua varietas bawang merah pada berbagai konsentrasi nikel	107

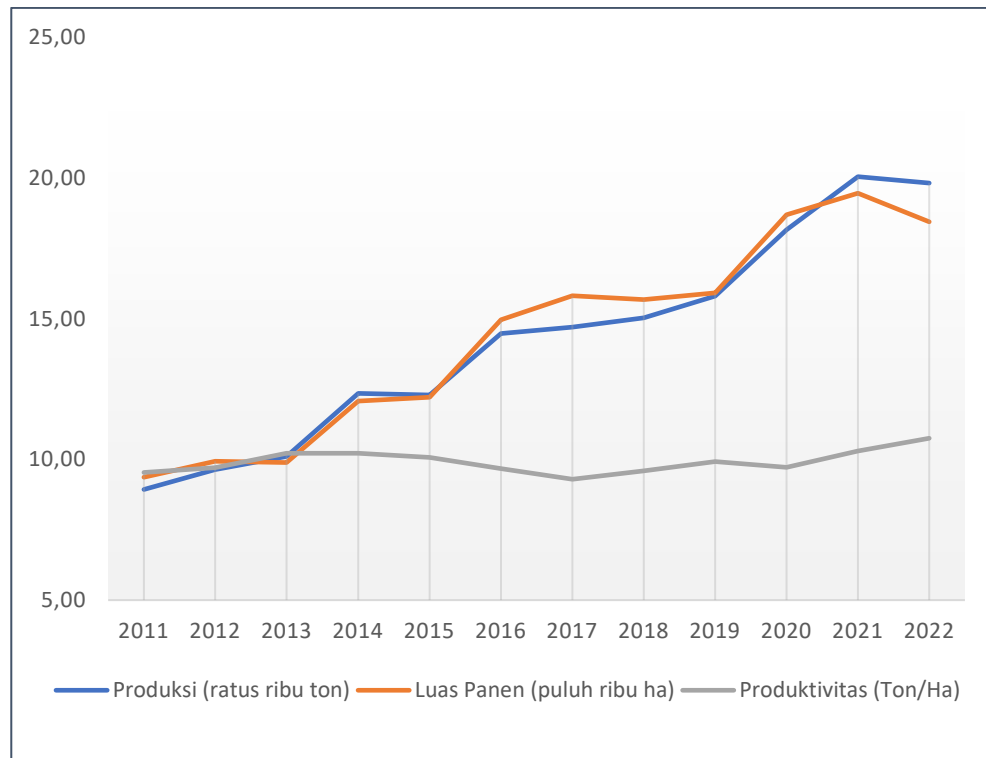
BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bawang merah merupakan komoditas pertanian penting di Indonesia. Stabilitas pasokan menjadi salah satu program penting dalam Rencana Strategis Direktorat Jenderal Hortikultura tahun 2020 – 2024 (Direktorat Jenderal Hortikultura, 2021). Hal ini ditujukan untuk memenuhi kebutuhan konsumsi nasional, bahan baku industri dan komoditas ekspor. Selain itu, bawang merah juga berkontribusi langsung terhadap nilai inflasi sehingga penting untuk menjaga produksi bawang merah nasional.

Produksi bawang merah nasional terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun, sejalan dengan meningkatnya luas panen bawang merah (Badan Pusat Statistik, 2021). Namun, produktivitas bawang merah nasional hanya mengalami kenaikan sebesar 1,22 ton ha⁻¹ sejak tahun 2011 hingga 2022. Disisi lain, produksi bawang merah nasional masih didominasi oleh sentra produksi yang terletak di pulau Jawa. Sebagian besar daerah diluar sentra produksi mengalami defisit produksi. Hal ini menyebabkan ketergantungan pasokan yang dapat mempengaruhi nilai ekonomi bawang merah. Berdasarkan data Distribusi Perdagangan Komoditas Bawang Merah Indonesia (Badan Pusat Statistik, 2022), nilai margin perdagangan dan pengangkutan total (MPP_T) bawang merah di Indonesia sebesar 47,39 % dan tertinggi sebesar 128,11%. Rendahnya produktivitas bawang merah, baik nasional maupun daerah menandakan bahwa belum optimalnya teknologi budidaya yang digunakan. Oleh karena itu diperlukan suatu upaya untuk meningkatkan produktivitas bawang merah.

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang pesat saat ini, menghasilkan berbagai macam teknologi baru yang dapat digunakan dalam upaya pengembangan kawasan bawang merah. Salah satunya adalah benih botani bawang merah atau yang lebih dikenal dengan sebutan TSS (*True seed of shallots*). Penggunaan bahan tanam berupa TSS memiliki beberapa kelebihan, antara lain volume benih per hektar yang relatif lebih sedikit jika dibandingkan dengan benih umbi, bebas dari patogen tular tanah, serta potensi hasil yang tinggi. Keunggulan-keunggulan tersebut menjadikan TSS sebagai salah satu solusi dalam upaya ekstensifikasi dan intensifikasi usaha tani bawang merah.



Gambar 1. Data series perkembangan bawang merah nasional tahun 2011-2022. (Diolah dari Badan Pusat Statistik, 2023)

Pemilihan varietas unggul merupakan langkah penting dalam proses budidaya tanaman. Varietas dapat menentukan potensi hasil dan daya adaptasi tanaman terhadap kondisi lingkungan budidaya. Penggunaan varietas Sanren F1 mampu menghasilkan bobot umbi kering setara dengan $21,4 \text{ ton ha}^{-1}$ (Jaenudin *et al.*, 2022). Hasil penelitian Atman *et al.* (2021) menyimpulkan bahwa varietas Lokananta memberikan hasil terbaik pada komponen pertumbuhan, hasil, dan produksi jika dibandingkan dengan varietas Trisula, Bima, dan Sanren. Hal serupa juga disimpulkan oleh Adam *et al.* (2021) bahwa varietas Lokananta memberikan hasil yang cenderung lebih baik pada parameter diameter umbi per rumpun (39,69 mm) sedangkan varietas Sanren F1 menunjukkan hasil terbaik pada parameter jumlah umbi (2,07 umbi) dan bobot umbi kering per rumpun (38,32 g). Selain penggunaan varietas unggul, rekayasa unsur hara tanaman juga diperlukan untuk menunjang pertumbuhan dan hasil tanaman bawang merah.

Nikel (Ni) merupakan unsur ke-17 yang telah ditetapkan sebagai hara esensial bagi tanaman (Marschner, 1995; Gerendas *et al.*, 1999; Liu, 2001; Gautam *et al.*, 2017; Song *et al.*, 2017). Nikel dibutuhkan dalam jumlah yang sangat kecil (*ultra-trace*) dalam proses pertumbuhan dan perkembangan

tanaman (Eskew *et al.*, 1983; Brown *et al.*, 1987; Dalton *et al.*, 1988; Liu 2001). Nikel merupakan komponen penting penyusun beberapa enzim yang terlibat dalam metabolisme N dan fiksasi N biologis (Liu *et al.*, 2020) seperti enzim urease dan hidrogenase (Klucas *et al.*, 1983; Stults *et al.*, 1984; Gerendas *et al.*, 1999). Enzim urease merupakan metaloprotein yang mengandung nikel: tanpa kofaktor logam, enzim tersebut tidak aktif secara katalitik (Polacco *et al.*, 2013; Urbańczyk *et al.*, 2016; Martins *et al.*, 2017). Tanaman yang mengalami kekurangan Ni akan mengalami penumpukan urea pada daun dan menunjukkan nekrosis pada ujung daun (Taiz dan Zeiger, 1998). Hasil penelitian Eskew *et al.* (1983), menunjukkan bahwa tanaman kacang-kacangan yang ditanam pada larutan nutrisi dengan urea sebagai sumber N menghasilkan gejala nekrosis pada ujung daun.

Beberapa hasil penelitian menunjukkan pengaruh penggunaan unsur nikel pada beberapa jenis tanaman. Hasil penelitian Correia *et al.* (2018) menunjukkan bahwa, aplikasi nikel mampu meningkatkan produktivitas tomat serta mengurangi penggunaan air dan input pertanian. Penambahan nikel 0,1 mg L⁻¹ secara signifikan meningkatkan aktivitas enzim terkait metabolisme N dan meningkatkan kandungan nitrat (NO₃⁻), amonium (NH₄⁺), dan total asam amino pada bibit tomat dibawah kondisi nitrogen rendah (Zhang *et al.*, 2022). Aplikasi nikel mampu meningkatkan produktivitas, akumulasi kalsium dan mengurangi kejadian *blossom-end root* pada tanaman tomat (Macedo *et al.*, 2022). Pemberian nikel hingga 0,1 mg L⁻¹ pada semaian tomat mampu mengurangi keracunan urea dan meningkatkan konsentrasi klorofil, pertumbuhan, serta hidrolisis urea pada kultur hidroponik (Tan *et al.*, 2000). Dampak positif aplikasi partikel nikel juga diamati pada awal perkembangan bibit, meningkatkan laju perkecambahan, panjang akar dan distribusi Ni dalam jaringan tanaman (Oliveira *et al.*, 2022). Nikel dengan konsentrasi 200 µM secara signifikan menurunkan konsentrasi NO₃⁻ pada daun padi (Rizwan *et al.*, 2022). Alibakhshi dan Khoshgoftarmansh (2016) menguji efek penambahan nikel terhadap hasil umbi, aktivitas urease, sintesis glutamin dan konsentrasi urea, serta kandungan total asam amino dan nitrogen pada umbi bawang bombay. Aplikasi nikel dengan konsentrasi 25 µM efektif menurunkan akumulasi nitrat dan meningkatkan kualitas bawang bombay (Alibakhshi dan Khoshgoftarmansh, 2015). Akumulasi nikel terbanyak ditemukan pada akar dan hanya sedikit yang ditranslokasikan ke daun dan umbi pada beberapa spesies *Allium* (Soudek *et al.*, 2009).

Penambahan nikel $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ ke dalam larutan nutrisi memberikan hasil terbaik dari segi karakteristik kualitatif dan kuantitatif tanaman bayam yang ditanam pada sistem hidroponik dengan berbagai konsentrasi urea (Khan *et al.*, 1999). Aplikasi Ni sebanyak $0,03 \text{ mg kg}^{-1}$ berat kering pada zona perakaran efektif menurunkan infeksi cendawan pada daun *cowpea* sebanyak 50% (Brown, 2006). Freitas *et al.* (2018) menyimpulkan bahwa, aplikasi nikel dengan dosis $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ tanah mampu meningkatkan hasil tanaman kedelai dan merupakan dosis aman bagi konsumsi manusia. Bugbee dan Langenfeld (2022) menetapkan konsentrasi nikel pada larutan hidroponik sebesar $0,1 \text{ }\mu\text{M}$ atau $0,0058 \text{ mg L}^{-1}$. Disisi lain, kelebihan konsentrasi Ni dapat menyebabkan terganggunya fungsi komponen sel dan pada akhirnya dapat menyebabkan kerusakan sel dan kematian tanaman (Göhre dan Paszkowski, 2006). Barley yang ditumbuhkan pada kultur hidroponik dengan konsentrasi $100 \text{ }\mu\text{M}$ Ni menunjukkan gejala visual berupa klorosis dan nekrosis pada daun serta akar yang kecoklatan (Rahman *et al.*, 2005).

Berdasarkan hal-hal yang telah diuraikan, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh aplikasi beberapa konsentrasi nikel terhadap pertumbuhan dan hasil dua varietas bawang merah asal biji pada sistem hidroponik Kratky.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Apakah terdapat interaksi antara konsentrasi nikel yang berbeda dengan dua varietas bawang merah asal biji pada sistem hidroponik ?
2. Bagaimana pengaruh beberapa konsentrasi hara nikel terhadap pertumbuhan dan hasil dua varietas bawang merah asal biji pada sistem hidroponik ?
3. Bagaimana pertumbuhan dan hasil dua varietas bawang merah asal biji pada sistem hidroponik ?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari dan menganalisis pengaruh beberapa konsentrasi hara mikro nikel terhadap pertumbuhan dan hasil dua varietas bawang merah asal biji pada sistem hidroponik Kratky.

1.4 Kegunaan Penelitian

Penelitian ini diharapkan menjadi bahan informasi serta rujukan bagi para petani, mahasiswa, peneliti, instansi, institusi, dan pemerintah secara khusus serta masyarakat secara umum dalam pengambilan keputusan maupun penyusunan kebijakan terkait peran hara nikel terhadap pertumbuhan dan hasil pada budidaya bawang merah.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Varietas Unggul Bawang Merah dalam Peningkatan Produksi

Bawang merah (*Allium cepa* L. Aggregatum group) merupakan tanaman biennial yang menghasilkan umbi tetapi umumnya dibudidayakan sebagai tanaman semusim. Tanaman bawang merah menghasilkan umbi tunggal maupun majemuk diantara batang dan akarnya (Tribowo, 2021). Akar tanaman bawang merah merupakan akar serabut, tumbuh menyebar dan bercabang, tersusun dari akar pokok, akar adventif, akar muda dan bulu akar. Batang pada tanaman bawang merah terbagi menjadi dua, yaitu batang sejati dan batang semu. Batang sejati atau *discus* merupakan tempat keluarnya akar dan mata tunas, berbentuk cakram tipis dan pendek, sedangkan batang semu terbentuk dari lapisan pelepah-pelepah daun dan berada diatas batang sejati. Pada bagian atas batang semu terdapat daun yang berfungsi sebagai tempat fotosintesis dan respirasi, memiliki bentuk silindris yang bagian dalamnya berongga dan berlendir. Mayun (2007) menyimpulkan bahwa jumlah daun dan berat kering tanaman berpengaruh nyata terhadap hasil berat kering umbi per hektar. Karakter panjang daun berkorelasi positif sangat nyata dan berpengaruh langsung sangat tinggi terhadap hasil umbi basah per hektar (Waluyo *et al.*, 2022). Selain umbi, bawang merah juga menghasilkan biji yang dapat digunakan sebagai sumber bahan tanam (Sumarni dan Rosliani, 2010; Khoiryaj *et al.*, 2019; Hasanah, 2020).

Penggunaan TSS (*true shallot seed*) sebagai alternatif bahan tanam dapat menjadi solusi untuk mengatasi kelangkaan benih umbi dan juga solusi dalam upaya peningkatan produksi bawang merah nasional. Keunggulan TSS dibandingkan dengan benih umbi sebagai bahan tanam antara lain, volume benih per luas tanam lebih rendah, biaya distribusi benih lebih murah, penyimpanan benih lebih mudah, tidak memiliki masa dormansi, masa simpan benih lebih lama (Yufdy dan Harmanto, 2022), produktivitas lebih tinggi yang mampu mencapai 42,5 ton ha⁻¹ (Pangestuti dan Sulistyaningsih, 2011), bebas penyakit tular tanah, serta variasi mutu benih rendah sehingga hasil umbi lebih seragam (Sulistyaningsih, 2004). Berdasarkan kajian literatur, pengembangan dan pengenalan TSS di Indonesia telah dimulai sejak tahun 1990-an (Pangestuti dan Sulistyaningsih, 2011).

Saat ini terdapat beberapa varietas unggul bawang merah asal biji yang telah dilepas secara resmi oleh Kementerian Pertanian diantaranya Lokananta dan Sanren F1. Keunggulan utama dari dua varietas tersebut yaitu potensi hasil tinggi dan mampu beradaptasi dengan baik pada dataran rendah. Varietas Lokananta merupakan golongan varietas sintetik, mampu menghasilkan 3-6 anakan per rumpun, produksi tinggi dan sangat tahan layu fusarium. Salah satu keunggulan varietas sintetik adalah kemampuan adaptasi yang lebih baik karena keragaman genetik dalam populasi sangat besar. Varietas Sanren F1 merupakan varietas hibrida dengan keunggulan berupa produksi tinggi dan ukuran umbi sedang. Potensi hasil yang tinggi pada hibrida memerlukan asupan agronomi yang juga besar. Hasil tanaman merupakan atribut penting yang menjadi pertimbangan petani dalam memilih suatu varietas (Awami *et al.*, 2019). Kombinasi ukuran umbi besar dan aroma tajam merupakan atribut yang paling disukai oleh konsumen (Yani *et al.*, 2016). Atribut ukuran, berat, dan warna umbi menunjukkan korelasi yang berhubungan erat dengan preferensi konsumen (Musaddad, 2017). Parameter ukuran, bentuk, dan warna umbi serta jumlah anakan merupakan atribut yang paling disukai oleh petani (Setiani dan Khaririyatun, 2021).

2.2. Peran Unsur Hara Bagi Tanaman Bawang Merah

Unsur hara memiliki peran penting dalam kegiatan budidaya tanaman termasuk bawang merah. Menurut Brown *et al.*, (2021) nutrisi tanaman merupakan unsur atau mineral yang dibutuhkan tanaman untuk menunjang pertumbuhan, perkembangan atau komponen kualitas produk hasil panen suatu spesies tanaman, baik yang tumbuh secara alami maupun hasil budi daya. Berdasarkan jumlah yang dibutuhkan oleh tanaman, unsur hara dibagi menjadi unsur hara makro dan unsur hara mikro (Wijaya, 2020).

Unsur hara makro dibutuhkan dalam jumlah yang relatif lebih banyak dibandingkan unsur hara mikro. Terdapat 9 unsur hara makro, yaitu Karbon (C), Hidrogen (H), Oksigen (O), Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K), Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), dan Sulfur (S). Unsur C, H, dan O merupakan unsur hara makro esensial yang tersedia secara melimpah di alam, berfungsi sebagai penyusun utama dari bahan organik tanaman serta masing-masing menyusun 45%, 45%, dan 6% biomassa tanaman (Hanafiah, 2013). Unsur tersebut bersama dengan bantuan sinar matahari dan klorofil diubah menjadi karbohidrat

dan oksigen. Oksigen merupakan unsur esensial untuk pertumbuhan dan fungsi sel (Jones Jr, 2014).

Unsur N, P, dan K merupakan unsur hara makro primer yang sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman bawang merah. Nitrogen (N) merupakan unsur penting penyusun senyawa organik seperti protein, enzim, vitamin b kompleks, hormon, dan klorofil (Wijaya, 2020). Hasil penelitian Sumarni *et al.*, (2012), pemberian pupuk N dengan dosis 180-270 kg ha⁻¹ nyata meningkatkan tinggi tanaman, bobot kering tanaman, hasil umbi, serta serapan N sebesar 193,49 mg tanaman⁻¹. Fosfor (P) merupakan elemen penting dalam kegiatan transfer energi tanaman, metabolisme karbohidrat dan protein, dan elemen struktur dalam asam nukleat (Hawkesford *et al.*, 2012). Tanaman bawang merah yang ditanam pada tanah dengan status P tinggi menghasilkan bobot umbi tertinggi dan indeks panen tertinggi (Hamdani, 2008). Kombinasi pemberian pupuk P dan GA3 mampu meningkatkan persentase tanaman berbunga dan jumlah umbel per rumpun pada tanaman bawang merah (Pandiangan *et al.*, 2015). Serapan P tertinggi pada tanaman bawang merah sebesar 30,4 mg tanaman⁻¹ (Sumarni *et al.*, 2012). Peran utama K adalah mengatur tekanan osmotik dan turgor sel, pergerakan stomata, transportasi asimilat, serta aktivator enzim-enzim dalam metabolisme dan biosintesis (Wijaya, 2020). Serapan K tertinggi pada tanaman bawang merah sebesar 348,17 mg tanaman⁻¹ (Sumarni *et al.*, 2012).

Hara makro sekunder seperti kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan sulfur (S) juga berperan penting dalam menunjang pertumbuhan tanaman dan komponen kualitas bawang merah. Ca sangat penting untuk stabilitas membran dan dinding sel, osmoregulasi, dan sebagai *second messenger* yang memungkinkan tanaman mengatur proses perkembangan sebagai respons terhadap rangsangan lingkungan (Hawkesford *et al.*, 2012). Ca diserap oleh tanaman dalam bentuk Ca²⁺ oleh ujung-ujung akar dan diangkut oleh *apoplas* dan *xylem* menuju lamina tengah (Wijaya, 2020). Ca berperan penting dalam ketahanan tanaman terhadap penyakit (Cheval *et al.*, 2013). Hasil penelitian Purnamasari (2021) membuktikan bahwa pemberian kalsium secara nyata dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman bawang merah pada kondisi cekaman kekeringan melalui peningkatan kandungan Ca jaringan daun, tebal sel epidermis daun, efisiensi penggunaan air, menurunkan densitas stomata,

akumulasi prolin, meningkatkan klorofil a, b, dan total, aktivitas SOD dan menurunkan H_2O_2 dan MDA dengan dosis optimum Ca sebesar $214,3 \text{ kg ha}^{-1}$.

Magnesium (Mg) merupakan inti dari molekul klorofil dan berperan dalam produksi karbohidrat, lemak, dan minyak (Wijaya, 2020; Siregar *et al.*, 2021). Aplikasi unsur Mg dapat meningkatkan serapan hara P, sintesis gula, dan translokasi pati (Harris *et al.*, 2018), serta memberikan efek positif terhadap parameter hasil dan kualitas bawang merah (Kleiber *et al.*, 2012). Hasil umbi tertinggi diperoleh dengan pemberian Mg sebesar 50 kg ha^{-1} (Sopha dan Basuki, 2021).

Sulfur (S) memegang peranan penting dalam metabolisme tanaman yang berhubungan dengan beberapa parameter penentu kualitas nutrisi tanaman sayuran (Schnug, 1990). Pada tanaman bawang merah, sulfur diperlukan untuk produksi senyawa antioksidan sulfur seperti dialil disulfida, dialil trisulfida, dan alil propil disulfida (Tim PUSTAKA, 2017). Aroma khas bawang merah dipengaruhi oleh kandungan tiosulfinat akibat pemberian pupuk S (Randle *et al.*, 1994). Bobot kering tanaman pada umur satu bulan, bobot umbi saat panen, bobot umbi kering eskip, dan kelas umbi dipengaruhi secara nyata oleh sulfur (Muhammad *et al.*, 2003). Peningkatan dosis sulfur hingga 90 mg L^{-1} dapat meningkatkan jumlah daun, panjang daun, panjang akar, bobot kering tanaman dan bobot kering umbi (Farid dan Ulinuha, 2022). Batas kritis sulfat tanah untuk tanaman bawang merah berkisar $50-90 \text{ mg L}^{-1}$ (Muhammad, 2001).

Unsur hara mikro dibutuhkan dalam jumlah yang relatif lebih sedikit dibandingkan dengan hara makro. Walaupun demikian, unsur mikro berperan sangat penting dalam reaksi biokimia yang ada didalam tubuh tanaman (Wijaya, 2020). Hukum Minimum Liebig menyatakan bahwa "pertumbuhan tanaman tidak ditentukan oleh total sumber daya yang tersedia, tetapi oleh sumber daya yang tersedia paling langka (faktor pembatas)". Disisi lain, unsur hara mikro jika tersedia berlebihan akan langsung bersifat toksik (meracuni) bagi tanaman (Hanafiah, 2013).

Perkembangan ilmu pengetahuan turut mendorong penemuan-penemuan baru akan esensialitas suatu unsur bagi tanaman. Berbagai unsur mikro esensial telah ditemukan oleh para ilmuwan (Tabel 1). Namun, menurut Brown *et al.* (2021) definisi esensialitas suatu unsur hanya ditetapkan apabila suatu tanaman tidak mampu menyelesaikan siklus hidupnya tanpa kehadiran unsur tersebut dan bukan berdasarkan kemampuan unsur untuk meningkatkan

pertumbuhan, meningkatkan efisiensi penggunaan nutrisi, air dan sumber daya lain, atau meningkatkan kualitas atau nutrisi hasil panen, maupun meningkatkan toleransi terhadap cekaman biotik maupun abiotik.

Tabel 1. Penemuan esensialitas unsur mikro bagi tanaman

Unsur (simbol kimia)	Ditemukan oleh	Tahun penemuan
Fe	Sachs	1860
Mn	McHargue	1922
B	Warington	1923
Zn	Sommer dan Lipman	1926
Cu	Lipman dan McKinney	1931
Mo	Arnon dan Stout	1939
Cl	Broyer <i>et al.</i> ,	1954
Ni	Brown <i>et al.</i> ,	1987

Sumber : Kirkby (2012); Wijaya (2020).

Besi (Fe) memainkan peran penting dalam sistem redoks dalam sel dan berbagai enzim (Broadley *et al.*, 2012). *Allium sativum* yang ditanam tanpa adanya unsur Fe pada larutan nutrisi mengalami gejala klorosis (Manthey *et al.*, 1996). Aplikasi unsur Fe, Zn, dan Mn secara foliar mampu meningkatkan kandungan minyak esensial, pertumbuhan, dan hasil tanaman bawang bombay (El-Tohami *et al.*, 2009).

Boron (B) sangat penting untuk dinding sel dan integritas membran (Broadley *et al.*, 2012) serta terlibat dalam metabolisme karbohidrat (Wijaya, 2020). Aplikasi unsur B secara tunggal maupun kombinasi dengan Cu dan Zn menghasilkan umbi yang lebih padat dan meningkatkan ketajaman aroma (Bertino *et al.*, 2022). Aplikasi foliar boron dengan konsentrasi 0.5% secara signifikan meningkatkan pertumbuhan, hasil, dan kualitas umbi bawang merah (Manna dan Maity, 2016).

Seng (Zn) berperan dalam detoksifikasi superoksida radikal, integritas membran serta sintesis protein dan fitohormon IAA (Broadley, 2012). Tingkat kritis defisiensi Zn dalam tanah bervariasi dari 0,6 hingga 2,0 mg kg⁻¹ dan pada jaringan daun berkisar dari 10 hingga 150 mg kg⁻¹ untuk level kecukupan (Moreira *et al.*, 2018). Menurut Manna dan Maity (2016), pemberian Zn 0,5% secara foliar mampu meningkatkan pertumbuhan, hasil, dan kualitas (total padatan terlarut dan asam piruvat) umbi bawang merah.

Mangan (Mn) utamanya terlibat dalam fotosintesis dan sebagai komponen enzim *arginase* dan *phosphotransferase* (Millaleo *et al.*, 2010; Wijaya, 2020). Aplikasi foliar Mn 0,68 g L⁻¹ mampu meningkatkan kemampuan fotosintesis *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch (Sherman *et al.*, 2017). Perendaman benih bawang bombay dengan Mn atau Cu menghasilkan persentase perkecambahan, berat kering bibit, rata-rata diameter umbi, dan total hasil umbi tertinggi (Firgany *et al.*, 1980). Mangan (Mn) dan tembaga (Cu) penting untuk sistem redoks, sebagai aktivator berbagai enzim termasuk yang terlibat dalam detoksifikasi superoksida radikal, dan untuk sintesis lignin (Broadley *et al.*, 2012).

Tembaga (Cu) berperan dalam transpor elektron dalam proses fotosintesis, merupakan penyusun protein kloroplas, dan juga dikenal sebagai aktivator enzim (Jones Jr, 2005). Aplikasi foliar Cu mampu meningkatkan hasil, kualitas, dan serapan hara tanaman bawang merah (El-Hadidi *et al.*, 2016). Defisiensi Cu menyebabkan penurunan hasil yang signifikan dan semua sifat kualitas tanaman bawang merah (Mottaleb *et al.*, 2021). Berdasarkan penelitian Jegadeeswari *et al.* (2021) dapat disimpulkan bahwa kadar Cu tanah sebesar 0,57 mg kg⁻¹ cukup untuk meningkatkan hasil, berat kering, dan kualitas bawang merah.

Molibdenum (Mo) dibutuhkan dalam proses asimilasi N dalam tanaman, sebagai komponen enzim nitrat reduktase dan nitrogenase (Wijaya, 2020). Enzim yang membutuhkan molibdenum untuk aktivitasnya termasuk nitrat reduktase, xantin dehidrogenase, aldehida oksidase, dan sulfit oksidase (Brent *et al.*, 2005). Aplikasi molibdenum secara eksogen terbukti berhasil meningkatkan nutrisi mineral *Eriobotrya japonica* Lindl., terbukti dengan peningkatan nutrisi makro dan mikro serta penurunan logam berat pada jaringan daun dan buah (Ali *et al.*, 2021). Adopsi perlakuan benih dengan molibdenum dan pupuk hayati (*Rhizobium* + bakteri pelarut fosfat) bersama dengan aplikasi foliar boron pada 4 minggu setelah tanam bersama dengan rekomendasi pupuk anorganik akan memberikan hasil yang menguntungkan untuk budidaya *Vigna unguiculata* L. Walp. (Chatterjee dan Bandyopadhyay, 2017). Hasil penelitian Saieed *et al.* (2010), aplikasi boron dan molibdenum secara tunggal maupun kombinasi memberikan hasil yang signifikan terhadap hasil dan komponen hasil produksi benih bawang merah.

Unsur Cl berperan dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman termasuk pengaturan osmotik dan stomata, evolusi oksigen dalam fotosintesis, dan ketahanan dan toleransi terhadap penyakit (Broadley *et al.*, 2012; Chen *et al.*, 2010; Wijaya 2020). Cl dapat meningkatkan berat segar dan kering tanaman, luas daun, efisiensi air dan nitrogen, serta difusi CO₂ kedalam mesofil (Colmenero-Flores *et al.*, 2019). Menurut Randle (2005), *Allium* membutuhkan Cl- yang tinggi dan aplikasi CaCl₂ memperpanjang umur simpan umbi dan meningkatkan berat kering umbi. Pasokan Cl yang cukup mampu meningkatkan hasil dan kualitas tanaman, salah satunya adalah bawang (Chen *et al.*, 2010).

2.3. Nikel (Ni)

Nikel merupakan salah satu unsur pada tabel periodik yang memiliki simbol **Ni** dengan nomor atom 28, berat atom 58.7, dan termasuk kedalam logam transisi. Ni merupakan unsur ke-24 yang paling banyak terdapat di kerak Bumi dan tersebar secara alamiah maupun oleh aktivitas antropogenik (Chauhan *et al.*, 2008; Gautam *et al.*, 2017). Sumber alami Ni seperti abu vulkanik dan dari pelapukan batuan beku (Kasprazk *et al.*, 2003). Aktivitas antropogenik juga membantu penyebaran Ni pada lingkungan (Alloway, 1995). Berbagai bentuk Ni dapat diekstraksi dari bijih nikel sulfida dan laterit melalui proses peleburan dan pemurnian nikel. Proses ini menyumbangkan senyawa nikel sulfida dan oksida, serta senyawa nikel yang larut dalam air (yaitu garam nikel seperti nikel sulfat heksahidrat dan nikel klorida heksahidrat) dan logam nikel (Ni) ke udara (Prueitt *et al.*, 2020). Perubahan dalam proses metabolisme dapat dipengaruhi oleh unsur logam, baik secara langsung maupun tidak langsung (Woolhouse, 1983).

Nikel (Ni) merupakan salah satu unsur hara mikro esensial bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Bukti unsur Ni sebagai bagian penting bagi tanaman pertama kali ditemukan oleh Dixon *et al.* (1975) pada enzim urease. Menurut Arnon dan Stout (1939), unsur hara dikatakan esensial apabila memenuhi kriteria sebagai berikut :

- 1) Suatu tanaman tidak mampu untuk menyelesaikan daur hidupnya tanpa adanya unsur tersebut.
- 2) Fungsi unsur tersebut tidak dapat digantikan oleh unsur lain.
- 3) Unsur tersebut harus terlibat secara langsung dalam metabolisme tanaman atau sebagai komponen esensial penyusun bagian tanaman.

Pada akhir tahun 1980-an, Brown *et al.* (1987) menetapkan bahwa nikel merupakan unsur hara esensial bagi tanaman monokotil dan dikotil. Nikel diakui sebagai unsur ke-17 yang penting untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Liu, 2001). Nikel dibutuhkan oleh tanaman dalam konsentrasi yang rendah (Theuer, 2009). Kirkby (2012) menjelaskan bahwa, mayoritas unsur hara mikro sebagian besarnya merupakan konstituent dari molekul enzim dan oleh karena itu esensial hanya dalam jumlah kecil diseluruh tingkat tanaman. Cakmak *et al.* (2023) menyatakan bahwa, nikel terlibat dalam metabolisme nitrogen sebagai komponen logam dari enzim urease. Menurut Liu *et al.* (2020), kebutuhan Ni bagi tanaman sebesar $<0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ dari berat kering tanaman.

Nikel menyusun beberapa enzim penting yang terlibat dalam siklus biologi karbon, nitrogen, dan oksigen. Menurut Ragsdale (2009) terdapat delapan enzim yang memiliki inti nikel, yaitu urease (EC 3.5.1.5), glyoxylase-I (EC 4.4.1.5), acidreductone dioxygenase (EC 1.13.11.54), nikel superoxide dismutase (EC 1.15.1.1), Ni-Fe hydrogenase (EC 1.12.x.x), methyl-coenzyme M reductase (EC 2.8. 4.1), acetyl-coenzyme A synthase (EC 2.3.1.169), dan CO dehydrogenase (EC 1.2.99.2). Nikel juga diketahui terlibat dalam beberapa fungsi protein dalam tanaman (Li dan Zamble, 2009; Freyermuth *et al.*, 2000).

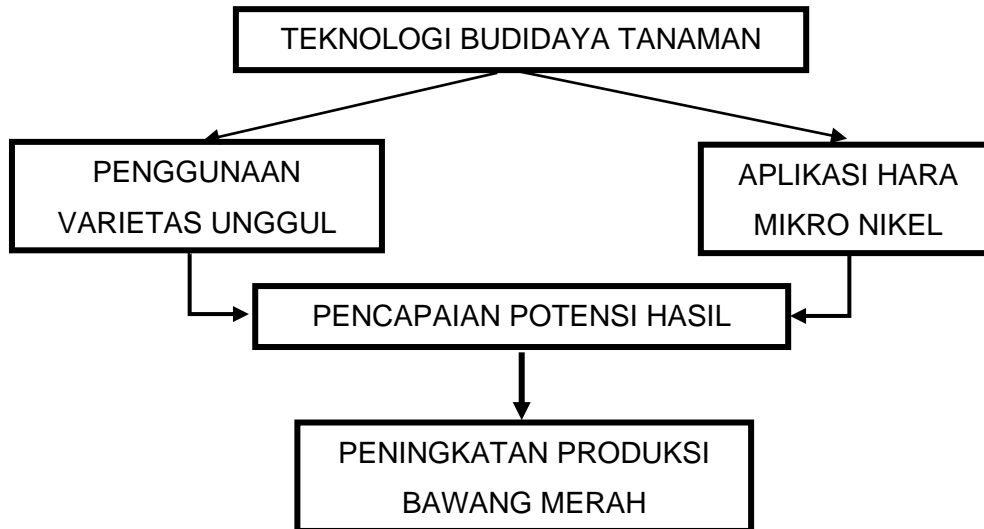
Nikel juga merupakan mikronutrien yang penting untuk berfungsinya tubuh manusia, karena meningkatkan aktivitas hormonal dan terlibat dalam metabolisme lipid (Zdrojewicz *et al.*, 2016). Pada tubuh manusia, nikel ditemukan dalam konsentrasi tinggi pada asam nukleat terutama RNA (Al-Fartusie dan Mohssan, 2017). Defisiensi nikel pada manusia dapat menyebabkan anemia (rendahnya penyerapan Fe), mengganggu inkorporasi kalsium kedalam tulang, dan mempengaruhi metabolisme karbohidrat (Anke *et al.*, 1984). Efek toksik nikel juga dapat dipicu melalui konsumsi makanan dan/atau kontak dengan benda yang mengandung nikel (Genchi *et al.*, 2020).

Ambang batas nikel terlarut dalam air baku nasional menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, yaitu sebesar $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ hingga $0,1 \text{ mg L}^{-1}$. Menurut Alloway (1995), batas kritis nikel dalam tanaman yaitu sebesar $5-30 \text{ mg L}^{-1}$. Menurut European Food Safety Authority (2020) *tolerable daily intake* (TDI) Ni sebesar $13 \mu\text{g kg}^{-1}$ berat badan. Nilai LD50 oral untuk tikus berkisar dari $67 \text{ mg nikel kg}^{-1}$ untuk nikel sulfat heksahidrat dan hingga $>9000 \text{ mg nikel kg}^{-1}$ untuk bubuk nikel (ATSDR, 1988). Nilai referensi

standar untuk logam Ni di tanah pertanian berdasarkan USEPA (2002) yaitu sebesar 72 mg kg⁻¹. Gebeyehu and Bayissa (2020) menetapkan batas aman logam Ni pada sayuran sebesar 10 mg kg⁻¹ berat kering. Berdasarkan regulasi European Union (2006), batas maksimum Ni sebesar 50 mg L⁻¹. Menurut Huang *et al.* (2020), kebutuhan Ni manusia sebesar 0,4 mg kg⁻¹. Defisiensi nikel pada manusia menyebabkan pertumbuhan intra-uterin terhambat dan juga disertai oleh penurunan penyerapan zat besi yang dapat menyebabkan anemia (Kumar dan Trivedi, 2016). Disisi lain, berdasarkan Peraturan Badan Pengawas Obat Dan Makanan Nomor 5 Tahun 2018 Tentang Batas Maksimum Cemar Logam Berat Dalam Pangan Olahan, BAB II Pasal 2 ayat (3) menyatakan bahwa “Cemaran Logam Berat sebagaimana dimaksud pada ayat (2) meliputi: a. arsen (As); b. timbal (Pb); c. kadmium (Cd); d. merkuri (Hg); dan e. timah (Sn)”.

2.4. Kerangka Pikir Penelitian

Peningkatan produktivitas tanaman masih menjadi tujuan utama dalam sektor pertanian di abad ke-20. Rekayasa teknologi budidaya tanaman merupakan sebuah jembatan untuk meraih tujuan tersebut. Varietas unggul merupakan salah satu komponen penting dalam rekayasa teknologi budidaya tanaman. Pemilihan varietas harus berdasarkan kesesuaian dengan agroklimat dan preferensi pasar serta potensi hasil yang tinggi. Selain itu, nutrisi tanaman juga berperan penting dalam pencapaian potensi hasil tanaman. Setiap varietas memiliki kebutuhan spesifik akan unsur hara. Namun, sebagian besar riset mengenai nutrisi tanaman bawang merah hanya berfokus pada 3 unsur hara makro utama yaitu Nitrogen, Fosfor, dan Kalium. Sementara unsur hara mikro yang juga memiliki peran penting, kurang mendapat perhatian lebih. Salah satu unsur yang telah ditetapkan sebagai hara mikro esensial adalah Nikel. Beberapa hasil riset menunjukkan pengaruh positif dan negatif pemupukan nikel terhadap pertumbuhan, fisiologis, dan hasil tanaman. Selain itu, kondisi “*hidden hunger*” pada tanaman merupakan suatu gejala defisiensi unsur hara yang tidak nampak namun mampu untuk menurunkan hasil tanaman. Sampai saat ini belum banyak penelitian yang dilakukan untuk mengetahui batas aman Nikel khususnya untuk tanaman bawang merah. Oleh karena itu, diperlukan sebuah riset yang mendasar untuk mempelajari pengaruh pemberian nikel terhadap pertumbuhan, fisiologis, dan hasil pada tanaman bawang merah. Diharapkan, melalui penelitian ini dapat dihasilkan sebuah rekomendasi terkait ambang batas konsentrasi nikel agar potensi hasil tanaman dapat dicapai.



Gambar 2. Skema kerangka pikir penelitian.

2.5. Hipotesis

Berdasarkan uraian tersebut, maka disusun hipotesis sebagai berikut :

1. Terdapat interaksi antara konsentrasi hara mikro nikel dengan dua varietas bawang merah asal biji terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman bawang merah pada sistem hidroponik.
2. Terdapat konsentrasi hara nikel terbaik yang meningkatkan pertumbuhan dan hasil dua varietas bawang merah asal biji pada sistem hidroponik.
3. Terdapat varietas bawang merah asal biji tertentu yang memberikan pertumbuhan dan hasil bawang merah terbaik pada sistem hidroponik.