

**PENGARUH VARIASI KONSENTRASI SULFUR (S)
TERHADAP PERTUMBUHAN, KANDUNGAN
FLAVONOID DAN ANTOSIANIN PADA TANAMAN
BAYAM MERAH (*Amaranthus cruentus* L.)**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Sains S.Si dalam Ilmu Biologi



AZKA AZKIA

NIM 2108016023

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG**

2025

HALAMAN JUDUL

**PENGARUH VARIASI KONSENTRASI SULFUR (S)
TERHADAP PERTUMBUHAN, KANDUNGAN
FLAVONOID DAN ANTOSIANIN PADA TANAMAN
BAYAM MERAH (*Amaranthus cruentus* L.)**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Sains S.Si dalam Ilmu Biologi



AZKA AZKIA

NIM 2108016023

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG**

2025

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Azka Azkia

NIM : 2108016023

Jurusan : Biologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

**Pengaruh Variasi Konsentrasi Sulfur (S) terhadap
Pertumbuhan, Kandungan Flavonoid dan Antosianin pada
Tanaman Bayam Merah (*Amaranthus cruentus* L.)**

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian atau karya saya sendiri,
kecuali bagian lain yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 02 Juni 2025

Pembuat pernyataan,



Azka Azkia

NIM 2108016023

PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO SEMARANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Prof. Dr. Hamka (Kampus III), Ngaliyan, Semarang
Telp. (024) 7601295 – Fax. 7615387

PENGESAHAN

Naskah Skripsi Berikut:

Judul : Pengaruh Variasi Konsentrasi Sulfur (S) terhadap
Pertumbuhan, Kandungan Flavonoid dan Antosianin
pada Tanaman Bayam Merah (*Amaranthus cruentus*
L.)
Nama : Azka Azkia
NIM : 2108016023
Program Studi : Biologi

Telah diujikan dalam sidang tugas akhir oleh Dewan Penguji Fakultas
Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang dan dapat diterima
sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana dalam Ilmu Biologi.

Semarang, 7 Juli 2025

DEWAN PENGUJI

Penguji I

Dr. Dian Ayuning Tyas, M.Biotech
NIP. 198412182011012004

Penguji II

Ira Nailas Sa'adah, M.Si
NIP. 199204032019032021

Penguji III

Kusrinah M.Si
NIP. 197711102011012005

Penguji IV

Dian Triastari Armanda, M.Si
NIP. 198312212011012004

Pembimbing I

Dr. Dian Ayuning Tyas, M.Biotech
NIP. 198412182011012004

Pembimbing II

Ira Nailas Sa'adah, M.Si
NIP. 199204032019032021

NOTA DINAS

Semarang, 02 Juni 2025

Yth. Ketua Program Studi Biologi
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamua'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan
bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Pengaruh Variasi Konsentrasi Sulfur (S) terhadap
Pertumbuhan, Kandungan Flavonoid dan Antosianin
pada Tanaman Bayam Merah (*Amaranthus cruentus*
L.)

Nama : **Azka Azkia**

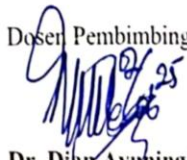
NIM : 2108016023

Jurusan : Biologi

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat
diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo
untuk diajukan dalam Sidang Munaqosah.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Dosen Pembimbing I



Dr. Dian Ayuning Tyas, M. Biotech
NIP 198412182011012004

NOTA DINAS

Semarang, 02 Juni 2025

Yth. Ketua Program Studi Biologi
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamua'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan
bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Pengaruh Variasi Konsentrasi Sulfur (S) terhadap
Pertumbuhan, Kandungan Flavonoid dan Antosianin
pada Tanaman Bayam Merah (*Amaranthus cruentus*
L.)

Nama : Azka Azkia

NIM : 2108016023

Jurusan : Biologi

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat
diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo
untuk diajukan dalam Sidang Munaqosah.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Dosen Pembimbing II



Ira Naitas Sa'adah, M.Si.
NIP 199204032019032021

ABSTRAK

Pertumbuhan optimal bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) dapat dicapai melalui pemberian nutrisi yang cukup dan seimbang. Salah satu unsur hara penting adalah sulfur (S), yang termasuk makronutrien dan berperan dalam berbagai proses fisiologis tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi sulfur terhadap pertumbuhan, kandungan flavonoid, dan antosianin pada bayam merah. Penelitian dilakukan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan lima perlakuan konsentrasi sulfur berdasarkan modifikasi larutan Hoagland, yaitu 0%, 50%, 100%, 150%, dan 200%. Parameter yang diamati meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, panjang akar, berat basah, berat kering, kadar flavonoid dan antosianin. Data dianalisis menggunakan ANOVA dan Kruskal-Wallis. Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nyata antar perlakuan terhadap tinggi tanaman, dengan rata-rata tertinggi pada perlakuan 100% (30,79 cm); panjang akar tertinggi pada perlakuan 0% (29,91 cm); dan berat basah tertinggi pada perlakuan 150% (11,65 gram). Sementara itu, jumlah daun dan berat kering tidak menunjukkan perbedaan yang nyata. Uji Kruskal-Wallis menunjukkan bahwa kadar flavonoid tidak memiliki perbedaan nyata antar perlakuan. Sebaliknya, kadar antosianin menunjukkan perbedaan nyata, dengan nilai tertinggi ditemukan pada perlakuan 100% (1,16 mg/L).

Kata kunci: Antosianin, Bayam merah, Flavonoid, Pertumbuhan Tanaman, dan Sulfur

ABSTRACT

Optimal growth of red amaranth (*Amaranthus cruentus* L.) can be achieved through a sufficient and balanced nutrient supply. Sulfur (S) is an essential macronutrient that plays a role in various physiological processes in plants. This study aimed to examine the effect of different sulfur concentrations on the growth, flavonoid, and anthocyanin content of red amaranth. The experiment used a Completely Randomized Design (CRD) with five sulfur treatments based on a modified Hoagland solution: 0%, 50%, 100%, 150%, and 200%. Observed parameters included plant height, number of leaves, root length, fresh weight, dry weight, and levels of flavonoid and anthocyanin. Data were analyzed using ANOVA and Kruskal-Wallis tests. The ANOVA analysis showed significant differences among treatments for plant height, with the highest average observed at the 100% treatment (30.79 cm); root length was highest at the 0% treatment (29.91 cm); and fresh weight was highest at the 150% treatment (11.65 grams). Meanwhile, the number of leaves and dry weight showed no significant differences. The Kruskal-Wallis test indicated that flavonoid content did not differ significantly among treatments. In contrast, anthocyanin content showed significant differences, with the highest value found at the 100% treatment (1.16 mg/L).

Keywords: Anthocyanin, Flavonoid, Plant Growth, Red amaranth, Sulfur

TRANSLITERASI ARAB-LATIN

Penulisan transliterasi huruf-huruf Arab Latin dalam skripsi ini berpedoman pada SKB Menteri Agama dan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan R.I. Nomor 158/1987 dan Nomor: 0543b/U/1987. Penyimpangan penulisan kata sandang [al-] disengaja secara konsisten agar sesuai teks Arabnya.

ا	A	ط	Th
ب	B	ظ	Zh
ت	t	ع	'a
ث	ts	غ	Gh
ج	j	ف	F
ح	h	ق	Q
خ	kh	ك	K
د	d	ل	L
ذ	dz	م	M
ر	r	ن	N
ز	z	و	W
س	s	ه	H
ش	sy	ء	'
ص	sh	ي	Y
ض	dh		

Bacaan Madd:

ā = a panjang

au = و /

ī = i panjang

ai = اي

ū = u panjang

iy = اي

KATA PENGANTAR

Puji syukur *Alhamdulillah* penulis ucapkan kepada kehadiran Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan skripsi dengan tepat waktu. Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada baginda tercinta Nabi Muhammad SAW sebagai suri teladan yang baik untuk seluruh umatnya dan berharap mendapatkan syafa'at di yaumul akhir kelak. Skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Konsentrasi Sulfur Terhadap Pertumbuhan, Kandungan Flavonoid dan Antosianin pada Tanaman Bayam Merah (*Amaranthus cruentus* L.)”** disusun guna untuk memenuhi persyaratan dalam memperoleh gelar Sarjana Sains di Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak telah membantu sebab dalam proses penelitian dan penyusunan skripsi ini tidak berjalan dengan baik dan lancar tanpa adanya do'a, dukungan, bimbingan maupun arahan dari berbagai pihak, yaitu kepada:

1. Prof. Dr. H. Nizar, M.Ag. selaku Rektor UIN Walisongo Semarang.
2. Prof. Dr. Musahadi, M.Ag. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.

3. Dr. Dian Ayuning Tyas M.Biotech. selaku Ketua Program Studi Biologi UIN Walisongo Semarang dan selaku Pembimbing I yang senantiasa membimbing, memberikan saran maupun masukan serta selalu mendorong selama proses penelitian sehingga skripsi ini dapat selesai dengan tepat waktu.
4. Ira Nailas Sa'adah, M.Si. selaku Pembimbing II yang senantiasa sabar dalam membimbing, memberikan arahan dan dukungan serta berkontribusi selama proses penelitian sehingga riset dan penulisan skripsi dapat berjalan lancar. Penulis juga berterima kasih karena telah diberikan kesempatan untuk bergabung dalam kelompok riset yang menjadi dasar dan arah penelitian ini.
5. Abdul Malik, M.Si. selaku Wali Dosen yang telah membimbing dan memberikan nasihat maupun pengarahan selama menempuh Pendidikan di UIN Walisongo Semarang.
6. Sumiati, S.pd. selaku Laboran di Prodi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang yang telah membantu dan memberi pengarahan selama proses pengujian sampel.
7. Erwin Edy Wibowo selaku Pengelola Laboratorium Biologi Kampus 2 UIN Walisongo yang telah

membantu dan memberi pengarahannya selama proses riset berlangsung.

8. Bapak Maftukhin Syarief selaku orang tua atau kepala keluarga yang selalu bekerja keras dan menjadi pendengar yang baik atas keluhan penulis selama menempuh pendidikan hingga mengerjakan skripsi ini tanpa perhatian, kasih sayang dan dukungan maka penulis tidak mampu menyelesaikan pendidikan sampai akhir.
9. Ibu Nurasyiah selaku orang tua atau Ibu dalam keluarga yang telah merawat, mendidik, dan mendo'akan penulis dengan sangat tulus sehingga proses riset dalam skripsi ini dapat berjalan dengan lancar dan selesai tepat waktu.
10. Kakak Alda Alamul Huda dan Adek Muhammad Aliramdhani yang telah menjadi *support system* terbaik bagi penulis selama mengerjakan skripsi.
11. Teman saya Fitri Azizah yang telah kebersamaan dari semester satu sampai semester akhir ini, yang telah menjadi teman seperjuangan, teman berkeluh kesah dalam keadaan suka maupun duka dan selalu ada disaat membutuhkan bantuan.
12. Teman-teman tim bayam merah Muqodimatul Ainia, Siti Amirotin Khasanah dan Ilma Ayunda Arum yang telah banyak membantu selama riset skripsi ini

berlangsung sehingga skripsi ini dapat berjalan dengan lancar dan selesai tepat waktu.

13. Teman-teman khususnya Khurotul Uyun, Anandiya Arianti, Andini Purnadita, Farih Aisyah, Shofiatul Solikhah, Tria Amelia, Vina Apriliani, Wafiq Aziza, Rina Putri Ayu Diana dan semua teman yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang telah menjadi teman berkeluh kesah dalam suka maupun duka dan selalu ada disaat membutuhkan bantuan.

Semarang, 02 Juni 2025

Penulis



Azka Azkia

NIM 2108016023

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
PENGESAHAN	iv
NOTA DINAS	v
NOTA DINAS	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	viii
TRANSLITERASI ARAB-LATIN	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian.....	4
D. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II.....	6
TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Kajian Teori.....	6
1. Bayam merah (<i>Amaranthus cruentus</i> L.).....	6

2.	Sulfur	10
3.	Hidroponik	13
4.	Pertumbuhan Tanaman	14
5.	Flavonoid	19
6.	Antosianin	22
7.	Ekstraksi.....	24
A.	Kajian Penelitian Relevan	28
B.	Kerangka Berfikir.....	36
C.	Hipotesis.....	37
BAB III		38
METODE PENELITIAN		38
A.	Jenis Penelitian.....	38
B.	Tempat dan Waktu Penelitian	38
C.	Subjek Penelitian dan Teknik Sampling	38
D.	Rancangan Penelitian	39
E.	Variabel Penelitian	41
F.	Prosedur Penelitian.....	42
G.	Analisis Data	55
BAB IV		59
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		59
A.	Hasil Penelitian	59
B.	Pembahasan.....	79
BAB V		101
PENUTUP		101
A.	Kesimpulan.....	101

B. Saran.....	102
DAFTAR PUSTAKA	103
LAMPIRAN.....	120
RIWAYAT HIDUP	156

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian yang relevan	28
Tabel 3. 1 Rancangan unit percobaan	40
Tabel 3. 2 Komposisi modifikasi larutan nutrisi Hoagland (Taiz <i>et al.</i> , 2014)	45
Tabel 4. 1 Hasil rata-rata tinggi tanaman 1 MST – 5 MST bayam merah (<i>Amaranthus cruentus</i> L.).....	61
Tabel 4. 2 Hasil rata-rata jumlah daun 1 MST – 5 MST bayam merah (<i>Amaranthus cruentus</i> L.).....	64
Tabel 4. 3 Hasil rata-rata panjang akar bayam merah (<i>Amaranthus cruentus</i> L.)	67
Tabel 4. 4 Hasil rata-rata berat basah bayam merah (<i>Amaranthus cruentus</i> L.)	69
Tabel 4. 5 Hasil rata-rata berat kering bayam merah (<i>Amaranthus cruentus</i> L.)	71
Tabel 4. 6 Hasil rata-rata kadar total flavonoid ekstrak bayam merah (<i>Amaranthus cruentus</i> L.).....	73
Tabel 4. 7 Hasil uji warna senyawa flavonoid pada ekstrak bayam merah (<i>Amaranthus cruentus</i> L.).....	75
Tabel 4. 8 Rata-rata kadar total antosianin ekstrak bayam merah (<i>Amaranthus cruentus</i> L.).....	76
Tabel 4. 9 Hasil uji lanjutan Mann-Whitney	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Bayam merah (<i>Amaranthus cruentus</i> L.) (Sumber: Dokumentasi peneliti)	7
Gambar 2. 2 Hidroponik dengan sistem wick	14
Gambar 2. 3 Sumber flavonoid alami, metode perolehannya dan aktivitas biologis	20
Gambar 2. 4 Jalur biosintesis flavonoid	22
Gambar 2. 5 Struktur Flavilium Antosianin	23
Gambar 2. 6 Bagan alir kerangka berpikir	36
Gambar 4. 1 Grafik rata-rata tinggi tanaman.....	62
Gambar 4. 2 Grafik rata-rata jumlah daun.....	65
Gambar 4. 3 Grafik rata-rata panjang akar	68
Gambar 4. 4 Grafik rata-rata berat basah	70
Gambar 4. 5 Grafik rata-rata berat kering	72
Gambar 4. 6 Grafik rata-rata kadar flavonoid	74
Gambar 4. 7 Grafik rata-rata kadar antosianin	77
Gambar 4. 8 Gambar pertumbuhan bayam dan arah sumber cahaya matahari; tanda (→) bewarna merah menunjukkan arah cahaya dan bewarna biru menunjukkan tanaman yang terhalang cahaya (Sumber: Dokumentasi peneliti)	83

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil perhitungan senyawa substitusi $\text{MgSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dan MgCl_2	120
Lampiran 2. Perhitungan pendapatan sulfur di unsur mikronutrien senyawa $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, dan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	121
Lampiran 3. Hasil pengamatan tinggi tanaman 0 MST – 5 MST	124
Lampiran 4. Hasil pengamatan jumlah daun 0 MST – 5 MST..	127
Lampiran 5. Hasil pengamatan panjang akar	129
Lampiran 6. Hasil pengamatan berat basah.....	130
Lampiran 7. Hasil pengamatan berat kering.....	132
Lampiran 8. Hasil pengamatan kandungan flavonoid.....	133
Lampiran 9. Perhitungan kadar total flavonoid	133
Lampiran 10. Hasil perhitungan kadar total flavonoid.....	134
Lampiran 11. Hasil pengamatan kandungan antosianin.....	134
Lampiran 12. Perhitungan kadar total antosianin.....	136
Lampiran 13. Kadar total antosianin	136
Lampiran 14. Hasil pengukuran pH dan TDS	137
Lampiran 15. Hasil pengukuran faktor lingkungan.....	138
Lampiran 16. Hasil analisis statistik pengamatan tinggi tanaman	140
Lampiran 17. Hasil statistik pengamatan jumlah daun.....	144
Lampiran 18. Hasil statistik pengamatan panjang akar.....	147
Lampiran 19. Hasil statistik pengamatan berat basah	148

Lampiran 20. Hasil statistik pengamatan berat kering	150
Lampiran 21. Hasil statistik kadar total flavonoid	151
Lampiran 22. Hasil statistik kadar antosianin	152
Lampiran 23. Dokumentasi penelitian	153

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Salah satu hasil pertanian yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat, baik di kota maupun di pedesaan adalah sayuran (Astawan *et al.*, 2008). Indonesia termasuk negara dengan komoditas sayuran yang melimpah salah satunya adalah bayam. Menurut data Badan Pusat Statistik Tahun 2023, produksi tanaman bayam di Indonesia mencapai angka 1.706.876 kuintal, meliputi bayam hijau dan bayam merah. Bayam merah memiliki kandungan komponen antioksidan yang berpotensi melindungi tubuh dari serangan radikal bebas yang menyerang ketahanan tubuh saat menurun. Antioksidan dapat ditemukan dari makanan, salah satunya di sayuran seperti bayam merah (Sudewo, 2012).

Bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) merupakan famili Amaranthaceae yang mengandung vitamin A, vitamin B1, vitamin C dan kandungan mineral seperti Fe, Ca, Mn dan P (Maharany, 2016). Bayam merah juga mengandung flavonoid. Tumbuhan biasanya memiliki satu atau lebih kelompok flavonoid karena flavonoid termasuk ke dalam golongan senyawa fenolik terbesar di tumbuhan (Razimin *et al.*, 2013). Bayam merah juga mengandung

antosianin yang merupakan golongan flavonoid yang berfungsi sebagai zat pewarna (Hambali & Noermansyah, 2014). Daun bayam merah berpotensi sebagai pewarna alami alternatif yang bisa dimanfaatkan karena adanya kandungan antosianin. Hal ini sesuai pada penelitian Ramdhani (2021) bahwa ekstrak dari bayam merah dapat menjadi pewarna alami dan bisa dimanfaatkan sebagai pewarna preparat pada jaringan batang mangga.

Pertumbuhan bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) dengan hasil optimal dapat ditumbuhkan pada media tanam yang dilengkapi dengan unsur-unsur yang diperlukan. Faktor penting dalam pertumbuhan dan kualitas tanaman adalah kadar larutan nutrisi. Jika nutrisi yang digunakan berlebihan, pertumbuhan tanaman dapat terhambat, kekurangan nutrisi juga dapat menyebabkan tanaman menjadi layu dan mati (Mardhiana *et al.*, 2017)

Salah satu nutrisi yang menunjang pertumbuhan tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) adalah sulfur (S). Sulfur diperlukan oleh tanaman dalam jumlah yang sedikit dibandingkan unsur makronutrien yang lain, tetapi tetap memiliki peran penting dalam berbagai proses fisiologis (Slameto, 2023). Menurut Bui *et al.* (2015), untuk mendorong pertumbuhan dan meningkatkan biomassa tanaman, unsur hara harus ditambahkan ke media tanam. Nutrisi sulfur berperan penting dalam fisiologis tanaman, salah satunya

sebagai komponen penyusun asam amino dan beberapa jenis protein seperti sistin, metionin dan sistein (Chen & Liao, 2017).

Sulfur dapat ditemukan dalam bentuk sulfat SO_4^{2-} yang berasal dari sisa-sisa hewan dan tumbuhan, serta pada garam seperti CaSO_4 , MgSO_4 , Na_2SO_4 yang terlarut dalam tanah (Duca, 2015). Menurut Zenda *et al.* (2021), kekurangan sulfur dapat menurunkan kualitas tanaman dan hasil panen, ditandai dengan gejala awal berupa daun muda yang menguning.

Berdasarkan permasalahan yang sudah dijabarkan di atas, belum ada penelitian mengenai seberapa besar pengaruh variasi konsentrasi larutan nutrisi sulfur terhadap pertumbuhan dan kadar flavonoid serta kandungan antosianin pada bayam merah. Oleh karena itu, perlu dilakukan eksperimen dengan berbagai konsentrasi larutan nutrisi sulfur untuk mendukung pertumbuhan dan kualitas bayam merah.

B. Rumusan Masalah

1. Apakah variasi konsentrasi makronutrien sulfur berpengaruh terhadap pertumbuhan bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.)?
2. Apakah variasi konsentrasi makronutrien sulfur berpengaruh terhadap kandungan flavonoid pada bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.)?
3. Apakah variasi konsentrasi makronutrien sulfur berpengaruh terhadap produksi antosianin pada bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.)?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengukur pengaruh modifikasi konsentrasi makronutrien sulfur terhadap pertumbuhan pada bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.).
2. Mengetahui pengaruh modifikasi konsentrasi makronutrien sulfur terhadap kandungan flavonoid pada bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.).
3. Mengetahui pengaruh modifikasi konsentrasi makronutrien sulfur terhadap produksi antosianin pada bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.)

D. Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kualitas tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.). Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan informasi mengenai konsentrasi sulfur yang optimal untuk pertumbuhan serta mengetahui kadar flavonoid serta kandungan antosianin pada bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.).

2. Manfaat Praktis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai referensi penelitian di bidang fisiologi tumbuhan dan biokimia serta dapat meningkatkan keterampilan di laboratorium. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan informasi baru dalam dunia ilmu pengetahuan terkait penambahan variasi konsentrasi makronutrien terhadap kualitas dan fisiologi tanaman.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. Bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.)

Bayam merupakan tanaman herba yang dapat mencapai tinggi hingga $\pm 1,5$ meter. Ciri-ciri tanaman bayam merah yaitu memiliki daun tunggal, ujung runcing, lebar dan lunak. Batang berwarna putih-kemerahan dan lunak. Bunga bayam merah terletak di ujung batang dan ketiak daun pada rangkaian tandan. Buahnya memiliki banyak biji yang sangat kecil, bulat dan buah bayam merah berdaging. Tanaman ini berakar tunggang, berada di kedalaman tanah yang dalam dan kuat. Proses reproduksi bayam adalah generatif. Bayam merah dipanen pada saat tanaman berumur muda sekitar 40 hari setelah ditanam, dengan tinggi 20 cm (Sunarjono, 2014). Morfologi bayam merah ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.)
(Sumber: Dokumentasi peneliti)

Klasifikasi bayam merah menurut ITIS (2024)
adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Subkingdom	: Viridiplantae
Infrakingdom	: Streptophyta
Super Divisi	: Embryophyta
Divisi	: Tracheophyta
Sub Divisi	: Spermatophytina
Kelas	: Magnoliopsida
Super Ordo	: Caryophyllanae
Ordo	: Caryophyllales
Famili	: Amaranthaceae
Genus	: Amaranthus L.
Spesies	: <i>Amaranthus cruentus</i> L.

Bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) dapat tumbuh di dataran tinggi dan merupakan tumbuhan yang tumbuh sepanjang tahun. Oleh sebab itu, tanaman bayam

mudah di tanam seperti di kebun dan pekarangan rumah. Waktu awal musim kemarau adalah saat yang tepat untuk menanam bayam merah. Bayam merah akan tumbuh dengan baik di tanah dengan derajat keasaman (pH) sekitar 6 – 7. Jika pH kurang dari 6 tanaman tidak akan tumbuh subur, sedangkan pada pH di atas 7, tanaman bayam merah akan mengalami klorosis yang ditandai dengan warna putih kekuningan pada daun terutama pada daun muda. Suhu yang diperlukan untuk pertumbuhan bayam sekitar 20-32°C. Tanaman ini memerlukan banyak air, sehingga paling baik ditanam pada tanah yang subur pada awal musim kemarau. Pada tanah liat, bayam merah dapat tumbuh jika diberi pupuk kandang yang cukup sehingga dapat tumbuh subur (Saparinto, 2013).

Bayam termasuk sayur yang kaya akan gizi dan penting bagi tubuh. Dalam 100 gram bayam merah terdapat banyak nutrisi seperti karbohidrat, lemak, vitamin, protein, kalori dan mineral. Bayam sangat baik untuk orang yang menderita anemia karena mengandung zat besi. Daun bayam merah mengandung saponin dan batangnya mengandung alkaloida, flavonoid dan polifenol (Santoso, 2021).

Semua yang diciptakan Allah SWT pasti memiliki manfaat, seperti dalam Al-Qur'an surah Al-An'am ayat 99 yang berbunyi:

وَهُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ نَبَاتَ كُلِّ شَيْءٍ
فَأَخْرَجْنَا مِنْهُ خَضِرًا نُخْرِجُ مِنْهُ حَبًّا مُتَرَاكِبًا وَمِنَ النَّخْلِ
مِن طَلْعِهَا قِنْوَانٌ دَانِيَةٌ وَجَنَّاتٍ مِّنْ أَعْنَابٍ وَالزَّيْتُونَ وَالرُّمَّانَ
مُشْتَبِهًا وَغَيْرَ مُتَشَبِهٍ ۚ انْظُرُوا إِلَى ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَيَنْعِهِ ۚ إِنَّ فِي
ذَٰلِكُمْ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يُؤْمِنُونَ ﴿١٩﴾

Artinya: “Dialah yang menurunkan air dari langit lalu dengannya Kami menumbuhkan segala macam tumbuhan. Maka, darinya Kami mengeluarkan tanaman yang menghijau. Darinya Kami mengeluarkan butir yang bertumpuk (banyak). Dari mayang kurma (mengurai) tangkai-tangkai yang menjuntai. (Kami menumbuhkan) kebun-kebun anggur. (Kami menumbuhkan pula) zaitun dan delima yang serupa dan yang tidak serupa. Perhatikanlah buahnya pada waktu berbuah dan menjadi masak. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang beriman.” (Q.S. Al-An’am/6:99).

Menurut Tafsir Tahlili, ayat ini membuktikan keesaan dan kekuasaan Allah bagi mereka yang belum beriman. Allah memberi tahu manusia tentang hal-hal yang mereka butuhkan setiap hari agar mereka dapat memahami kekuatan, kebijaksanaan, dan pengetahuan

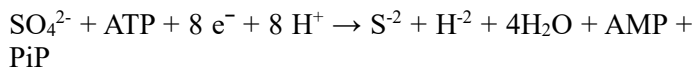
Allah. Dia menjelaskan bahwa Dia menurunkan hujan dari langit, yang menghasilkan berbagai jenis tumbuhan dengan berbagai bentuk, macam, dan rasa. Allah memerintahkan manusia untuk melihat berbagai jenis tumbuhan saat berbuah, bagaimana buahnya tersembul dari batang atau rantingnya, merekah sebagai bunga, nampak buahnya, dan akhirnya menjadi buah yang matang (Kemenag, 2024).

2. Sulfur

Sulfur merupakan makronutrien esensial untuk pertumbuhan dan fungsi tanaman. Sulfur menduduki peringkat keempat setelah nitrogen, fosfor dan kalium dengan total kandungan sulfur dalam jaringan tanaman berkisar antara 0,3 % hingga 7,6 % (Marschner, 2012). Sulfur memiliki beberapa fungsi penting bagi tanaman, yaitu: (1) sebagai komponen penyusun asam amino dan beberapa jenis protein (seperti sistin, metionin, dan sistein), (2) sebagai bagian dari hormon tanaman, vitamin (seperti tiamin dan biotin), serta enzim proteolitik, (3) berperan dalam sintesis protein dengan pembentukan ikatan formaldehida antara rantai polipeptida dalam protein, (4) terlibat dalam sintesis koenzim A yang diperlukan dalam oksidasi dan sintesis asam lemak, serta sintesis asam amino dalam siklus asam sitrat, (5) sulfur diperlukan untuk

fiksasi nitrogen dan perkembangan bintil akar pada tanaman dari famili *Leguminosae*, (6) turut berperan dalam pembentukan klorofil, dan (7) mempengaruhi sintesis karbohidrat. Sulfur diserap oleh tanaman terutama dalam bentuk ion sulfat (SO_4^{2-}) dari tanah, meskipun sebagian kecil juga diserap melalui daun dalam bentuk SO_2 (Chen & Liao, 2017).

Menurut Rai (2023), tumbuhan tingkat tinggi memperoleh sulfur terutama melalui penyerapan ion sulfat (SO_4^{2-}). Sulfur yang diserap umumnya akan diangkut ke daun terlebih dahulu, kemudian setelah melalui proses metabolisme, baru didistribusikan ke bagian tanaman yang membutuhkan. Proses asimilasi sulfat dapat terjadi di seluruh sel tanaman melalui reaksi pengikatan dan reduksi SO_4^{2-} seperti yang dijelaskan berikut:



Dalam proses pengikatan dan reduksi, sulfat diikat dan aktifkan dengan ATP untuk membentuk adenosin-5-fosfosulfat (APS) dengan bantuan enzim ATP-sulfurilase. Kemudian, melalui APS-kinase, APS bereaksi dengan ATP untuk membentuk 3-fosfo-adenosin-5-fosfosulfat (PAPS), yang selanjutnya direduksi oleh sulfat reductase menjadi sulfida. Sulfida ini digunakan untuk membentuk asam amino yang mengandung sulfur, seperti sistin, sistein dan

metionin, yang sangat penting bagi pertumbuhan tanaman. Sulfur menjadi bagian aktif melalui pembentukan gugus sulfhidril (-SH). Salah satu senyawa penting yang mengandung gugus sulfhidril dalam metabolisme koenzim-A (CoA-SH dalam bentuk tereduksi), yang berperan penting dalam metabolisme karbohidrat dan lemak. Seperti halnya unsur hara lainnya, kelebihan sulfur dapat menyebabkan efek toksik, namun tanaman yang toleran dapat mendetoksifikasi kelebihan sulfur tersebut dalam batas tertentu dengan membentuk kompleks dengan protein yang dikenal sebagai glutathione (Rai, 2023).

Sulfur di dalam tanah memiliki bentuk sulfur organik, sulfida (S^{2-}), sulfur unsur (S^0) dan sulfat (SO_4^{2-}). Sulfur organik berasal dari sisa-sisa tanaman, pupuk kandang dan mikroba tanah. Sulfat sendiri merupakan bentuk sulfur anorganik. Sulfur dapat mengendap dalam bentuk SO_4^{2-} , $CaSO_4^{2-}$, $MgSO_4^{2-}$, dan Na_2SO_4 . Sulfur juga dapat hadir di dalam tanah dengan air yang tergenang sebagai S^{2-} yang diubah menjadi SO_4^{2-} yang tersedia bagi tanaman ketika tanah mengering (Zenda *et al.*, 2021).

Nutrisi sulfur dapat mempengaruhi hasil panen sayuran dari warna, rasa dan aroma (Kopriva *et al.*, 2015). Nutrisi sulfur juga memiliki peran penting dalam fisiologi dan perlindungan tanaman terhadap stress lingkungan dan hama melalui fungsi perlindungan antioksidannya (Zenda

et al., 2021). Hal ini sesuai penelitian yang telah dilakukan oleh Bystrická *et al.* (2014) pada tanaman dengan pemupukan sulfur, yang berkolerasi positif terhadap aktivitas antioksidan, yang mana terjadi kenaikan setelah penambahan sulfur terhadap kandungan total polifenol dan aktivitas antioksidan sehingga mengonfirmasi peran sulfur dalam toleransi stress oksidatif.

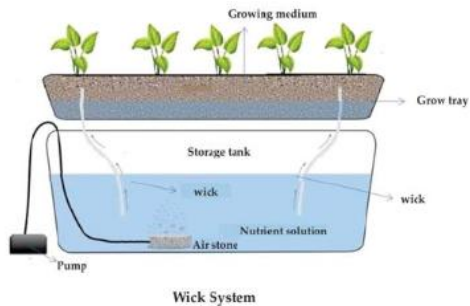
Kebutuhan sulfur pada tanaman sangat bervariasi. Nutrisi sulfur yang cukup dan seimbang dapat membantu untuk produksi, kualitas dan kesehatan tanaman. Kebutuhan sulfur oleh tanaman bervariasi dimulai dari 0,1% dan 1,5% dari berat kering tanaman (Till, 2010). Kekurangan sulfur dapat mempengaruhi kualitas tanaman sehingga berakibat pada hasil panen, biasanya gejala defisiensi sulfur terjadi pertama kali pada jaringan yang lebih muda dan terlihat sebagai daun yang menguning (Zenda *et al.*, 2021).

3. Hidroponik

Hidroponik merupakan teknik tanam tanpa tanah dengan menggunakan larutan nutrisi pertumbuhan tanamannya berumbar dari mineral atau bahan yang mengandung nutrisi seperti serat mineral, sabut, serbuk gergaji dan sebagainya (Izzuddin, 2016). Berdasarkan media tanamnya, hidroponik terbagi menjadi dua yaitu dengan kultur air dan kultur agregat. Kultur air

menggunakan sebagai media utamanya, sedangkan kultur agregat menggunakan agregat atau media padat (Purbajanti, 2017).

Hidroponik dapat dilakukan menggunakan sistem sumbu atau *wick*. Menurut Setiawan (2019), sumbu pada sistem hidroponik *wick* berfungsi sebagai penghubung antara akar dan larutan nutrisi yang terkandung dalam media. Prinsip kerja dari akan membantu akar mengangkut nutrisi ke dalam media, sumbu dipasang di bagian bawah net pot yang telah diisi dengan bibit dan media tanam *rockwool* (Heriwibawa, 2018). Disajikan gambar hidroponik dengan menggunakan sistem *wick* pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Hidroponik dengan sistem *wick*

Sumber: (Sharma *et al.*, 2018)

4. Pertumbuhan Tanaman

Pertumbuhan pada tanaman merupakan proses peningkatan ukuran yang dapat diukur, terutama melalui

perubahan tinggi dan lebar organ tanaman. Sementara itu, perkembangan merujuk pada perubahan bentuk organ tanaman seperti batang, akar, dan daun, serta mencakup proses pembentukan bunga dan buah (Hapsari *et al.*, 2018). Parameter yang digunakan dalam menentukan tingkat pertumbuhan serta perkembangan tanaman sebagai berikut:

1. Tinggi tanaman

Tinggi tanaman sering dijadikan sebagai parameter utama untuk mengamati pertumbuhan serta mengevaluasi pengaruh suatu perlakuan terhadap hasil tanaman. Peningkatan tinggi tanaman dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kondisi lingkungan, proses fisiologis, dan sifat genetik tanaman (Lakitan, 1996). Sitompul & Guritno (1995), menyatakan bahwa tinggi tanaman merupakan indikator pertumbuhan yang paling mudah diamati.

2. Jumlah daun

Salah satu kriteria untuk menilai tingkat pertumbuhan dan perkembangan tanaman adalah jumlah daun. Daun berfungsi sebagai organ utama dalam sintesis makanan karena mengandung klorofil yang memungkinkan terjadinya fotosintesis. Oleh karena itu, semakin banyak jumlah daun pada tanaman,

maka semakin luas pula area yang dapat digunakan untuk proses fotosintesis (Sitompul & Guritno, 1995).

3. Panjang akar

Akar ini berkaitan erat dengan kemampuan tanaman dalam menyerap air dan unsur hara dari tanah. Arah pertumbuhan akar dipengaruhi oleh lokasi air dan nutrisi yang tersedia di dalam tanah (Hapsari *et al.*, 2018).

4. Berat segar

Berat segar merupakan total bobot tanaman secara keseluruhan dan sering dijadikan indikator untuk menilai tingkat pertumbuhan tanaman. Berat ini mencakup seluruh bagian tanaman yang dipanen sebelum terjadi kehilangan air atau pelayuan (Lakitan, 1996). Sitompul & Guritno (1995), menyatakan bahwa berat segar dipengaruhi oleh kandungan air dalam tubuh tanaman, yang pada gilirannya sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tempat tanaman tumbuh.

5. Berat kering

Berat kering dapat dijadikan sebagai indikator dalam menilai pertumbuhan tanaman. Lakitan (1996), menyatakan bahwa semakin tinggi nilai berat kering yang dihasilkan, menunjukkan aktivitas metabolisme tanaman yang semakin optimal. Sebaliknya, berat

kering yang rendah mencerminkan proses metabolisme yang kurang efektif.

6. Indeks pertumbuhan

Indeks pertumbuhan digunakan sebagai alat ukur untuk mengamati dan menganalisis laju pertumbuhan tanaman seiring waktu. Laju pertumbuhan ini menggambarkan kecepatan pertumbuhan tanaman dalam periode tertentu, yang umumnya terjadi pada fase vegetatif, yaitu saat tanaman mengalami pertumbuhan aktif sebelum memasuki fase generatif (Sugito, 1995).

Pertumbuhan tanaman juga dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik yang berasal dari dalam tanaman itu sendiri maupun dari luar tanaman. Faktor yang berasal dari dalam tanaman disebut faktor genetik, sementara faktor yang berasal dari luar tanaman disebut faktor lingkungan atau faktor eksternal (Gardner *et al.*, 1991).

1) Faktor genetik

Faktor genetika menggambarkan potensi tanaman untuk menghasilkan produk yang diinginkan, baik dalam bentuk bagian vegetative maupun biji. Dalam mempelajari peran faktor genetika terhadap pertumbuhan tanaman, tidak hanya dilihat dari potensi hasilnya, tetapi juga sifat-sifat bawaan tanaman yang berkaitan dengan kemampuan adaptasi (toleransi)

terhadap lingkungan, seperti ketahanan terhadap kekeringan (*water stress*), salinitas, dan keracunan unsur-unsur tertentu seperti Al, Mn, dan Fe (Sufardi, 2020).

2) Faktor lingkungan

Lingkungan dapat dipahami sebagai keseluruhan kondisi dan faktor eksternal yang mempengaruhi kehidupan dan perkembangan suatu organisme, yang bisa berupa manusia, hewan atau tumbuhan. Untuk tumbuhan, faktor lingkungan yang penting umumnya dibagi menjadi dua kategori besar, yaitu iklim dan tanah. Menurut beberapa unsur iklim yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman antara lain suhu udara, curah hujan (pasokan air), kelembapan (humitas), cahaya matahari, dan komposisi udara atmosfer, sedangkan unsur tanah yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman mencakup sifat fisika, kimia, mineralogi, dan biologi tanah (Sufardi, 2020).

Sifat-sifat tersebut pada dasarnya saling terkait dan tidak dapat berdiri sendiri. Berdasarkan hal ini, beberapa ahli nutrisi tanaman berpendapat bahwa pembagian ini kurang tetapi, karena banyak unsur yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman berasal dari interaksi antara faktor iklim dan tanah (Sufardi,

2020). Menurut Fitter *et al.* (1994), faktor lingkungan yang penting bagi tumbuhan adalah sebagai berikut:

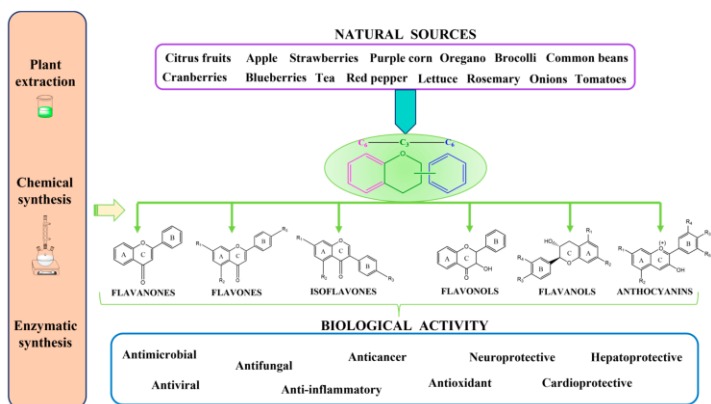
1. Temperatur
2. Suplai air
3. Sinar matahari
4. Susunan atmosfer
5. Komposisi udara (gas) dalam tanah
6. Suplai unsur hara, dan
7. Faktor biotik

5. Flavonoid

Flavonoid salah satu kelompok senyawa fenol yang memiliki struktur benzenanya tersubstitusi dengan gugus OH. Flavonoid termasuk senyawa yang terbesar di alam dan dapat ditemukan pada daun, akar, bunga, buah, kulit dan kayu. Senyawa flavonoid biasanya ditemukan pada tumbuhan tingkat tinggi. Pada tumbuhan senyawa flavonoid sekitar 5-10% (Ningsih *et al.*, 2023). Flavonoid dihasilkan dari 2 – phenyl – benzyl – γ - pyrone dengan jalur fenilpropanoid. Flavonoid bertanggung jawab dalam memberikan rasa pada biji, warna bunga, buah dan aroma (Mierziak *et al.*, 2014).

Flavonoid memiliki manfaat farmakologi sebagai anti-virus, anti penuaan, antioksidan, anti-inflamasi, dan sebagainya (Hepni, 2019). Subkelompok flavonoid diantaranya yaitu flavanol, flavon, flavanon, flavonol,

flavanonol atau antosianin, katekin dan chalcone (Panche *et al.*, 2016). Berdasarkan sumbernya, flavonoid dapat diperoleh secara alami dari tumbuhan dengan menggunakan metode ekstraksi seperti maserasi. Berdasarkan gambar dibawah dilihat mekanisme flavonoid dapat diperoleh, ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Sumber flavonoid alami, metode perolehannya dan aktivitas biologis
Sumber: (Silva, 2021)

Menurut Rehan (2021) proses pembentukan senyawa flavonoid melalui beberapa langkah sebagai berikut:

1. Pembentukan asam shikimat

Jalur shikimat melibatkan beberapa enzim dan enam reaksi langkah untuk biosintesis asam shikimat, dimulai dengan reaksi kondensasi aldol dari asam

fosfoenolpiruvat dan D-eritrosa 4-fosfat. Asam korismat merupakan produk akhir dari jalur shikimat, diubah menjadi asam amino fenilalanin melalui enzim prephenate aminotransferase (PhAT) dan arogenat-dehidratase (ADT) (Tariq *et al.*, 2023).

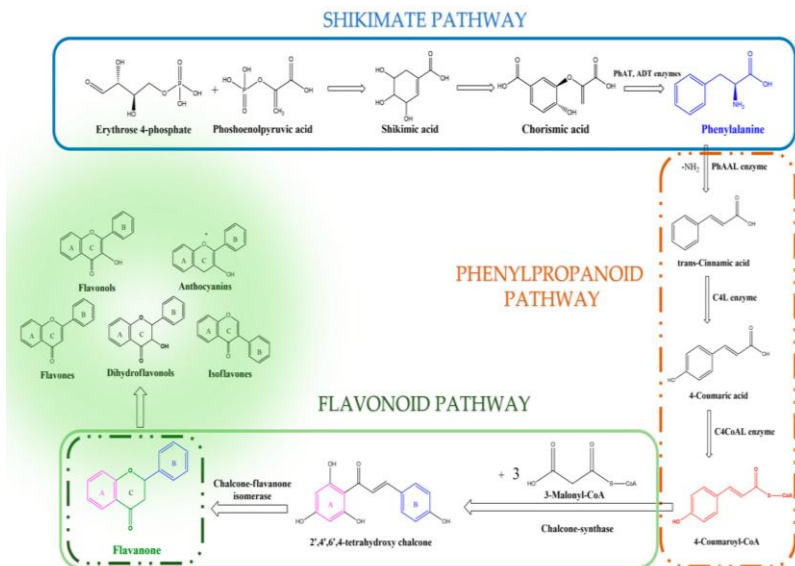
2. Jalur fenilpropanoid

Jalur fenilpropanoid dimulai dari asam amino fenilalanin, dengan adanya fenilalanin-amonia liase (PhAAL), fenilalanin didesaminasi untuk membentuk asam trans-sinamat menjadi asam 4-kumarat. Pada 4-kumarat-CoA-ligase (C4CoAL) berperan penting dalam produksi kerangka kumarin dan inisiasi jalur flavonoid. Reaksi kondensasi antara 4-coumaroyl-CoA dengan tiga molekul 3-malonyl-CoA kemudian enzim chalcone-synthase menghasilkan 2',4,6',4-tetrahydroxy chalcone. Chalcone-flavanone isomerase mengalami isomerisasi menjadi flavanone yang akan memulai jalur flavonoid dan menghasilkan berbagai kelas flavonoid.

3. Jalur flavonoid

Flavonoid merupakan turunan dari 2-fenilbenzo- γ - piron (2-fenil-3,4-dihidro-2H-1-benzopiran-4-on) yang termasuk dalam keluarga besar senyawa polifenol alami dengan tipe struktur C₃-C₆-C₃. Pada struktur dasarnya mengandung dua cincin benzene

aromatil (A dan B) yang dihuubungkan oleh cincin pirana heterosiklik (C) yang mengandung atom oksigen. Kalkon yang tidak mengandung cincin ketiga (C) secara umum dianggap sebagai prekursor berbagai kelas flavonoid. Flavonoid ditemukan pada tanaman dalam bentuk bebas (aglikon) atau terikat pada gula (flavonoid terglukosilasi). Gambar jalur biosintesis flavonoid ditunjukkan pada Gambar 2.4.

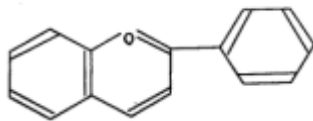


Gambar 2. 4 Jalur biosintesis flavonoid
Sumber: (Nabavi *et al.*, 2020)

6. Antosianin

Antosianin berasal dari Bahasa Yunani yang berarti “bunga biru” merupakan golongan flavonoid yang

memiliki peran zat warna alami yang terdiri dari dua cincin aromatik benzene (C_6H_6) di dalam struktur utamanya (Hambali *et al.*, 2014). Antosianin sebagai senyawa terapeutik alami karena mereka memiliki kemampuan untuk menekan neuroinflamasi dan mendukung aktivitas antioksidan, aktivitas antimikroba, aktivitas antitumor, dan fungsi kekebalan tubuh (Smeriglio *et al.*, 2016). Struktur dasar antosianin adalah garam flavilium 2-fenil-benzofirilium dan karakteristik kerangka karbon antosianin adalah ($C_6C_3C_6$) (Eka *et al.*, 2014). Struktur flavilium antosianin dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Struktur Flavilium Antosianin
Sumber: (Trojak & Skowron, 2017)

Antosianin terserap pada panjang gelombang 250-700 nm, dengan puncak utamanya sebagai glikon (gugus gula) berada di sekitar 490-535 nm dan dua puncak sebagai antosianin (aglikon) berada di sekitar 278 nm. Antosianin pada dasarnya dapat menyerap cahaya pada daerah serapan ultraviolet (UV) sampai violet tetapi lebih kuat di bagian spektrum yang terlihat (Mahmudatussa *et al.*, 2014)

Sifat hidrofilik pada antosianin memungkinkannya larut dalam air. Selain itu, antosianin dapat larut dalam pelarut organik bersifat polar seperti etanol, methanol, kloroform dan aseton (Priska *et al.*, 2018). Penambahan asam organik seperti asam sitrat, asam klorida atau asam asetat dapat meningkatkan stabilitas antosianin dalam air maupun pelarut polar yang bersifat netral atau basa (Sipahli *et al.*, 2017)

7. Ekstraksi

Metode ekstraksi digunakan untuk memisahkan suatu komponen dari campuran dengan menggunakan sejumlah pelarut. Prinsipnya adalah komponen zat berpindah ke dalam pelarut, perpindahan dimulai pada lapisan antar muka dan kemudian berdifusi ke dalam pelarut (Maulida *et al.*, 2010). Adapun metode ekstraksi yang dapat digunakan sebagai berikut:

a. Cara Dingin

1) Maserasi

Prosedur ekstraksi sederhana yang dikenal sebagai maserasi melibatkan penggunaan beberapa pelarut melalui pengadukan berulang-ulang atau pengocokan pada suhu kamar (Departemen Kesehatan RI, 2000). Metode ini memiliki keunggulan yang mana ekstraksi akan

memastikan zat aktif pada saat diekstraksi tidak rusak (Chairunnisa *et al.*, 2019).

2) Perkolasi

Ekstraksi yang umum dilakukan pada suhu ruangan dengan pelarut yang selalu baru disebut kolasi (Departemen Kesehatan RI, 2000). Prinsip utama teknik ini adalah simplisa dimasukan ke dalam perkolator dan pelarut dialirkan melalui simplisa dari atas ke bawah yang memungkinkan zat terlarut mengalir ke bawah dan ditampung. Metode ini memakan waktu yang lama dan membutuhkan banyak pelarut.

b. Cara Panas

1) Refluks

Refluks adalah ekstraksi pelarut dengan jumlah pelarut terbatas dan temperatur titik didih tertentu selama pendinginan balik. Secara umum, residu pertama diulang hingga tiga sampai lima kali untuk mencapai proses ekstraksi sempurna (Departemen Kesehatan RI, 2000).

2) Sokhlet

Sokhlet adalah ekstraksi dengan pelarut yang selalu baru dan menggunakan alat khusus. Karena penndingan balik ini memungkinkan ekstraksi berkesinambungan dengan jumlah

pelarut yang ideal konstan (Departemen Kesehatan RI, 2000). Metode sokhlet menggunakan prinsip pemanasan dan penggunaan pelarut dengan lebih efisien karena proses perputaran pelarut membasahi sampel setiap saat. Metode ini sangat cocok untuk senyawa yang tidak terpengaruh oleh panas (Hasrianti, 2016).

3) Digesti

Metode ekstraksi digesti secara kinetic (dengan pengadukan terus-menerus) pada suhu lebih tinggi dari suhu ruangan. Prosedur ini biasanya dilakukan pada suhu 40-50°C. teknik ini sangat cocok untuk bahan yang mengandung zat aktif yang tahan panas (Departemen Kesehatan RI, 2000). Pelarut dan zat terlarut dalam sampel akan berinteraksi lebih sering selama proses digestif, meningkatkan laju perpindahan senyawa dan menghasilkan ekstrak banyak (Supomo, 2019).

4) Infus

Ekstraksi infus melibatkan penggunaan air sebagai pelarut. Perbandingan ukuran antara sampel dan pelarut adalah 1000 ml. Selama proses infudasi sampel dipanaskan dalam wadah panci dengan air seperlunya hingga suhu pelarut air berada di titik 90°C sambil diaduk. Saring

menggunakan kain flannel selagi panas, lalu tambahkan air secukupnya melalui ampas untuk mencapai volume yang diinginkan, saring bahan yang mengandung minyak esensial (Sri, 2014).

5) Dekok

Proses ekstraksi dekoksi dan ekstraksi infus hampir sama. Satu-satunya hal yang membedakan adalah waktu infus yang lebih lama, harus lebih dari 30 menit dan suhu pelarut yang sama dengan titik didih air. Untuk melakukannya sampel diambil dan ditambahkan air dengan perbandingan 1:10. Kemudian panaskan dalam panci yang terbuat dari baja tahan karat atau panci yang terbuat dari enamel selama 30 menit. Dilakukan dengan kain flannel yang dipanaskan, kemudian ditambahkan air panas melalui ampas untuk mencapai volume yang diinginkan (Sri, 2014).

A. Kajian Penelitian Relevan

Tabel 2. 1 Penelitian yang relevan

No	Judul/Peneliti/Tahun	Metode	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
1.	Tanggap Pertumbuhan dan Warna Daun Pucuk Merah (<i>Syzygium oleana</i>) Pada Dosis Pupuk MgSO ₄ dan Tingkat Naungan/ Emira Dyah Larasati, Euis Elih Nurlaelih dan Sitawati/2018	Pada penelitian ini menggunakan metode Rancangan Petak Tersarang 2 faktor dengan 3 kali ulangan. Dalam petak utama terdapat 4 taraf, yaitu: tanpa pupuk MgSO ₄ , dosis pupuk MgSO ₄ 2 gram per poly bag, dosis pupuk MgSO ₄ 4 gram per poly bag dan perlakuan naungan cahaya.	Hasil penelitian diperoleh pada penelitian ini menunjukkan bahwa ada hubungan nyata antara perlakuan naungan dan dosis MgSO ₄ . Berbagai perlakuan MgSO ₄ meningkatkan jumlah daun	Gap penelitian ini adalah terletak pada metode yang digunakan Rancangan Petak Tersarang dan tanaman yang diuji yaitu daun pucuk merah. Terdapat perbedaan pada penelitian terutama salah satunya adanya perlakuan naungan

Tabel 2. 1 Penelitian yang relevan

No	Judul/Peneliti/Tahun	Metode	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
2.	Pengaruh Nutrisi Ab Mix Terhadap Pertumbuhan Tanaman Bayam Merah (<i>Amaranthus tricolor</i> L.) Secara Hidroponik/Lilik Hidayanti dan Trimin Kartika/ 2019	Studi ini menggunakan rancangan acak lengkap dengan 5 perlakuan dan 4 ulangan. Pada penelitian menggunakan perbedaan dosis nutrisi AB mix dan parameter pada penelitian ini adalah jumlah daun, tinggi tanaman dan berat basah.	Hasil dari penelitian ini adalah perbedaan nutrisi AB mis mempengaruhi parameter pertumbuhan seperti tinggi jumlah daun, tanaman dan berat basah tanaman pada bayam merah	Gap penelitian dari penelitian ini terdapat pada perlakuan nutrisi yang digunakan dan adanya penambahan parameter yang diuji pada penelitian yang akan dilakukan.
.	Pertumbuhan dan kandungan Flavonoid Bayam Merah (<i>Alternanthera amoena</i> Voss) pada Media Tanam dengan Pemberian Asam Humat dan	Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap yang terdiri dari 2 faktor dengan 4 sisi. Data analisis dengan <i>Analysis of Variance</i>	Pada penelitian ini diperoleh hasil bahwa pemberian pupuk urea dapat mempengaruhi dalam peningkatan berat basah dan kering. Sedangkan pemberian urea dan asam humat	Gap penelitian dari penelitian ini yaitu penggunaan variasi nutrisi dan penambahan

Tabel 2. 1 Penelitian yang relevan

No	Judul/Peneliti/Tahun	Metode	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
	Urea/Rezza Adianti, Elly Proklamasiningsih dan Nurtjahjo Dwi Sasongko/2019	(ANOVA) dan kemudian dilakukan uji lanjutan dengan uji BNT.	dengan dosis yang berbeda tidak mempengaruhi pada berat basah dan kering serta kandungan flavonoid pada bayam merah.	parameter uji antosianin pada penelitian yang akan dilakukan.
4.	Pengaruh Kadar Nutrisi dan Media Tanam Terhadap Pertumbuhan Bayam Merah (<i>Alternanthera amoena</i> voss) Sistem Hidroponik/Rizza Wijaya, Budi Hariono/Tri Wahyu Saputra/2020	Dalam penelitian ini, metode rancangan acak lengkap (RAL) digunakan dengan 2 komponen yaitu nutrisi dan media tanam	Studi ini menemukan bahwa kadar nutrisi dan media tanam meningkatkan jumlah daun, luas daun, tinggi tanaman dan berat segar.	Gap penelitian dari penelitian ini yaitu penggunaan variasi nutrisi dan adanya penambahan parameter uji flavonoid dan antosianin pada penelitian yang akan dilakukan.

Tabel 2. 1 Penelitian yang relevan

No	Judul/Peneliti/Tahun	Metode	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
5.	Pertumbuhan, Hasil dan Pigmen Bayam Merah (<i>Amaranthus tricolor</i> L.) dengan Pupuk Nitrogen dan Pupuk Kandang Ayam/Yuniar Nur Afida, Koesrihartati dan Syukur Makmur Sitompul/2020	Penelitian ini menggunakan RAK (Rancangan Acak Kelompok) dengan 3 ulangan yang mencakup perlakuan 2 faktor.	Studi ini menemukan bahwa parameter pertumbuhan seperti berat segar, berat kering, berat segar total, berat konsumsi dan luas daun dipengaruhi oleh perwatan pupuk nitrogen dan kandang ayam. Namun, perwatan pupuk nitrogen kandang ayam tidak berdampak pada peningkatan pigmen taanaman seperti antosianin, karotenoid dan klorofil.	Gap penelitian ini yaitu perlakuan variasi nutrisi yang digunakan, pada penelitian yang akan menggunakan variasi makronutrien Hoagland sulfur.
6.	Pertumbuhan dan Kandungan Antosianin Tanaman Bayam Merah (<i>Alternanthera amoena</i> Voss) Setelah Perlakuan Limbah Teh Pada Lama	Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang mencakup 5 ulangan dan tiga perlakuan. Panjang akar, jumlah daun, tinggi tanaman, berat kering,	Pada penelitian ini diperoleh hasil bahwa tanaman bayam merah diberi perlakuan dengan limbah teh selama satu minggu mengalami pengimposan dan berpengaruh pada	Gap penelitian pada penelitian ini yaitu terdapat pada perlakuan yang digunakan, pada

Tabel 2. 1 Penelitian yang relevan

No	Judul/Peneliti/Tahun	Metode	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
	Pengomposan Yang Berbeda/Dian Rosiana Fatikasari, Endah Dwi Hastuti dan Sri Haryanti/2022	berat basah dan rasio tajuk serta nilai antosinin dihitung dalam penelitian ini. Analisis data yang digunakan adalah Analisa Variasi (ANOVA) kemudian dilakukan uji lanjutan yaitu <i>Duncan Multiple Range Test</i> (DMRT) pada taraf signifikansi 95%.	parameter pertumbuhan dan kandungan antosianin.	penelitian yang akan dilakukan menggunakan variasi makronutrien hoagland sulfur
7.	Growth Response and Biochemistry of Red Spinach (<i>Amaranthus tricolor</i> L.) with the Application of Liquid Organic Fertilizer <i>Lemna</i> sp./Ambar Pratiwi, Okira Roka	Rancangan acak lengkap (RAL) digunakan pada penelitian ini yang terdiri dari 3 kali ulangan dan ti3 perlakuan. Perlakuan kontrol, perlakuan pupuk 5%, dan perlakuan pupuk 10%.	Hasil penelitian ini bahwa pemberian POC <i>Lemna</i> sp. dengan konsentrasi 5% dapat meningkatkan pertumbuhan tinggi tanaman (44,50 cm), batang bayam (<i>A. tricolor</i> L.), diameter batang (3,13 mm), dan flavonoid (7,86 mg QE/100 g).	Gap penelitian dari penelitian ini yaitu terdapat pada perlakuan nutrisi yang digunakan, pada penelitian yang akan

Tabel 2. 1 Penelitian yang relevan

No	Judul/Peneliti/Tahun	Metode	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
	Aji dan Sumbudi/2022	Variabel penelitian meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, diameter batang, luas daun, vitamin A, klorofil, dan flavonoid		dilakukan menggunakan variasi makronutrien sulfur dan penambahan parameter uji antosianin
8.	Metabolite Analysis of Lettuce in Response to Sulfur Nutrition/ Jung-Sung Chung, Hyeong-Cheol Kim, Su-Min Yun, Hyun-Jin Kim, Cheol-Soo Kim and Jeung-Joo Lee/ 2022	Penelitian ini dilakukan perlakuan dengan dua konsentrasi sulfur pada larutan nutrisi modifikasi Hoagland yang berbeda (16 μ M dan 2 mM) dalam hidroponik semprot. Berat segar, klorofil,	Pada penelitian diperoleh hasil bahwa pada parameter berat segar, klorofil, dan kandungan karotenoid selada lebih tinggi pada kelompok perlakuan sulfur konsentrasi tinggi dibandingkan pada kelompok perlakuan sulfur konsentrasi rendah. Dalam analisis karakteristik akar	Pada penelitian ini memiliki pembeda dalam hal sampel yang digunakan, pada penelitian yang dilakukan menggunakan bayam merah dan

Tabel 2. 1 Penelitian yang relevan

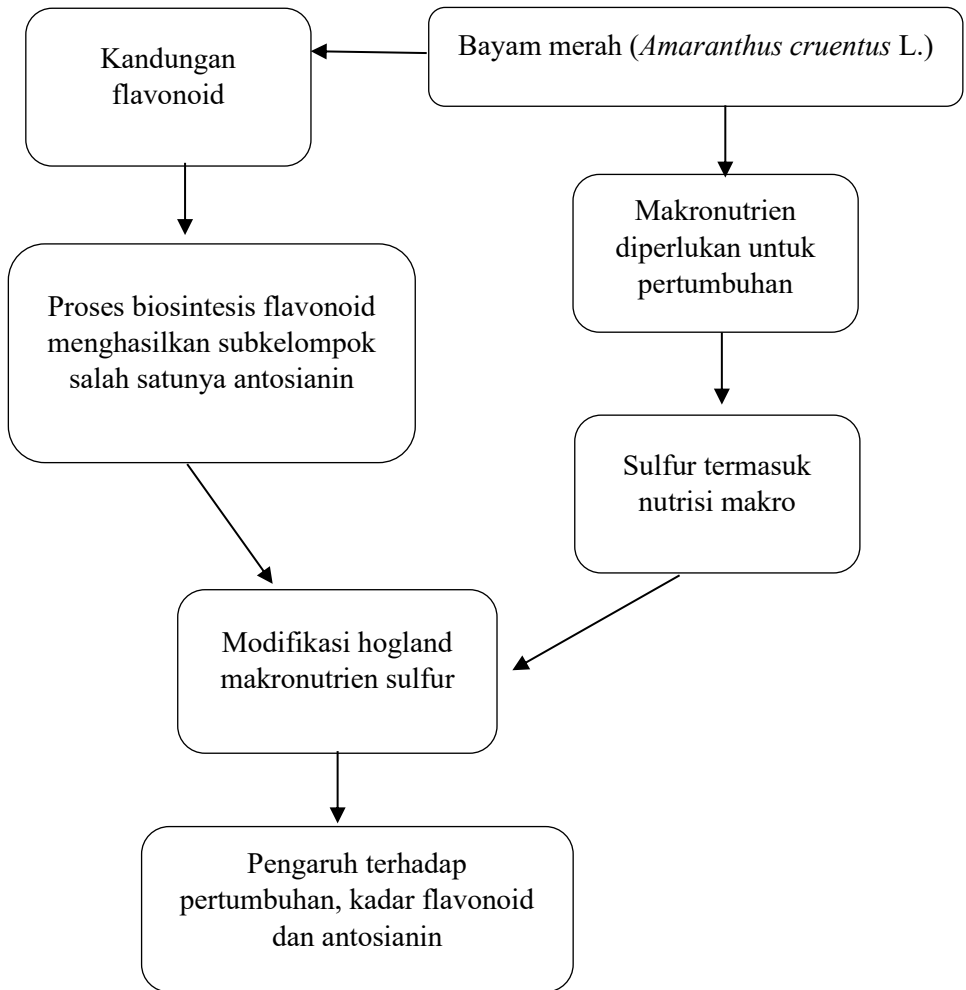
No	Judul/Peneliti/Tahun	Metode	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
		dan kandungan karotenoid selada daun selada dianalisis. Morfologi akar diperiksa menggunakan program WinRHIZO. Metabolit dievaluasi secara komparatif dengan bantuan LC-MS dan GC-MS. Parameter uji dalam penelitian ini adalah pertumbuhan dan kandungan metabolit pada selada	selada, perlakuan dengan konsentrasi sulfur tinggi memiliki efek yang lebih positif pada perkembangan akar selada dibandingkan perlakuan dengan konsentrasi sulfur rendah. Selain itu, analisis metabolomik berbasis massa menunjukkan bahwa kandungan metabolit selada berbeda secara signifikan menurut perlakuan sulfur konsentrasi rendah dan tinggi.	penambahan parameter uji kandungan flavonoid dan antosianin
9.	The Effect of Sulfur (S)-Silicate (Si) Fertilizer Application on The Growth, Yield and Physiochemical	Penelitian ini menggunakan rancangan acak kelompok dengan 2 faktor perlakuan, yaitu varietas kedelai dan	Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian pupuk Si-S pada tanaman kedelai varietas Dena dapat meningkatkan produktivitas dalam	Gap penelitian dari penelitian ini yaitu tanaman yang digunakan

Tabel 2. 1 Penelitian yang relevan

No	Judul/Peneliti/Tahun	Metode	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
	Properties of Two Soybean Varieties/Slameto/2023	konsentrasi pupuk Si-S. Adapun taraf perlakuan untuk varietas kedelai yang digunakan adalah varietas Devon dan Dena. Data dianalisis secara statistik dan diolah menggunakan uji <i>Duncan's multiple range test</i> .	hal jumlah polong. Pemberian pupuk sulfur-silikat pada dua kultivar kedelai Devon dan Dena mempengaruhi kadar flavonoid, varietas Devon dengan kandungan flavonoid tertinggi yaitu 4,6 mg/g.	merupakan bayam merah yang menjadi variabel dari penelitian yang akan dilakukan dan variasi nutrisi yang digunakan adalah makronutrien sulfur serta penambahan parameter uji yaitu uji kandungan antosianin

B. Kerangka Berfikir

Kerangka berfikir dalam penelitian ini dapat digambarkan dalam bagan sebagai berikut:



Gambar 2. 6 Bagan alir kerangka berfikir

C. Hipotesis

Dalam penelitian ini berikut hipotesis statistik yang dapat diperoleh tiga hipotesis:

H₀: Tidak ada pengaruh modifikasi konsentrasi makronutrien sulfur terhadap pertumbuhan bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.)

H₁: Ada pengaruh modifikasi konsentrasi makronutrien sulfur terhadap pertumbuhan bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.)

H₀: Tidak ada pengaruh modifikasi konsentrasi makronutrien sulfur terhadap kandungan flavonoid pada bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.)

H₁: Ada pengaruh modifikasi konsentrasi makronutrien sulfur terhadap kandungan flavonoid pada bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.)

H₀: Tidak ada pengaruh modifikasi konsentrasi makronutrien sulfur terhadap kandungan antosianin pada bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.)

H₁: Ada pengaruh modifikasi konsentrasi makronutrien sulfur terhadap kandungan antosianin pada bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.)

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimental dengan pendekatan kuantitatif, di mana kondisi atau perlakuan tertentu dirancang secara terkontrol untuk mengkaji pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen. Data yang diperoleh bersifat numerik dan dianalisis menggunakan teknik statistik guna menjawab rumusan masalah penelitian (Anshori *et al.*, 2019).

B. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan dari bulan Januari – April 2025 di Laboratorium Ekologi Kampus 2 dan rumah kaca (*Greenhouse*) Fakultas Sains dan Teknologi Kampus 2 UIN Walisongo Semarang yang berlokasi di Jl. Prof. Dr. Hamka, Tambakaji, Kec. Ngaliyan, Kota Semarang, Jawa Tengah, Indonesia, 50185.

C. Subjek Penelitian dan Teknik Sampling

Subjek penelitian adalah objek atau individu yang menjadi fokus pengamatan peneliti. Dalam penelitian ini, tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) digunakan sebagai subjek penelitian. Penentuan subjek dalam penelitian kuantitatif dilakukan melalui teknik sampling (Nasrullah *et al.*,

2023). Penelitian ini menggunakan metode *Simple Random Sampling* (Acak Sederhana), yaitu teknik di mana setiap anggota populasi memiliki kesempatan yang sama untuk terpilih sebagai sampel. Dalam metode ini, peneliti menganggap semua individu dalam populasi bersifat homogen atau identik, sehingga pengambilan sampel dilakukan secara acak (Machali, 2021).

D. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu menggunakan percobaan RAL (Rancangan Acak Lengkap) yang terdiri dari 5 perlakuan dengan berbagai tingkat kadar makronutrien. Selanjutnya, untuk menentukan jumlah pengulangan, digunakan rumus sebagai berikut:

$$t(n - 1) \geq 15$$

Keterangan:

t = banyaknya perlakuan

n = banyaknya ulangan

$$t(n - 1) \geq 15$$

$$5(n - 1) \geq 15$$

$$5n - 5 \geq 15$$

$$4n \geq 20$$

$$n = 20/5$$

$$n = 4$$

Penelitian ini melibatkan 5 perlakuan dan 4 kali ulangan sehingga diperoleh total 20 satuan percobaan, dimana setiap satuan percobaan terdiri dari 3 tanaman sehingga total tanaman yang digunakan dalam penelitian adalah 60 tanaman. Rancangan unit eksperimen yang digunakan dalam penelitian ini ditampilkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Rancangan unit percobaan

Perlakuan	Ulangan			
	1	2	3	4
S₀	S ₀ 1	S ₀ 2	S ₀ 3	S ₀ 4
S₁	S ₁ 1	S ₁ 2	S ₁ 3	S ₁ 4
S₂	S ₂ 1	S ₂ 2	S ₂ 3	S ₂ 4
S₃	S ₃ 1	S ₃ 2	S ₃ 3	S ₃ 4
S₄	S ₄ 1	S ₄ 2	S ₄ 3	S ₄ 4

Keterangan:

- Perlakuan S₀ = Pemberian larutan Hoagland dengan kadar makronutrien sulfur 0%
- Perlakuan S₁ = Pemberian larutan Hoagland dengan kadar makronutrien sulfur 50%
- Perlakuan S₂ = Pemberian larutan Hoagland dengan kadar makronutrien sulfur 100%
- Perlakuan S₃ = Pemberian larutan Hoagland dengan kadar makronutrien sulfur 150%
- Perlakuan S₄ = Pemberian larutan Hoagland dengan kadar makronutrien sulfur 200%

E. Variabel Penelitian

Menurut Arikunto (2014) variabel merupakan segala sesuatu yang dilakukan dengan menyelidiki dan mengumpulkan data untuk menghasilkan kesimpulan oleh peneliti. Pada penelitian ini terdapat tiga variabel yaitu variabel bebas (independen), variabel terikat (dependen) dan variabel kontrol.

1. Variabel bebas

Menurut Anshori *et al.* (2019), variabel bebas adalah variabel yang memengaruhi atau menyebabkan perubahan pada variabel terikat. Dalam penelitian ini, variabel bebas adalah modifikasi larutan Hoagland pada unsur hara makro sulfur (S), yang diberikan dalam bentuk senyawa MgSO_4 dengan variasi yaitu 0%, 50%, 100%, 150%, dan 200%. Untuk perlakuan dengan konsentrasi 0% dan 50%, ditambahkan senyawa MgCl_2 guna memenuhi kebutuhan unsur magnesium (Mg) yang tidak tercukupi akibat penurunan konsentrasi MgSO_4 .

2. Variabel terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau disebabkan oleh variabel bebas (Anshori *et al.*, 2019). Variabel terikat pada penelitian ini yaitu pertumbuhan dan hasil tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) dengan parameter pengamatan berupa tinggi tanaman, jumlah daun, panjang akar, berat

basah tanaman, berat kering tanaman, indeks pertumbuhan, analisis kandungan flavonoid, dan uji kadar antosianin.

3. Variabel kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang dibuat konstan sehingga faktor luar yang tidak diteliti tidak mempengaruhi variabel bebas. Variabel kontrol juga adalah variabel yang dapat dikendalikan (Machali, 2021). Variabel kontrol dari penelitian ini adalah suhu, kelembapan udara, intensitas cahaya, TDS (*Total Dissolved Solid*) dan pH larutan nutrisi.

F. Prosedur Penelitian

1. Alat dan bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu gelas beaker, gelas ukur, spatula, mikropipet 1000 μL , mikro tip warna biru, nampan, hotplate, netpot, impraboard, neraca analitik, kaca arloji, TDS, pH meter, hygrometer thermometer, lux meter, pinset, gunting, penggaris, box plastik, spektrofotometri UV-Vis, kuvet kaca, pipet tetes, tabung reaksi, erlenmeyer, vortex, pisau scalpel handle, botol vial 10 mL dan blender.

Penelitian ini menggunakan bahan berupa benih bayam merah Merk Cap Panah Merah varietas Mira No. SK Kementan 094/Kpts/SR.120/D.2.7/9/2013, KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, KCl, H_3BO_3 ,

MnSO₄.H₂O, ZnSO₄.7H₂O, CuSO₄.5H₂O, H₂MoO₄, FeEDTA, MgCl, *rockwool*, kain flanel, akuades, *aluminium foil*, tisu, kertas saring, plastik *wrapping*, etanol 70%, quersetin, AlCl₃, natrium asetat, HCl, KCl, Kalium Hidroksida 10%, dan Asam Fosfat 10%.

2. Pemilihan benih

Sebelum proses persemaian, benih perlu diuji terlebih dahulu, salah satunya melalui metode perendaman dalam air. Benih yang tenggelam menandakan benih yang baik atau bernas, sedangkan benih yang mengambang dianggap kurang baik. Benih direndam selama 1 jam, kemudian benih yang mengambang dipisahkan, dan hanya benih yang tenggelam yang digunakan untuk proses penyemaian.

3. Penyemaian benih

Benih bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) yang telah direndam kemudian disemaikan pada media *rockwool* yang telah dipotong menggunakan gergaji besi dengan ukuran 3 x 3 cm². Potongan *rockwool* tersebut diletakkan di atas nampan plastik, lalu disiram secara merata menggunakan akuades hingga lembap. Setelah itu, *rockwool* yang telah dibasahi diberi lubang menggunakan tusuk gigi, lalu benih ditanam ke dalam lubang tersebut. Media semai kemudian disimpan di ruang gelap selama 1 hari. Setelah benih mulai berkecambah, benih dipindahkan

ke tempat yang teduh atau terkena sedikit cahaya matahari selama 14 hari, hingga muncul 2 – 3 helai daun. Untuk menjaga kelembapan media, penyiraman dilakukan setiap hari selama masa persemaian agar benih tidak mati.

4. Pembuatan larutan stok nutrisi

Pembuatan larutan stok dilakukan di Laboratorium Kultur Jaringan, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Walisongo Semarang. Proses dimulai dengan menimbang seluruh bahan dasar nutrisi sesuai dengan massa yang telah ditentukan. Selanjutnya, bahan yang telah ditimbang dilarutkan dalam akuades dan diaduk hingga seluruh komponen larut secara sempurna. Masing-masing larutan nutrisi yang telah larut kemudian dimasukkan ke dalam botol kultur terpisah, dan disimpan di tempat yang terlindung dari paparan sinar matahari guna mencegah degradasi senyawa. Larutan stok yang telah disiapkan dapat digunakan sesuai kebutuhan dan takaran yang telah ditentukan. Bahan dasar serta konsentrasi larutan nutrisi yang digunakan untuk masing-masing perlakuan disajikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Komposisi modifikasi larutan nutrisi Hoagland (Taiz *et al.*, 2014)

Senyawa	Berat Molekul (g mol-1)	Konsentrasi Larutan Stok (gL-1)	Konsentrasi Perlakuan Sulfur (gL-1)					Volume yang digunakan (mL L-1)
			0%	50%	100%	150%	200%	
Makronutrien								
KNO ₃	101,10	101,10	101,10	101,10	101,10	101,10	101,10	6,0
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	236,16	236,16	236,16	236,16	236,16	236,16	236,16	4,0
NH ₄ H ₂ PO ₄	115,08	115,08	115,08	115,08	115,08	115,08	115,08	2,0
MgSO ₄ .7H ₂ O	246,48	246,48	0	123,24	246,48	369,72	492,96	1,0
MgCl ₂ *	95,211	95,211	95,211	47,605	0	0	0	1,0
Mikronutrien								
KCl	74,55	1,864	1,864	1,864	1,864	1,864	1,864	2,0
H ₃ BO ₃	61,83	0,773	0,773	0,773	0,773	0,773	0,773	
MnSO ₄ .H ₂ O	169,01	0,169	0,169	0,169	0,169	0,169	0,169	
ZnSO ₄ .7H ₂ O	287,54	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	
CuSO ₄ .5H ₂ O	249,68	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	
H ₂ MoO ₄ (85% MoO ₃)	161,97	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	

Tabel 3. 2 Komposisi modifikasi larutan nutrisi Hoagland (Taiz *et al.*, 2014)

NaFeDTPA (10% Fe)	468,20	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	1,0
-------------------	--------	------	------	------	------	------	------	-----

Keterangan:

- * = Modifikasi resep Hoagland untuk perlakuan variasi konsentrasi sulfur pada MgSO_4 berkurangnya Mg^{2+} pada subjek penelitian dengan perlakuan konsentrasi sulfur 0% dan 50%. Maka ditambahkan sebagai substitusi sumber Mg^{2+} untuk kedua perlakuan tersebut guna mengantisipasi galat (bias) penelitian

5. Penanaman bibit

Bibit bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) siap ditanam setelah masa persemaian selesai, ditandai dengan munculnya 2 – 3 helai daun sempurna. Bibit dengan kriteria tersebut dipilih sebagai sampel untuk penelitian. Selanjutnya, *rockwool* yang berisi bibit dimasukkan secara berurutan ke dalam net pot yang telah dilengkapi dengan kain falnel. Net pot kemudian ditempatkan pada lubang sistem hidroponik berbahan impraboard, yang sebelumnya telah diisi larutan nutrisi makro dan mikro sesuai dengan konsentrasi perlakuan. Kain flannel dipastikan menyentuh permukaan larutan nutrisi agar media tetap lembap. Untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman secara optimal serta mencegah pertumbuhan kerdil, instalasi hidroponik diletakkan di lokasi yang mendapatkan pencahayaan matahari penuh.

6. Pemeliharaan tanaman

1. Pengontrolan nutrisi

Pada awal penanaman, kadar nutrisi dan nilai pH masing-masing perlakuan diukur, dan dilakukan pengecekan nutrisi dan pengukuran pH nutrisi seminggu sekali. Pengukuran kadar nutrisi dilakukan dengan menggunakan alat TDS meter, yang mengukur jumlah partikel yang terlarut dalam satuan ppm (*parts per million*). Penggunaan pH Up (Kalium Hidroksida

10%) & Down (Asam Fosfat 10%) dilakukan untuk menambahkan atau mengurangi nilai pH nutrisi menggunakan larutan yang bertujuan agar pH tetap berada pada batas kisaran yang telah ditentukan, dimana pH optimum tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) berada pada kisaran pH 6-7 (Saparinto, 2013). Selain itu, dilakukan juga penambahan volume nutrisi tiap seminggu sekali ketika kadar nutrisi berkurang $\geq 5\%$ dari volume awal 4 – 5 liter air nutrisi dalam box hidroponik.

2. Pengukuran faktor lingkungan

Pengukuran dilakukan sebagai penyerta kondisi lingkungan saat melakukan pengamatan, yaitu dengan mengukur suhu, kelembapan udara, dan intensitas cahaya tiap tiga hari sekali pada waktu pagi (08:00), siang (12:00), dan sore (15.00) dengan meletakkan alat pengukur di sekitar lingkungan tempat tumbuh tanaman atau *Greenhouse*.

3. Masa panen tanaman

Jangka waktu panen tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) berkisar antara 25-35 hari setelah tanam (Sunarjono, 2008). Pada penelitian ini, dilakukan pengamatan tiap seminggu setelah tanam (MST) hingga tanaman berusia 35 hari (1 MST-5 MST) dengan pengukuran secara langsung terhadap

pertumbuhan tanaman sesuai dengan parameter yang diamati.

7. Parameter penelitian

Terdapat beberapa parameter pengamatan yang digunakan untuk menentukan pertumbuhan dan kualitas tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) yaitu sebagai berikut:

1. Tinggi tanaman (cm)

Setiap 7 hari sekali (1 MST – 5 MST), tinggi tanaman diukur dengan penggaris dari pangkal batang (permukaan media tanam) hingga ujung daun tertinggi data yang dikumpulkan pada waktu hari ke-7, ke-14, ke-21, dan ke-35.

2. Jumlah daun (helai)

Pengamatan terhadap jumlah daun dilakukan setiap 7 hari sekali, mulai dari minggu pertama hingga minggu kelima setelah tanam (1 MST – 5 MST), bersamaan dengan pengamatan tinggi tanaman. Jumlah daun dihitung berdasarkan seluruh daun yang telah terbuka sempurna pada masing-masing tanaman.

3. Panjang akar (cm)

Panjang akar diukur menggunakan penggaris dari pangkal akar sampai ujung titik akar setelah tanaman dipanen (5 MST).

4. Berat segar tanaman (gram)

Berat segar tanaman ditentukan dengan menimbang seluruh bagian tanaman setelah tanaman dipanen (5 MST) dengan menggunakan alat timbangan berupa neraca analitik.

5. Berat kering tanaman (gram)

Berat kering tanaman ditentukan dengan cara menimbang secara keseluruhan bagian tanaman yang telah dioven pada suhu 60°C selama 48 jam menggunakan neraca analitik (Saadah *et al.*, 2022).

6. Indeks pertumbuhan (gram)

Pengukuran indeks pertumbuhan diperoleh dari tinggi tanaman, jumlah daun, berat basah, berat kering, dan panjang akar. Indeks pertumbuhan dapat dihitung menggunakan persamaan (Saadah *et al.*, 2019), sebagai berikut:

$$\text{Indeks Pertumbuhan} = \frac{P_2 - P_1}{P_1}$$

Keterangan:

P₁ = parameter penelitian pada pengamatan pertama

P₂ = parameter penelitian pada pengamatan terakhir

7. Pembuatan ekstrak daun bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.)

Ekstraksi menggunakan metode maserasi yang diawali dengan sampel daun bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) yang telah dikeringkan dengan oven kemudian dihaluskan menggunakan blender, lalu ditimbang sebanyak 0,1 gram tiap perlakuan yang akan dijadikan sampel. Setelah itu ditambahkan 5 ml pelarut etanol 70% untuk merendam sampel (Reyes, 2024). Sampel direndam selama 30 – 35 menit (Yan *et al.*, 2023), kemudian dimasukan ke dalam *tube* setelah itu dihomogen menggunakan sentrifugasi selama 5 menit pada 3000 rpm. Supernatan diambil dan dipindahkan ke dalam botol vial (Reyes, 2024).

8. Uji kadar flavonoid

1) Uji kualitatif

Uji warna dilakukan untuk mengidentifikasi ekstrak bayam merah terdapat tidaknya kandungan flavonoid. Sebanyak 2 mL ekstrak etanol bayam merah dimasukan ke dalam tabung reaksi, kemudian tambahkan 0,1 gram serbuk magnesium dan 3 tetes HCl pekat. Perubahan warna jingga hingga merah, itu menunjukkan adanya flavon; warna merah hingga merah tua menunjukkan flavanol; dan warna

merah solid hingga merah keunguan menunjukkan flavanon.

2) Uji Kuantitatif

Larutan kuersetin digunakan terlebih dahulu sebagai acuan untuk mengukur kadar flavonoid. Sebanyak 0,05 gram kuersetin ditimbang dan dilarutkan dalam 250 mL etanol 70%. Larutan ini kemudian dijadikan sebagai larutan standar dengan konsentrasi 1000 mg/L. Dari larutan standar tersebut, dilakukan pengenceran untuk mendapatkan berbagai konsentrasi, yaitu 20 ppm, 40 ppm, 60 ppm, 80 ppm, dan 100 ppm, yang kemudian diencerkan dengan etanol 70% hingga mencapai volume 10 mL dalam labu ukur.

Uji kuersetin dilakukan dengan mengambil 0,25 mL dari setiap konsentrasi larutan. Selanjutnya, larutan tersebut ditambahkan dengan 1,25 mL akuades dan 75 μ L sodium nitrit 5% (NaNO_2), kemudian dihomogenkan dan dibiarkan selama 6 menit. Setelah itu, ditambahkan 150 μ L aluminium klorida (AlCl_3) 10%, dihomogenkan, dan dibiarkan selama 5 menit. Kemudian, ditambahkan 0,5 mL NaOH 1 M dan akuades hingga volume mencapai 2,5 mL. Larutan tersebut

diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 510 nm (Kaewseejan *et al.*, 2015).

Uji kadar flavonoid diperlakukan sama seperti uji kuersetin. Sampel ekstrak etanol bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) diambil masing-masing sebanyak 0,25 mL, kemudian ditambahkan 1,25 mL akuades dan 75 µl natrium nitrit 5% lalu didiamkan selama enam menit. Setelah itu, 150 µl aluminium klorida 10% ditambahkan dan diaduk perlahan. Setelah lima menit, 0,5 mL NaOH 1 M ditambahkan. Selanjutnya, air suling ditambahkan untuk mendapatkan volume total 2,5 mL lalu diukur menggunakan spektrofotometri UV-Vis dengan panjang gelombang 510 nm (Kaewseejan *et al.*, 2015).

Sampel pengukuran dimasukkan ke regresi linier. Jumlah ekuivalen kuersetin (QE) yang ditemukan pada tiap gram sampel ditunjukkan sebagai absorbansi sampel yang diwakili dengan y . Untuk menghitung jumlah total flavonoid, digunakan rumus berikut (Sugiarna *et al.*, 2019).

$$KTF = \frac{V \times (x) \times DF}{m}$$

9. Uji kadar antosianin

Uji kadar antosianin diawali dengan membuat larutan buffer pH 1 dengan melarutkan 0,465 gram KCl dengan akuades dalam labu ukur 250 ml hingga mencapai batas. Kemudian HCl ditambahkan hingga pH mencapai $1,0 \pm 0,1$. Larutan buffer pH 4,5 dibuat dengan 8,2 gram natrium asetat dilarutkan dengan akuades ke dalam labu ukur 250 ml hingga batas, lalu larutan HCl ditambahkan hingga pH mencapai $4,5 \pm 0,1$ (Wiranata *et al.*, 2022).

Penetapan kadar antosianin dilakukan dengan melarutkan ekstrak bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) sebanyak 0,5 ml kedalam buffer pH 1,0 dan buffer pH 4,5 sebanyak 2,5 ml. Absorbansi masing-masing larutan diukur dengan panjang gelombang maksimum 520 nm dan pada panjang gelombang 700 nm (Wiranata *et al.*, 2022).

Rumus yang dapat digunakan untuk menghitung kadar total antosianin dalam sampel dan kadar monomer antosianin menurut (Giusti, 2001) adalah sebagai berikut:

$$A = (A_{536} - A_{700})_{\text{pH } 1,0} - (A_{536} - A_{700})_{\text{pH } 5,0}$$

Konsentrasi monomer antosianin (mg/L) =

$$\frac{A' \times BM \times Fp \times 1000}{\varepsilon \times l}$$

Keterangan:

$$A' = A_{536} - A_{700})_{\text{pH } 1,0}$$

$$\varepsilon = \text{absorbsivitas molar sianidin-3-glukosida} = 26900 \text{ L/mol.cm}$$

$$l = \text{lebar cuvet (1 cm)}$$

$$BM = \text{BM sianidin-3-glukosida} = 449,2 \text{ g/mol}$$

$$Fp = \text{faktor pengenceran}$$

G. Analisis Data

1) Uji Normalitas

Menurut Getut (2017) uji normalitas dilakukan untuk menentukan apakah sampel data berasal dari populasi normal, residualnya menunjukkan kenormalan data. Langkah-langkah uji normalitas adalah sebagai berikut:

1) Penyusunan hipotesis

H_0 : residual berdistribusi normal

H_1 : residual tidak berdistribusi normal

2) Memilih tingkat signifikansi α

- 3) Keputusan uji $\alpha = 0.05 > \text{Sig.}$ maka H_0 diterima. Dengan kata lain, sampel berdistribusi normal.

2) Uji Homogenitas

Dalam uji homogenitas, variansi sampel dari setiap populasi yang diuji harus sama atau konstan. Variasi sampel yang konstan menunjukkan bahwa sesatan tidak bergantung pada faktor apa pun yang digunakan dalam analisis (Getut, 2017). Langkah-langkah menguji homogenitas variansi sebagai berikut:

- 1) Penyusunan Hipotesis

H_0 : asumsi data berdistribusi homogen

H_1 : asumsi data tidak berdistribusi homogen

- 2) Memilih tingkat signifikansi α

- 3) Keputusan uji

Jika $\alpha = 0.05 > \text{Sig.}$ maka H_0 diterima. Dengan kata lain, data berdistribusi homogen.

3) Uji ANOVA

Salah satu jenis analisis statistika parametrik adalah uji ANOVA, yang berarti bahwa uji normalitas dan homogenitas harus dilakukan sebelum memulai analisis (Getut, 2017). Berikut merupakan ketentuan dalam pengujian uji ANOVA:

H_0 : Tidak ada perbedaan yang nyata pada pertumbuhan tanaman

H_1 : Ada perbedaan yang nyata pada pertumbuhan tanaman.

1) Taraf signifikansi (α): 0.05

2) Kriteria pengujian

H_0 : Jika nilai Sig > 0,05 maka H_0 diterima.

H_1 : Jika nilai Sig < 0,05 maka H_0 ditolak.

4) Uji DMRT

Uji DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) digunakan jika hasil ANOVA menunjukkan angka yang signifikan. Uji DMRT bertujuan untuk mencari perlakuan tertinggi atau terendah dari suatu penelitian dengan membandingkan rata-rata antar semua pasangan perlakuan. Selain itu, dari uji lanjut DMRT juga akan diketahui sejauh mana perbedaan antar perlakuan (Halimah *et al.*, 2021).

4) Uji Kruskal-Wallis

Uji Kruskal-Wallis merupakan metode statistik non-parametrik yang digunakan untuk membandingkan nilai tengah dari tiga atau lebih kelompok yang independen. Uji ini menjadi alternatif dari ANOVA satu arah apabila asumsi normalitas dan homogenitas varians tidak terpenuhi (Juita, 2024). Berikut ketentuan dalam pengujian uji Kruskal-Wallis

H_0 : Tidak ada perbedaan yang nyata pada pertumbuhan tanaman

H_1 : Ada perbedaan yang nyata pada pertumbuhan tanaman.

1) Taraf signifikansi (α): 0.05

2) Kriteria pengujian

H_0 : Jika nilai Sig > 0,05 maka H_0 diterima.

H_1 : Jika nilai Sig < 0,05 maka H_0 ditolak

3) Uji lanjutan

Uji Mann-Whitney merupakan teknik non-parametrik yang digunakan untuk membandingkan dua kelompok sampel independen guna menentukan apakah terdapat perbedaan signifikan dalam distribusi datanya (Juita, 2024).

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Penanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) dilakukan selama lima minggu di dalam lingkungan *Greenhouse* dengan kondisi lingkungan, yaitu suhu rata-rata berkisar antara 30,2°C hingga 33,3°C, kelembapan relatif udara antara 60% hingga 74%, intensitas cahaya sebesar 2060 lux hingga 8460 lux, serta nilai pH media nutrisi berada dalam kisaran 6,46 hingga 6,71 (Lampiran 14 dan 15).

Selain itu, dilakukan pula analisis kandungan senyawa bioaktif pada daun bayam merah yakni flavonoid (mgQE/g) dan antosianin (mg/L) guna mengetahui pengaruh perlakuan sulfur terhadap kandungan metabolit sekundernya. Seluruh data yang diperoleh dari hasil pengamatan dan uji kandungan kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak SPSS versi 26 untuk memperoleh hasil yang valid secara statistik.

1. Tinggi tanaman

Pengamatan terhadap tinggi tanaman dilakukan secara berkala selama lima minggu atau 35 hari menggunakan sistem hidroponik *wick*. Pengukuran tinggi tanaman

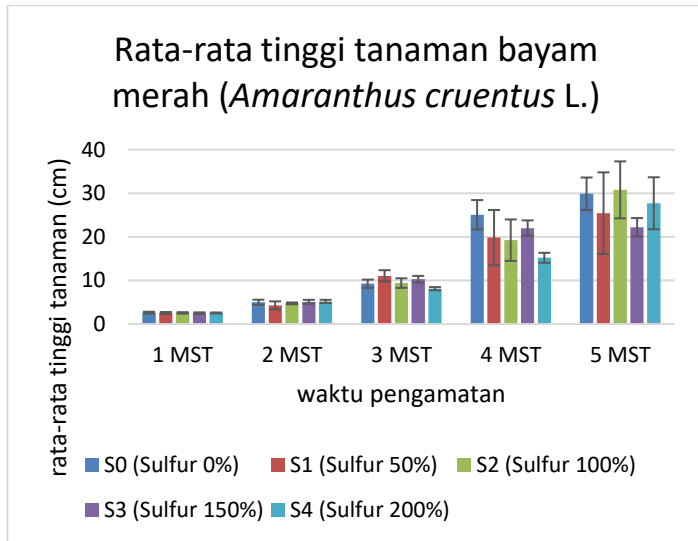
dilakukan seminggu sekali dengan mengukur tanaman pada masing-masing perlakuan, hasil pengukuran menunjukkan bahwa tinggi tanaman yang diperoleh bervariasi.

Berdasarkan Tabel 4.1, di bawah menunjukkan hasil rata-rata tinggi tanaman tertinggi dari waktu pengamatan 1 MST hingga 5 MST dan digambarkan pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.1. Pada 1 MST, tinggi tanaman tertinggi ditemukan pada perlakuan S0 (sulfur 0%) sebesar 2,63 cm. Pada 2 MST, perlakuan S4 (sulfur 200%) menunjukkan rata-rata tertinggi sebesar 5,20 cm. Selanjutnya, pada 3 MST, perlakuan S1 (sulfur 50%) memberikan hasil tertinggi sebesar 11,07 cm. Pada 4 MST, kembali perlakuan S0 menghasilkan tinggi tanaman tertinggi yaitu sebesar 25,08 cm. Sementara itu, pada pengamatan akhir (5 MST), perlakuan S2 (sulfur 100%) menunjukkan rata-rata tinggi tanaman tertinggi sebesar 30,79 cm. Pada Tabel 4.1 juga ditunjukkan nilai indeks pertumbuhan tiap perlakuan, bertujuan untuk mengetahui seberapa cepat tanaman tumbuh. Berdasarkan hasil yang diperoleh, nilai indeks pertumbuhan tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) yang tertinggi pada perlakuan S2 (Sulfur 100%) dengan nilai 17,48 dan nilai terendah pada perlakuan S4 (Sulfur 200%) dengan nilai 12,10.

Tabel 4. 1 Hasil rata-rata tinggi tanaman 1 MST – 5 MST bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.)

Perlakuan	Rata-rata tinggi tanaman (cm)					Indeks pertumbuhan
	1 MST	2 MST	3 MST	4 MST	5 MST	
S0	2,63±0,20	5,00±0,59	9,26±0,94 ^{bc}	25,08±3,37 ^a	29,90±3,73	15,42
S1	2,56±0,21	4,29±0,92	11,07±1,29 ^a	19,83±6,34 ^{ab}	25,45±9,35	16,81
S2	2,57±0,16	4,75±0,21	9,41±1,09 ^{bc}	19,25±4,76 ^{ab}	30,79±6,53	17,48
S3	2,52±0,17	5,12±0,45	10,29±0,76 ^{ab}	22,02±1,77 ^a	22,21±2,11	15,87
S4	2,56±0,10	5,20±0,37	8,12±0,36 ^c	15,21±1,14 ^b	27,72±5,96	12,10

Keterangan: tanda (±) menunjukkan nilai standar deviasi; **S0** (Sulfur 0%); **S1** (Sulfur 50%); **S2** (Sulfur 100%); **S3** (Sulfur 150%); **S4** (Sulfur 200%); (**abc**) notasi huruf serupa berarti tidak ada perbedaan nyata.



Gambar 4. 1 Grafik rata-rata tinggi tanaman

Analisis data dilakukan menggunakan uji ANOVA (*Analysis of Variance*) untuk mengetahui apakah perlakuan dengan kadar sulfur yang berbeda memberikan pengaruh nyata terhadap tinggi tanaman. Berdasarkan hasil uji ANOVA (Lampiran 16), diperoleh nilai signifikansi $> 0,05$ pada pengamatan 1 MST, 2 MST, dan 5 MST, yang menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang nyata antar perlakuan. Sebaliknya, pada pengamatan 3 MST dan 4 MST diperoleh nilai signifikansi $< 0,05$, yang berarti terdapat perbedaan yang nyata, sehingga dilanjutkan dengan uji DMRT.

Hasil uji DMRT pada tinggi tanaman 3 MST menunjukkan bahwa perlakuan S1 (sulfur 50%) berbeda signifikan dengan perlakuan S0 (sulfur 0%), S2 (sulfur 100%), dan S4 (sulfur 200%). Perlakuan S4 (sulfur 200%) juga menunjukkan perbedaan signifikan dengan perlakuan S3 (sulfur 150%) dan S1 (sulfur 50%). Sementara itu, pada pengamatan 4 MST, perlakuan S0 (sulfur 0%) berbeda signifikan dengan perlakuan S4 (sulfur 200%), dan perlakuan S4 (sulfur 200%) juga berbeda signifikan dengan perlakuan S0 (sulfur 0%) dan S3 (sulfur 150%).

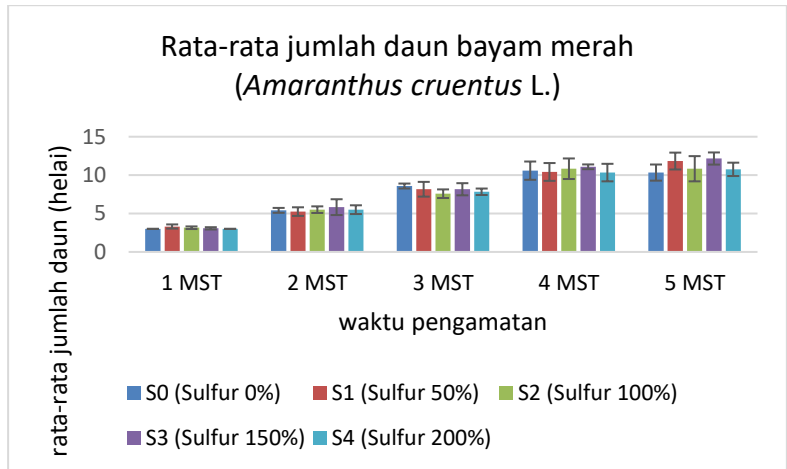
2. Jumlah daun

Pengamatan jumlah daun dalam penelitian ini dilakukan setiap minggu, mulai dari 1 hingga 5 Minggu Setelah Tanam (MST), dengan cara menghitung seluruh daun yang telah membuka sempurna pada setiap sampel dari masing-masing perlakuan. Berdasarkan Tabel 4.2 di bawah menunjukkan hasil rata-rata jumlah daun tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) yang dimana tiap waktu pengamatan mengalami peningkatan jumlah daun dan digambarkan pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil rata-rata jumlah daun 1 MST – 5 MST bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.)

Perlakuan	Rata-rata jumlah daun (helai)					Indeks Pertumbuhan
	1 MST	2 MST	3 MST	4 MST	5 MST	
S0	3,00±0,00	5,41±0,32	8,58±0,32	10,58±1,19	10,33±1,05	4,16
S1	3,31±0,27	5,25±0,56	8,16±0,96	10,41±1,16	11,83±1,10	4,91
S2	3,15±0,17	5,50±0,43	7,58±0,56	10,83±1,34	10,83±1,64	4,41
S3	3,07±0,15	5,83±1,03	8,16±0,79	11,08±0,31	12,16±0,79	5,08
S4	3,00±0,00	5,50±0,57	7,83±0,42	10,33±1,14	10,75±0,87	4,37

Keterangan: tanda (±) menunjukkan nilai standar deviasi; **S0** (Sulfur 0%); **S1** (Sulfur 50%); **S2** (Sulfur 100%); **S3** (Sulfur 150%); **S4** (Sulfur 200%).



Gambar 4. 2 Grafik rata-rata jumlah daun

Pada pengamatan minggu pertama setelah tanam (1 MST), perlakuan S1 (Sulfur 50%) menghasilkan jumlah daun rata-rata tertinggi sebesar 3,31 helai. Pada pengamatan 2 MST, perlakuan S3 (Sulfur 150%) menunjukkan rata-rata tertinggi sebesar 5,83 helai. Selanjutnya, pada pengamatan 3 MST, perlakuan S0 (Sulfur 0%) mencatat jumlah daun tertinggi dengan rata-rata 8,58 helai. Pada pengamatan 4 MST, perlakuan S3 kembali menunjukkan rata-rata tertinggi sebesar 11,08 helai, dan pada akhir pengamatan (5 MST), perlakuan S3 tetap menghasilkan jumlah daun rata-rata tertinggi yaitu 12,16 helai.

Pada Tabel 4.2 juga disajikan nilai indeks pertumbuhan jumlah daun, indeks pertumbuhan jumlah daun mengindikasikan percepatan pertumbuhan daun pada tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.). Perlakuan S3 (Sulfur 150%) memberikan hasil indeks pertumbuhan tertinggi sebesar 5,08, menunjukkan bahwa perlakuan ini paling cepat dalam meningkatkan jumlah daun dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Sebaliknya, indeks pertumbuhan terendah diperoleh pada perlakuan S0 (Sulfur 0%) dengan nilai 4,16.

Berdasarkan hasil uji ANOVA dan Kruskal-Wallis (Lampiran 17), terhadap parameter jumlah daun, diketahui bahwa tidak terdapat perbedaan yang nyata antar perlakuan pada seluruh waktu pengamatan, mulai dari 1 MST hingga 5 MST. Pada pengamatan 1 MST, analisis dilakukan menggunakan uji Kruskal-Wallis karena data tidak berdistribusi normal, sementara pengamatan pada minggu-minggu berikutnya dianalisis menggunakan uji ANOVA.

3. Panjang akar

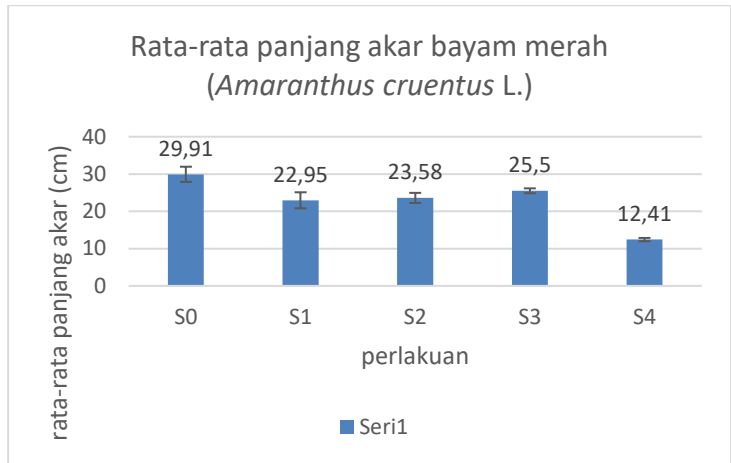
Pengukuran panjang akar dilakukan pada saat tanaman berusia 35 hari (masa panen) menggunakan penggaris. Pengukuran dilakukan dari pangkal hingga ujung akar terpanjang pada setiap sampel. Hasil pengukuran menunjukkan adanya variasi panjang akar antar tanaman.

Berdasarkan Tabel 4.3 di bawah, hasil rata-rata panjang akar tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) dan digambarkan pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.3, dengan rata-rata tertinggi pada perlakuan S0 (Sulfur 0%) sebesar 29,91 cm. Pada rata-rata panjang akar diperoleh nilai indeks pertumbuhan yang mana bertujuan mengetahui seberapa cepat akar tumbuh tiap perlakuan, diperoleh nilai indeks pertumbuhan paling tinggi pada perlakuan S2 (Sulfur 100%) sebesar 27,93 dan nilai terendah pada perlakuan S4 (Sulfur 200%) dengan nilai 15,71.

Tabel 4. 3 Hasil rata-rata panjang akar bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.)

Perlakuan	Rata-rata panjang Akar (cm)	Indeks pertumbuhan
S0	29,91 ± 2,04^a	24,93
S1	22,95 ± 2,15 ^c	22,97
S2	23,58 ± 1,36 ^{bc}	27,93
S3	25,50 ± 0,65 ^b	25,87
S4	12,41 ± 0,44 ^d	15,71

Keterangan: tanda (±) menunjukkan nilai standar deviasi; **S0** (Sulfur 0%); **S1** (Sulfur 50%); **S2** (Sulfur 100%); **S3** (Sulfur 150%); **S4** (Sulfur 200%). **(abc)** notasi huruf serupa berarti tidak ada perbedaan nyata. Angka bercetak tebal menunjukkan nilai tertinggi.



Gambar 4. 3 Grafik rata-rata panjang akar

Setiap perlakuan menunjukkan perbedaan yang nyata. Hal ini sesuai dengan hasil uji ANOVA yang menghasilkan nilai signifikansi $< 0,05$, yaitu sebesar 0,00 (Lampiran 18). Berdasarkan hasil uji DMRT dengan notasi (abc) pada parameter panjang akar, diketahui bahwa perlakuan S0 (sulfur 0%) berbeda signifikan dengan seluruh perlakuan lainnya. Perlakuan S1 (sulfur 50%) menunjukkan perbedaan signifikan terhadap perlakuan S0 (sulfur 0%), S3 (sulfur 150%), dan S4 (sulfur 200%). Sementara itu, perlakuan S2 (sulfur 100%) berbeda signifikan dengan perlakuan S0 (sulfur 0%) dan S4 (sulfur 200%). Perlakuan S3 (sulfur 150%) berbeda signifikan dengan S0 (sulfur 0%), S1 (sulfur 50%), dan S4 (sulfur 200%).

200%). Adapun perlakuan S4 (sulfur 200%) menunjukkan perbedaan signifikan dengan semua perlakuan lainnya.

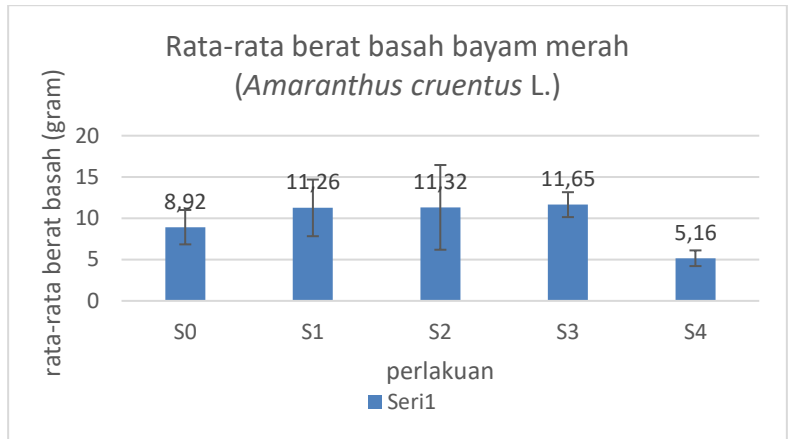
4. Berat basah

Pengukuran berat basah tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) dilakukan pada usia 35 hari (masa panen) dengan menimbang seluruh bagian tanaman setiap sampel menggunakan neraca analitik. Hasil penimbangan menunjukkan bahwa berat basah antar sampel bervariasi. Pada Tabel 4.4 menyajikan rata-rata hasil penimbangan berat basah bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) dan digambarkan pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.4.

Tabel 4. 4 Hasil rata-rata berat basah bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.)

Perlakuan	Rata-rata berat basah (gram)	Indeks pertumbuhan
S0	8,92 ± 2,08 ^{ab}	1194,52
S1	11,26 ± 3,43 ^a	2090,25
S2	11,32 ± 5,13 ^a	1929,82
S3	11,65 ± 1,51 ^a	2615,23
S4	5,16 ± 0,95 ^b	750,52

Keterangan: tanda (±) menunjukkan nilai standar deviasi; **S0** (Sulfur 0%); **S1** (Sulfur 50%); **S2** (Sulfur 100%); **S3** (Sulfur 150%); **S4** (Sulfur 200%). (**abc**) notasi huruf serupa berarti tidak ada perbedaan nyata.



Gambar 4. 4 Grafik rata-rata berat basah

Berdasarkan Tabel 4.4 rata-rata tertinggi berat basah diperoleh pada perlakuan S3 (Sulfur 150%) sebesar 11,65 gram. Nilai indeks pertumbuhan pada parameter berat basah dengan nilai tertinggi pada perlakuan S3 (Sulfur 150%) sebesar 2615,23 dan pada perlakuan S4 (Sulfur 200%) nilai indeks yang diperoleh yang terendah dengan nilai 750,52. Pemberian kadar sulfur yang bervariasi memberikan pengaruh signifikan terhadap berat basah tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.), dengan nilai signifikansi sebesar 0,04. Nilai ini memenuhi kriteria uji ANOVA karena $< 0,05$ (Lampiran 19). Pada hasil uji lanjutan *DMRT* yang dinotasikan (abc)

menunjukkan bahwa pada perlakuan S4 (Sulfur 200%) berbeda signifikan dengan semua perlakuan.

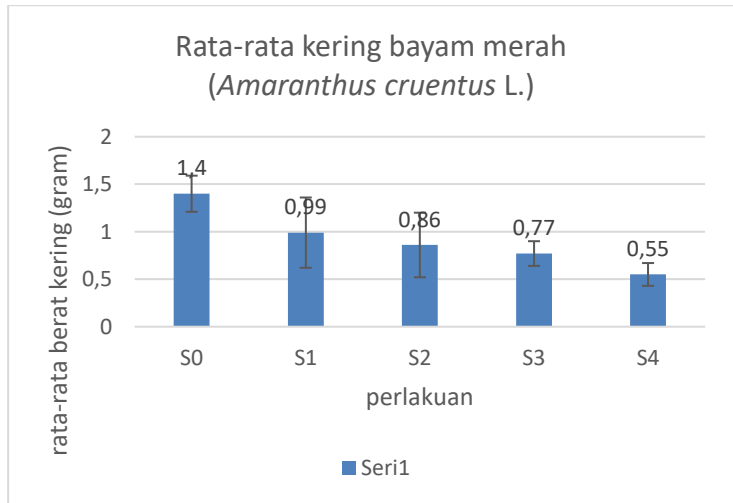
5. Berat kering

Pengukuran berat kering tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) dilakukan pada usia 35 hari (masa panen) dengan menimbang seluruh bagian tanaman dari setiap sampel yang telah dikeringkan dalam oven selama 48 jam pada suhu 60°C. Hasil penimbangan menunjukkan variasi berat kering antar sampel. Tabel 4.5 menyajikan nilai rata-rata dari hasil pengamatan berat kering tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) dan digambarkan pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.5.

Tabel 4. 5 Hasil rata-rata berat kering bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.)

Perlakuan	Rata-rata berat kering (gram)	Indeks pertumbuhan
S0	1,40 ± 0,19	1558,71
S1	0,99 ± 0,37	1890,87
S2	0,86 ± 0,34	1067,34
S3	0,77 ± 0,13	1228,49
S4	0,55 ± 0,12	597,77

Keterangan: tanda (±) menunjukkan nilai standar deviasi; **S0** (Sulfur 0%); **S1** (Sulfur 50%); **S2** (Sulfur 100%); **S3** (Sulfur 150%); **S4** (Sulfur 200%).



Gambar 4. 5 Grafik rata-rata berat kering

Berdasarkan Tabel 4.5 rata-rata berat kering diperoleh hasil rata-rata tertinggi pada perlakuan S0 (Sulfur 0%) sebesar 1,40 gram, sedangkan nilai rata-rata terendah pada perlakuan S4 (Sulfur 200%) sebesar 0,55 gram. Nilai indeks pertumbuhan pada parameter berat kering dengan nilai tertinggi pada perlakuan S1 (Sulfur 50%) sebesar 1890,87, sedangkan nilai terendah pada perlakuan S4 (Sulfur 200%) sebesar 597,77. Hasil uji ANOVA (Lampiran 20), pada rata-rata berat kering menunjukkan bahwa variasi kadar sulfur diberikan tidak memberikan perbedaan nyata terhadap berat kering

dengan ditunjukkan nilai signifikansi $> 0,05$ yaitu sebesar 0,10.

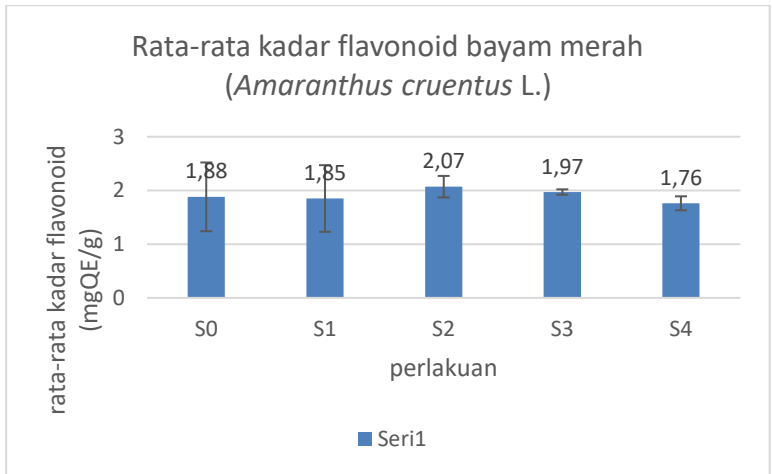
6. Flavonoid

Pengukuran kandungan flavonoid pada tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) dilakukan saat tanaman berumur 35 hari (masa panen) dengan menganalisis ekstrak daun setiap perlakuan menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang 510 nm, dengan tiga kali ulangan. Hasil pengukuran menunjukkan variasi kadar flavonoid antar sampel. Tabel 4.6 menyajikan nilai rata-rata kadar total flavonoid tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) dan digambarkan pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.6.

Tabel 4. 6 Hasil rata-rata kadar total flavonoid ekstrak bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.)

Perlakuan	Rata-rata kadar flavonoid (mgQE/g)
S0	$1,88 \pm 0,64$
S1	$1,85 \pm 0,62$
S2	$2,07 \pm 0,20$
S3	$1,97 \pm 0,05$
S4	$1,76 \pm 0,13$

Keterangan: tanda ($\pm$) menunjukkan nilai standar deviasi; **S0** (Sulfur 0%); **S1** (Sulfur 50%); **S2** (Sulfur 100%); **S3** (Sulfur 150%); **S4** (Sulfur 200%).



Gambar 4. 6 Grafik rata-rata kadar flavonoid

Berdasarkan Tabel 4.6 rata-rata kadar flavonoid tertinggi pada perlakuan S2 (Sulfur 100%) yaitu sebesar 2,07 mgQE/g, sedangkan rata-rata terendah pada perlakuan S4 (Sulfur 200%) dengan nilai 1,76 mgQE/g. Hasil uji Kruskal-Wallis pada rata-rata kadar flavonoid menunjukkan bahwa variasi kadar sulfur diberikan tidak ada perbedaan nyata terhadap kadar total flavonoid dengan ditunjukkan nilai *Asymp.sig* > 0,05 yaitu sebesar 0,13.

Pada uji kandungan flavonoid dilakukan juga uji warna atau uji kualitatif yang dimana uji ini sampel ekstrak etanol daun bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) ditambahkan serbuk magnesium dan HCl pekat. Senyawa

flavonoid dapat dikenali dari timbulnya warna kuning, jingga hingga merah. Berikut hasil uji warna pada bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) dengan perlakuan nutrisi makro sulfur yang berbeda-beda, ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Hasil uji warna senyawa flavonoid pada ekstrak bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.)

Perlakuan	Gambar	Hasil uji warna	Perubahan warna
S0 (Sulfur 0%)		+	Jingga kekuningan
S1 (Sulfur 50%)		+	Jingga kekuningan
S2 (Sulfur 100%)		+	Jingga kekuningan
S3 (Sulfur 150%)		+	Jingga kekuningan
S4 (Sulfur 200%)		+	Jingga kekuningan

Keterangan: tanda (+) menunjukkan hasil positif, adanya keberadaan senyawa flavonoid pada ekstrak etanol bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.)

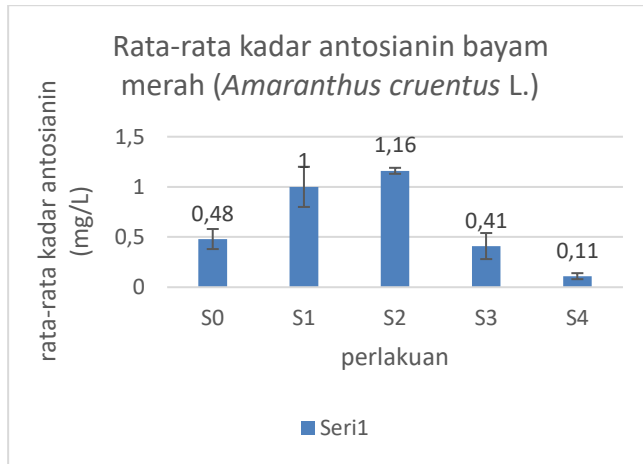
7. Antosianin

Pengukuran kandungan antosianin pada tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) dilakukan saat tanaman berumur 35 hari (masa panen) dengan menganalisis ekstrak daun setiap perlakuan menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang 520 nm dan 700 nm, dengan tiga kali ulangan. Hasil pengukuran menunjukkan variasi kadar total antosianin antar sampel. Tabel 4.8 menyajikan nilai rata-rata kadar total antosianin tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) dan digambarkan pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.7.

Tabel 4. 8 Rata-rata kadar total antosianin ekstrak bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.)

Perlakuan	Rata-rata kadar antosianin (mg/L)
S0	0,48 ± 0,10
S1	1,00 ± 0,20
S2	1,16 ± 0,03
S3	0,41 ± 0,13
S4	0,11 ± 0,03

Keterangan: tanda (±) menunjukkan nilai standar deviasi; S0 (Sulfur 0%); S1 (Sulfur 50%); S2 (Sulfur 100%); S3 (Sulfur 150%); S4 (Sulfur 200%).



Gambar 4. 7 Grafik rata-rata kadar antosianin

Pemberian kadar sulfur yang bervariasi memberikan pengaruh nyata terhadap kadar antosianin tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.), dengan nilai *Asymp.sig* sebesar 0,01. Nilai ini memenuhi kriteria uji Kruskal-Wallis karena $< 0,05$. Pada data rata-rata kadar total antosianin menggunakan uji Kruskal-Wallis disebabkan data tidak berdistribusi normal. Berdasarkan hasil analisis tersebut, diperlukan uji lanjutan menggunakan uji Mann-Whitney untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan antar perlakuan. Berikut Tabel 4.9 hasil uji lanjutan Mann-Whitney kadar antosianin.

Tabel 4. 9 Hasil uji lanjutan Mann-Whitney

Pengamatan	Perlakuan	Rata-rata (mg/L)	Kelompok (<i>Asymp. Sig.</i>)				
			S0	S1	S2	S3	S4
Antosianin	S0	0,48	-	0,05	0,04*	0,37 ^{tn}	0,05
	S1	1,00		-	0,12 ^{tn}	0,05	0,05
	S2	1,16			-	0,04*	0,04*
	S3	0,41				-	0,05
	S4	0,11					-

Keterangan: tanda (**tn**) menunjukkan tidak berbeda nyata; tanda (*) menunjukkan hasil berbeda nyata. Angka bercetak tebal menunjukkan nilai tertinggi.

Berdasarkan hasil uji lanjutan Man-Whitney kadar total antosianin diperoleh pada perlakuan S2 (Sulfur 100%) berbeda signifikan dengan perlakuan S0 (Sulfur 0%), perlakuan S3 (Sulfur 150%) dan S4 (Sulfur 200%). Perlakuan S2 juga merupakan perlakuan dengan rata-rata yang tertinggi sebesar 1,16 mg/L. Nilai rata-rata terendah diperoleh pada perlakuan S4 (Sulfur 200%) yaitu sebesar 0,11 mg/L.

8. Faktor lingkungan

Hasil pengamatan terhadap kondisi lingkungan selama budidaya bayam merah menunjukkan adanya variasi suhu, kelembapan udara, dan intensitas cahaya dalam satu hari. Suhu rata-rata tertinggi tercatat pada pukul 12.00 sebesar 33,30 °C, sementara suhu terendah terjadi pada pukul 15.00 dengan rata-rata

30,24 °C. Pada pukul 08.00, suhu berada di kisaran 31,64 °C. Kelembapan udara tertinggi terjadi pada pukul 08.00 dengan rata-rata 74,16%, kemudian menurun menjadi 60,08% pada pukul 12.00 dan 60,25% pada pukul 15.00. Intensitas cahaya tertinggi dicatat pada pukul 08.00 dengan rata-rata 8460 lux, namun menurun menjadi 5040,83 lux pada pukul 12.00, dan semakin rendah pada pukul 15.00 yaitu sebesar 2060 lux. Selain itu, hasil pengukuran pH dan TDS larutan nutrisi pada berbagai perlakuan menunjukkan bahwa pH larutan berada dalam kisaran 6,46–6,71, yang termasuk optimal untuk pertumbuhan bayam merah. Rata-rata nilai TDS untuk perlakuan S0, S1, S2, S3, dan S4 masing-masing adalah 440,33 ppm; 520 ppm; 487,67 ppm; 460,33 ppm; dan 423,83 ppm. Data lebih lengkap dapat dilihat pada Lampiran 14 dan Lampiran 15.

B. Pembahasan

1. Tinggi tanaman

Tinggi tanaman merupakan salah satu indikator pertumbuhan yang paling mudah diamati dan dapat digunakan untuk menilai efek perlakuan terhadap tanaman. Peningkatan tinggi tanaman mencerminkan berlangsungnya proses pertumbuhan vegetatif (Wahyu

& Basri, 2022). Pada Tabel 4.1 diperoleh hasil data rata-rata tinggi tanaman yang bervariasi dari waktu 1 MST – 5 MST. Pemberian perlakuan hanya memberikan pengaruh nyata terhadap tinggi tanaman pada umur 3 MST dan 4 MST. Hal ini sejalan pada penelitian Syamsiyah *et al.* (2025), penambahan variasi pupuk MgSO_4 hanya memberikan pengaruh nyata pada tinggi tanaman pada umur 14 HST sampai 35 HST.

Pada pengamatan 3 MST nilai rata-rata tertinggi diperoleh perlakuan S1 (Sulfur 50%) sebesar 11,07 cm. Hal ini bisa menunjukkan jumlah unsur hara yang diperlukan oleh tanaman salah satunya sulfur sudah optimal. Menurut Alfin *et al.* (2018) tanaman yang tercukupi dengan dosis unsur hara yang cukup berperan dalam pertumbuhan vegetatif. Lain halnya pada pengamatan 4 MST rata-rata tertinggi diperoleh perlakuan S0 (Sulfur 0%), hal tersebut disebabkan konsentrasi sulfur masih tersedia yang terdapat pada unsur hara mikro walaupun relatif sedikit sekitar 0,14 mg/L (Lampiran 2), berupa senyawa $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, dan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Namun menurut Duca (2015), tanaman dapat memanfaatkan sulfur pada konsentrasi 0,1 – 0,2 mg/m³. Hal ini sejalan dengan pernyataan Narayan *et al.* (2023), dimana

keberadaan sulfur dapat meningkatkan efisiensi penyerapan nitrogen oleh tanaman. Hubungan antara sulfur (S) dan nitrogen (N) bersifat erat, keduanya merupakan unsur esensial penyusun protein dan berperan dalam pembentukan klorofil. Selain itu, sulfur berkontribusi dalam proses reduksi nitrat menjadi asam amino, yang merupakan tahap penting dalam metabolisme nitrogen. Oleh karena itu, kebutuhan nitrogen yang optimal umumnya juga memerlukan sulfur dalam jumlah yang seimbang. Nitrogen sendiri berfungsi meningkatkan laju fotosintesis, yang selanjutnya mendorong pembelahan sel, sintesis protein dan asam amino, serta merangsang pertumbuhan vegetatif, termasuk tinggi tanaman, jumlah daun, luas daun, dan diameter batang (Zhang *et al.*, 2024).

Pada 1 MST hingga 2 MST tidak ada pengaruh nyata, hal ini dikarenakan tanaman masih menggunakan unsur hara cadangan benih atau bibit, sehingga pengaruh penambahan nutrisi perlakuan belum terlihat (Addai & Anning, 2015). Pada 5 MST hasil menunjukkan tidak berpengaruh nyata, karena laju pertumbuhan tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan pada akhir fase vegetatif. Pada fase akhir vegetatif, laju pertumbuhan tanaman cenderung

menurun, ketersediaan air menjadi faktor penting yang mempengaruhi laju pertumbuhan dan memicu terjadinya diferensiasi, seperti perubahan morfologi serta penurunan kecepatan pertumbuhan, sehingga rata-rata pertambahan tinggi tanaman pada 5 MST, antar perlakuan tidak berbeda nyata. Kondisi ini terjadi akibat rendahnya laju fotosintesis bersih dan terbatasnya penyerapan air oleh tanaman (Alfin *et al.*, 2018).

Berdasarkan hasil nilai indeks pertumbuhan tinggi tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.), perlakuan S2 (Sulfur 100%) menunjukkan nilai tertinggi sebesar 15,87. Indeks pertumbuhan digunakan sebagai alat ukur untuk mengamati dan menganalisis laju pertumbuhan tanaman seiring waktu. Laju pertumbuhan ini menggambarkan kecepatan pertumbuhan tanaman dalam periode tertentu, yang umumnya terjadi pada fase vegetatif, yaitu saat tanaman mengalami pertumbuhan aktif sebelum memasuki fase generatif (Sugito, 1995), sedangkan nilai indeks pertumbuhan yang terendah diperoleh pada perlakuan S4 (Sulfur 200%) dengan nilai 12,10. Rendahnya nilai tersebut diduga disebabkan oleh tingginya konsentrasi sulfur yang justru menghambat pertumbuhan tanaman.

Penyebab lain pada variasi pertumbuhan tinggi tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) disebabkan oleh faktor lingkungan salah satunya cahaya yang diterima tanaman. Menurut (Muhammad *et al.*, 2020) pemberian cahaya matahari pada tanaman mempengaruhi pertumbuhan tanaman, tanaman yang menerima cahaya relatif kecil tetap memiliki pertumbuhan yang meningkat namun dengan skala yang lebih kecil. Pada Gambar 4.8 ditunjukkan gambar bayam merah yang ditanaman di media hidroponik dan sumber cahayanya.



Gambar 4. 8 Gambar pertumbuhan bayam dan arah sumber cahaya matahari; tanda (→) berwarna merah menunjukkan arah cahaya dan berwarna biru menunjukkan tanaman yang terhalang cahaya (Sumber: Dokumentasi peneliti)

2. Jumlah daun

Jumlah daun merupakan parameter penting dalam memantau pertumbuhan tanaman, karena daun berperan sebagai lokasi utama proses fotosintesis. Peningkatan jumlah daun dapat meningkatkan hasil fotosintesis, yang pada gilirannya mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal. Berdasarkan data hasil rata-rata jumlah daun pada Tabel 4.2 waktu pengamatan 1 MST hingga 5 MST menghasilkan jumlah daun yang sama besarnya.

Berdasarkan hasil uji ANOVA dan Kruskal-Wallis (Lampiran 17), parameter jumlah daun pada pengamatan 1 MST hingga 5 MST menunjukkan nilai signifikansi $> 0,05$, yang berarti perlakuan tidak memberikan pengaruh yang nyata. Menurut Hasanah & Purnamaningsih (2019), jumlah daun dan tinggi tanaman memiliki hubungan satu sama lain, dimana penambahan jumlah daun akan meningkatkan proses fotosintesis dan hasil fotosintesis akan disebarkan ke seluruh tanaman sehingga meningkatkan tinggi tanaman maupun diameter batang. Hal ini sesuai dengan hasil parameter tinggi tanaman yang dimana menghasilkan rata-rata tinggi tanaman yang sama besarnya, sehingga menyebabkan semua perlakuan

pada parameter jumlah daun selama 1 MST – 5 MST tidak berpengaruh secara nyata.

3. Panjang akar

Akar menentukan kemampuan tanaman untuk menyerap air dan nutrisi. Pertumbuhan akar dikedalikan oleh daun yang berfotosintesis secara aktif (Sharpe, 2018). Pada penelitian ini dihasilkan rata-rata panjang akar ditunjukkan pada Tabel 4.3 diperoleh hasil data rata-rata panjang akar yang bervariasi nilai rata-rata tertinggi terdapat pada perlakuan S0 (Sulfur 0%) sebesar 29,91 cm, sedangkan perlakuan yang mendapatkan rata-rata yang lebih rendah yaitu 12,41 cm (S4), 22,95 cm (S1), 23,58 (S2) dan 25,50 (S3). Faktor penyebab panjangnya akar pada perlakuan S0 (Sulfur 0%) ketersediaan air dan nutrisi faktor tambahan yang turut mempengaruhi pertumbuhan akar, selain faktor genetik (Nyakpa *et al.*, 1998). Hal ini berkaitan dengan ketersediaan sulfur pada nutrisi mikro dan penambahan nutrisi substitusi $MgCl_2$, yang penambahan nutrisi ini bertujuan untuk memenuhi nutrisi magnesium pada perlakuan S0 (Sulfur 0%). Nutrisi klor (Cl) sendiri memiliki peran dalam sistem hidroponik, penyerapan unsur hara klor (Cl), karena klor berfungsi sebagai aktivator enzim yang berperan dalam proses produksi oksigen dari air, yang

mendukung pertumbuhan akar, sehingga pada perlakuan S0 (Sulfur 0%) diperoleh panjang akar dengan rata-rata tertinggi (Subandi *et al.*, 2015).

Berdasarkan hasil uji ANOVA rata-rata panjang akar nilai signifikan $< 0,05$ sebesar 0,00 sehingga panjang akar berpengaruh nyata terhadap masing-masing perlakuan. Pada uji lanjutan DMRT (Lampiran 18) pada perlakuan S0 (Sulfur 0%) dengan rata-rata 29,91 cm berbeda nyata terhadap semua perlakuan. Pada perlakuan S4 (Sulfur 200%) juga berbeda nyata terhadap semua perlakuan.

Berdasarkan hasil rata-rata panjang akar yang diperoleh, perlakuan S4 (Sulfur 200%) menunjukkan rata-rata terendah sebesar 12,41 cm, hal ini disebabkan konsentrasi nutrisi yang berlebihan dapat menimbulkan toksisitas yang menyebabkan ketidakseimbangan ion di dalam sel-sel akar, sehingga mengganggu proses penyerapan air dan unsur hara lainnya (Nazara *et al.*, 2024). Arpula *et al.* (2024), melaporkan bahwa paparan terhadap kadar nutrisi yang terlalu tinggi dapat mengganggu mekanisme osmoregulasi tanaman, yang mengakibatkan ketidakmampuan sel akar dalam menyerap air secara efisien. Kondisi ini menyebabkan akar mengalami dehidrasi dan menghambat laju pertumbuhan tanaman.

Pada nilai indeks pertumbuhan panjang akar diperoleh nilai tertinggi pada perlakuan S2 (Sulfur 100%) sebesar 27,93 dan nilai terendah pada perlakuan S4 (Sulfur 200%) dengan nilai 15,71. Nilai indeks rendah pada panjang akar disebabkan pemberian konsentrasi tinggi pada perlakuan S4 (Sulfur 200%). Hal ini sejalan pada penelitian Likus-cie & Pietrzykowski (2018), yang menyatakan bahwa kelebihan konsentrasi unsur sulfur dapat menimbulkan efek negatif pada tanaman, seperti kerusakan pada akar dan daun serta menghambat proses pertumbuhannya.

Pada nutrisi makro MgSO_4 yang mewakili nutrisi magnesium dan sulfur memiliki peran penting terhadap akar, dimana magnesium mendorong pertumbuhan akar, sehingga meningkatkan kemampuan dalam menyerap nitrogen (N), sementara sulfur penting untuk sintesis protein yang membantu pemanfaatan nitrogen secara efektif. Selain itu, MgSO_4 menetralkan aluminium (Al^{3+}) yang dapat menghambat perkembangan akar dan penyerapan kalsium, sehingga mendukung penyerapan nutrisi lebih baik (Grzebisz & Zielewicz, 2023).

4. Berat basah

Berat basah tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) merupakan massa total seluruh bagian tanaman, seperti batang, daun, dan akar yang ditimbang saat masih dalam kondisi segar atau belum mengalami pelayuan. Peningkatan berat basah ini dipengaruhi oleh ketersediaan air serta nutrisi yang terlarut di dalamnya. Pada penelitian ini dihasilkan rata-rata berat basah tanaman ditunjukkan pada Tabel 4.4 diperoleh hasil data rata-rata berat basah yang bervariasi nilai rata-rata tertinggi terdapat pada perlakuan S3 (Sulfur 150%) sebesar 11,65 gram. Hasil ini menunjukkan bahwa ketersediaan unsur hara serta kondisi lingkungan yang mendukung merupakan faktor kunci dalam keberhasilan budidaya tanaman. Tanpa kecukupan nutrisi dan lingkungan yang sesuai, tanaman tidak mampu tumbuh secara maksimal, yang pada akhirnya berdampak pada penurunan produktivitas. Hal ini sejalan dengan pandangan Marginingsih *et al.* (2018), bahwa fotosintesis akan berlangsung lebih efektif apabila didukung oleh kecukupan hara dan kondisi lingkungan yang optimal, yang kemudian mendorong peningkatan tinggi batang, jumlah atau luas daun, dan akhirnya berdampak pada peningkatan berat segar tanaman. Berdasarkan

penelitian Saadah *et al.*, (2019), bahwa berat basah tanaman meningkat seiring dengan tingginya kepadatan jaringan.

Berdasarkan hasil uji ANOVA berat basah tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.), nilai signifikan $< 0,05$ sebesar 0,04 sehingga berat basah tanaman berpengaruh nyata terhadap masing-masing perlakuan. Pada uji lanjutan DMRT (Lampiran 19), pada perlakuan S4 (Sulfur 200%) memperoleh nilai rata-rata terendah dibandingkan perlakuan lainnya yaitu sebesar 5,16 gram dan berbeda nyata terhadap semua perlakuan. Berdasarkan nilai indeks pertumbuhan berat basah tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) diperoleh nilai tertinggi pada perlakuan S3 (Sulfur 150%) sebesar 2615,23, sedangkan nilai terendah pada perlakuan S4 (Sulfur 200%) dengan nilai 750,52.

Menurut Salisbury (1985), berat basah tanaman dipengaruhi oleh kandungan air serta nutrisi dalam jaringan sel tanaman, sehingga ketersediaan air dan unsur hara menjadi faktor penting yang menentukan besar kecilnya berat basah. Sehingga pada perlakuan S3 (Sulfur 150%) dapat dikatakan perlakuan optimal jika ditinjau dari berat basah. Berat basah juga berkaitan erat dengan kemampuan akar dalam

menyerap air dari tanaman (Putra *et al.*, 2021). Jika dilihat dari hasil rata-rata dan nilai indeks berat basah maupun panjang akar perlakuan S4 (Sulfur 200%) memperoleh nilai yang rendah, hal ini disebabkan pemberian konsentrasi sulfur yang tinggi pada perlakuan tersebut. Menurut Sitompul (2015), jika pemberian unsur hara kepada tanaman justru menyebabkan penurunan pertumbuhan, maka tanaman tersebut berada dalam kondisi kelebihan unsur hara atau telah memasuki zona toksik. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa kelebihan konsentrasi sulfur dapat menimbulkan negatif tanaman, seperti kerusakan pada akar dan daun serta menghambat proses pertumbuhannya (Likus-cie & Pietrzykowski, 2018).

5. Berat kering

Berat kering tanaman berfungsi sebagai indikator untuk menilai tingkat pertumbuhan tanaman, karena berat ini mencerminkan jumlah senyawa organik yang berhasil dibentuk tanaman dari senyawa organik, terutama air dan karbondioksida (CO_2). Pada penelitian ini dihasilkan rata-rata berat kering ditunjukkan pada Tabel 4.5 diperoleh hasil data rata-rata berat kering tanaman yang bervariasi nilai rata-rata tertinggi terdapat pada perlakuan S0 (Sulfur 0) sebesar

1,40 gram. Berdasarkan hasil uji ANOVA (Lampiran 20) berat kering tanaman menunjukkan nilai $> 0,05$ yaitu sebesar 0,10 yang berarti berat kering tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) tidak berpengaruh secara nyata. Hal ini sejalan dengan pernyataan bahwa sulfur termasuk dalam kategori unsur hara sekunder bersama dengan kalsium dan magnesium. Artinya, meskipun dibutuhkan tanaman dalam jumlah relatif besar, kebutuhan akan sulfur tetap lebih rendah dibandingkan dengan unsur hara makro utama seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Menurut Duca (2015), sulfur klasifikasinya sebagai unsur hara makro sekunder, yang meskipun esensial, kontribusinya lebih bersifat fungsional daripada struktural.

6. Flavonoid

Flavonoid adalah senyawa bioaktif yang termasuk dalam kelompok fenol dan umumnya ditemukan pada tumbuhan (Panche *et al.*, 2016). Dalam penelitian ini, keberadaan flavonoid ditunjukkan melalui perubahan warna menjadi kuning, jingga, merah tua hingga magenta (Sofiyanti, 2019). Perubahan warna tersebut disebabkan oleh proses reduksi yang melibatkan magnesium dan asam klorida pekat (Ronbinson, 1995). Penambahan serbuk magnesium dan asam klorida

pekat dalam uji reaksi warna senyawa terhadap senyawa flavonoid bertujuan mereduksi inti benzopiron dalam struktur flavonoid, sehingga menghasilkan garam flavilium. Reaksi antara serbuk magnesium dan HCl menghasilkan gelembung gas hidrogen (H₂) (Illing *et al.*, 2017). Berdasarkan pada hasil uji warna (Tabel 4.7) pada ekstrak etanol bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) diperoleh bahwa semua perlakuan (S0, S1, S2, S3 dan S4) menampilkan warna kuning-jingga yang mengindikasikan hasil reaksi positif.

Pengukuran kadar total flavonoid dalam ekstrak etanol bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) dilakukan menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis. Berdasarkan hasil rata-rata kadar total flavonoid dari ekstrak bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) nilai tertinggi pada perlakuan S2 (Sulfur 100%) sebesar 2,07 mgQE/g. Menurut Xuan *et al.* (2022), bahwa ada efek positif dari aplikasi nutrisi makro magnesium sulfat (MgSO₄) terhadap kandungan flavonoid, namun studi tersebut difokuskan pada tahap perkembangan tanaman yang lebih lanjut, sehingga pada periode budidaya yang lebih lama akan mempengaruhi kandungan flavonoid, dan belum ada

analisis lebih jauh mengenai pengaruh sulfur secara nyata terhadap flavonoid.

Sulfur berperan penting dalam metabolisme tanaman karena dibutuhkan dalam sintesis protein, asam amino, serta berbagai vitamin dan enzim. Peningkatan asam amino ini mendukung sintesis protein, pembelahan sel, pembentukan pigmen tanaman, serta produksi hormon pertumbuhan seperti asam indol asetat, giberelin, dan etilen (Mohamed, 2017). Salah satu asam amino yang meningkat adalah fenilalanin, yang merupakan prekursor utama dalam pembentukan senyawa fenolik dan flavonoid melalui jalur fenilpropanoid dan fenilpropanoid-asetat (Chepel *et al.*, 2020).

Berdasarkan hasil statistika Kruskal-Walis menunjukkan nilai signifikan $> 0,05$ yaitu sebesar 0,13, dimana perlakuan yang dilakukan tidak ada pengaruh secara nyata pada perlakuan terhadap hasil kandungan flavonoid. Hal ini mengindikasikan bahwa sulfur bukan merupakan faktor dominan yang secara langsung mengatur jalur biosintesis flavonoid. Metabolit sekunder dalam tanaman dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik dari dalam seperti genetik, maupun dari luar seperti cahaya, suhu, kelembapan, dan ketersediaan unsur hara (Haslem, 1989). Hal ini

sejalan dengan pernyataan Cseke *et al.* (2006), bahwa flavonoid dapat mengalami peningkatan kadar sebagai respon terhadap paparan cahaya. Dalam proses fotosintesis, cahaya menghasilkan glukosa-6-fosfat yang berperan sebagai prekursor pembentukan asetil CoA, yang kemudian menjadi bahan dasar sintesis senyawa flavonoid. Pernyataan ini ditunjang dengan menurut Awad (2001), yang menyebutkan bahwa variasi intensitas cahaya dapat memengaruhi kadar senyawa flavonoid yang dihasilkan tanaman.

7. Antosianin

Antosianin merupakan senyawa turunan dari metabolit sekunder flavonoid yang memiliki peran sebagai antioksidan. Selain itu, antosianin juga berfungsi sebagai pigmen yang memberikan warna merah, ungu, jingga, dan biru. Menurut Hambali & Noermansyah (2014), pada bayam merah terdapat antosianin yang berperan sebagai zat warna. Berdasarkan hasil rata-rata kadar antosianin pada perlakuan S2 (Sulfur 100%) memperoleh nilai tertinggi yaitu sebesar 1,16 mg/L.

Pada hasil uji Kruskal-Wallis yang telah dilakukan pada semua perlakuan (S0, S1, S2, S3, S4) diperoleh nilai signifikansi $< 0,05$ sebesar 0,01 yang

artinya terdapat pembeda antar masing-masing perlakuan. Pada uji lanjutan yang ditunjukkan pada Tabel 4.9 diperoleh pada perlakuan S2 (Sulfur 100%) berbeda signifikan terhadap perlakuan S0, S3, dan S4 dengan nilai *Asymp.sig* sebesar 0,04. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian sulfur menyebabkan peningkatan kadar asam amino, yang berkontribusi terhadap peningkatan pigmen antosianin, terutama pada perlakuan S2 (Sulfur 100%). Hal ini sejalan dengan pernyataan El-beltagi *et al.* (2023), sulfur berperan penting dalam sintesis asam amino, terutama fenilalanin, yang selanjutnya dikonversi menjadi senyawa fenolik. Senyawa fenolik tersebut kemudian mengalami transformasi menjadi antosianin melalui jalur fenilpropanoid-asetat. Oleh karena itu, perlakuan S2 (Sulfur 100%) dapat dianggap sebagai perlakuan paling optimal dalam meningkatkan sintesis antosianin. Perbedaan kadar antosianin pada setiap perlakuan diduga juga dipengaruhi oleh tingginya intensitas cahaya yang masuk, yang dapat memicu peningkatan produksi antosianin. Hal ini sejalan dengan penelitian An *et al.* (2023) yang menunjukkan bahwa intensitas cahaya berperan dalam sintesis antosianin melalui pengaturan kadar hormon endogen dan aktivitas enzim terkait dalam jalur sintesis

antosianin. Semakin banyak cahaya dan cukup, semakin kondusif sintesis antosianin dalam tanaman.

8. Faktor lingkungan

Budidaya bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) dipengaruhi juga oleh kondisi lingkungan, dimana pada penelitian dilakukan pengukuran kondisi lingkungan secara berkala seperti suhu, kelembapan udara dan intensitas cahaya (Lampiran 16). Pengukuran faktor lingkungan dilakukan sebagai penunjang kondisi lingkungan dalam mendukung optimalisasi proses budidaya.

1. Suhu

Suhu merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi pertumbuhan tanaman. Setiap jenis atau varietas tanaman memiliki kisaran suhu tertentu yang dapat diterima, yaitu suhu minimum, optimum, dan maksimum. Ketika suhu berada di bawah batas minimum, tanaman tidak mampu tumbuh. Suhu optimum akan mendukung peningkatan laju pertumbuhan, sedangkan suhu yang melebihi batas maksimum dapat menghambat pertumbuhan secara keseluruhan, bahkan menyebabkan kematian tanaman apabila tidak mampu beradaptasi terhadap stres suhu tersebut (Salisbury, 1985).

Tanaman bayam merah umumnya dapat tumbuh dengan suhu rata-rata 20°C - 30°C (Afif, 2015). Berdasarkan hasil rata-rata selama pengukuran suhu di pagi pukul (08.00) berkisar 31,64°C, pada siang hari pukul (12.00) berkisar 33,30°C dan pada sore hari pukul (15.00) berkisar 30,24°C. Hasil pengukuran suhu pada tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) menunjukkan bahwa suhu terbilang relatif tinggi namun tanaman masih bisa tumbuh dengan baik. Hal ini dikarenakan sebagian besar tanaman menunjukkan mekanisme adaptasi yang memungkinkan mereka bertahan dalam kondisi stres panas, karena kondisi suhu di sekitar *Greenhouse* masih terbilang dapat ditoleransi (Campbell *et al.*, 2008).

2. Kelembapan udara

Kelembapan udara merupakan jumlah uap air yang terdapat di dalam atmosfer. Udara yang hangat mampu menampung uap air lebih banyak dibandingkan dengan udara yang lebih dingin. Jumlah uap air di atmosfer bergantung pada suhu udara, semakin tinggi suhu, semakin besar pula kandungan uap air yang dapat ditampung (Gardenia *et al.*, 2022). Oleh karena itu, terdapat

hubungan erat antara kelembapan udara dan tingkat curah hujan.

Tanaman bayam merah umumnya dapat tumbuh dengan kelembapan udara diatas 60% (Afif, 2015). Berdasarkan hasil rata-rata pengukuran kelembapan udara pada pagi (08.00), siang (12.00) dan sore hari (15.00) yaitu sebesar 74,16%, 60,08% dan 60,25%. Hasil pengukuran kelembapan udara di sekitar tempat budidaya tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) sudah baik dan dapat menunjang pertumbuhan tanaman bayam merah tersebut.

3. Intensitas cahaya

Intensitas cahaya merupakan salah satu faktor lingkungan paling penting yang memengaruhi jalannya proses fotosintesis. Intensitas cahaya yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat menurunkan efisiensi fotosintesis dan berdampak pada pertumbuhan tanaman (Waruwu *et al.*, 2024). Intensitas cahaya untuk tanaman bayam merah yang optimal adalah berkisar 1925 – 2210 lux (Perdana *et al.*, 2016).

Berdasarkan hasil pengukuran intensitas cahaya di area *Greenhouse* tempat budidaya tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.),

pada pagi (08.00), siang (12.00) dan sore hari (15.00) berturut-turut yaitu sebesar 8460 lux, 5040,83 lux dan 2060 lux. Hasil rata-rata intensitas cahaya dari pagi sampai sore mengalami penurunan, walaupun pada pagi dan siang hari intensitas terbilang relatif tinggi, namun tanaman bayam merah tetap bisa tumbuh dan adaptasi dengan baik. Hal ini dikarenakan tingkat intensitas cahaya yang masuk kategori optimal. Proses fotosintesis dapat berlangsung secara maksimal karena tanaman menerima cukup energi untuk mendukung jalannya reaksi terang maupun reaksi gelap (Waruwu *et al.*, 2024).

4. pH dan TDS

Bayam umumnya tumbuh optimal dalam sistem hidroponik pada pH antara 6 hingga 7, dengan kisaran TDS ideal sekitar 1260–1610 ppm (Ramadhan *et al.*, 2023). Hasil pengukuran terhadap tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) menunjukkan bahwa pH larutan nutrisi berada pada kisaran 6,46 hingga 6,71, sedangkan nilai TDS berkisar antara 423,83 hingga 520,83 ppm. Meskipun nilai pH sudah berada dalam rentang optimal, kadar TDS masih tergolong rendah. Rendahnya TDS ini

kemungkinan disebabkan oleh fluktuasi dalam larutan nutrisi, yang kemudian memengaruhi konsentrasi zat terlarut. Kondisi ini sejalan dengan pendapat Deo *et al.* (2024), bahwa ketidaktepatan atau ketidakstabilan nutrisi dapat berdampak signifikan terhadap kesehatan tanaman dan hasil panen. Larutan nutrisi baiknya diganti 1 minggu sekali, namun pada penelitian ini dilakukan 2 minggu sekali sehingga diduga mempengaruhi hasil panen tanaman, menurut Ramadhan *et al.* (2023), penggantian larutan nutrisi dilakukan setiap minggu guna mempertahankan kualitas larutan dan memastikan ketersediaan unsur hara tetap optimal bagi pertumbuhan tanaman.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Perlakuan konsentrasi sulfur pada senyawa MgSO_4 yang berbeda menunjukkan pengaruh nyata terhadap beberapa parameter pertumbuhan terutama pada tinggi tanaman minggu ke-3 dan ke-4 setelah tanam, panjang akar, dan berat basah. Berdasarkan nilai indeks pertumbuhan yang terbaik pada tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) pada perlakuan S2 (Sulfur 100%) pada tinggi tanaman dan panjang akar, perlakuan S3 (Sulfur 150%) dengan nilai indeks pertumbuhan terbaik pada berat basah. Namun, berat kering dan jumlah daun tidak menunjukkan perbedaan nyata antar perlakuan. Hal ini mengindikasikan bahwa pemberian sulfur pada konsentrasi optimal (sekitar 100 – 150%) dapat meningkatkan aspek tertentu dari pertumbuhan vegetatif bayam merah, namun efeknya bervariasi tergantung parameter yang diamati.
2. Pemberian konsentrasi sulfur (MgSO_4) yang berbeda tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap seluruh perlakuan, meskipun menunjukkan hasil

positif dalam uji warna flavonoid, secara statistik tidak terdapat perbedaan yang nyata antar perlakuan berdasarkan uji ANOVA ($p > 0,05$). Namun, perlakuan S2 menghasilkan kadar flavonoid tertinggi sebesar 2,07 mgQE/g.

3. Pemberian konsentrasi sulfur (MgSO_4) yang berbeda menunjukkan pengaruh yang signifikan antar perlakuan terhadap kadar antosianin berdasarkan uji statistika. Perlakuan S2 (100% sulfur) memberikan hasil kadar antosianin tertinggi sebesar 1,16 mg/L dan berbeda nyata dengan perlakuan S0, S3, dan S4. Sehingga hal ini menunjukkan bahwa pemberian sulfur dalam jumlah optimal dapat meningkatkan produksi antosianin secara signifikan.

B. Saran

Berdasarkan hasil yang diperoleh dalam penelitian ini, disarankan agar dilakukan penelitian lanjutan dengan parameter pengamatan yang lebih beragam pada spesies tanaman yang berbeda, serta menggunakan kombinasi dan konsentrasi makronutrien sulfur (S) yang bervariasi, agar informasi mengenai pengaruh pemberian unsur hara sulfur (S) menjadi lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Addai, I. K., & Anning, D. K. (2015). Response of Onion (*Allium cepa* L.) to Bulb Size at Planting and NPK 15:15:15 Fertilizer Application Rate in the Guinea Savannah Agroecology of Ghana. *Journal of Agronomy*, 14(4), 304–309. <https://doi.org/10.3923/ja.2015.304.309>
- Afif, M. (2015). *Pengaruh NPK Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Produksi Tanaman Bayam Merah (Amaranthus spp).* (Skripsi). Fakultas Pertanian Universitas Teuku Umar.
- Alfin Khasanah, Oetami Dwi Hajoeningtjas, Gayuh Prasetyo Budi Pamungkas, dan R. B. (2018). Uji Pupuk Urea Slow Release Matriks Komposit Pada Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Caisin (*Brassica cheninsis* L.). *Pembangunan Pertanian Berkelanjutan Dalam Perspektif Teknologi, Sosial, Dan Ekonomi*, 173–180.
- An, X., Tan, T., Song, Z., Guo, X., Zhang, X., Zhu, Y., & Id, D. W. (2023). Physiological response of anthocyanin synthesis to different light intensities in blueberry. *Plos One*, 31760205, 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0283284>
- Anshori, Muslich & Iswati, S. (2019). *Metodologi Penelitian Kuantitatif*. Airlangga Press.
- Arikunto, S. (2014). *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan*

Praktek. Rineka Cipta.

Arpula, S., Gouthami, B., Bixapathi Nayak, B., & Shirisha, K. (2024). *Smart Irrigation Systems in Agriculture* (pp. 11–26).

Awad. (2001). *The Apple Skin: Colourful Healthiness. Developmental and environmental regulation of flavonoid and chlorogenic acid in apples*. Mansoura University.

Badan Pusat Statistik (BPS). (2023). *Produksi Tanaman Sayuran 2023*. Badan Pusat Statistik(BPS - Statistics Indonesia). www.bps.go.id

Bui, F., Afnita, M., & Taolin, R. I. C. O. (2015). *Pengaruh Komposisi Media Tanam dan Ukuran Polybag Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tomat*. 1(2477), 1–7.

Campbell, N.A., Reece J.B., U. L. A., Cain M.L., W. S. A., & Minorsky P.V., & J. R. . (2008). *Biologi Edisi Kedelapan Jilid 2*. Erlangga.

Chairunnisa, S., Wartini, N. M., Suhendra, L., Pertanian, F. T., Udayana, U., & Bukit, K. (2019). *Pengaruh Suhu dan Waktu Maserasi terhadap Karakteristik Ekstrak Daun Bidara (Ziziphus mauritiana L .) sebagai Sumber Saponin*. 7(4), 551–560.

Chen, L., & Liao, H. (2017). Engineering crop nutrient efficiency for sustainable agriculture. *Journal of Integrative Plant*

Biology, 59(3), 710–735. <https://doi.org/10.1111/jipb.12559>

Chepel, V., Lisun, V., & Skrypnyk, L. (2020). Changes in the Content of Some Groups of Phenolic Compounds and Biological Activity of Extracts of Various Parts of Heather (*Calluna vulgaris* (L .) Hull) at Different Growth Stages. *Plants*.

Cseke LJ., Lu Casey R., Kornfeld A., Kaufman PB., K. A. (2006). *How and Why these compounds are synthesized by plants*. Taylor and Francis Group LCC CRC Pres.

Deo, E., Nainggolan, M., Wijaya, T. K., Aligusri, M., Studi, P., Elektro, T., Teknik, F., Kepulauan, U. R., Tempayan, B., & Batam, K. (2024). Perancangan sistem pemantauan larutan nutrisi pada tanaman hidroponik metode rakit apung berbasis iot. *Sigma Teknika*, 7(2), 361–374.

Departemen Kesehatan RI. (2000). *Parameter Standar Umum Ekstrak Tumbuhan Obat*. Departemen Kesehatan RI.

Duca, M. (2015). *Plant Physiology*. Springer International Publishing.

Eka, W., Santoso, A., Estiasih, T., Ubi, K., & Ungu, J. (2014). *Jurnal Review: Kopigmentasi Ubi Jalar Ungu (Ipomoea batatas Var. Ayamurasaki) dengan Kopigmen Na-Kaseinat dan Protein Whey Serta Stabilitasnya Terhadap Pemanasan*

Purple Sweet Potato Peel (Ipomoea batatas var . ayamurasaki) Anthocyanins Copigmentation Us. 2(4), 121–127.

El-beltagi, H. S., El-sayed, S. M., Abdelhamid, A. N., Hassan, K. M., Elshalakany, W. A., Nossier, M. I., Alabdallah, N. M., Al-harbi, N. A., Al-qahtani, S. M., Bahaa, D., Darwish, E., & Abbas, Z. K. (2023). Potentiating Biosynthesis of Alkaloids and Polyphenolic Substances in Catharanthus roseus Plant Using κ -Carrageenan. *Molecules*, 1–25.

Fitter, A.H., and R. K. M. H. (1994). *Environmental physiology of plants*. Academic Press.

Gardenia, Marheta, Putra & Delsina, F. (2022). Cahaya pada *Greenhouse* untuk Tanaman Bawang Merah Menggunakan Internet of Things (IOT). *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 5, 11404–11419.

Gardner, F.P. , R.B. Pearce, and R. L. M. (1991). *Physiology of cropsplants*. Press. Ames, IA.

Getut, P. (2017). *Statistika Penelitian dengan SPSS 24*. PT Elex Media Komputindo.

Giusti, M. M. dan R. E. W. (2001). *Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy*. . Oregon State University.

- Grzebisz, W., & Zielewicz, W. (2023). Deficiencies of Secondary Nutrients in Crop Plants — A Real Challenge to Improve Nitrogen Management. *Agronomy*, 1–30.
- Halimah, Nur., Afila, Nila., Wiranata, M.A., Pritisaningsih, E.R., Hudori , H.A., Arisandi, D.P., Umami, R. (2021). *AGRIMETRIKA: Pendekatan Statistika Untuk Agribisnis*. CV Bintang Semesta Media.
- Hambali, M., & Noermansyah, F. (2014). *Variasi Konsentrasi, dan Lama Waktu*. 20(2), 25–35.
- Hapsari, A. T., Darmanti, S., & Hastuti, E. D. (2018). Pertumbuhan Batang , Akar dan Daun Gulma Katumpangan (*Pilea microphylla* (L .) Liebm .) Stems , Roots and Leaves Growth of Ketumpang (*Pilea microphylla* (L .) Liebm .) Weeds. *Buletin Anatomi Dan Fisiologi*, 3.
- Hasanah, B., & Purnamaningsih, L. (2019). Korelasi dan Sidik Lintas Komponen Hasil dan Hasil Bayam Merah (*Amaranthus tricolor* L .) Correlation and Path Analysis Yield Component and Yield of Red Spinach (*Amaranthus tricolor* L .). *Jurnal Produksi Tanaman*, 7(5), 766–774.
- Haslem. (1989). *Plant polyphenol: Vegetal tannin related-chemistry and pharmacology of natural products*. Cambridge University.

- Hasrianti, Nururrahmah, N. (2016). Pemanfaatan Ekstrak Bawang Merah dan Asam Asetat Sebagai Pengawet Alami Bakso. *Jurnal Dinamika*, 07(1), 9–30.
- Hepni. (2019). Isolasi Dan Identifikasi Senyawa Flavonoid Dalam Daun Kumak (*Lactuca Indica L.*). *Jurnal Dunia Farmasi*, 4(1), 17–22.
- Heriwibawa, K. d. (2018). *Hidroponik Portabel*. Penenbar Swadaya.
- Illing, Ilmiati., W. S. dan E. (2017). View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk. *Jurnal Dinamika*, April, 66–84.
- ITIS. (2024). *Amaranthus cruentus L.* ITIS. www.itis.gov
- Izzuddin, A. (2016). *Wirausaha Santri Berbasis Budidaya Tanaman Hidroponik*. 16, 351–366.
- Judita Bystrická, Petra Kavalcová, Alena Vollmannová, Ján Tomáš, M. O. (2014). The Role of Sulphur on The Content of Total Polyphenols and Antioxidant Activity in Onion (*Allium cepa L.*). *Scientific Journal for Food Industry: Potravinarstvo*, 8(1), 284–289. <https://doi.org/10.5219/401>
- Juita, M. E. & F. (2024). *Statistik Non Parametrik*. Penerbit Nem.
- Kaewseejan, N., Sutthikhum, V., & Siriamornpun, S. (2015). Potential of *Gynura procumbens* leaves as source of

- flavonoid-enriched fractions with enhanced antioxidant capacity. *Journal of Functional Foods*, 12, 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.11.001>
- Kasih, A. &. (2008). *Khasiat warna warni makanan*. Gramedia Pustaka Utama.
- Kemenag. (2024). *Surat Al-An'am Ayat 99 dan Tafsirnya*. quran.kemenag.go.id
- Kopriva, S., Calderwood, A., Weckopp, S. C., & Koprivova, A. (2015). *Plant Science Plant sulfur and Big Data*. 241, 1–10.
- Lakitan. (1996). *Fisiologi pertumbuhan dan perkembangan tanaman*. Raja Grafindo Persada.
- Likus-cie, J., & Pietrzykowski, M. (2018). Chemistry of Sulfur-Contaminated Soil Substrate from a Former Frasch Extraction Method Sulfur Mine Leachate with Various Forms of Litter in a Controlled Experiment. *Water Air Soil Pollut.*
- Machali, I. (2021). *Metode Penelitian Kuantitatif*. Universitas Islam Negeri (UIN) Sunan Kalijaga Yogyakarta.
- Maharany, R. (2016). Respon Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Bayam merah (*Amaranthus gangeticus*) Terhadap Pemberian Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit dan Pupuk Urea. *Jurnal Penelitian Pertanian BERNAS Volume*, 12(3), 1–10.

- Mahmudatussa, A., Fardiaz, D., Andarwulan, N., & Kusnandar, F. (2014). Karakteristik Warna dan Aktivitas Antioksidan Antosianin Ubi Jalar Ungu [Color Characteristics and Antioxidant Activity of Anthocyanin Extract from Purple Sweet Potato]. *J. Teknol. Dan Industri Pangan*. <https://doi.org/10.6066/jtip.2014.25.2.176>
- Mardhiana, S., & Pradana, A. (2017). Effects of pruning on growth and yield of cucumber (*Cucumis sativus*) Mercy variety in The acid soil of North Kalimantan , Indonesia Effects of pruning on growth and yield of cucumber (*Cucumis sativus*) Mercy variety in The acid soil of North Kalimantan. *Cell Biology & Development*, July. <https://doi.org/10.13057/cellbioldev/v010103>
- Marginingsih, R. S., Nugroho, A. S., & Dzakiy, M. A. (2018). Pengaruh Substitusi Pupuk Organik Cair Pada Nutrisi AB Mix Terhadap Pertumbuhan Caisim (*Brassica juncea* L.) Pada Hidroponik Drip Irrigation System. *Jurnal Biologi & Pembelajarannya*, 5(1), 44–51.
- Marschner. (2012). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Elsevier.
- Maulida, Dewi & Zulkarnaen, N. (2010). Ekstraksi Antioksidan (Likopen) Dari Buah Tomat Dengan Menggunakan Solvent Campuran, N-Heksana, Aseton, Dan Ethanol,. In *Skripsi*. Universitas Dipenogoro.

- Mierziak, J., Kostyn, K., & Kulma, A. (2014). *Flavonoids as Important Molecules of Plant Interactions with the Environment*. 16240–16265.
<https://doi.org/10.3390/molecules191016240>
- Mohamed, A. E.-H. M. M. W. M. M. M. E.-W. and M. M. A. (2017). RESPONSE OF FLAME SEEDLESS GRAPEVINES TO FOLIAR. *Jurnal Product. & Dev*, 22(3), 469–485.
- Muhammad, A., Nunung, S., Fathan, N., Assabiqi, A., & Natasha, F. (2020). Model Pengaruh Cahaya terhadap Pertumbuhan Tanaman Kedelai (*Glycine max L.*). *Skrispsi, January 2019*.
- Nabavi, SM; Šamec, D.; Tomczyk, M.; Milella, L.; Russo, D.; Habtemariam, S.; Suntar, I.; Rastrelli, L.; Daglia, M.; Xiao, J. . dkk. (2020). Flavonoid biosynthetic pathways in plants: Versatile targets for metabolic engineering. *Biotechnol*.
- Narayan, O. P., Kumar, P., Yadav, B., & Dua, M. (2023). Sulfur nutrition and its role in plant growth and development. *Plant Signaling & Behavior*, 18(1).
<https://doi.org/10.1080/15592324.2022.2030082>
- Nasrullah, Okvi, Abdul, Eni, Nurdyansyah, R. (2023). *Metodologi Penelitian Pendidikan (Prosedur Penelitian, Subjek Penelitian dan Pengembangan Teknik Pengumpulan Data)*. UMSIDA Press.

- Nazara, R. V., Telaumbanua, P. H., Harefa, K. S. E., Junita, D. E., Sains, F., Nias, U., & Utara, S. (2024). Efektivitas Lama Pemberian Nutrisi terhadap Produktivitas Pakcoy (*Brassica rapa* L.) pada Media Tumbuh Organik Secara Hidroponik Sistem NFT (Nutrient Film Technique) Effectiveness of Nutrient Duration on Production of Pakcoy (*Brassica rapa* L) on Seve. *Agrium*, 27(2), 201–212.
- Ningsih, I. S., Chattri, M., & Advinda, L. (2023). *Flavonoid Active Compounds Found In Plants Senyawa Aktif Flavonoid yang Terdapat Pada Tumbuhan Abstrak Pendahuluan*. 8(2), 126–132.
- Nyakpa, M.Y., A.M. Lubis, M.A. Pulung, A. G., Amrah, A. Munawar, G.B Hong, dan N., & Hakim. (1998). *Kesuburan Tanah*. Universitas Lampung.
- Panche, D. and S. R. C. (2016). Flavonoids: an overview. *Jurnal of Nutritional Science*, 5(47), 1–15. <https://doi.org/10.1017/jns.2016.41>
- Perdana, Adkha, Dr. Rudiati Evi Masithoh, STP. M.Dev.Tech; Dr. Ngadisih, S. M. S. (2016). PARAMETER PERTUMBUHAN TANAMAN BAYAM MERAH (*Amaranthus gangeticus* L.) PADA SISTEM HIDROPONIK DENGAN VARIASI CAHAYA DAN KANDUNGAN NUTRISI ADKHA PERDANA KUSUMA, Dr. Rudiati Evi Masithoh, STP.

M.Dev.Tech; Dr. Ngadisih, STP. M.Sc. In *Skripsi*.
Universitas Gadjah Mada.

Priska, M., Peni, N., Carvallo, L., & Ngapa, Y. D. (2018). Review: Antosianin dan Pemanfaatannya. *Cakra Kimia Indonesia*, 6, 79–97.

Purbajanti, S. (2017). *Hidroponic: Bertanam Tanpa Tanah*. EF Press Digimedia.

Putra, Y. K., Des, M., Leilani, I., Putri, E., & Violita, V. (2021). The Effect of Use Ground Coffee (*Coffea arabica* L.) as a addition Nutrition To The Growth of lettuce Plants (*Lactuca sativa* L.) In Hydroponics Systems. *Prosiding SEMNAS BIO*.

Rai, Nyoman, I. (2023). *Nutrisi Tanaman*. Deepublish.

Ramadhan Audi, Purbayanti, E. D., & Budiyanto, S. (2023). Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman Bayam Pada Hidroponik Sistem Wick Akibat Substitusi POC Kulit Pisang Growth and Development Of Spinning Plants In Wick System Hydroponics Due to Banana Skin POC Substitution. *AGROHITA*, 8(1), 162–168.

Razimin., Ni Luh, I. (2013). *Bawang Dayak: Si Umbi Ajaib Penakluk Aneka Penyakit*. PT AgroMedia Pustaka.

Rehan, M. (2021). *Biosynthesis of Diverse Class Flavonoids via Shikimate and Phenylpropanoid Pathway*. In *Bioactive*

Compounds. Intechopen.

Reyes, D. L. (2024). *Determination of flavonoid and anthocyanin contents , and antioxidant activity*. 8(June), 331–342.

Ronbinson, T. (1995). *Kandungan Organik Tumbuhan Tinggi*. Penerbit ITB.

Saadah, I. N., Kristanti, A. N., Hardjo, P. H., Sri, Y., & Manuhara, W. (2019). Asian Journal of Plant Sciences Shoots Culture of *Gynura procumbens* (Lour .) Merr . in Balloon- Type Bubble-bioreactor Influenced by Sucrose Concentration and Inoculums Density. *Asian Journal of Plant Sciences*, 18(2), 85–90. <https://doi.org/10.3923/ajps.2019.85.90>

Saadah, I. N., Sri, Y., Manuhara, W., & Kristanti, A. N. (2022). Evaluation of Flavonoid Content from Shoot Culture of *Gynura procumbens* in Balloon-type Bubble Bioreactors. *Traditional Medicine Journal*, 27(August), 6–7. <https://doi.org/10.22146/mot.72734>

Salisbury, F. B. (1985). *Plant physiology*. Belmont, Calif. : Wadsworth Pub. Co.

Santoso, H. B. (2021). *Bayam Merah*. Penerbit Pohon Cahaya Semesta.

Saparinto. (2013). *Grow Your Own Vegetables; Panduan Praktis Menanam 14 Sayuran Konsumsi Populer di Pekarangan*.

Lily Publisher.

Setiawan. (2019). *Buku Pintar Hidroponik*. Laksana.

Sharma, N., Acharya, S., & Kumar, K. (2018). *Hydroponics as an advanced technique for vegetable production : An overview*. 17(December), 364–371. <https://doi.org/10.5958/2455-7145.2018.00056.5>

Sharpe, P. (2018). *Horse Pasture Management*. Elsevier Inc.

Silva, A. M. S. (2021). *Plant Flavonoids : Chemical Characteristics and Biological Activity*. 1–16.

Sipahli, S., Mohanlall, V., & M., & J, J. (2017). Stability and Degradation Kinetics of Crude Anthocyanin Extract from H. Sabdariff. *Food Science and Technology*, 37(2), 208–215.

Sitompul, S. M. (2015). *Nutrisi Tanaman: Diagnosis Defisiensi Nutrisi Tanaman*. Modul 2 Self-Propagating Entrepreneurial Education Development.

Sitompul SM, G. B. (1995). *Analisis Pertumbuhan tanaman*. UGM Press.

Slameto. (2023). *The Effect of Sulfur (S) – Silicate (Si) Fertilizer Application on The Growth , Yield , and Physiochemical Properties of Two Soybean Varieties*. 25(1), 19–27.

Smeriglio, A.; Barreca, D.; Bellocco, E.; Trombetta, D. (2016).

Chemistry, Pharmacology and Health Benefits of Anthocyanins. *Phytother*, 30, 1256–1286.

Sofiyanti, N. (2019). Skrining Fitokimia Lima Jenis Tumbuhan Paku Polypodiaceae Dari Provinsi Riau Phytochemical Screening of Five Species of Polypodiaceae Ferns from Riau Province Pendahuluan Metode Penelitian Waktu dan tempat. *Biota*, 4(2), 40–49.

Sri, A. (2014). Metode Isolasi dan Identifikasi Struktur Senyawa Organik Bahan Alam. *Jurnal Konservasi Cagar Budaya Borobudur*, 8(2), 53–61.

Subandi, M., Salam, N. P., & Frasetya, B. (2015). *Pengaruh Berbagai Nilai EC (Electrical Conductivity) Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Bayam (Amaranthus sp.) Pada Hidroponik Sistem Rakit Apung (Floating Hydroponics System)*. IX(2).

Sudewo, B. (2012). *Basmi Kanker dengan Herbal*. Transmedia Pustaka.

Sufardi, S. (2020). *Pertumbuhan tanaman* (Issue May). Syiah Kuala University.

Sugiarna, R., Farhan, N., Rusdi, M., & Arsul, M. I. (2019). Kadar Fenolik dan Flavonoid Total Ekstrak Etanol Daun Anggur (*Vitis vinifera* Kadar Fenolik dan Flavonoid Total Ekstrak

- Etanol Daun Anggur (*Vitis vinifera* L) Total Phenolic and Flavonoid Content of Grapevine (*Vitis vinifera* L) Leaves Ethanol Extract. *Ad-Dawaa'J.Pharm.Sci.*, 2(2).
<https://doi.org/10.24252/djps.v2i2.11503>
- Sugito, Y. (1995). *Metode Ilmiah "Metode Percobaan dan Penulisan Karya Ilmiah."* Universitas Brawijaya.
- Sunarjono. (2008). *Bertanam 30 Jenis Sayuran*. Penenbar Swadaya.
- Sunarjono, H. (2014). *Bertanam 36 Jenis Sayur*. Penenbar Swadaya.
- Supomo, Husnuk Wnida, B. M. S. (2019). Perbandingan Metode Ekstraksi Ekstrak Umbi Bawang Rambut (*Allium chinense* G.Don.) Menggunakan Pelarut Etanol 70% Terhadap Rendemen dan Skrining Fitokimia. *Jurnal Riset Kefarmasian Indonesia*, 1(1), 30–40.
- Syamsiyah, J., Herdiansyah, G., Cahyo, B., & Gumilang, A. (2025). Effect of $MgSO_4$ as a complement to NPK fertilizer on shallot growth. *BIO Web of Conferences*, 01008, 1–7.
- Taiz, L. and Zeiger, E. (2010). *Plant Physiology. 5th Edition*. Sinauer Associates Inc.
- Tariq, H., Asif, S., Andleeb, A., & Hano, C. (2023). *Flavonoid Production : Current Trends in Plant Metabolic Engineering and De Novo Microbial Production*.

- Till, A. R. (2010). *Sulphur and sustainable agriculture*. International fertilizer industry Association.
- Trojak, M., & Skowron, E. (2017). *Role of anthocyanins in high-light stress response*. July.
- Wahyu, B., & Basri, M. (2022). Pertumbuhan Kembali Rumput Odot (*Pennisetum purpureum* cv. Mott) yang Diberi Perlakuan Pupuk Nitrogen Pada Perkembangan Awalnya: Regrowth of Dwarf Elephant Grass (*Pennisetum purpureum* cv. Mott) Treated with Nitrogen Fertilizer in its Initial Development. *Jurnal Ilmiah: Agri Sains*, 23(3), 139–147.
- Waruwu, A. L., Mendrofa, H. K., Tafonao, F., Gulo, N. O., Lukevin, M., Zai, F., Zeni, P., Waruwu, F., Citra, P., Gulo, D., Zebua, H. P., Nias, U., Nias, U., Nias, U., Nias, U., Nias, U., Nias, U., Nias, U., & Nias, U. (2024). PENGARUH VARIASI INTESITAS CAHAYA TERHADAP. *Jurnal Ilmu Pertanian Dan Perikanan*, 01, 262–269.
- Wiranata, I. G., Malida, M., & Sasadara, V. (2022). Pengaruh Pelarut dan Metode Ekstraksi Terhadap Kandungan Metabolit Sekunder dan Nilai Ic 50 Ekstrak Umbi Bit (*Beta vulgaris* L.) Effect of Solvent and Extraction Method on Secondary Metabolites And Ic 50 of Beetroot Extract (*Beta vulgaris* L.). *Jurnal Integrasi Obat Tradisional*, 2(1).
- Xuan, T. D., Huong, C. T., Quan, N. Van, Anh, L. H., & Khanh, T.

- D. (2022). Improvement of Salinity Tolerance in Rice Seedlings by Exogenous Magnesium Sulfate Application. *Soil System*, 1–12.
- Yan, S., Liu, J., & Si, D. (2023). *Guideline for extraction , qualitative , quantitative , and stability analysis of anthocyanins.* July 2022, 1–11.
<https://doi.org/10.1002/efd2.59>
- Zenda, T., Liu, S., Dong, A., & Duan, H. (2021). *Revisiting Sulphur — The Once Neglected Nutrient : It ' s Roles in Plant Growth , Metabolism , Stress Tolerance and Crop Production.*
- Zhang, D., Liu, F., Al, M. A., Yang, Y., Yu, H., Li, M., Wu, K., Niu, M., Wang, C., He, Z., & Yan, Q. (2024). Nitrogen and sulfur cycling and their coupling mechanisms in eutrophic lake sediment microbiomes. *Science of The Total Environment*, 928, 172518.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172518>

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil perhitungan senyawa substitusi $\text{MgSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dan MgCl_2

Hitung massa molar (Mr) dari $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \rightarrow 246,48$

$$\text{unsur Mg} = 24,31$$

$$\text{unsur S} = 32,07$$

$$\text{unsur O}_4 = 16 \times 4 = 64$$

$$\text{unsur H}_2\text{O} = 18,02 \times 7 \rightarrow 126,14$$

$$\begin{aligned} \text{Mr} &= 24,31 + 32,07 + 64 + 126,14 \\ &= 246,52 \end{aligned}$$

$$\rightarrow \text{Fraksi Massa } (\text{Mg}^{2+}) \text{ dalam } \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = \frac{\text{Ar Mg}^{2+}}{\text{Mr MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}}$$

$$= \frac{24,31 \text{ g/mol}}{246,52 \text{ g/mol}}$$

$$= 0,09861 \rightarrow 9\%$$

$$\rightarrow \text{Massa } (\text{Mg}^{2+}) \text{ dalam } \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = 246,52 \times 0,09861 = 24,30 \text{ gram}$$

$$\Rightarrow \text{mol Mg}^{2+} \text{ terdapat} = \frac{\text{massa}}{\text{Ar}} = \frac{24,30 \text{ gram}}{24,31 \text{ g/mol}} = \pm 1 \text{ mol}$$

$$\text{Maka kalau diganti MgCl}_2 = \text{jumlah molnya Mg}^{2+} \text{ hrs sama}$$

$$\text{Mr MgCl}_2 = 95,21$$

$$\begin{aligned} 24,31 + (35,45 \times 2) &= 95,21 \\ (\text{Mg}) & \quad (\text{Cl}_2) \end{aligned}$$

$$\rightarrow \text{Fraksi Massa Mg}^{2+} \text{ dalam MgCl}_2 = \frac{\text{Ar Mg}^{2+}}{\text{Mr MgCl}_2} = \frac{24,31 \text{ g/mol}}{95,21 \text{ g/mol}}$$

$$\begin{aligned} &= 0,25533 \rightarrow 25\% \\ \text{Massa } (\text{Mg}^{2+}) \text{ dalam MgCl}_2 &= 95,21 \times 0,25533 \\ &= 24,30 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \text{mol Mg}^{2+} \text{ terdapat} = \frac{\text{massa}}{\text{Ar}} = \frac{24,30 \text{ g}}{24,31 \text{ g/mol}} = \pm 1 \text{ mol}$$

Lampiran 2. Perhitungan pendapatan sulfur di unsur mikronutrien senyawa $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, dan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

1) Menentukan fraksi massa unsur (S) dalam $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

senyawa $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ terdiri dari

$$\text{Mn} = 54,93$$

$$\text{S} = 32,07$$

$$\text{O}_4 = (16 \times 4) = 64$$

$$\text{H}_2\text{O} = 18$$

$$\text{Total Mr} = \frac{169,01}{\text{g/mol}}$$

2) Fraksi massa (S) dalam senyawa :

$$\text{Fraksi} = \frac{\text{Mr S}}{\text{total Mr}} = \frac{32,07}{169,01} = 0,1897$$

3) Menghitung konsentrasi unsur (S) dalam larutan stock

$$\text{Larutan stock} = 0,169 \text{ g/L}$$

$$\text{Massa (S) dalam larutan stock} = \text{konsentrasi L stock} \times \text{fraksi S}$$

$$= 0,169 \times 0,1897$$

$$= 0,03205 \text{ g/L}$$

$$= 32,05 \text{ mg/L}$$

4) Menentukan konsentrasi (S)

di media tanaman

$$\text{volume larutan yg digunakan} = 2 \text{ ml/L media tanam}$$

$$\text{Konsentrasi (S) yg masuk ke media tanam} =$$

$$\text{Kenc} = \frac{2}{1000 \times 32,05 \text{ mg/L}}$$

$$= 0,0641 \text{ mg/L}$$

Jadi, konsentrasi unsur (S) dalam media tanaman adalah

$$0,0641 \text{ mg/L}$$

Menentukan fraksi massa unsur (s) dalam $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$

$$Zn = 65,4$$

$$S = 32,07$$

$$O_4 = 16 \times 4 = 64$$

$$7H_2O = 7 \times 18,02 \rightarrow 126,14$$

$$Mr \text{ total} = 287,54$$

Fraksi massa (s) dalam senyawa =

$$Fraksi = \frac{Mr \text{ S}}{\text{total Mr}} = \frac{32,07}{287,54} = 0,11153$$

Menentukan konsentrasi (s) dalam larutan stock

$$\text{Larutan stock} = 0,208 \text{ g/L}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa (s) dalam larutan stock} &= \text{konentrasi} \times \text{fraksi s} \\ &= 0,208 \times 0,11153 \\ &= 0,02312 \text{ g/L} \\ &= 23,12 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Menentukan konsentrasi (s) di media tanaman

Volume larutan yg digunakan = 2 ml/L media tanam

Konsentrasi (s) yg masuk ke media tanam :

$$\text{Jadi} = \frac{2}{1000} \times 23,12 \text{ mg/L} = 0,04624 \text{ mg/L}$$

Jadi, konsentrasi unsur (s) dalam media tanaman adalah 0,04624 mg/L

Menentukan fraksi massa unsur (S) dalam $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Senyawa $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ terdiri dari

- Cu = 63,55 g/mol
- S = 32,07 g/mol
- O = 64 (16×4) g/mol
- $5\text{H}_2\text{O}$ = 90,08 g/mol

Total Mr = 249,68 g/mol

→ Fraksi massa (S) dalam senyawa =

$$\text{Fraksi} = \frac{\text{Mr S}}{\text{Total Mr}} = \frac{32,07}{249,68} = 0,1284$$

→ Menghitung konsentrasi unsur (S) dalam larutan stock

↳ larutan stock = 0,062 g/L

- massa (S) dalam larutan stock = konsentrasi L. Stock $\times$ fraksi S

$$= 0,062 \times 0,1284$$

$$= 0,00797 \text{ g/L}$$

$$= 7,97 \text{ mg/L}$$

• 3 Menentukan konsentrasi (S) di media Tanaman

- volume larutan yg digunakan = 2 mL / L media tanam
- konsentrasi (S) yg masuk ke media tanam =

$$\text{Jual} = \frac{2}{1000 \times 7,97 \text{ mg/L}} = 0,01594 \text{ mg/L}$$

Jadi, konsentrasi unsur S dalam media tanam adalah 0,01594 mg/L

sehingga pada perlakuan 0% sulfur mikronutrien hasil mendapatkan nutrisi sulfur & mikronutrien dari CuSO_4 , MnSO_4 & ZnSO_4 sebesar

$$0,01594 + 0,0641 + 0,06424$$

$$= 0,14428 \text{ mg/L}$$

Sehingga pada perlakuan S0 (Sulfur 0%) masih memperoleh nutrisi sulfur dari mikronutrien senyawa $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, dan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, namun masih terbilang sedikit yaitu sebesar 0,14428 mg/L

Lampiran 3. Hasil pengamatan tinggi tanaman 0 MST – 5 MST

Hari Pengamatan	P	Ulangan (cm)												Total	Rata-rata
		I			II			III			IV				
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
0 MST (Jumat, 7 Februari 2025)	S0	2	1,8	2	1,5	1,8	2	2,1	2,1	2	1,4	1,2	2	21,9	1,82
	S1	1,9	1,5	1	1	1,8	1,5	2	2	2	2	0,8	1	18,5	1,54
	S2	1,8	1,4	1,3	1,9	1,4	1,6	1,5	2	1,8	2	2	1,2	19,9	1,65
	S3	2	1,8	1,8	2	1,6	1,5	2,1	2	1,6	2,2	1,5	1,5	21,6	1,8
	S4	2	2,1	1,5	1,5	2	1,3	2	2	1,4	1	1,7	2	20,5	1,7
1 MST (Jumat, 14 Februari 2025)	S0	3	3	2,7	3	3	2	2,8	2,4	2,5	2,5	2,4	2,3	31,6	2,63
	S1	2,4	2,5	2	3,4	2,5	2,5	3	2,5	2	3,4	2,1	2,5	30,8	2,57
	S2	2,9	2,4	2	3	2,8	2	2,3	2,6	2,5	2,9	3	2,5	30,9	2,57
	S3	2,9	2	2	3	2,4	2,7	3	2,7	2,2	2,4	2,5	2,5	30,3	2,52
	S4	3	2,5	2	2,6	2,5	2,7	3	2,9	2	2,9	2	2,3	30,4	2,53
2 MST (Jumat, 21 Februari 2025)	S0	6	6	4,5	5	4	3,5	5	5	5	6	5,5	4,5	60	5
	S1	3,5	3,5	2,5	5	4,5	4,5	6	5	5	4	4	4	51,5	4,29
	S2	5	4	4,5	5	5	4,5	5,5	4,5	4	6	5	4	57	4,75
	S3	5,5	5	4	6	5	5	6	6	5	5,5	4,5	4	61,5	5,125

Hari Pengamatan	P	Ulangan (cm)												Total	Rata-rata
		I			II			III			IV				
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
	S4	5,5	5,5	3,5	5	5	5	6	5	5	7	5	5		
3 MST (Jumat, 28 Februari, 2025)	S0	10,5	12,5	7	10	11,8	5,5	11,5	11	7,4	8	8,5	7,5	111,2	9,27
	S1	11	9,5	9	12,5	9	8,9	10	13	12,5	12	13	12,5	132,9	11,07
	S2	10	10	7	11	11	11	8	10	7,5	9,5	10	8	113	9,41
	S3	11	9,5	10	10	12	10	12,5	13	6	9	9	10	122	10,17
	S4	12	8,5	4,5	10	7	6	9	9,5	7	11	6	7	97,5	8,12
4 MST (Jumat, 07 Maret 2025)	S0	24,5	25	12,5	28	28,5	16,5	30	28,5	22,5	30	28	17	291	24,25
	S1	16,5	9	9,5	25	20	15,5	33	17,5	10,5	33	26	22,5	238	19,83
	S2	18,5	15,5	7,5	16	22	12	30,5	22	16,5	30	26	14,5	231	19,25
	S3	25,5	20	14	30,5	19	14,5	28,5	21,5	20	31	30	9,8	264,3	22,025
	S4	18	13,5	9,5	25,5	13,5	6	20,5	16	11,5	22	15	11,5	182,5	15,20

Hari Pengamatan	P	Ulangan (cm)												Total	Rata-rata
		I			II			III			IV				
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
5 MST (Jumat, 14 Maret 2025)	S0	33,5	34,5	24	38	37,5	20	37	30	31	30,8	29	13,5	358,8	29,9
	S1	35	24	18,5	50	20,5	13	18,5	10,5	9,5	47	31,5	27,5	305,5	25,45
	S2	28	22,5	13,5	43	34	32	46,5	30,5	20,5	46	37	16	369,5	30,79
	S3	38	36	20	39	39	14,5	43,5	26,5	16	38,5	29,5	23	363,5	30,29
	S4	29	20,5	15	34,5	29	12	29,5	18	13	28	23	15	266,5	22,20

Lampiran 4. Hasil pengamatan jumlah daun 0 MST – 5 MST

Hari Pengamatan	P	Ulangan (helai)												Total	Rata-rata
		I			II			III			IV				
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
0 MST (Jumat, 7 Februari 2025)	S0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24	2
	S1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24	2
	S2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24	2
	S3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24	2
	S4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24	2
1 MST (Jumat, 14 Februari 2025)	S0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	36	3
	S1	4	3	3	3	3	3	4	4	3	4	3	3	40	3,33
	S2	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	38	3,17
	S3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	37	3,08
	S4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	36	3
2 MST (Jumat, 21 Februari 2025)	S0	5	5	5	6	5	6	6	5	5	6	6	5	65	5,41
	S1	5	5	4	5	5	5	6	5	5	6	6	6	63	5,25
	S2	5	5	5	6	6	6	6	5	5	6	5	6	66	5,5
	S3	6	5	5	6	6	5	6	5	5	5	5	5	64	5,33

Hari Pengamatan	P	Ulangan (helai)												Total	Rata-rata
		I			II			III			IV				
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
	S4	5	6	5	5	6	6	5	5	5	6	6	6	66	5,5
3 MST (Jumat, 28 Februari 2025)	S0	9	9	7	9	9	7	9	9	9	8	9	9	103	8,58
	S1	10	8	8	8	7	6	9	8	8	9	10	9	100	8,33
	S2	8	7	6	8	8	7	8	9	8	8	7	7	91	7,58
	S3	8	7	7	9	9	9	7	10	9	7	9	7	98	8,17
	S4	7	8	7	7	9	7	9	8	7	10	8	7	94	7,833
4 MST (Jumat, 07 Maret 2025)	S0	13	12	9	11	8	8	13	11	11	10	12	9	127	10,58
	S1	11	8	8	14	9	7	13	12	10	13	11	9	125	10,41
	S2	9	11	7	12	12	12	12	10	10	13	12	10	130	10,83
	S3	11	12	9	12	13	9	10	11	12	13	12	9	133	11,08
	S4	13	8	7	10	8	9	14	12	10	13	10	10	124	10,33
5 MST (Jumat. 14 Maret 2025)	S0	11	12	9	12	9	8	11	9	8	13	12	10	124	10,33
	S1	13	9	9	19	10	7	13	14	12	13	12	11	142	11,83
	S2	10	9	8	13	13	12	13	13	12	14	11	10	138	11,5
	S3	13	13	9	14	14	10	13	19	7	12	12	10	146	12,17
	S4	13	9	8	13	10	8	14	11	7	14	11	11	129	10,75

Lampiran 5. Hasil pengamatan panjang akar

Hari Pengamatan	P	Ulangan (cm)												Total	Rata-rata
		I			II			III			IV				
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
0 MST (Jumat, 7 Februari 2025)	S0	1,5	1,3	1,3	2,4	1	1,5	2,2	1,1	1,5	0,5	1,5	1,2	17	1,41
	S1	1,3	1,4	1	0,9	1,5	1	1,7	1	2,5	1,1	1,3	0,9	15,6	1,3
	S2	1,5	1,4	1	0,7	2	1,5	1,1	1	1,3	1	0,7	0,5	13,7	1,14
	S3	1,1	1,3	1,2	1,5	1,4	0,6	1	2	1	1,4	1,5	1,2	15,2	1,26
	S4	1	1,1	1,4	1	1,2	0,4	1	1,5	0,8	0,5	1	1	11,9	0,99
5 MST (Jumat, 14 Maret 2025)	S0	32,5	32,5	25,5	22,5	33,5	30,5	47	30	21	30	32,5	21,5	359	29,91
	S1	30	18,5	19	23,5	25	28	22	24,5	24	21,5	22	17,5	275,5	22,95
	S2	28	15,5	31	24	24	18,5	25	27	22	30	23	15	283	23,58
	S3	35	16	27,5	15	27	34	23,5	25,5	28,5	26,5	25,5	22	306	25,5
	S4	14	11	14	14,5	7,5	14,5	12,5	11,5	12	13	11	13,5	149	12,41

Lampiran 6. Hasil pengamatan berat basah

Hari Pengamatan	P	Ulangan (gram)												Total	Rata-rata
		I			II			III			IV				
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
0 MST (Jumat, 7 Februari 2025)	S0	0,0 1	0,0 08	0,0 05	0,0 09	0,0 07	0,0 06	0,0 07	0,0 07	0,0 05	0,0 08	0,0 07	0,0 05	0,084	0,007
	S1	0,0 04	0,0 07	0,0 05	0,0 07	0,0 05	0,0 04	0,0 4	0,0 06	0,0 05	0,0 03	0,0 05	0,0 04	0,095	0,007
	S2	0,0 07	0,0 05	0,0 04	0,0 06	0,0 06	0,0 05	0,0 07	0,0 06	0,0 04	0,0 06	0,0 05	0,0 03	0,064	0,005
	S3	0,0 04	0,0 04	0,0 02	0,0 06	0,0 04	0,0 03	0,0 07	0,0 05	0,0 04	0,0 03	0,0 03	0,0 09	0,054	0,004
	S4	0,0 09	0,0 06	0,0 05	0,0 09	0,0 08	0,0 06	0,0 06	0,0 05	0,0 04	0,0 01	0,0 06	0,0 05	0,07	0,005
	S0	12, 7	11, 8	1,4	13, 7	4,8	0,5	13, 7	9,4	4,6	11, 9	14, 3	8,0	106,8	8,9

Hari Pengamatan	P	Ulangan (gram)												Total	Rata-rata
		I			II			III			IV				
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
5 MST (Jumat, 14 Maret 2025)	S1	14	5,7	3,4	24,8	4,0	0,7	21,2	19,3	6,9	25,6	4,4	4,7	134,7	11,22
	S2	4,5	6,0	1,2	28,2	12,3	2,1	32,9	8,2	4,6	13,7	10,2	11,5	135,4	11,28
	S3	12,8	22,5	3,9	17,7	18,3	1,2	17,2	16,1	0,9	19,6	7,5	1,6	139,3	11,60
	S4	12,0	1,2	0,4	8,2	2,5	1,6	11,4	6,0	0,9	1,7	5,4	10,2	61,5	5,12

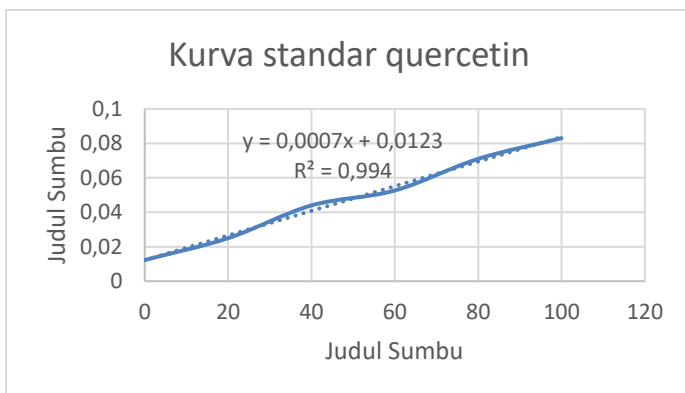
Lampiran 7. Hasil pengamatan berat kering

Hari Pengamatan	P	Ulangan (gram)												Total	Rata-rata
		I			II			III			IV				
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
Senin, 10 Februari 2025 (Awal)	S0	0,0 006	0,0 007	0,0 005	0,0 004	0,0 008	0,0 007	0,0 01	0,0 01	0,0 008	0,0 006	0,0 007	0,0 005	0,0083	0,0006
	S1	0,0 006	0,0 006	0,0 01	0,0 01	0,0 008	0,0 006	0,0 007	0,0 004	0,0 003	0,0 006	0,0 006	0,0 005	0,0051	0,0004
	S2	0,0 01	0,0 009	0,0 005	0,0 01	0,0 009	0,0 002	0,0 01	0,0 01	0,0 004	0,0 01	0,0 008	0,0 005	0,0092	0,0007
	S3	0,0 006	0,0 005	0,0 004	0,0 003	0,0 009	0,0 007	0,0 004	0,0 01	0,0 01	0,0 009	0,0 007	0,0 006	0,008	0,0006
	S4	0,0 01	0,0 007	0,0 005	0,0 02	0,0 002	0,0 000 1	0,0 01	0,0 01	0,0 009	0,0 009	0,0 01	0,0 01	0,0102 1	0,0008
Rabu, 19 Maret 2025 (Akhir)	S0	1,0	1,1	0,4	0,8	0,4	1,4	1,4	1,2	1,1	1,4	1	1,0	12,2	1,01
	S1	0,2	1	0,4	1	1,4	0,4	1,6	1,4	1,2	1,4	1,1	0,6	11,7	0,97
	S2	0,0 5	0,0 3	1	1,1	1	0,6	1,3	1	1	1,0	1	1,1	10,18	0,84
	S3	1,0	0,7	0,5	1	0,8	0,6	1,1	0,9	0,6	0,7	0,6	0,4	8,9	0,74
	S4	0,4	0,2	0,6	0,3	0,2	1	1,2	0,4	0,5	0,4	0,6	0,8	6,6	0,55

Lampiran 8. Hasil pengamatan kandungan flavonoid

Perlakuan	Pengulangan			Rata-rata
	I	II	III	
S0	0,149	0,140	0,144	0,144
S1	0,139	0,147	0,140	0,142
S2	0,141	0,167	0,164	0,157
S3	0,150	0,147	0,154	0,150
S4	0,131	0,133	0,130	0,131

Lampiran 9. Perhitungan kadar total flavonoid



Hasil persamaan regresi linear $y = 0,0007x + 0,0123$

$$y = ax + b$$

$$x = (y - b) / a$$

$$S0 \quad x = (0,149 - 0,0123) / 0,0007 = 195,285 \mu\text{g/mL} = 0,195285 \text{ mg/mL}$$

$$S1 \quad x = (0,139 - 0,0123) / 0,0007 = 181 \mu\text{g/mL} = 0,181 \text{ mg/mL}$$

$$S2 \quad x = (0,141 - 0,0123) / 0,0007 = 183,857 \mu\text{g/mL} = 0,183857 \text{ mg/mL}$$

$$S3 \quad x = (0,150 - 0,0123) / 0,0007 = 196,714 \mu\text{g/mL} = 0,196714 \text{ mg/mL}$$

$$S4 \quad x = (0,131 - 0,0123)/0,0007 = 169,571 \mu\text{g/mL} = 0,169571 \text{ mg/mL}$$

Kadar Total Flavonoid

$$\text{KTF} = \frac{V \times (x) \times DF}{m}$$

$$V = 2,5 \text{ mL}$$

$$m = 0,25 \text{ mL}$$

$$S0 = 2,5 \times 0,195285 \times 1/0,25 = 1,95285 \text{ mgQE/g}$$

$$S1 = 2,5 \times 0,181 \times 1/0,25 = 1,810 \text{ mgQE/g}$$

$$S2 = 2,5 \times 0,183857 \times 1/0,25 = 1,83857 \text{ mgQE/g}$$

$$S3 = 2,5 \times 0,196714 \times 1/0,25 = 1,96714 \text{ mgQE/g}$$

$$S4 = 2,5 \times 0,169571 \times 1/0,25 = 1,69571 \text{ mgQE/g}$$

Lampiran 10. Hasil perhitungan kadar total flavonoid

Perlakuan	Pengulangan			Rata-rata
	I	II	III	
S0	1,952	1,824	1,881	1,885
S1	1,81	1,924	1,824	1,852
S2	1,838	2,21	2,167	2,071
S3	1,967	1,924	2,024	1,971
S4	1,695	1,924	1,681	1,766

Lampiran 11. Hasil pengamatan kandungan antosianin

520 nm pH 1

Perlakuan	Pengulangan			Rata-rata
	I	II	III	
S0	0,296	0,303	0,310	0,303
S1	0,266	0,275	0,278	0,273

Perlakuan	Pengulangan			Rata-rata
	I	II	III	
S2	0,325	0,328	0,340	0,331
S3	0,365	0,373	0,364	0,367
S4	0,174	0,165	0,177	0,172

700 nm pH 1

Perlakuan	Pengulangan			Rata-rata
	I	II	III	
S0	0,159	0,162	0,176	0,165
S1	0,140	0,148	0,151	0,146
S2	0,179	0,180	0,187	0,182
S3	0,222	0,231	0,218	0,223
S4	0,084	0,075	0,085	0,081

520 nm pH 4,5

Perlakuan	Pengulangan			Rata-rata
	I	II	III	
S0	0,263	0,268	0,267	0,266
S1	0,237	0,257	0,236	0,243
S2	0,257	0,272	0,282	0,270
S3	0,318	0,317	0,311	0,315
S4	0,164	0,162	0,171	0,165

700 nm pH 4,5

Perlakuan	Pengulangan			Rata-rata
	I	II	III	
S0	0,158	0,161	0,157	0,158
S1	0,175	0,194	0,179	0,182
S2	0,178	0,195	0,200	0,191
S3	0,209	0,194	0,186	0,196

Perlakuan	Pengulangan			Rata-rata
	I	II	III	
S4	0,080	0,077	0,088	0,081

Lampiran 12. Perhitungan kadar total antosianin

$$A = (A_{536} - A_{700})_{\text{pH } 1,0} - (A_{536} - A_{700})_{\text{pH } 5,0}$$

$$S0 = (0,296 - 0,159) - (0,263 - 0,158) = 0,032$$

$$S1 = (0,266 - 0,140) - (0,237 - 0,175) = 0,064$$

$$S2 = (0,325 - 0,179) - (0,250 - 0,178) = 0,067$$

$$S3 = (0,365 - 0,222) - (0,318 - 0,209) = 0,034$$

$$S4 = (0,174 - 0,084) - (0,164 - 0,08) = 0,006$$

Lampiran 13. Kadar total antosianin

$$\frac{A' \times BM \times Fp \times 1000}{\varepsilon \times l}$$

$$\text{Total Antosianin} = \frac{0,032 \times 449,2 \times 1 \times 1000}{26.900 \times 1} = 0,534$$

Perlakuan	Pengulangan			Rata-rata
	I	II	III	
S0	0,534	0,567	0,367	0,489
S1	1,068	0,768	1,168	1,001
S2	1,118	1,185	1,185	1,162
S3	0,567	0,317	0,350	0,411
S4	0,10	0,08	0,15	0,111

Lampiran 14. Hasil pengukuran pH dan TDS

Hari/Tanggal	Hasil pengukuran pH dan TDS									
	S0		S1		S2		S3		S4	
	pH	TDS	pH	TDS	pH	TDS	pH	TDS	pH	TDS
Jumat, 07-Feb-25	6,88	535	6	590	6,42	571	7	572	6,09	437
Jumat, 14-Feb-25	6,77	572	6,62	673	6,69	574	7,12	566	6,88	520
Jumat, 21-Feb-25	6,04	539	6,63	655	6,56	618	6,1	636	6,79	493
Jumat, 28-Feb-25	6,77	556	7,36	573	7,03	554	6,88	541	7,1	438
Jumat, 07-Mar-25	6,28	335	6,71	424	6,26	431	6,54	346	6,36	389
Jumat, 14-Mar-2025	6,04	105	6,64	210	6,07	178	6,63	101	6,23	266
Rata-rata	6,46	440,33	6,66	520,83	6,50	487,67	6,71	460,33	6,57	423,8333

Lampiran 15. Hasil pengukuran faktor lingkungan

Hari/Tanggal	Hasil pengamatan faktor lingkungan					
	Suhu/Kelembapan udara			Intensitas cahaya		
	08.00 (Pagi)	12.00 (Siang)	15.00 (Sore)	08.00 (Pagi)	12.00 (Siang)	15.00 (Sore)
Jumat, 07-Feb-25	29,5°C/74%	32,4°C/58%	31°C/57%	6000	4620	3180
Senin, 10-Feb-25	29,6°C/77%	33,2°C/65%	31,9°C/63%	2400	3850	3060
Kamis, 13-Feb-25	36,2°C/76%	36,5°C/56%	31,7°C/58%	1120	7010	3130
Minggu, 16-Feb-25	28,6°C/72%	29,6°C/71%	27,4°C/70%	2600	4780	850
Rabu, 19-Feb-25	31,3°C/75%	33,7°C/59%	32,2°C/59%	7000	4590	3210
Sabtu, 22-Feb-25	28,5°C/71%	32°C/60%	30°C/59%	6800	6300	1600
Selasa, 25-Feb-25	27,6°C/77%	31,2°C/69%	29°C/69%	5900	3880	2540

Hari/Tanggal	Hasil pengamatan faktor lingkungan					
	Suhu/Kelembapan udara			Intensitas cahaya		
	08.00 (Pagi)	12.00 (Siang)	15.00 (Sore)	08.00 (Pagi)	12.00 (Siang)	15.00 (Sore)
Jumat, 28-Feb-25	37,3°C/77%	36,7°C/50%	32,4°C/51%	29900	5320	2080
Senin, 03-Mar-25	27,7°C/83%	33,9°C/64%	32°C/61%	7700	6500	2760
Kamis, 06-Mar-25	27,9°C/74%	33,7°C/66%	25,8°C/65%	7900	5500	1000
Minggu, 09-Mar-25	38,5°C/%	35,2°C/52%	31°C/53%	19600	5800	670
Rabu, 12-Mar-25	37°C/68%	31,6°C/51%	28,5°C/58%	4600	2340	640
Rata-rata	31,64°C/74,16%	33,30°C/60,08%	30,24°C/60,25%	8460	5040,83	2060

Lampiran 16. Hasil analisis statistik pengamatan tinggi tanaman

1. Uji normalitas

Tests of Normality							
	Perlakuan	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
nol_mst	0	.178	4	.	.983	4	.920
	50	.340	4	.	.857	4	.250
	100	.226	4	.	.940	4	.657
	150	.259	4	.	.867	4	.286
	200	.272	4	.	.877	4	.325
satu_mst	0	.183	4	.	.992	4	.965
	50	.182	4	.	.983	4	.921
	100	.236	4	.	.914	4	.503
	150	.222	4	.	.954	4	.741
	200	.241	4	.	.934	4	.619
dua_mst	0	.250	4	.	.896	4	.412
	50	.158	4	.	.993	4	.973
	100	.146	4	.	.995	4	.981
	150	.240	4	.	.938	4	.639
	200	.212	4	.	.964	4	.806
tiga_mst	0	.272	4	.	.866	4	.283
	50	.266	4	.	.889	4	.380
	100	.340	4	.	.852	4	.231
	150	.186	4	.	.992	4	.969
	200	.211	4	.	.965	4	.809
empat_mst	0	.215	4	.	.951	4	.724
	50	.271	4	.	.944	4	.678
	100	.284	4	.	.870	4	.296
	150	.269	4	.	.901	4	.437
	200	.254	4	.	.896	4	.414
lima_mst	0	.332	4	.	.818	4	.139
	50	.266	4	.	.950	4	.715
	100	.353	4	.	.844	4	.207
	150	.264	4	.	.913	4	.501
	200	.289	4	.	.919	4	.534

a. Lilliefors Significance Correction

2. Uji homogenitas

Test of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
nol_mst	Based on Mean	1.566	4	15	.234
	Based on Median	.592	4	15	.674
	Based on Median and with adjusted df	.592	4	4.750	.685
	Based on trimmed mean	1.379	4	15	.288
satu_mst	Based on Mean	.552	4	15	.700
	Based on Median	.498	4	15	.738
	Based on Median and with adjusted df	.498	4	12.323	.738
	Based on trimmed mean	.552	4	15	.701
dua_mst	Based on Mean	2.220	4	15	.116
	Based on Median	1.982	4	15	.149
	Based on Median and with adjusted df	1.982	4	8.081	.189
	Based on trimmed mean	2.217	4	15	.116
tiga_mst	Based on Mean	2.048	4	15	.139
	Based on Median	1.249	4	15	.333
	Based on Median and with adjusted df	1.249	4	8.044	.364
	Based on trimmed mean	1.934	4	15	.157
empat_mst	Based on Mean	1.870	4	15	.168
	Based on Median	1.549	4	15	.239
	Based on Median and with adjusted df	1.549	4	4.812	.321
	Based on trimmed mean	1.834	4	15	.175
lima_mst	Based on Mean	1.962	4	15	.152
	Based on Median	1.156	4	15	.369
	Based on Median and with adjusted df	1.156	4	7.743	.399
	Based on trimmed mean	1.794	4	15	.183

3. Uji ANOVA

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
nol_mst	Between Groups	.206	4	.052	1.283	.321
	Within Groups	.602	15	.040		
	Total	.808	19			
satu_mst	Between Groups	.031	4	.008	.237	.913
	Within Groups	.483	15	.032		
	Total	.513	19			
dua_mst	Between Groups	2.174	4	.544	1.700	.202
	Within Groups	4.798	15	.320		
	Total	6.972	19			
tiga_mst	Between Groups	19.845	4	4.961	5.533	.006
	Within Groups	13.450	15	.897		
	Total	33.295	19			
empat_mst	Between Groups	212.257	4	53.064	3.363	.037
	Within Groups	236.690	15	15.779		
	Total	448.947	19			
lima_mst	Between Groups	225.088	4	56.272	1.875	.167
	Within Groups	450.061	15	30.004		
	Total	675.150	19			

4. Uji Duncan

a. pengamatan 3 MST

tiga_mst

Duncan^a

Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
200	4	8.1250		
0	4	9.2675	9.2675	
100	4	9.4175	9.4175	
150	4		10.2925	10.2925
50	4			11.0725
Sig.		.086	.166	.262

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

b. pengamatan 4 MST

empat_mst

Duncan^a

Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
200	4	15.2100	
100	4	19.2500	19.2500
50	4	19.8350	19.8350
150	4		22.0225
0	4		25.0825
Sig.		.138	.074

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

Lampiran 17. Hasil statistik pengamatan jumlah daun

1. Uji normalitas

Tests of Normality							
	Perlakuan	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
nol_mst	0	.	4	.	.	4	.
	50	.	4	.	.	4	.
	100	.	4	.	.	4	.
	150	.	4	.	.	4	.
	200	.	4	.	.	4	.
satu_mst	0	.	4	.	.	4	.
	50	.275	4	.	.940	4	.652
	100	.307	4	.	.729	4	.024
	150	.441	4	.	.630	4	.001
	200	.	4	.	.	4	.
dua_mst	0	.284	4	.	.864	4	.274
	50	.194	4	.	.970	4	.842
	100	.153	4	.	.992	4	.967
	150	.312	4	.	.855	4	.243
	200	.153	4	.	.992	4	.967
tiga_mst	0	.284	4	.	.864	4	.274
	50	.182	4	.	.991	4	.961
	100	.189	4	.	.972	4	.852
	150	.236	4	.	.911	4	.490
	200	.152	4	.	.993	4	.974
empat_mst	0	.234	4	.	.929	4	.591
	50	.191	4	.	.979	4	.896
	100	.232	4	.	.911	4	.488
	150	.283	4	.	.863	4	.272
	200	.261	4	.	.911	4	.489
lima_mst	0	.236	4	.	.941	4	.660
	50	.310	4	.	.916	4	.514
	100	.194	4	.	.964	4	.807
	150	.236	4	.	.911	4	.490
	200	.286	4	.	.887	4	.371

a. Lilliefors Significance Correction

2. Uji homogenitas

Test of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
satu_mst	Based on Mean	3.515	4	15	.032
	Based on Median	2.089	4	15	.133
	Based on Median and with adjusted df	2.089	4	5.623	.207
	Based on trimmed mean	3.319	4	15	.039
dua_mst	Based on Mean	1.483	4	15	.257
	Based on Median	.616	4	15	.658
	Based on Median and with adjusted df	.616	4	5.078	.670
	Based on trimmed mean	1.269	4	15	.326
tiga_mst	Based on Mean	1.411	4	15	.278
	Based on Median	1.363	4	15	.293
	Based on Median and with adjusted df	1.363	4	6.896	.338
	Based on trimmed mean	1.411	4	15	.278
empat_mst	Based on Mean	1.995	4	15	.147
	Based on Median	1.621	4	15	.221
	Based on Median and with adjusted df	1.621	4	10.464	.241
	Based on trimmed mean	1.990	4	15	.148
lima_mst	Based on Mean	1.286	4	15	.319
	Based on Median	1.107	4	15	.389
	Based on Median and with adjusted df	1.107	4	10.763	.402
	Based on trimmed mean	1.274	4	15	.324

Pada pengamatan 0 MST tidak terdeteksi dikarenakan data semua sama (tanaman bayam merah (*Amaranthus cruentus* L.) menghasilkan 2 helai daun untuk semua perlakuan).

3. Uji ANOVA

		ANOVA				
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
nol_mst	Between Groups	.000	4	.000	.	.
	Within Groups	.000	15	.000		
	Total	.000	19			
satu_mst	Between Groups	.280	4	.070	2.743	.068
	Within Groups	.383	15	.026		
	Total	.663	19			
dua_mst	Between Groups	.719	4	.180	.481	.749
	Within Groups	5.607	15	.374		
	Total	6.327	19			
tiga_mst	Between Groups	2.301	4	.575	1.328	.305
	Within Groups	6.497	15	.433		
	Total	8.797	19			
empat_mst	Between Groups	1.523	4	.381	.283	.884
	Within Groups	20.156	15	1.344		
	Total	21.679	19			
lima_mst	Between Groups	9.675	4	2.419	1.875	.167
	Within Groups	19.355	15	1.290		
	Total	29.030	19			

4. Uji *Kruskal-Wallis* 1 MST

Test Statistics^{a,b}

satu_mst	
Kruskal-Wallis H	8.039
df	4
Asymp. Sig.	.090

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable:
Perlakuan

Lampiran 18. Hasil statistik pengamatan panjang akar

1. Uji normalitas

Tests of Normality

	Perlakuan	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Akar	0	.203	4	.	.943	4	.670
	50	.166	4	.	.997	4	.991
	100	.287	4	.	.839	4	.192
	150	.194	4	.	.973	4	.860
	200	.213	4	.	.947	4	.697

a. Lilliefors Significance Correction

2. Uji homogenitas

Test of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Akar	Based on Mean	2.273	4	15	.110
	Based on Median	2.078	4	15	.135
	Based on Median and with adjusted df	2.078	4	6.895	.189
	Based on trimmed mean	2.270	4	15	.110

3. Uji ANOVA

ANOVA

Akar		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups		665.431	4	166.358	73.838	.000
Within Groups		33.795	15	2.253		
Total		699.226	19			

4. Uji Duncan

Akar

Duncan^a

Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
200	4	12.4175			
50	4		22.9575		
100	4		23.5850	23.5850	
150	4			25.5000	
0	4				29.9175
Sig.		1.000	.563	.091	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

Lampiran 19. Hasil statistik pengamatan berat basah

1. Uji normalitas

Tests of Normality

	Perlakuan	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Berat_basah	0	.198	4	.	.986	4	.937
	50	.210	4	.	.968	4	.832
	100	.291	4	.	.848	4	.220
	150	.199	4	.	.951	4	.720
	200	.248	4	.	.901	4	.438

a. Lilliefors Significance Correction

2. Uji homogenitas

Test of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Berat_basah	Based on Mean	1.974	4	15	.150
	Based on Median	1.107	4	15	.389
	Based on Median and with adjusted df	1.107	4	5.726	.436
	Based on trimmed mean	1.733	4	15	.195

3. Uji ANOVA

ANOVA

Berat_basah

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	120.272	4	30.068	3.286	.040
Within Groups	137.243	15	9.150		
Total	257.515	19			

4. Uji Duncan

Berat_basah

Duncan^a

Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
200	4	5.1625	
0	4	8.9250	8.9250
50	4		11.2625
100	4		11.3250
150	4		11.6500
Sig.		.099	.258

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

Lampiran 20. Hasil statistik pengamatan berat kering

1. Uji normalitas

Tests of Normality

	Perlakuan	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Berat_kering	0	.295	4	.	.838	4	.190
	50	.213	4	.	.977	4	.886
	100	.320	4	.	.819	4	.141
	150	.227	4	.	.959	4	.772
	200	.151	4	.	.993	4	.972

a. Lilliefors Significance Correction

2. Uji homogenitas

Test of Homogeneity of Variances

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Berat_kering	Based on Mean	1.146	4	15	.373
	Based on Median	.683	4	15	.614
	Based on Median and with adjusted df	.683	4	6.982	.626
	Based on trimmed mean	1.046	4	15	.416

3. Uji ANOVA

ANOVA

Berat_kering

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.609	4	.152	2.300	.107
Within Groups	.994	15	.066		
Total	1.603	19			

Lampiran 21. Hasil statistik kadar total flavonoid

1. Uji normalitas

Tests of Normality							
	Perlakuan	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Flavonoid	0	.196	3	.	.996	3	.880
	50	.344	3	.	.841	3	.215
	100	.347	3	.	.835	3	.202
	150	.204	3	.	.994	3	.846
	200	.367	3	.	.793	3	.098

a. Lilliefors Significance Correction

2. Uji homogenitas

Test of Homogeneity of Variances					
		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Flavonoid	Based on Mean	4.238	4	10	.029
	Based on Median	.416	4	10	.793
	Based on Median and with adjusted df	.416	4	4.415	.792
	Based on trimmed mean	3.587	4	10	.046

3. Uji *Kruskal-Wallis*

Test Statistics^{a,b}

Flavonoid	
Kruskal-Wallis H	7.122
df	4
Asymp. Sig.	.130

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable:
Perlakuan

Lampiran 22. Hasil statistik kadar antosianin

1. Uji normalitas

Tests of Normality							
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Perlakuan	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Antosianin	0	.328	3	.	.870	3	.295
	50	.292	3	.	.923	3	.463
	100	.385	3	.	.750	3	.000
	150	.341	3	.	.847	3	.233
	200	.291	3	.	.925	3	.471

a. Lilliefors Significance Correction

2. Uji homogenitas

Test of Homogeneity of Variances					
		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Antosianin	Based on Mean	3.917	4	10	.036
	Based on Median	.690	4	10	.615
	Based on Median and with adjusted df	.690	4	5.549	.627
	Based on trimmed mean	3.474	4	10	.050

3. Uji Kruskal-Wallis

Test Statistics^{a,b}

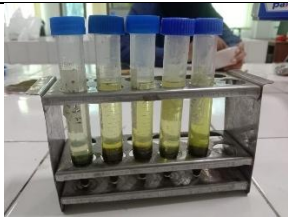
Antosianin	
Kruskal-Wallis H	12.737
df	4
Asymp. Sig.	.013

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Perlakuan

Lampiran 23. Dokumentasi penelitian

No	Gambar	Keterangan	No	Gambar	Keterangan
1.		Menimbang bahan nutrisi	10.		Mengukur tinggi tanaman
2.		Pembuatan larutan stock nutrisi	11.		Menghitung jumlah daun
3.		Benih bayam merah	12.		Mengukur panjang akar

No	Gambar	Keterangan	No	Gambar	Keterangan
4.		Penyemaian benih	13.		Menimbang berat basah
5.		Bibit bayam merah	14.		Mengoven sampel tanaman pada suhu 60°C selama 48 jam
6.		Mengukur pH nutrisi	15.		Menimbang berat kering
7.		Mengukur partikel terlarut dengan TDS meter	16.		Ekstraksi daun bayam merah dengan etanol 70%

No	Gambar	Keterangan	No	Gambar	Keterangan
8.		Pengamatan suhu dan kelembapan udara	17.		Hasil ekstrak daun bayam merah
9.		Pengamatan intensitas cahaya	18.		Mengukur kadar flavonoid dan antosianin dengan spektrofotometri

Sumber: Dokumentasi pribadi (Januari – April)

RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

1. Nama Lengkap : Azka Azkia
2. Tempat & Tgl. Lahir : Brebes, 27 November 2002
3. Alamat Rumah : Jalan H. Ambari No. 24 RT
01/ RW 08, Desa
Luwungragi, Kec.
Bulakamba, Kab. Brebes,
Provinsi Jawa Tengah 52253
4. Email : Azkaaazkia654@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. Pendidikan Formal
 - a. TK Handayani Klampok
 - b. SDN 1 Klampok
 - c. SMPN 2 Brebes
 - d. SMAN 1 Brebes
 - e. UIN Walisongo Semarang
2. Pendidikan Non-Formal
 - a. TPQ Assalafiyah Luwungragi
 - b. Madrasah Diniyah Awaliyah Luwungragi
 - c. Pondok Pesantren Assalafiyah 2 Saditan Brebes
 - d. Pondok Pesantren Mahasiswa Al-Ihya 2