



**PENGARUH PEMBERIAN SILIKA TERHADAP
PERTUMBUHAN DAN HASIL TANAMAN GANDUM YANG
TERCEKAM GENANGAN AIR PADA FASE VEGETATIF**

SKRIPSI

Oleh

**Muhammad Haidir Emir Sulaiman
191510101055**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS PERTANIAN
AGRONOMI
JEMBER
2026**



**PENGARUH PEMBERIAN SILIKA TERHADAP
PERTUMBUHAN DAN HASIL TANAMAN GANDUM YANG
TERCEKAM GENANGAN AIR PADA FASE VEGETATIF**

*diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana pada
program studi Agronomi.*

SKRIPSI

Oleh

**Muhammad Haidir Emir Sulaiman
191510101055**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS PERTANIAN
AGRONOMI
JEMBER
2026**

PERSEMBAHAN

Saya persembahkan karya tulis ilmiah/tugas akhir (skripsi) kepada :

1. Ibu saya yang telah memberikan dukungan, doa, dan memberikan semangat dan bantuannya sehingga terselesaikan skripsi ini.
2. Bapak Ir. Sundahri, PGDip.Agr.Sc., M.P. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, memberikan dukungan, perhatian, ide dan pikiran, dan menumbuhkan semangat dalam menyelesaikan skripsi.
3. Bapak Ir. Didik Pudji Restanto M.S., Ph.D. dan Ibu Restiani Sih Harsanti, S.P., M.P. selaku dosen penguji yang telah banyak memberikan kritik dan saran serta memberikan semangat dalam proses penyelesaian skripsi.
4. Bapak Ir. Didik Pudji Restanto M.S., Ph.D. selaku Kepala Program Studi yang senantiasa memberikan semangat serta nasehat selama perkuliahan hingga proses mencapai gelar Sarjana Pertanian;
5. Segenap civitas akademika Program Studi Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Jember yang telah membantu memperlancar penyusunan, menyediakan fasilitas, dan ilmu selama perjalanan mencapai gelar Sarjana Pertanian.
6. Teman-teman alih jenjang yang turut membantu dalam penelitian di lapang, penyusunan skripsi, dan dukungan selama menyelesaikan skripsi.
7. Muhammad Haidir Emir Sulaiman, yang telah menikmati segala proses selama pendidikan Sarjana ini.
8. Almamater Fakultas Pertanian Universitas Jember.

MOTTO

“Saya berjalan perlahan, tetapi saya tidak pernah berjalan mundur”

(Abraham lincoln)

**“Dalam setiap benih, Tuhan menyembunyikan pelajaran tentang kesabaran;
dan dalam setiap panen, Ia menghadiahkan makna dari ketekunan”**

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Haidir Emir Sulaiman

NIM : 191510101055

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: **“Pengaruh Pemberian Silika terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Gandum yang Tercekam Genangan Air pada Fase Vegetatif”**

adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 1 Juli 2026

Yang menyatakan,



M. Haidir Emir Sulaiman
NIM 191510101055

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi berjudul "*Pengaruh Pemberian Silika terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Gandum yang Tercekam Genangan Air Pada Fase Vegetatif*" telah diuji dan disetujui oleh Fakultas Pertanian Universitas Jember pada:

Hari : Senin

Tanggal : 29 Juni 2026

Tempat : Fakultas Pertanian Universitas Jember

Tanda tangan

Pembimbing

Nama : Ir. Sundahri, PGDip.Agr.Sc., M.P.

NIP : 196704121993031007



(.....)

Penguji

1. Penguji Utama

Nama : Ir. Didik Pudji Restanto, M.S., Ph.D.

NIP : 19650426 1994031001



(.....)

2. Penguji Anggota

Nama : Restiani Sih Harsanti, S.P., M.P.

NIP : 196111101988021001



(.....)

ABSTRAK

Penggenangan merupakan salah satu bentuk cekaman abiotik yang dapat menghambat pertumbuhan dan menurunkan produktivitas tanaman gandum. Kondisi tersebut menyebabkan berkurangnya ketersediaan oksigen di daerah perakaran sehingga mengganggu proses respirasi akar, penyerapan unsur hara, dan aktivitas fisiologis tanaman. Salah satu upaya untuk meningkatkan toleransi tanaman terhadap cekaman penggenangan adalah melalui aplikasi silika. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh berbagai konsentrasi teh silika dan lama penggenangan pada fase vegetatif terhadap pertumbuhan, respons fisiologis, dan hasil tanaman gandum. Penelitian dilaksanakan pada Maret hingga Juli 2023 di Kebun Pengembangan Hortikultura Politeknik Negeri Jember menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial dengan dua faktor. Faktor pertama berupa konsentrasi teh silika, yaitu 0, 150, 300, 450, dan 600 g/L, sedangkan faktor kedua adalah lama penggenangan, yaitu tanpa penggenangan, 24 jam, dan 48 jam. Data dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) yang dilanjutkan dengan uji Duncan's Multiple Range Test (DMRT) pada taraf nyata 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa interaksi antara konsentrasi teh silika dan lama penggenangan memberikan pengaruh sangat nyata terhadap tinggi tanaman, berat 1.000 bulir, kandungan klorofil, dan kadar prolin. Secara terpisah, konsentrasi teh silika berpengaruh nyata hingga sangat nyata terhadap berbagai parameter pertumbuhan dan hasil, sedangkan lama penggenangan berpengaruh nyata terhadap jumlah daun serta sangat nyata terhadap tinggi tanaman, kandungan klorofil, dan kadar prolin. Perlakuan teh silika dengan konsentrasi 450 g/L tanpa penggenangan menghasilkan pertumbuhan dan hasil tanaman gandum yang paling optimal.

Kata kunci : Silika, tanaman gandum, cekaman genangan, kandungan prolin.

SUMMARY

The Effect of Silica Application on the Growth and Yield of Wheat Plants Affected by Waterlogging during the Vegetative Phase. M. Haidir Emir Sulaiman; 191510101055; 2026; Agronomy Study Program; Faculty of Agriculture; University of Jember

Waterlogging is one type of abiotic stress that can hinder growth and reduce the productivity of wheat plants. This condition decreases the availability of oxygen in the root zone, which disrupts root respiration, nutrient absorption, and the plant's physiological activities. One way to increase plant tolerance to flooding stress is through silica application. This study aims to evaluate the effects of various concentrations of silica tea and flooding duration during the vegetative phase on the growth, physiological responses, and yield of wheat plants. The study was conducted from March to July 2023 at the Horticultural Development Garden of Jember State Polytechnic using a factorial Randomized Block Design (RBD) with two factors. The first factor was the concentration of silica tea, namely 0, 150, 300, 450, and 600 g/L, while the second factor was the flooding duration, which included no flooding, 24 hours, and 48 hours.

The data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) followed by Duncan's Multiple Range Test (DMRT) at a 5% significance level. The results showed that the interaction between silica tea concentration and soaking duration had a very significant effect on plant height, 1,000-grain weight, chlorophyll content, and proline levels. Individually, silica tea concentration had a significant to very significant effect on various growth and yield parameters, while soaking duration had a significant effect on the number of leaves and a very significant effect on plant height, chlorophyll content, and proline levels. The treatment of silica tea at a concentration of 450 g/L without soaking produced the most optimal growth and yield for wheat plants.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, hidayah dan karunia-Nya sehingga skripsi dengan judul “***Pengaruh Pemberian Silika Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Gandum Yang Tercekam Genangan Air pada Fase Vegetatif***”. Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana (S1) pada Program Studi Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Jember.

Terselesaikannya skripsi ini tentunya tidak lepas dari dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. M. Rondhi, S.P., M.P., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Jember.
2. Bapak Ir. Didik Pudji Restanto M.S., Ph.D. selaku Koordinator Program Studi Agronomi Fakultas Pertanian Universitas Jember dan Dosen Pembimbing Akademik dan penguji yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa.
3. Bapak Ir. Sundahri, PGDip.Agr.Sc., M.P. selaku dosen pembimbing, atas bimbingan, waktu, ilmu, dan nasehat yang beliau berikan selama proses penyusunan skripsi ini.
4. Ibu Restiani Sih Harsanti, S.P., M.P. selaku dosen penguji anggota, atas saran dan evaluasi yang sangat membangun dalam penyusunan skripsi ini.
5. Kepada Ibu saya Mariani dan Tante saya Siti Anggur yang sudah mengorbankan moral serta materil untuk penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir di Universitas Jember.
6. Teman-teman keseharian, Reza, Lala, Tioma, Fani, Evan, Jabbar, Ari, Maulana, Boy, Grace, Andre, Rini, Yuda, Aufa dan teman-teman alih jenjang lainnya yang telah membantu dan menyemangati selama penelitian hingga skripsi ini selesai.
7. Sahabat-sahabat terkasih, Olaf, Algha, Mae, Jojo, Mitha, Anggun, Jihan, Ari, Nugi, Bang Rehan, Bang Denis, Bang Razes, Mas Tofan, Doni, Bima,

Eneng, Ime, Dilla, Dika, Husnul yang tidak pernah bosan selalu menyemangati, memberikan perhatian, dan mendampingi dalam suka dan duka selama menulis skripsi ini.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan penulis juga terbuka terhadap segala kritik dan saran yang membangun demi perbaikan skripsi ini. Semoga karya sederhana ini dapat memberikan manfaat bagi siapa pun yang membacanya.

DAFTAR ISI

SKRIPSI	ii
PERSEMBAHAN.....	iii
MOTTO.....	iv
PERNYATAAN ORISINALITAS	v
HALAMAN PERSETUJUAN.....	vi
ABSTRAK.....	vii
SUMMARY	viii
PRAKATA.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tanaman Gandum	5
2.2 Pengaruh Penggenangan Fase Vegetatif Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Gandum	7
2.3 Pengaruh Pemberian Teh Silika Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Gandum Tergenang	10
2.4 Hipotesis	14
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	16
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	16
3.2 Alat dan Bahan.....	16
3.3 Rancangan Percobaan.....	16
3.4 Prosedur Pelaksanaan	17

3.5 Variabel Pengamatan.....	20
3.6 Analisis data.....	21
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1 Kondisi Umum Penelitian.....	22
4.2 Hasil Percobaan	23
4.3 Uji Korelasi.....	31
4.4 Pembahasan	33
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	46
5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA.....	48
LAMPIRAN	65

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Kombinasi Perlakuan antara Waktu Penggenangan dan Teh Silika.....	17
Tabel 3.2 Denah Penelitian.....	17
Tabel 4.1 Rangkuman hasil analisis ragam (F-Hitung) pada seluruh variabel.....	23
Tabel 4.2 Interpretasi Nilai Koefisien Korelasi (r)	32

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tanaman Gandum.....	5
Gambar 4.1	Interaksi konsentrasi teh silika dan waktu penggenangan terhadap tinggi tanaman gandum	24
Gambar 4.2	Pengaruh faktor tunggal konsentrasi teh silika dan waktu penggenangan terhadap jumlah daun tanaman gandum	25
Gambar 4.3	Interaksi konsentrasi teh silika dan waktu penggenangan terhadap panjang akar tanaman gandum.....	26
Gambar 4.4	Interaksi konsentrasi teh silika dan waktu penggenangan terhadap berat 1000 bulir tanaman gandum.....	27
Gambar 4.5	Pengaruh faktor tunggal konsentrasi teh silika dan waktu penggenangan terhadap jumlah gabah pertangkai	28
Gambar 4.6	Interaksi konsentrasi teh silika dan waktu penggenangan terhadap klorofil tanaman gandum	29
Gambar 4.7	Interaksi konsentrasi teh silika dan waktu penggenangan terhadap prolin tanaman gandum	30
Gambar 4.9	Data Heatmap menggambarkan korelasi antar variabel pengamatan yang dipengaruhi pemberian teh silika (S) dan lama penggenangan (K).....	31

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Analisis Prolin.....	64
Lampiran 2. Hasil Analisis Silika	67
Lampiran 3. Dokumentasi Penelitian	69
Lampiran 4. Dokumentasi Hasil Penelitian	71
Lampiran 5. Hasil analisis data.....	72

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gandum (*Triticum eastivum* L.) merupakan salah satu bahan pangan utama yang menyediakan lebih dari 20% kebutuhan kalori manusia (Zulkiffal *et al.*, 2021). Peningkatan konsumsi terigu menyebabkan permintaan gandum terus bertambah, namun tidak diimbangi dengan produksi dalam negeri. Pada tahun 2024, kebutuhan gandum secara nasional dipenuhi dengan melakukan import sebesar 11,7 juta ton dengan nilai mencapai 3,5 juta USD atau setara 55,5 miliar rupiah dengan nilai kurs rupiah sebesar Rp 15.859 (BPS, 2025). Meskipun demikian, budidaya gandum di Indonesia masih berkembang dalam skala terbatas sehingga belum mampu memenuhi kebutuhan nasional. Tanaman gandum umumnya dibudidayakan pada wilayah dataran tinggi dengan ketinggian lebih dari 800 m dpl dan suhu berkisar 15–25°C, karena kondisi tersebut lebih sesuai untuk mendukung pertumbuhan vegetatif maupun pembentukan biji (Tarigan *et al.*, 2023). Pada kondisi budidaya yang optimal, produktivitas gandum di Indonesia berkisar antara 2,04–2,96 ton ha⁻¹, namun produktivitas tersebut masih lebih rendah dibandingkan negara-negara produsen gandum utama (Balitbangtan, 2016).

Tanaman gandum pada umumnya tergolong sensitif terhadap cekaman genangan. Ketersediaan gandum saat ini terkendala akibat perubahan iklim yang disebabkan curah hujan yang tinggi saat musim pertanaman (Tirfi, 2022). Alemayehu *et al.* (2024) memperkirakan bahwa pada tahun 2050 terjadi pergeseran zona pertanian dan berpotensi mengisolasi kawasan yang masih mendukung produksi gandum. Variasi kondisi agroklimat di wilayah dataran tinggi maupun rendah Indonesia menjadi hambatan serius dalam pengembangan produksi gandum (Herdhani *et al.*, 2024). Intensitas hujan yang tinggi serta kejadian banjir berkepanjangan memiliki dampak signifikan terhadap kondisi fisik tanah dan produktivitas tanaman. Banjir dapat menyebabkan kerusakan struktur tanah, seperti pemadatan dan hilangnya agregat tanah, sehingga menurunkan kapasitas tanah dalam menyerap dan menahan air (Nita *et al.*, 2022). Dampak fisiologis ini

menyebabkan penurunan pertumbuhan dan produktivitas tanaman pangan, termasuk gandum, yang sensitif terhadap kelebihan air pada fase pertumbuhan tertentu (Dewanti *et al.*, 2024). Indonesia merupakan salah satu negara dengan kawasan lahan basah (*wetlands*) yang sangat luas, meliputi ekosistem rawa, lahan gambut, hutan mangrove, dan dataran banjir. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2022) melaporkan bahwa luas lahan basah di Indonesia mencapai lebih dari 40 juta hektar yang tersebar di berbagai pulau besar, seperti Sumatra, Kalimantan, Sulawesi, dan Papua. Sebagian kawasan tersebut dimanfaatkan sebagai lahan pertanian karena memiliki potensi sumber daya yang cukup besar. Namun, karakteristik lahan basah yang memiliki muka air tanah tinggi dan mudah mengalami kejenuhan air menyebabkan lahan pertanian rentan mengalami genangan, terutama pada musim hujan maupun saat terjadi curah hujan ekstrem. Kondisi tersebut dapat menghambat pertumbuhan berbagai tanaman budidaya yang sensitif terhadap kelebihan air, termasuk tanaman gandum, sehingga menjadi salah satu tantangan dalam upaya pengembangan gandum di Indonesia (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2022; *Convention on Wetlands*, 2021).

Genangan air pada area pertanaman merupakan salah satu cekaman abiotik yang harus diperhatikan. Penggenangan air dapat merangsang pembentukan jaringan aerenkima pada gandum dapat memperbaiki pertukaran gas dan mengurangi kondisi hipoksia pada tanah tergenang. Namun, kondisi ini dapat menyebabkan terganggunya hasil dan produksi tanaman (Avivi *et al.*, 2022). Gusmiatun *et al.* (2015) menyatakan bahwa genangan air menyebabkan peningkatan kadar H_2O dan penurunan O_2 sehingga menghambat aktivitas akar. Aktivitas akar yang terhambat menyebabkan rasio pembukaan dan penutupan stomata terganggu (Saputro *et al.*, 2018). Selain itu, kondisi tanaman tergenang air menyebabkan penurunan tinggi tanaman (Gusmiatun *et al.*, 2015).

Pemberian silika pada tanaman dapat mempertahankan aktivitas fisiologis akar pada kondisi tergenang (*waterlogging*) sehingga mendukung ketersediaan air dan penyerapan unsur hara bagi tanaman (Sundahri *et al.*, 2005). Pada penelitian Mustafa *et al.* (2021), menunjukkan bahwa aplikasi silika mampu meningkatkan

pertumbuhan dan performa fisiologis tanaman gandum pada kondisi tercekam. Hasil penelitian Nasrudin dan Rosmala (2021), pemberian pupuk silika mampu meningkatkan biomassa tanaman, laju asimilasi bersih dan luas daun pada kondisi salinitas. Pan *et al.* (2021) menunjukkan bahwa aplikasi silika pada tanaman sereal yang mengalami kondisi tergenang air mampu meningkatkan ketahanan tanaman melalui perbaikan morfologi akar, peningkatan sistem pertahanan antioksidatif, serta menjaga integritas struktur sel, sehingga tanaman menjadi lebih toleran terhadap stres genangan dan lebih mampu mempertahankan sistem pertahanannya terhadap serangan hama dan penyakit.

Kondisi tanaman dengan lama penggenangan yang berbeda dapat memberikan tingkat tekanan yang berbeda pula terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman gandum. Semakin lama tanaman mengalami genangan, maka semakin besar pengaruhnya terhadap proses fisiologis tanaman (Pais *et al.*, 2023). Upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan ketahanan tanaman gandum terhadap cekaman genangan air adalah pengaplikasian silika. Pemberian silika dapat memperkuat integritas struktural dinding sel tanaman sehingga tanaman lebih tahan terhadap kelebihan air. Kondisi ini mendukung kemampuan tanaman dalam menjaga kestabilan proses fisiologis meskipun terjadi penurunan oksigen di sekitar perakaran. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pemberian konsentrasi teh silika dan lama genangan air terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman gandum.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh interaksi antara konsentrasi teh silika dan lama penggenangan fase vegetatif terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman gandum?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi teh silika terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman gandum?
3. Bagaimana pengaruh lama penggenangan fase vegetatif terhadap

pertumbuhan dan hasil tanaman gandum?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian di atas dapat dirumuskan tujuan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh interaksi konsentrasi teh silika dan lama penggenangan fase vegetatif terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman gandum serta merekomendasikan perlakuan terbaik.
2. Mengetahui pengaruh konsentrasi teh silika terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman gandum serta merekomendasikan perlakuan terbaik.
3. Mengetahui pengaruh lama penggenangan fase vegetatif terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman gandum serta merekomendasikan perlakuan terbaik.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan uraian di atas dapat dirumuskan manfaat dalam penelitian sebagai berikut :

1. Hasil penelitian diharapkan mampu memberikan rekomendasi untuk masyarakat luas dalam menyelesaikan permasalahan produksi tanaman gandum di Indonesia.
2. Sebagai sumber dan bahan acuan untuk penelitian selanjutnya serta pengembangan teori yang telah diperoleh dalam perkuliahan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Gandum

Tanaman gandum (*Triticum aestivum* L.) adalah tanaman pangan alternatif yang dikembangkan menjadi bahan baku industri gluten. Kebutuhan gandum di Indonesia terus mengalami peningkatan dengan perubahan pola konsumsi yang bergantung pada produk olahan berbasis tepung terigu. Tanaman gandum merupakan salah satu tanaman sereal penting yang termasuk dalam genus *Triticum* dan famili **Poaceae** (keluarga rumput-rumputan). Famili **Poaceae** dikenal sebagai kelompok tanaman penghasil biji-bijian yang memiliki peran penting sebagai sumber pangan utama di dunia. Secara botani, gandum tergolong tanaman monokotil yang termasuk dalam ordo Poales dan banyak dibudidayakan untuk menghasilkan biji yang kaya akan karbohidrat (Mardi *et al.*, 2022; Musdalifa *et al.*, 2024).



Gambar 2.1 Tanaman Gandum

Sumber : dokumentasi pribadi

Prospek pemenuhan produksi gandum di daerah tropis sangat baik karena dapat tumbuh walaupun tanaman beriklim subtropis. Tanaman gandum merupakan salah satu tanaman sereal utama yang termasuk dalam famili **Poaceae**, yakni kelompok tanaman rumput-rumputan yang ditanam secara luas untuk bijinya. Secara morfologis, gandum memiliki struktur vegetatif yang khas monokotil, berupa batang yang tumbuh tegak, berbentuk silindris, dan beruas-ruas, serta mampu menghasilkan beberapa tunas samping yang menyerupai rumpun tanaman

(Gaikwad & Pujari, 2021; Kumar & Singh, 2023). Tunas samping yang terbentuk ini mirip dengan fenomena *tillering* pada padi, yang berperan penting dalam menentukan jumlah malai dan potensi hasil tanaman. Batang gandum sendiri berfungsi sebagai penopang utama tanaman dan saluran transportasi air dan nutrisi dari akar ke daun dan malai, serta merupakan ciri umum yang terlihat pada banyak tanaman sereal seperti padi dan jagung (Gaikwad & Pujari, 2021). Bunga pada tanaman gandum berbentuk majemuk sehingga bulir-bulir tertumpuk pada malai. Malai gandum terdiri dari *nodus* dan *internodus* yang pendek dan pipih yang melebar pada bagian ujung tetapi menyempit pada pangkalnya (Attwal & Dhiman, 2024). Biji gandum mirip dengan padi yang terdiri dari endosperma, lembaga, dan kulit yang memiliki kandungan serat dan protein yang baik untuk tubuh manusia. Menurut Attwal dan Dhiman (2024), bagian endosperma membentuk sebagian besar biji dan mengandung pati dan protein yang digiling untuk mendapatkan tepung putih.

Budidaya tanaman gandum harus tepat dan akurat agar tidak menurunkan hasil gandum. Tanaman gandum dikenal sebagai tanaman sereal yang paling cocok tumbuh pada kondisi iklim sedang atau subtropis, terutama pada daerah dengan suhu rendah hingga sedang. Kondisi lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan ketinggian tempat memiliki pengaruh penting terhadap pertumbuhan dan hasil gandum karena memengaruhi proses fisiologis tanaman serta kejadian penyakit. Menurut Zubaidi *et al.* (2018), gandum umumnya tumbuh lebih baik pada dataran medium hingga tinggi (400-1500 mdpl), di mana suhu udara lebih rendah dibandingkan dengan dataran rendah tropis, yang dapat mengurangi stres panas yang sering terjadi pada fase reproduktif tanaman (misalnya saat pembungaan dan pengisian biji) dan memungkinkan tanaman mencapai potensi hasil maksimal.

Tanaman gandum umumnya tumbuh baik di daerah dengan suhu yang sejuk hingga sedang, seperti dataran tinggi, karena kondisi ini mendukung pertumbuhan pada fase vegetatif (pertumbuhan daun dan batang). Suhu merupakan faktor penting yang mengatur pertumbuhan dan perkembangan gandum, di mana tanaman ini dapat tumbuh dalam kisaran suhu yang cukup luas, tetapi memiliki suhu optimum tertentu pada setiap fase pertumbuhan. Secara umum, perkembangan gandum berlangsung baik pada suhu sekitar 17–23°C, sedangkan suhu sekitar 20–26°C

dibutuhkan pada fase pembungaan dan pengisian biji (Luo *et al.*, 2024). Namun, suhu yang terlalu tinggi (di atas $\pm 30\text{--}35^\circ\text{C}$) dapat mengganggu proses pembungaan, menurunkan keberhasilan penyerbukan, dan akhirnya mengurangi hasil panen (Djanaguiraman *et al.*, 2020). Kondisi pH tanah sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman gandum. Tanaman gandum umumnya tumbuh optimal pada tanah dengan pH mendekati netral, yaitu sekitar 6–7, karena pada kondisi ini unsur hara lebih mudah tersedia dan dapat diserap oleh akar tanaman secara maksimal (Pan *et al.*, 2023). Menurut Akbar *et al.* (2025) curah hujan dan kebutuhan air merupakan faktor penting dalam pertumbuhan dan hasil tanaman gandum karena air dibutuhkan untuk fotosintesis, perkembangan akar, pembentukan anakan, serta pengisian biji. Kebutuhan air tanaman gandum dikenal sebagai *crop water requirement* (CWR) atau total air yang dibutuhkan untuk memenuhi evapotranspirasi tanaman selama pertumbuhan, yang nilainya akan bervariasi tergantung fase pertumbuhan, iklim, dan distribusi hujan sepanjang musim tanam. Rata-rata kebutuhan air musim tanam gandum di berbagai kondisi bisa mencapai sekitar $\pm 400\text{--}450$ mm per musim tanam, tergantung pada evapotranspirasi referensi dan curah hujan efektif yang tersedia (Bayisa *et al.*, 2024).

Perubahan iklim menyebabkan ketersediaan air tidak menentu sehingga produksi gandum menurun. Kelebihan air menyebabkan genangan di areal pertanaman akan mengganggu pertumbuhan tanaman. Genangan air menyebabkan terganggunya hasil dan produksi tanaman karena akar tidak berfungsi dengan normal (Avivi *et al.*, 2022). Perbaikan struktur tanah dan pemberian perlakuan diperlukan untuk meningkatkan kembali produksi gandum. Salah satu perlakuan yang diberikan adalah pemberian silika pada tanah untuk memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan aktivitas akar yang tergenang air.

2.2 Pengaruh Penggenangan Fase Vegetatif Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Gandum

Perubahan iklim menyebabkan terjadinya kondisi tidak optimum pada areal pertanaman gandum sehingga ketersediaan gandum saat ini terkendala. Curah

hujan yang cukup tinggi di Kabupaten Jember pada tahun 2020 dengan rata-rata sebesar 170 mm dengan intensitas tertinggi pada bulan Januari sebesar 240 mm berpotensi menyebabkan genangan air pada lahan pertanian (BPS, 2021). Kondisi genangan air tersebut menyebabkan hasil dan produksi tanaman terganggu karena akar tidak berfungsi dengan normal (Avivi *et al.*, 2022).

Gandum varietas Dewata merupakan salah satu varietas gandum yang banyak dibudidayakan dan digunakan dalam berbagai penelitian di Indonesia dengan produktivitas berkisar antara 2,04–2,96 ton ha⁻¹ pada kondisi lingkungan yang optimal (Balitbangtan, 2016). Namun, pada kondisi genangan berkepanjangan akibat curah hujan yang tinggi menjadi salah satu faktor pembatas produksi gandum. Cekaman genangan menyebabkan kondisi hipoksia bahkan anoksia pada daerah perakaran akibat terbatasnya difusi oksigen di dalam tanah yang tergenang. Kondisi tersebut menghambat respirasi aerob, menurunkan produksi energi, mengganggu penyerapan hara, serta menghambat pertumbuhan dan perkembangan tanaman sehingga hasil gandum dapat menurun secara signifikan (Pan *et al.*, 2021; Sharma *et al.*, 2021).

Tanaman yang tergenang air akan mengganggu sistem pertumbuhan dan aktivitas akarnya. Akar tanaman pada dasarnya membutuhkan oksigen untuk melakukan respirasi secara aerobik guna menghasilkan energi (ATP) yang digunakan dalam proses penyerapan dan pengangkutan unsur hara. Namun, ketika tanah mengalami genangan (*waterlogging*), ruang pori tanah terisi air sehingga suplai oksigen menjadi sangat terbatas dan menyebabkan kondisi hipoksia atau bahkan anoksia pada akar. Akibatnya, respirasi aerobik terganggu dan produksi energi menurun drastis, sehingga aktivitas penting seperti kerja pompa H⁺-ATPase yang mengatur masuknya ion menjadi tidak optimal. Hal ini menyebabkan penyerapan dan transport ion seperti nitrat dan kalium menurun secara signifikan (Wang *et al.*, 2024). Selain itu, Chugh *et al.* (2022) menjelaskan, kondisi air yang berlebihan akan berdampak pada kelembapan tanah yang berlebihan sehingga berkurangnya ketersediaan oksigen ke akar tanaman menyebabkan hipoksia atau anoksia. Kurangnya oksigen pada tanah yang tergenang air akan mengakibatkan ketidakseimbangan antara difusi gas dalam air dibandingkan dengan udara dan laju

oksigen yang diserap oleh akar tanaman (Zhou *et al.*, 2020).

Tanaman gandum yang tergenang air maka akan berusaha beradaptasi dengan kondisi area lapangan seperti beberapa hormon dan mekanisme penyerapan nutrisi untuk bisa bertahan hidup. Penelitian Kaur *et al.* (2020) menjelaskan, tanaman yang tergenang banjir akan mengaktifkan sistem fisiologis, biokimia, metabolisme, dan pertahanan untuk bertahan hidup dan mempertahankan pertumbuhan. Dari semua serangkaian proses yang berubah yang akan sangat berperan adalah perubahan biokimia tumbuhan. Perubahan biokimia tumbuhan akan memberikan stimulus untuk toleransi terhadap cekaman melalui induksi biosintesis zat terlarut yang kompatibel (Chugh *et al.*, 2022). Saat tanaman tercekam lingkungan maka prolin akan berakumulasi yang akan merespon cekaman dengan menstabilkan protein, membran, dan struktur subselular (Ghosh *et al.*, 2021). Selain mengganggu ketersediaan oksigen, genangan air juga menyebabkan tanaman mengalami stres oksidatif yang ditandai dengan meningkatnya produksi *reactive oxygen species* (ROS) seperti H_2O_2 , O_2 , dan radikal hidroksil. ROS sebenarnya merupakan molekul normal dalam metabolisme tanaman, tetapi pada kondisi stres seperti tergenang air jumlahnya meningkat secara berlebihan sehingga dapat merusak lipid membran, protein, DNA, dan makromolekul lainnya (Su *et al.*, 2024; Zhang *et al.*, 2024). Maka dari itu diperlukan upaya untuk meningkatkan kembali produksi gandum melalui pemberian perlakuan seperti pemberian silika untuk mengurangi penurunan produksi gandum.

Penggenangan yang berlangsung semakin lama akan memperparah gangguan pada respirasi akar, penyerapan nutrisi, aktivitas fotosintesis, sehingga berakibat pada penurunan pertumbuhan tanaman dan komponen hasil gandum seperti jumlah anakan dan berat biji (Van den Dries *et al.*, 2024). Tanah yang tergenang air akan mengurangi ketersediaan oksigen di sekitar akar tanaman sehingga memicu kondisi hipoksia. Untuk beradaptasi terhadap kekurangan oksigen ini, banyak tanaman termasuk gandum akan membentuk jaringan aerenkim (*aerenchyma*), yaitu jaringan berongga yang berkembang dari sel-sel parenkim yang mengalami pengaturan ulang atau kematian terprogram untuk menciptakan ruang udara dalam akar dan batang (*waterlogging adaptation*). Jaringan aerenkim memiliki fungsi

penting dalam meningkatkan difusi gas, khususnya oksigen dari bagian atas tanaman menuju akar yang terendam, sehingga memastikan respirasi akar tetap berlangsung meskipun tanah kekurangan oksigen (Frontiers, 2025; Koramutla *et al.*, 2022). Proses pembentukan aerenkim di bawah stres genangan dipicu oleh produksi hormon seperti etilen dan akumulasi radikal oksigen (*reactive oxygen species*) yang memfasilitasi pemisahan atau kematian sel kortikal sehingga membentuk ruang-ruang berudara yang lebih besar (Frontiers, 2025; Ni *et al.*, 2019). Pembentukan aerenkim ini merupakan salah satu strategi adaptif utama tanaman terhadap genangan air karena meningkatkan ventilasi internal dan transportasi gas untuk mempertahankan fungsi akar serta mengurangi dampak stres oksigen rendah (*waterlogging stress*) pada pertumbuhan dan hasil tanaman (Frontiers, 2025).

Tanaman gandum memiliki kemampuan untuk membentuk aerenkim sebagai respon adaptif terhadap kondisi genangan air, namun kemampuan ini tidak cukup untuk membuat tanaman menjadi toleran terhadap stres tersebut. Pembentukan aerenkim memang membantu meningkatkan difusi oksigen dari bagian atas tanaman ke akar yang terendam, tetapi kapasitas transportasi oksigen tersebut masih terbatas sehingga tidak mampu memenuhi kebutuhan respirasi seluruh jaringan akar, terutama pada kondisi genangan yang berlangsung lama (Herzog *et al.*, 2016). Selain itu, genangan air dapat menyebabkan kematian akar utama serta menghambat pembentukan akar adventif, (akar serabut) sehingga sistem perakaran menjadi kurang efektif dalam menyerap air dan unsur hara (Arduini *et al.*, 2023). meskipun pembentukan aerenkim merupakan salah satu mekanisme adaptasi penting, pada tanaman gandum mekanisme ini hanya bersifat parsial dan tidak mampu sepenuhnya mengatasi dampak kompleks dari stres genangan air.

2.3 Pengaruh Pemberian Teh Silika Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Gandum Tergenang

Genangan air merupakan salah satu bentuk stres abiotik yang berpengaruh besar terhadap pertumbuhan tanaman gandum karena kondisi tanah yang jenuh dalam waktu lama dapat menghambat perkembangan tanaman dan menurunkan

hasil panen. Cekaman ini menimbulkan dampak fisiologis yang muncul akibat stres meliputi penurunan laju fotosintesis, perubahan arsitektur akar, berkurangnya luas daun, serta penurunan produksi biomassa (Gao *et al.*, 2025; Ma *et al.*, 2022). Untuk meminimalkan dampak negatif tersebut, aplikasi silika (Si) telah banyak dilaporkan sebagai strategi yang efektif. Penelitian terdahulu mengungkapkan bahwa genangan air memicu pembentukan jaringan aerenkima pada tanaman gandum, yang berfungsi memfasilitasi pertukaran gas sekaligus mengurangi dampak hipoksia akibat kondisi tanah tergenang (Gao *et al.*, 2025; Yang *et al.*, 2022).

Pemberian silika terbukti mampu meningkatkan perkembangan aerenkima, sehingga memperbaiki aerasi sistem perakaran dan mendukung distribusi oksigen ke area akar yang terendam (Yang *et al.*, 2022). Silika juga diduga berperan dalam merangsang pertumbuhan akar serta pembentukan akar adventif, yang memungkinkan tanaman lebih efektif memperoleh oksigen maupun nutrisi pada lingkungan tergenang (Jiang *et al.*, 2022; Tong *et al.*, 2021). Silika berperan penting dalam meningkatkan toleransi tanaman terhadap stres genangan dengan cara memperkuat struktur akar, mempertahankan turgor daun, serta meningkatkan ketahanan fisiologis secara menyeluruh (Maai, 2024; Mfarrej *et al.*, 2021). Mekanisme ini krusial mengingat genangan air umumnya menimbulkan defisiensi oksigen di zona rhizosfer, yang pada gilirannya menghambat respirasi dan secara signifikan mengganggu penyerapan hara (Pais *et al.*, 2023).

Silika bukan merupakan unsur yang banyak dibutuhkan bagi tanaman. Namun bagi beberapa tanaman terutama sereal seperti padi, jagung, sorgum, dan lainnya menyerap silika dalam jumlah yang banyak (Subiksa, 2018). Menurut Li, H *et al.* (2025) tanaman roboh dapat secara signifikan mengurangi hasil panen gandum, dengan penurunan hasil berkisar antara 31% hingga 80% yang disebabkan terganggunya aktivitas komponen penyusun tanaman. Stabilitas membran sel sangat penting pada tanaman sereal untuk menilai toleransi terhadap stres abiotik, dan tingkat kerusakan membran sel digunakan sebagai indikator toleransi terhadap berbagai faktor stres pada tanaman (Chopra *et al.* 2020; Sharifi *et al.* 2017). Kerusakan pada komponen sel, seperti membran kloroplas, dapat menyebabkan terjadinya kebocoran elektrolit pada sel tanaman, yang selanjutnya mengakibatkan

degradasi klorofil sehingga tanaman tidak mampu melakukan fotosintesis secara optimal dalam menghasilkan cadangan makanan. Gangguan pada metabolisme klorofil memiliki implikasi yang mendalam bagi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan (Li *et al.* 2024).

Pemberian silika juga dapat meningkatkan tingkat toleransi pada tanaman pada kondisi cekaman. Zargar *et al.* (2019) menjelaskan bahwa, silika dapat dikatakan multi-talent micronutrient karena memberikan keunggulan tanaman yang tercekam. Silika berperan penting dalam proses fisiologi dan ketahanan pada tanaman yang tergenang air (Sudradjat *et al.*, 2016). Pemberian silika sebanyak 1 gram dapat mengurangi kerusakan oksidatif pada tanaman yang tergenang air. Silika terakumulasi pada dinding sel, termasuk jaringan epidermis, sehingga menyebabkan dinding sel menjadi lebih tebal dan kuat serta berfungsi sebagai pelindung terhadap tekanan lingkungan dan masuknya zat beracun ke dalam akar (Hassan *et al.*, 2024). Silika akan menekan keberadaan H_2O_2 sebagai ROS sehingga meningkatkan ketahanan fisiologi seperti kandungan klorofil dan kadar air relatif pada daun (Zainul *et al.*, 2022).

Silika mampu didapatkan secara alami melalui bagian tanaman padi yang sudah diolah. Menurut Meena *et al.* (2020), sumber silika untuk tanaman saat ini dapat diperoleh dari berbagai bahan limbah industri dan pertanian yang mudah ditemukan, seperti abu sekam padi (*rice husk ash*), abu terbang (*fly ash*), dan terak baja (*steel slag*). Selain itu, abu sekam yang dihasilkan dari proses pembakaran, termasuk pada industri batu bata, memiliki kandungan silika amorf yang mudah larut sehingga lebih mudah diserap oleh tanaman dibandingkan bentuk silika kristalin (Jain & Fuskele, 2019). Abu sekam padi yang memiliki kandungan silika cukup tinggi digunakan sebagai sumber silika dalam penelitian ini. Abu sekam padi (*rice husk ash*) merupakan salah satu sumber silika yang sangat kaya karena sebagian besar komposisinya didominasi oleh senyawa silika (SiO_2). Kandungan silika dalam abu sekam padi dapat bervariasi tergantung pada proses pembakaran, namun umumnya berada pada kisaran 80–97%, bahkan beberapa penelitian melaporkan kandungan silika mencapai sekitar 93% atau lebih (Rahman, 2018; Arisqi *et al.*, 2021). Hal ini merupakan potensi yang dapat dimanfaatkan

mengingat sekam padi biasanya tergolong limbah yang akan disingkirkan setelah pertanaman.

Pengaplikasian silika dalam bentuk larutan atau teh silika dinilai efektif karena lebih cepat diserap oleh akar tanaman. Teh silika mengandung asam ortosilisat yang sudah larut oleh air lebih mudah diserap oleh akar tanaman karena memudahkan untuk transport melalui xilem tanaman (Huang, 2019). Silika juga berperan dalam memperbaiki struktur dan fungsi akar, sehingga akar tetap mampu menyerap air dan unsur hara meskipun kondisi tanah kekurangan oksigen akibat genangan (Luo *et al.*, 2024). Verma *et al.* (2022) menyatakan bahwa, silika terlarut dapat meningkatkan toleransi tanaman terhadap berbagai cekaman lingkungan melalui regulasi metabolisme, peningkatan aktivitas antioksidan, dan perbaikan pertumbuhan tanaman secara menyeluruh. Oleh karena itu, teh silika yang berasal dari abu sekam padi berpotensi menjadi sumber silika alternatif yang ekonomis, ramah lingkungan, dan berkelanjutan untuk mendukung pertumbuhan tanaman gandum pada kondisi cekaman genangan. Selain itu, silika berperan dalam mengatur kemampuan gandum untuk beradaptasi secara osmotik ketika menghadapi stres akibat genangan air. Peningkatan akumulasi zat pelarut kompatibel, seperti prolin dan glisin betain, terbukti mampu memperbaiki potensial osmotik serta menjaga turgor sel, sehingga sel tanaman tetap berfungsi normal meski berada pada kondisi tergenang (Maai, 2024; Katerova *et al.*, 2021). Dengan mekanisme ini, tanaman dapat bertahan lebih lama di bawah kondisi tanah jenuh air tanpa mengalami penurunan hasil yang berarti. Penelitian juga memperlihatkan bahwa pemberian silika membantu mempertahankan kinerja fisiologis, termasuk konduktansi stomata dan laju fotosintesis bersih, pada tingkat yang lebih tinggi dibandingkan tanaman tanpa perlakuan selama periode genangan (Gao *et al.*, 2021; Mfarrej *et al.*, 2021).

Peningkatan pertumbuhan dan stabilitas hasil gandum pada kondisi tergenang berkaitan erat dengan peran silika dalam memengaruhi jalur pensinyalan stres. Sejumlah penelitian melaporkan bahwa Si mampu memodulasi aktivitas enzim antioksidan, sehingga menekan akumulasi penanda stres oksidatif seperti malondialdehida (MDA) dan hidrogen peroksida (H_2O_2) yang umumnya meningkat selama genangan (Jiang *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2020). Dengan berkurangnya

kerusakan oksidatif, tanaman yang mendapat perlakuan silika memperlihatkan toleransi lebih tinggi terhadap stres genangan, sekaligus mempertahankan vitalitas dan produktivitas yang lebih baik (Mfarrej *et al.*, 2021; Pitann *et al.*, 2024).

Selain memperbaiki respon fisiologis dan morfologis, silika juga berperan dalam meningkatkan ekspresi gen yang mendukung toleransi tanaman terhadap genangan. Aplikasi Si dilaporkan mempengaruhi ekspresi gen yang terlibat dalam mekanisme respons stres, sehingga memperkuat kemampuan adaptasi fisiologis tanaman (Rauf *et al.*, 2021; Yang *et al.*, 2022). Dampak dari perubahan ekspresi ini tercermin pada karakter seperti peningkatan panjang dan kerapatan akar serta pembentukan aerenkima, yang esensial dalam menunjang penyerapan air dan hara di bawah kondisi genangan (Jiang *et al.*, 2022; Tong *et al.*, 2021).

Peningkatan frekuensi dan intensitas genangan sebagai dampak perubahan iklim menjadikan penggunaan silika serta strategi adaptif lainnya semakin penting dalam budidaya gandum. Penerapan Si tidak hanya memberikan perlindungan tambahan bagi tanaman, tetapi juga mendukung keberlanjutan pertanian dengan memperbaiki kondisi tanah dan siklus nutrisi (Ding *et al.*, 2020; Ünay & Şimşek, 2020). Dengan demikian, penerapan silika secara terintegrasi dalam praktik agronomi berpotensi menjadi solusi penting untuk mengurangi kerugian akibat genangan pada produksi gandum. Hubungan konsentrasi silika dengan pertumbuhan dan hasil tanaman gandum yaitu Silika berperan dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui perbaikan struktur sel, penguatan jaringan tanaman, serta meningkatkan toleransi terhadap stres abiotik seperti cekaman air dan kekeringan (Rahman *et al.*, 2021).

2.4 Hipotesis

Berdasarkan pada latar belakang, rumusan masalah, dan tinjauan pustaka diperoleh hipotesis sebagai berikut :

1. Terdapat interaksi antara konsentrasi teh silika dan lama penggenangan fase vegetatif terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman gandum.
2. Terdapat pengaruh signifikan konsentrasi teh silika terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman gandum.

3. Terdapat pengaruh signifikan lama penggenangan fase vegetatif terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman gandum

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama empat bulan mulai 26 Maret sampai 19 Juli 2023. Penelitian ini dilakukan di Kebun Pengembangan Hortikultura Politeknik Negeri Jember, Desa Darungan, Kemuning Lor, Arjasa, Jember.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam percobaan ini meliputi alat tulis, penggaris, kamera, timba, gelas ukur, cangkul, timbangan digital, klorofil meter *soil plant analysis development* (SPAD), termometer, gelas ukur 100 ml, gelas ukur 500 ml, EC meter, kompor, scapel, silet, objek glass, cover glass, mikroskop, laptop. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi benih gandum, arang sekam, air, polibag 60 cm x 60 cm, polibag tertutup 70 cm x 70 cm, tanah liat, tanah, pupuk NPK 16:16:16, dan kertas label.

3.3 Rancangan Percobaan

Penelitian dilakukan menggunakan pola dasar Rancangan Acak Kelompok (RAK) Faktorial dan diulang 3 kali. Penelitian ini terdiri atas dua faktor, kedua faktor tersebut disusun secara faktorial adapun perlakuan masing-masing faktor sebagai berikut: Faktor pertama adalah konsentrasi teh silika yang terdiri atas 5 taraf, yaitu:

S0 : 0 gram/liter

S1 : 150 gram/liter

S2 : 300 gram/liter

S3 : 450 gram/liter

S4 : 600 gram/liter

Faktor kedua adalah lama waktu penggenangan yang terdiri atas 3 taraf, yaitu:

W0 : tanpa penggenangan

W1 : penggenangan selama 24 jam dengan ketinggian 2cm

W2 : penggenangan selama 48 jam dengan ketinggian 2cm

Percobaan ini terdapat 15 macam kombinasi perlakuan, sehingga total satuan

percobaan yaitu 45 satuan percobaan dengan denah pengacakan satuan percobaan. Berikut ini tabel kombinasi perlakuan antara waktu penggenangan (W) dan teh silika (S) yaitu :

Tabel 3.1 Kombinasi Perlakuan antara Waktu Penggenangan dan Teh Silika

Penggenangan Silika	Waktu Penggenangan		
	W0	W1	W2
S0	S0W0	S0W1	S0W2
S1	S1W0	S1W1	S1W2
S2	S2W0	S2W1	S2W2
S3	S3W0	S3W0	S3W0
S4	S4W0	S4W1	S4W2

Kedua faktor tersebut dikombinasikan berdasarkan perlakuan yang telah ditentukan di atas maka didapatkan denah penelitian sebagai berikut :

Tabel 3.2 Denah Penelitian

Baris 1	Baris 2	Baris 3
S1W2	S3W0	S1W2
S1W0	S3W1	S4W0
S1W1	S0W2	S0W0
S4W0	S1W1	S1W0
S4W1	S3W2	S3W2
S3W2	S2W0	S4W2
S2W1	S0W0	S2W2
S0W2	S2W1	S4W1
S4W2	S4W2	S1W1
S0W0	S4W0	S3W1
S2W2	S1W2	S0W2
S3W0	S2W2	S0W1
S3W1	S0W1	S3W0
S2W0	S4W1	S2W1
S0W1	S1W0	S2W0



3.4 Prosedur Pelaksanaan

Penelitian ini dilaksanakan secara bertahap dengan melaksanakan prosedur kegiatan penelitian sebagai berikut:

3.4.1 Pengujian Pendahuluan

Pengujian pendahuluan dengan menguji kandungan silika pada teh silika dan

kandungan silika pada tanah sebelum dilakukan penanaman. Pengujian kandungan silika pada teh silika memiliki tujuan untuk mengetahui kandungan silika yang terdapat pada teh silika dan mengetahui konsentrasi silika yang akan diberikan pada tanaman. Pengujian kandungan silika pada tanah dilakukan untuk mengetahui kandungan silika yang terdapat pada tanah. Pengujian pendahuluan dilakukan di Unit Penunjang Akademik Biosains Politeknik Negeri Jember.

3.4.2 Pembuatan Teh Silika

Larutan teh silika dibuat dengan merendam bahan organik sumber silika seperti sekam padi sebanyak sesuai taraf perlakuan (0 g, 150 g, 300 g, 450 g, dan 600 g) ke dalam 1 liter air selama 24 jam. Larutan dipanaskan pada suhu $\pm 80-100^{\circ}\text{C}$ selama 30 menit sambil diaduk secara perlahan agar proses ekstraksi silika berlangsung optimal. Setelah pemanasan, larutan didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang untuk memaksimalkan pelarutan senyawa silika. Selanjutnya, larutan disaring menggunakan kain saring atau kertas saring untuk memisahkan filtrat dari residu padatan. Filtrat yang diperoleh merupakan larutan teh silika yang kemudian digunakan sebagai perlakuan pada tanaman gandum sesuai dengan konsentrasi masing-masing perlakuan.

3.4.3 Persiapan Media Tanam

Persiapan media tanam dilakukan dengan mencampurkan tanah dengan kompos dengan perbandingan 1:1 hingga merata. Selanjutnya media tanam yang tercampur dimasukkan ke dalam polibag tanpa diberi bolongan mencapai $\frac{3}{4}$ dari tinggi polibag. Polybag akan diberikan label menggunakan type x sesuai dengan kombinasi perlakuan dan diletakkan sesuai dengan denah percobaan yang telah disusun.

3.4.4 Penanaman Benih

Penanaman gandum dimulai dengan melakukan menaman benih sebanyak 120 benih dengan satu benih per polibag. Benih gandum ditanam disiram secukupnya dengan intensitas sebanyak 1 hari sekali pada pagi hari. Jika tanah masih basah maka tidak dilakukan penyiraman untuk menghindari busuk atau serangan hama.

3.4.5 Perawatan Fase Vegetatif

Pemeliharaan tanaman gandum dilakukan penyiraman, pemupukan, penyiangan gulma, dan pengendalian hama penyakit. Penyiangan gulma dilakukan dengan mencabut gulma pada polibag dan area pertanaman. Pengendalian hama dan penyakit dilakukan sesuai kebutuhan dan tingkat serangan. Pemupukan dilakukan dengan pemberian pupuk NPK 16;16 sebanyak 9,6 gram per tanaman dilakukan pada 10 HST dan 6,4 gram per tanaman pada 30 HST.

3.4.6 Pemberian Perlakuan Penggenangan Fase Vegetatif

Pemberian perlakuan penggenangan dilakukan dengan memberi air sesuai pengaturan perlakuan dengan 2 cm diatas tanah. Pemberian perlakuan penggenangan dilakukan pada 75 HST dan dipertahankan sesuai perlakuan. Perlakuan genangan dilakukan selama 24 dan 48 jam. Apabila tanaman gandum telah menunjukkan tanda stress abiotik, maka air akan dibuang dari polibag tanpa dilakukan penyiraman. Saat hari ke delapan penggenangan maka akar tanaman dari setiap perlakuan akan dilakukan pengujian aerenkim dengan melihat jumlah aerenkim yang terbentuk pada akar tanaman. Menurut Pais *et al.* (2023), penggenangan selama 2 hari pada tanaman gandum akan meningkatkan kadar *Digalactosyldiacylglycerol* (DGDG) yang menunjukkan tanaman merespon kondisi stress, seperti stress akibat genangan.

3.4.7 Pemanenan

Pemanenan dilakukan dengan cara memotong pangkal tanaman dengan menggunakan arit yang dilakukan saat gandum berusia 125 HST dan merontokkan bulir dari tangkainya untuk dilakukan pengamatan beberapa parameter dan dijemur di bawah cahaya matahari.

3.4.8 Pengamatan Rutin dan Pengamatan Pasca Panen

Pengamatan rutin dilakukan untuk mengetahui pertumbuhan tanaman gandum dengan mengamati tinggi tanaman, jumlah daun, luas daun, dan warna daun yang dilaksanakan seminggu sekali. Selain itu, untuk pengamatan tambahan dilakukan berat 1000 bulir, jumlah gabah pertangkai, kandungan klorofil daun kemudian pengujian kandungan silika pada tanah sebelum perlakuan, kandungan silika pada teh silika dan kandungan prolin pada tanaman gandum.

3.5 Variabel Pengamatan

3.5.1 Tinggi Tanaman

Pengukuran tinggi tanaman dilakukan dengan mengukur pangkal batang hingga daun tertinggi. Pengukuran dilakukan pada saat pemanenan untuk mengamati laju pertumbuhan tanaman gandum.

3.5.2 Jumlah Daun

Perhitungan jumlah daun dilakukan pada daun yang telah membuka sempurna mulai dari bawah hingga pucuk. Perhitungan jumlah daun akan dibagi menjadi tiga kelompok yaitu daun hijau, daun kuning, dan daun kering yang diamati pada saat pemanenan tanaman.

3.5.3 Panjang Akar

Pengukuran panjang akar dilakukan menggunakan alat penggaris dengan mengukur panjang dari pangkal batang sampai ujung akar saat pemanenan. pengukuran panjang akar dilakukan pada saat panen dengan cara membersihkan akar dari sisa media tanam, kemudian akar diluruskan secara hati-hati agar tidak rusak atau terlipat.

3.5.4 Berat 1000 Bulir

Menurut ISTA (2016) bobot 1000 bulir dihitung dengan cara menghitung bulir gandum sebanyak 100 bulir dalam delapan ulangan. Hasil dari seluruh perhitungan kemudian dirata-rata dan digunakan untuk menghitung bobot 1000 bulir gandum.

3.5.5 Jumlah Gabah per Tangkai

Perhitungan jumlah gabah per tangkai panjang bulir dilakukan dengan menghitung jumlah gabah yang dihasilkan dalam satu tangkai dan ditimbang menggunakan alat timbangan analitik dengan mengambil sampel sebanyak 3 tangkai dalam setiap tanaman.

3.5.6 Kadar Klorofil Daun

Pengukuran kadar klorofil daun dilakukan pada fase vegetatif (75 HST) menggunakan alat SPAD *chlorophyllmeter* untuk semua perlakuan. Pengukuran kadar klorofil dilakukan pada daun yang telah berkembang sempurna dan dipilih dari bagian pucuk kemudian dan dijepit pada sensor SPAD dengan menghindari

tulang daun utama, pada pukul 10.00 (Vishwakarma *et al.*, 2021).

3.5.7 Kandungan Prolin

Analisis kandungan prolin dilakukan menggunakan metode kolorimetri yang dimodifikasi dari L. S. Bates *et al.* (1973) sebagaimana diterapkan oleh Khatami *et al.* (2022), sampel daun segar sebanyak 0,5 g diekstraksi menggunakan larutan asam sulfosalisilat 3% (b/v), kemudian homogenat disentrifugasi pada kecepatan 8.000 rpm selama 10 menit untuk memperoleh supernatan. Sebanyak 2 mL supernatan direaksikan dengan 2 mL larutan ninhidrin asam dan 2 mL asam asetat glasial, kemudian campuran dipanaskan pada suhu 100°C selama 1 jam. Setelah didinginkan, campuran diekstraksi menggunakan toluena, dan absorbansi fase kromofor diukur pada panjang gelombang 520 nm menggunakan spektrofotometer. Konsentrasi prolin kemudian dihitung berdasarkan kurva standar dan dinyatakan dalam $\mu\text{mol g}^{-1}$ bobot segar. Untuk menghitung kandungan prolin dinyatakan kurva standar.

3.6 Analisis data

Percobaan ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) Faktorial, data yang diperoleh akan dianalisis untuk mengetahui pengaruh dari setiap perlakuan dan pengulangan. Data hasil pengamatan dianalisis menggunakan analisis ANOVA. Apabila terjadi pengaruh nyata, penentuan pengaruh perlakuan yang dominan dilakukan dengan analisis lanjut DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) pada taraf 5%.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Umum Penelitian

Berdasarkan hasil uji laboratorium, tanah yang digunakan dalam penelitian memiliki kandungan silika sebesar 442,93 ppm. Pengujian dilakukan menggunakan metode Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) sesuai dengan prosedur yang tercantum dalam Cook Book Shimadzu Corporation. Nilai tersebut menunjukkan bahwa larutan teh silika mengandung unsur silika dalam jumlah yang memadai sehingga berpotensi memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan, respons fisiologis, dan hasil tanaman gandum selama penelitian. Hasil analisis kandungan silika ini juga menjadi dasar bahwa produk teh silika yang diaplikasikan telah memenuhi fungsi sebagai sumber silika bagi tanaman.

Tabel 4.1 Hasil analisis kandungan silika pada tanah

NO.	PARAMETER	SATUAN	HASIL UJI	SPESIFIKASI METODE
1.	Silika	ppm	442,93	Atomic Absorbtion Cook Book SHIMADZU Corporation

Selama penelitian ditemukan serangan hama dan penyakit tanaman masih dalam ambang kendali yang mana tingkat populasi atau serangan yang lebih rendah. Dalam penelitian intensitas matahari penuh menyinari dari pukul 09.00–13.00 WIB dan sekeliling area pertanaman tidak ada pohon tinggi yang menghalangi penyinaran matahari.



Gambar 4.1 Hama tanaman gandum

Sumber: Dokumentasi pribadi

4.2 Hasil Percobaan

Rekapitulasi hasil *Analysis of Variance* (ANOVA), didapatkan adanya pengaruh kombinasi perlakuan terhadap variabel pengamatan pertumbuhan dan hasil tanaman pada fase vegetatif disajikan Tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4. 1 Rangkuman hasil analisis ragam (F-Hitung) pada seluruh variabel

	TT	JD	PA	BB	JG	K	P
S	3,68*	10,22**	6,49**	38,30**	3,01*	5482,89**	2534,03**
W	68,36**	5,40*	0,33 ns	0,92 ns	1,47 ns	17558,22**	1800,25**
S*W	7,14**	1,98 ns	2,94*	4,03**	1,71 ns	267,14**	48,73**

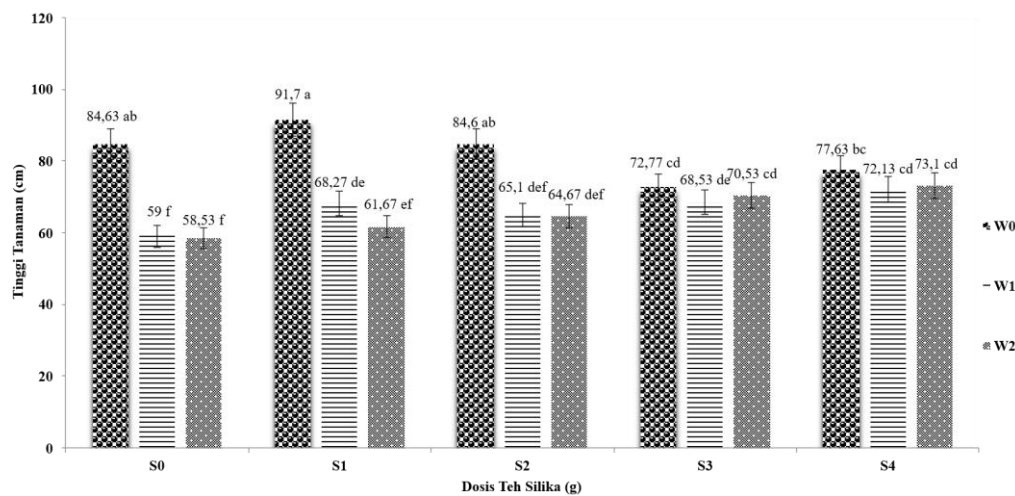
Keterangan : konsentrasi teh silika (S), waktu penggenangan (W), interaksi (S*K), Berbeda Sangat Nyata (**), Berbeda Nyata (*), Berbeda Tidak Nyata (ns), tinggi tanaman (TT), jumlah daun (JD), panjang akar (PA), berat 1000 bulir (BB), jumlah gabah per tangkai (JG), klorofil (K), prolin (P)

Berdasarkan hasil analisis ragam, menunjukkan bahwa pemberian berbagai konsentrasi teh silika berpengaruh sangat nyata terhadap semua parameter pengamatan, meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, panjang akar, berat 1000 bulir, jumlah gabah per tangkai, kandungan klorofil, dan kadar prolin. Faktor tunggal waktu penggenangan (W) juga berpengaruh sangat nyata terhadap tinggi tanaman, kandungan klorofil, dan prolin tanaman gandum. Namun, waktu penggenangan tidak berpengaruh nyata terhadap panjang akar, berat 1000 bulir, dan jumlah gabah per tangkai. Kombinasi antara konsentrasi teh silika dan waktu penggenangan berpengaruh nyata pada beberapa variabel, seperti tinggi tanaman, panjang akar, berat 1000 bulir, kandungan klorofil, dan kadar prolin.

4.2.1 Interaksi Konsentrasi Teh Silika dan Waktu Penggenangan Terhadap Tinggi Tanaman Gandum

Hasil analisis ragam pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa terdapat kombinasi antara konsentrasi teh silika dan waktu penggenangan berpengaruh signifikan terhadap tinggi tanaman gandum. Hasil uji lanjut Duncan 5% pada Gambar 4.1, perlakuan S1W0 menghasilkan pertumbuhan tinggi tanaman yang berbeda nyata dengan perlakuan S0W4 dan tidak berbeda nyata dengan perlakuan S0W0 dan

S2W0. Perlakuan S1W0 menghasilkan tinggi tanaman tertinggi sebesar 91,7 cm. Sedangkan perlakuan S0W4 menghasilkan tinggi tanaman terendah sebesar 58,53 cm.



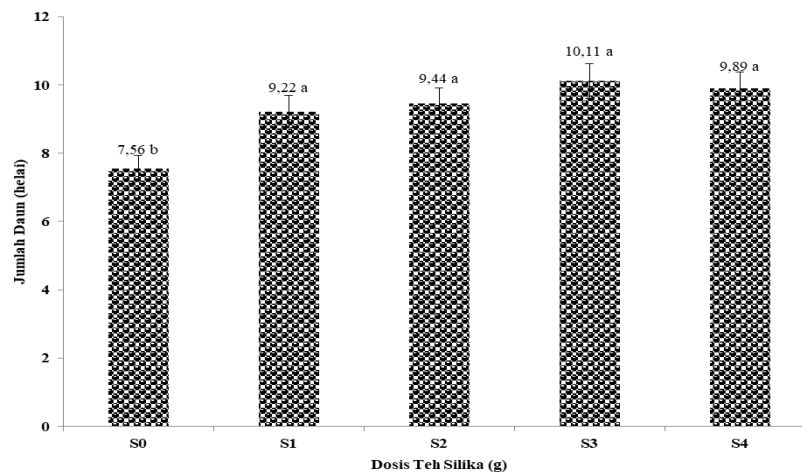
Keterangan : S0 = 0 g teh silika/tanaman, S1 = 150 g teh silika/tanaman, S2 = 300 g teh silika/tanaman, S3 = 450 g teh silika/tanaman, dan S4 = 600 g teh silika/tanaman. W0 = 0 jam penggenangan, W1 = 24 jam penggenangan, dan W2 = 48 jam penggenangan.

Gambar 4.1 Interaksi konsentrasi teh silika dan waktu penggenangan terhadap tinggi tanaman gandum

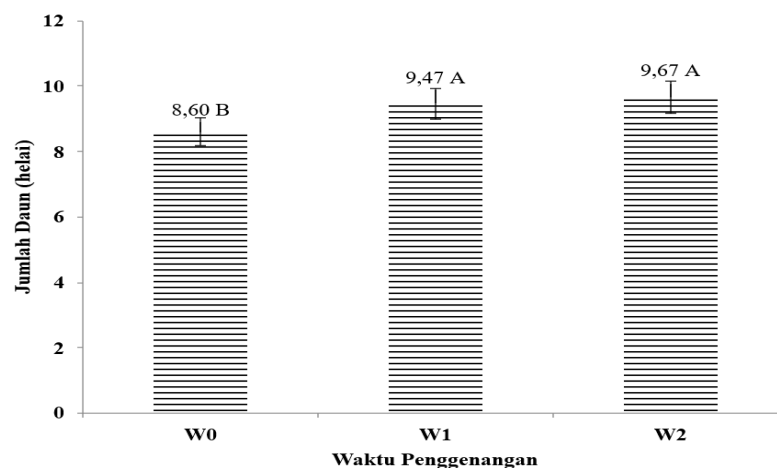
4.2.2 Pengaruh Faktor Tunggal Konsentrasi Teh Silika dan Waktu Penggenangan Terhadap Jumlah Daun Tanaman Gandum

Hasil analisis ragam pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa kombinasi antara konsentrasi teh silika dan waktu penggenangan berpengaruh tidak nyata terhadap jumlah daun. Namun perlakuan konsentrasi teh silika secara tunggal berpengaruh nyata terhadap jumlah daun tanaman gandum. Demikian pada perlakuan waktu genangan secara tunggal berpengaruh nyata terhadap jumlah daun tanaman gandum. Pada Gambar 4.3 ditunjukkan bahwa faktor tunggal konsentrasi silika pada perlakuan konsentrasi S3 (450 gram/L) berbeda nyata S0 (tanpa silika) dan tidak berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi S1 (150 gram/L), S2 (300 gram/L), S4 (600 gram/L). Perlakuan konsentrasi silika S3 (450 gram/L) menghasilkan rata-rata tertinggi yaitu 10,11 helai daun. Sedangkan perlakuan konsentrasi S0 (tanpa silika) menghasilkan rata-rata terendah yaitu 7,56 helai daun.

Pada faktor tunggal lama penggenangan, perlakuan lama penggenangan W2 (48 jam) berbeda nyata dengan perlakuan lama penggenangan W0 (tanpa penggenangan) dan tidak berbeda nyata dengan perlakuan W1 (24 jam). Perlakuan W2 (48 jam) menghasilkan jumlah daun terbanyak yaitu 9,67 helai. Sedangkan perlakuan W0 (tanpa penggenangan) menghasilkan jumlah daun terendah yaitu 8,60 helai daun.



Keterangan: S0 = 0 g teh silika/tanaman, S1 = 150 g teh silika/tanaman, S2 = 300 g teh silika/tanaman, S3 = 450 g teh silika/tanaman, dan S4 = 600 g teh silika/tanaman.

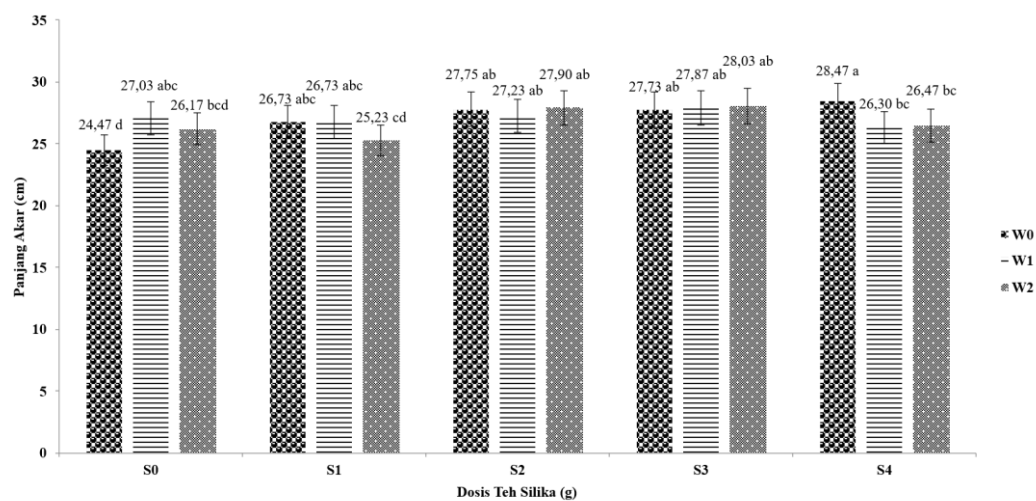


Keterangan: W0 = 0 jam penggenangan, W1 = 24 jam penggenangan, dan W2 = 48 jam penggenangan.

Gambar 4.3 Pengaruh faktor tunggal konsentrasi teh silika dan waktu penggenangan terhadap jumlah daun tanaman gandum

4.2.3 Interaksi Konsentrasi Teh Silika dan Waktu Penggenangan Terhadap Panjang Akar Tanaman Gandum

Hasil analisis ragam pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa interaksi antara perlakuan faktor konsentrasi teh silika dan faktor waktu penggenangan memberikan hasil berbeda nyata terhadap panjang akar tanaman gandum. Hasil uji lanjut Duncan 5% pada Gambar 4.3, perlakuan S4W0 menghasilkan panjang akar yang berbeda nyata dengan perlakuan S0W0 dan tidak berbeda nyata dengan S3W0, S2W0, dan S1W0. Perlakuan S4W0 menghasilkan panjang akar tertinggi yaitu 28,47 cm. Sedangkan perlakuan S0W0 menghasilkan panjang akar terendah yaitu 24,47 cm.



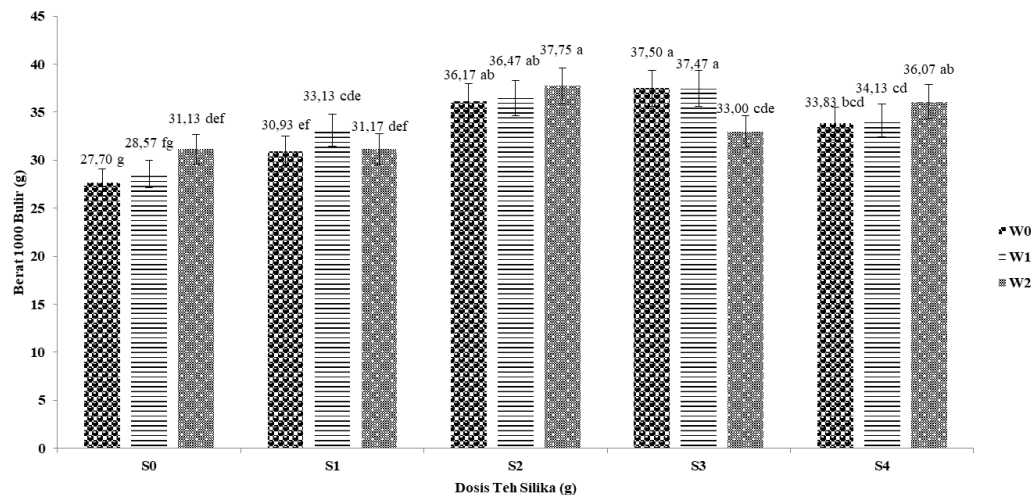
Keterangan: S0 = 0 g teh silika/tanaman, S1 = 150 g teh silika/tanaman, S2 = 300 g teh silika/tanaman, S3 = 450 g teh silika/tanaman, dan S4 = 600 g teh silika/tanaman. W0 = 0 jam penggenangan, W1 = 24 jam penggenangan, dan W2 = 48 jam penggenangan

Gambar 4.4 Interaksi konsentrasi teh silika dan waktu penggenangan terhadap panjang akar tanaman gandum

4.2.4 Interaksi Konsentrasi Teh Silika dan Waktu Penggenangan Terhadap Berat 1000 Bulir Tanaman Gandum

Hasil analisis ragam pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa interaksi antara konsentrasi teh silika dan waktu penggenangan berpengaruh berbeda nyata terhadap berat 1000 bulir tanaman gandum. Hasil uji lanjut Duncan 5% pada Gambar 4.4, perlakuan S2W2 menghasilkan berat 1000 bulir tanaman gandum yang berbeda nyata dengan perlakuan S0W0 dan tidak berbeda nyata pada perlakuan S3W2 dan S4W2. Perlakuan S2W2 menghasilkan berat 1000 bulir tanaman gandum tertinggi

yaitu 37,75 gram. Sedangkan perlakuan S0W0 menghasilkan berat 1000 bulir tanaman gandum terendah yaitu 27,70 gram.

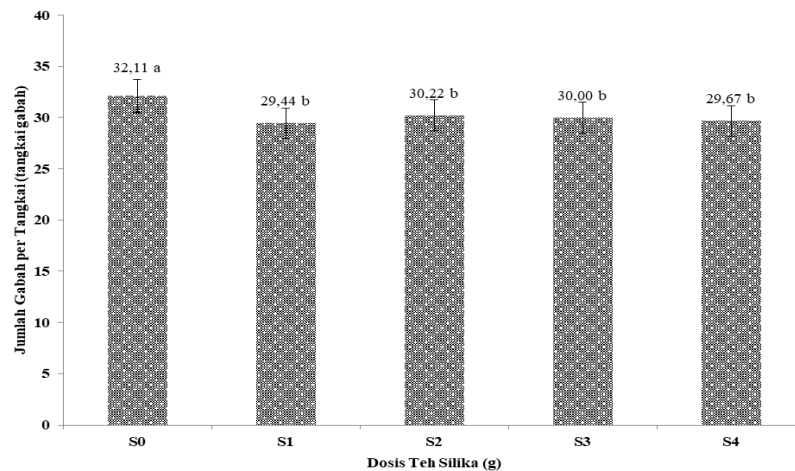


Keterangan: S0 = 0 g teh silika/tanaman, S1 = 150 g teh silika/tanaman, S2 = 300 g teh silika/tanaman, S3 = 450 g teh silika/tanaman, dan S4 = 600 g teh silika/tanaman. W0 = 0 jam penggenangan, W1 = 24 jam penggenangan, dan W2 = 48 jam penggenangan

Gambar 4.5 Interaksi Konsentrasi Teh Silika dan Waktu Penggenangan Terhadap Berat 1000 Bulir Tanaman Gandum

4.2.5 Pengaruh Faktor Tunggal Konsentrasi Teh Silika dan Waktu Penggenangan Terhadap Jumlah Gabah Pertangkai Tanaman Gandum

Hasil analisis ragam pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa interaksi antara konsentrasi teh silika dan waktu penggenangan berpengaruh tidak nyata terhadap jumlah gabah pertangkai tanaman gandum. Namun pada perlakuan tunggal faktor konsentrasi teh silika berpengaruh nyata terhadap jumlah gabah pertangkai tanaman gandum. Pada Gambar 4.5, faktor tunggal konsentrasi silika menunjukkan perlakuan S0 (tanpa silika) menghasilkan jumlah gabah per tangkai tanaman berbeda nyata dengan perlakuan S1 (150 gram), S2 (300 gram), S3 (450 gram) dan S4 (600 gram). Perlakuan S0 menghasilkan jumlah gabah tertinggi yaitu 32,11 tangkai gabah. Sedangkan perlakuan S4 menghasilkan jumlah gabah terendah yaitu 29,67 tangkai gabah.

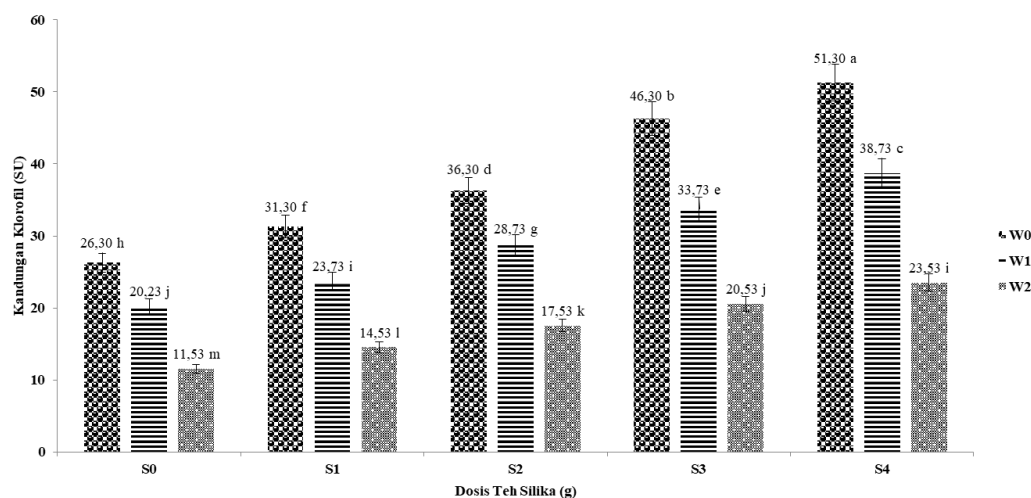


Keterangan: S0 = 0 g teh silika/tanaman, S1 = 150 g teh silika/tanaman, S2 = 300 g teh silika/tanaman, S3 = 450 g teh silika/tanaman, dan S4 = 600 g teh silika/tanama

Gambar 4.6 Pengaruh faktor tunggal konsentrasi teh silika dan waktu penggenangan terhadap jumlah gabah pertangkai tanaman gandum

4.2.6 Interaksi Konsentrasi Teh Silika dan Waktu Penggenangan Terhadap Kadar Klorofil Tanaman Gandum

Hasil analisis ragam pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa interaksi antara konsentrasi teh silika dan faktor waktu penggenangan berpengaruh berbeda nyata terhadap kadar klorofil tanaman gandum. Hasil uji lanjut Duncan 5% pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa perlakuan S4W0 menghasilkan kadar klorofil yang berbeda nyata dengan perlakuan S0W2, S1W2, S2W2 dan S3W2. Perlakuan S4W0 menghasilkan kadar klorofil tertinggi yaitu 51,30. Sedangkan S0W2 menghasilkan kadar klorofil terendah yaitu 11,53.

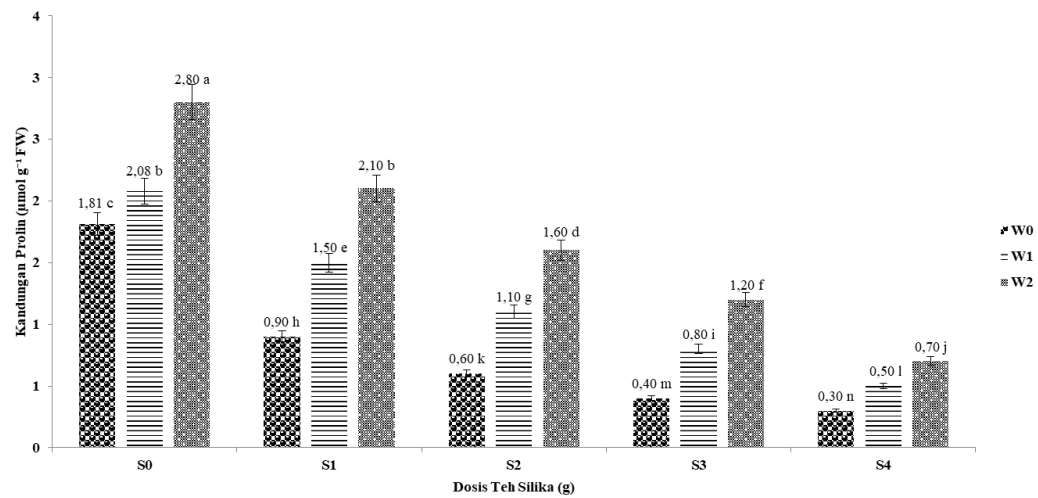


Keterangan: S0 = 0 g teh silika/tanaman, S1 = 150 g teh silika/tanaman, S2 = 300 g teh silika/tanaman, S3 = 450 g teh silika/tanaman, dan S4 = 600 g teh silika/tanaman. W0 = 0 jam penggenangan, W1 = 24 jam penggenangan, dan W2 = 48 jam penggenangan

Gambar 4.7 Interaksi konsentrasi teh silika dan waktu penggenangan terhadap klorofil tanaman gandum

4.2.7 Interaksi Konsentrasi Teh Silika dan Waktu Penggenangan Terhadap Prolin Tanaman Gandum

Hasil analisis ragam pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa interaksi antara konsentrasi teh silika dan waktu penggenangan berpengaruh berbeda nyata terhadap kadar prolin tanaman gandum. Hasil uji lanjut Duncan 5% pada Gambar 4.7 menghasilkan kadar prolin yang berbeda nyata pada perlakuan S0W2 dengan perlakuan S1W2, S2W2, S3W2 dan S4W2. Perlakuan S0W2 menghasilkan kadar prolin tertinggi yaitu $2,8 \mu\text{mol g}^{-1} \text{FW}$. Sedangkan perlakuan S4W0 menghasilkan rata-rata terendah yaitu $0,30 \mu\text{mol g}^{-1} \text{FW}$.

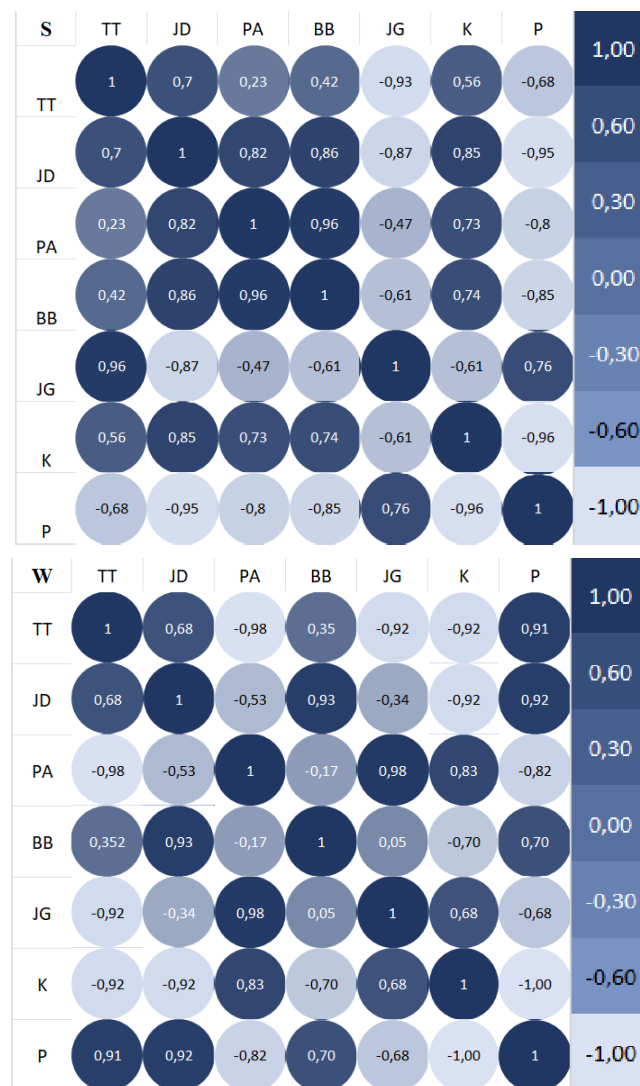


Keterangan: S0 = 0 g teh silika/tanaman, S1 = 150 g teh silika/tanaman, S2 = 300 g teh silika/tanaman, S3 = 450 g teh silika/tanaman, dan S4 = 600 g teh silika/tanaman. W0 = 0 jam penggenangan, W1 = 24 jam penggenangan, dan W2 = 48 jam penggenangan

Gambar 4. 8 Interaksi Konsentrasi Teh Silika dan Waktu Penggenangan Terhadap Prolin Tanaman Gandum

4.3 Uji Korelasi

Hasil analisis korelasi terhadap seluruh variabel pengamatan yang dipengaruhi oleh pemberian teh silika dan waktu penggenangan pada parameter pertumbuhan serta hasil tanaman gandum disajikan dalam bentuk *heatmap*. Korelasi tersebut menggambarkan tingkat hubungan antarvariabel pengamatan, baik yang bersifat positif maupun negatif. Visualisasi hasil analisis dapat dilihat pada Heatmap Korelasi yang ditampilkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.9 Data *Heatmap* menggambarkan korelasi antar variabel pengamatan yang dipengaruhi pemberian teh silika (S), lama penggenangan (W), TT (tinggi tanaman), JD (jumlah daun), PA (panjang akar), BB (berat 1000 bulir), JG (jumlah gabah pertangkai), K (klorofil), P (prolin)

Tabel 4.2 Interpretasi Nilai Koefisien Korelasi (r)

No.	Interval Koefisien	Tingkat Hubungan	
1	0,6-1,0	(+) Korelasi positif kuat	■
2	0,3-0,6	(+) Korelasi positif sedang	■
3	0,0-0,3	(+) Korelasi positif rendah	■
4	0,0	Tidak Berkorelasi	■
5	0,0 - (-0,3)	(-) Korelasi negatif sangat rendah	■
6	(-0,3)-(-0,6)	(-) Korelasi negatif sedang	■
7	(-0,6)-(-1,0)	(-) Korelasi negatif kuat	■

Berdasarkan Gambar 4.8 di atas, hubungan antara variabel-variabel pengamatan yang disajikan dalam bentuk matriks korelasi. Untuk menilai hubungan korelasi di antara parameter-parameter tersebut, matriks korelasi menggunakan analisis korelasi Pearson, yang menunjukkan korelasi di antara semua parameter dalam perlakuan pemberian silika dan waktu penggenangan. Pada matriks korelasi tersebut, warna yang semakin pekat menunjukkan hubungan korelasi yang semakin erat atau positif. Sedangkan warna yang semakin pucat menunjukkan hubungan yang semakin kuat tetapi berkorelasi negatif. Korelasi positif berarti bahwa dengan peningkatan salah satu parameter, parameter lain cenderung juga akan meningkat.

Pada perlakuan silika (Gambar 8), gambar korelasi tersebut memperlihatkan bahwa variabel Jumlah Daun (JD), Panjang Akar (PA), Berat 1000 Bulir (BB), Dan Klorofil (K) membentuk kelompok yang saling berkaitan kuat secara positif, sehingga ketika salah satu meningkat, yang lain cenderung ikut naik. Sebaliknya, Variabel Prolin (P) bergerak berlawanan dengan hampir semua variabel tersebut, terlihat dari korelasi negatif kuat yang menunjukkan bahwa peningkatan variabel pertumbuhan biasanya diikuti penurunan nilai prolin. Gabah Pertangkai (GT) menunjukkan pola campuran sangat berhubungan positif dengan Tinggi Tanaman (TT), tetapi negatif kuat dengan banyak daun, panjang akar, berat 1000 bulir, dan klorofil, sehingga gabah pertangkai tampak berperan sebagai variabel yang sering bergerak berlawanan arah terhadap kelompok pertumbuhan.

Matriks korelasi pada perlakuan waktu penggenangan ini menunjukkan adanya dua kelompok variabel yang bergerak hampir berlawanan arah. Variabel

panjang akar, gabah pertangkai, dan sebagian berat 1000 bulir cenderung membentuk kluster dengan korelasi positif sangat kuat, ditunjukkan oleh hubungan panjang akar dengan gabah pertangkai yang hampir sempurna serta hubungan bobot 1000 bulir dengan banyak daun dan banyak daun dengan panjang akar yang cukup tinggi, sehingga peningkatan salah satu variabel dalam kelompok ini biasanya diikuti oleh kenaikan variabel lainnya. Sebaliknya, variabel tinggi tanaman, klorofil, dan prolin menunjukkan hubungan negatif yang kuat terhadap panjang akar dan gabah pertangkai, sehingga ketika panjang akar atau gabah pertangkai meningkat, variabel seperti tinggi tanaman dan klorofil justru menurun cukup tajam. Banyak daun berada di posisi antara, karena memiliki hubungan positif kuat dengan banyak daun dan prolin, namun negatif kuat dengan klorofil dan panjang akar. Secara umum, gambar 8 memperlihatkan perlakuan waktu penggenangan memberikan pola pemisahan yang tajam antara kelompok variabel yang responsif positif terhadap penggenangan dan kelompok variabel yang justru menurun ketika penggenangan meningkatkan komponen tertentu, sehingga pola korelasi ini mencerminkan adanya dua mekanisme respons tanaman yang saling berlawanan.

4.4 Pembahasan

4.4.1 Pengaruh Faktor Tunggal Konsentrasi Teh Silika terhadap Pertumbuhan dan Hasil serta Kadar Klorofil dan Prolin Tanaman Gandum

Pengukuran jumlah daun bertujuan untuk mengetahui pertumbuhan vegetatif tanaman serta kemampuan tanaman dalam membentuk organ fotosintesis. Jumlah daun digunakan sebagai indikator pertumbuhan karena daun berperan penting dalam proses fotosintesis, penyerapan cahaya, dan produksi asimilat yang mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Selain itu, jumlah daun juga mencerminkan respons tanaman terhadap kondisi lingkungan dan perlakuan yang diberikan (Sitompul & Guritno, 1995). Perlakuan konsentrasi silika S3 (450 gram/L) menghasilkan jumlah daun tertinggi yaitu 10,11 helai daun. Jika dibandingkan dengan perlakuan lainnya, jumlah daun pada perlakuan S3 lebih tinggi sebesar 33,73% dibandingkan S0 (tanpa silika), 9,65% dibandingkan S1 (150 gram/L), 7,10% dibandingkan S2 (300 gram/L), dan 2,22% dibandingkan S4 (600

gram/L). Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi 450 gram/L merupakan konsentrasi optimum dalam meningkatkan jumlah daun tanaman gandum. Pada perlakuan S3, konsentrasi silika yang diberikan mencukupi kebutuhan tanaman sehingga mampu merangsang aktivitas fisiologis tanaman secara maksimal. Sedangkan, perlakuan S0 (tidak diberikan silika) menghasilkan jumlah daun yang lebih rendah karena tanaman tidak memperoleh tambahan unsur silika yang dapat membantu meningkatkan ketahanan dan metabolisme tanaman. Hubungan korelasi antara konsentrasi silika dan jumlah daun menunjukkan adanya korelasi positif, yaitu semakin meningkat konsentrasi silika hingga titik optimum maka jumlah daun tanaman cenderung meningkat. Hal ini terlihat dari peningkatan rata-rata jumlah daun dari perlakuan tanpa silika hingga perlakuan S3. Namun, setelah melewati konsentrasi optimum, peningkatan konsentrasi silika tidak selalu diikuti peningkatan jumlah daun secara signifikan karena tanaman memiliki batas toleransi dan kebutuhan unsur hara tertentu.

Pemberian silika sebesar 45% (450 gram/L) mampu meningkatkan pertumbuhan vegetatif tanaman, khususnya dalam pembentukan daun, tetapi memiliki batas optimum. Peningkatan jumlah daun pada perlakuan silika berkaitan erat dengan peran silika dalam memperbaiki proses fisiologis tanaman. Silika diketahui mampu meningkatkan efisiensi fotosintesis melalui peningkatan kandungan klorofil dan stabilitas struktur kloroplas. Dengan meningkatnya efisiensi fotosintesis, tanaman dapat menghasilkan lebih banyak asimilat yang kemudian digunakan untuk pembentukan organ vegetatif seperti daun (Aouz *et al.*, 2023). Selain itu, silika juga dapat meningkatkan kekuatan jaringan epidermis daun melalui deposisi silika, sehingga daun menjadi lebih tegak dan mampu menangkap cahaya secara lebih optimal. Selain itu, pengaplikasian silika mampu meningkatkan aktivitas enzim antioksidan seperti SOD, CAT, dan POD sehingga akumulasi radikal bebas (ROS) dapat ditekan. Kondisi tersebut membantu mengurangi kerusakan sel dan mendukung proses pembentukan daun. Silika juga berperan dalam meningkatkan efisiensi fotosintesis, penyerapan unsur hara, serta menjaga stabilitas pigmen fotosintetik sehingga pertumbuhan daun menjadi lebih optimal (Gill *et al.*, 2024). Penelitian Sun *et al.* (2024) menunjukkan bahwa aplikasi silika

pada gandum dapat meningkatkan kandungan klorofil, laju fotosintesis, dan pertumbuhan tanaman. Selain itu, Mustafa *et al.* (2021) menyatakan bahwa silika mampu meningkatkan kandungan klorofil dan karotenoid daun sehingga respons pertumbuhan pada parameter jumlah daun menjadi lebih nyata.

Berdasarkan data hasil korelasi pada Gambar 4.8, jumlah daun (JD) dan jumlah gabah pertangkai (GT) pada perlakuan lama penggenangan menunjukkan korelasi negatif kuat dengan nilai koefisien sebesar -0,87. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan jumlah daun (JD) tidak selalu diikuti oleh peningkatan jumlah gabah pertangkai yang dihasilkan. Hubungan negatif tersebut mengindikasikan bahwa pada kondisi penggenangan, pertumbuhan vegetatif tanaman belum tentu mampu mendukung pembentukan hasil generatif secara optimal.

Pengukuran jumlah gabah pada tanaman gandum bertujuan untuk mengetahui tingkat produktivitas dan potensi hasil tanaman, karena jumlah gabah merupakan salah satu komponen utama pembentuk hasil panen. Parameter ini digunakan untuk mengevaluasi keberhasilan proses pembungaan, penyerbukan, dan pembentukan biji yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan maupun perlakuan budidaya. Semakin banyak jumlah gabah yang terbentuk, maka semakin tinggi potensi hasil tanaman gandum (Slafer *et al.*, 2014). Faktor tunggal konsentrasi silika menunjukkan bahwa perlakuan S0 (tanpa silika) menghasilkan jumlah gabah tertinggi yaitu 32,11 gabah per tangkai dan berbeda nyata dengan perlakuan S1, S2, S3, dan S4. Perlakuan S0 menghasilkan jumlah gabah 9,07% lebih tinggi dibandingkan S1, 6,25% dibandingkan S2, 7,03% dibandingkan S3, dan 8,22% dibandingkan S4. Secara keseluruhan, jumlah gabah berkisar antara 29,44–32,11 gabah per tangkai dengan rentang selisih sebesar 2,67 gabah. Hal ini dikarenakan respon tanaman terhadap silika tidak selalu bersifat positif pada semua parameter pertumbuhan dan hasil. Silika umumnya lebih berperan dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman abiotik serta memperbaiki pertumbuhan vegetatif, namun pengaruhnya terhadap komponen hasil seperti jumlah gabah sangat bergantung pada kondisi lingkungan, dosis, serta fase pertumbuhan tanaman (Aouz *et al.*, 2023). Dalam kondisi yang relatif tidak mengalami stres berat, tanaman mungkin tidak memerlukan tambahan silika dalam jumlah tinggi sehingga

tidak memberikan peningkatan hasil yang signifikan. Selain itu, penurunan jumlah gabah pada perlakuan silika dapat disebabkan oleh adanya pergeseran alokasi fotosintat. Energi hasil fotosintesis yang seharusnya dialokasikan untuk pembentukan dan pengisian gabah dapat digunakan untuk memperkuat struktur jaringan tanaman atau meningkatkan mekanisme pertahanan, sehingga jumlah gabah yang terbentuk menjadi lebih sedikit. Hal ini sejalan dengan penelitian Gill *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa silika dapat meningkatkan ketahanan struktural tanaman namun, pengaruhnya terhadap hasil generatif tidak selalu meningkat secara linier. Selain itu, dosis silika yang kurang tepat dapat menyebabkan ketidakseimbangan nutrisi dan menurunkan penyerapan unsur hara penting seperti nitrogen dan fosfor yang berperan dalam pembentukan gabah. Efektivitas silika sangat dipengaruhi oleh dosis dan interaksinya dengan unsur hara lain sehingga aplikasi yang tidak optimal dapat menurunkan komponen hasil tanaman (Reddy *et al.*, 2024). Meskipun demikian, kecenderungan hasil rata-rata menunjukkan bahwa konsentrasi silika masih mampu menjaga stabilitas jumlah gabah dalam kisaran yang relatif seragam. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian silika tetap memiliki fungsi stabilisasi terhadap performa tanaman. Silika dapat memperbaiki struktur jaringan dan menurunkan kerontokan bunga, sehingga jumlah gabah tetap relatif konsisten antar perlakuan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pemberian teh silika tidak meningkatkan jumlah gabah per tangkai secara signifikan, namun berperan dalam menjaga kestabilan komponen hasil tanaman gandum pada berbagai kondisi lingkungan.

4.4.2 Pengaruh Faktor Tunggal Lama Penggenangan terhadap Pertumbuhan dan Produksi serta Karakter Fisiologi Tanaman Gandum

Pengukuran jumlah daun pada perlakuan genangan air bertujuan untuk mengetahui respons pertumbuhan vegetatif tanaman terhadap kondisi cekaman genangan. Jumlah daun digunakan sebagai indikator kemampuan tanaman dalam mempertahankan proses pertumbuhan dan fotosintesis selama mengalami stres akibat rendahnya ketersediaan oksigen pada daerah perakaran. Pertambahan jumlah daun mencerminkan tingkat adaptasi tanaman terhadap kondisi genangan air,

karena cekaman genangan dapat menghambat pembentukan daun dan mempercepat penuaan daun (Voeselek & Bailey-Serres, 2015). Pada faktor tunggal lama penggenangan, perlakuan W2 (48 jam) menghasilkan jumlah daun tertinggi yaitu 9,67 helai daun dan berbeda nyata dengan perlakuan W0 (tanpa penggenangan), tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan W1 (24 jam). Perlakuan W2 menunjukkan jumlah daun 12,44% lebih tinggi dibandingkan W0 dan 2,11% lebih tinggi dibandingkan W1. Secara keseluruhan, jumlah daun pada perlakuan lama penggenangan berkisar antara 8,60–9,67 helai daun dengan rentang selisih sebesar 1,07 helai daun. Tingginya jumlah daun pada perlakuan W2 menunjukkan bahwa tanaman gandum masih mampu beradaptasi terhadap kondisi genangan selama 48 jam. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman gandum masih mampu beradaptasi dengan baik terhadap kondisi penggenangan selama 48 jam (W2) sehingga pertumbuhan vegetatif masih berlangsung secara optimal dan mampu melakukan penyesuaian fisiologis seperti meningkatkan efisiensi penggunaan air dan unsur hara serta mempertahankan aktivitas fotosintesis sehingga pembentukan daun tetap meningkat. Sedangkan, perlakuan W0 (tanpa penggenangan) menghasilkan jumlah daun lebih rendah karena kondisi tanah yang relatif lebih kering menyebabkan ketersediaan air bagi tanaman menjadi terbatas. Kondisi tersebut menghambat proses penyerapan unsur hara, menurunkan aktivitas fotosintesis, serta mengurangi laju pembentukan daun. Akibatnya, pertumbuhan vegetatif tanaman menjadi kurang optimal dibandingkan perlakuan dengan penggenangan. Berdasarkan hasil korelasi, peningkatan jumlah daun pada perlakuan W2 (48 jam penggenangan) yang menghasilkan jumlah daun tertinggi diduga berkaitan dengan adanya korelasi positif antar parameter pertumbuhan tanaman. Hal ini terlihat dari hubungan positif yang kuat antara JD dengan BB sebesar 0,93 serta JD dengan P sebesar 0,92. Korelasi tersebut menunjukkan bahwa meningkatnya pertumbuhan tanaman diikuti oleh peningkatan biomassa dan perkembangan organ tanaman lainnya. Dengan bertambahnya jumlah daun, luas permukaan fotosintesis juga meningkat sehingga hasil fotosintat yang dihasilkan tanaman menjadi lebih besar dan mendukung pertumbuhan secara keseluruhan.

Genangan dalam waktu relatif singkat diduga belum menyebabkan kerusakan

fisiologis yang berat sehingga proses pembentukan daun masih dapat berlangsung. Selain itu, kondisi genangan dapat meningkatkan ketersediaan air bagi tanaman sehingga sel-sel tanaman tetap mampu mempertahankan tekanan turgor yang mendukung pertumbuhan daun. Tanaman juga diduga melakukan mekanisme adaptasi dengan meningkatkan pertumbuhan organ vegetatif untuk mempertahankan aktivitas fotosintesis pada kondisi cekaman. Sebaliknya, perlakuan tanpa penggenangan (W0) menghasilkan jumlah daun lebih rendah karena tanaman tidak mengalami respons adaptif terhadap kondisi stres. Perbedaan jumlah daun yang tidak terlalu besar antarperlakuan menunjukkan bahwa tanaman gandum masih memiliki toleransi terhadap penggenangan jangka pendek sehingga pertumbuhan vegetatif belum mengalami hambatan yang signifikan. Hal ini sejalan dengan penelitian Laurentius dan Serres (2015) yang menyatakan bahwa beberapa tanaman mampu melakukan adaptasi morfologis dan fisiologis pada kondisi genangan untuk mempertahankan pertumbuhan vegetatifnya.

4.4.3 Pengaruh Interaksi Konsentrasi Teh Silika dan Lama Penggenangan Terhadap Pertumbuhan dan Produksi serta Karakter Fisiologi Tanaman Gandum

Berdasarkan hasil ANOVA pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa pengaruh interaksi antara pemberian konsentrasi teh silika dan lama penggenangan fase vegetatif berbeda sangat nyata pada tinggi tanaman, berat 1000 bulir, klorofil, dan prolin dan berbeda nyata terhadap panjang akar, tetapi berbeda tidak nyata terhadap jumlah daun dan jumlah gabah per tangkai.

Tinggi tanaman digunakan sebagai indikator pertumbuhan karena dapat menggambarkan aktivitas fisiologis tanaman serta kemampuan tanaman dalam merespons kondisi lingkungan dan perlakuan yang diberikan selama penelitian (Sumadji dan Purbasari, 2018). Perlakuan S1W0 meningkatkan tinggi tanaman 18,12% lebih tinggi daripada perlakuan S4W0, 8,35% daripada perlakuan S0W0, dan 8,39% daripada perlakuan S2W0. Perlakuan S1W0 juga meningkatkan tinggi tanaman dengan kombinasi konsentrasi teh silika dan waktu penggenangan pada rentang 25,44%–56,67% lebih tinggi dari perlakuan lainnya. Hal ini dikarenakan pupuk silika yang diberikan dapat membantu memperkuat dinding sel,

meningkatkan penyerapan unsur hara, menjaga keseimbangan air sehingga pertumbuhan vegetatif tanaman menjadi lebih optimal (Kolawska *et al.*, 2020). Silika diserap oleh tanaman berperan dalam memperkuat dinding sel dan meningkatkan kekakuan batang sehingga elongasi batang serta pertumbuhan vertikal dapat berlangsung lebih optimal dibandingkan dengan tanaman tanpa silika pada kondisi yang sama. Sejalan dengan penelitian Walsh *et al.* (2018), pemberian silika membantu batang dan daun menjadi tegak sehingga pertumbuhan tinggi tanaman gandum meningkat. Selain itu, kondisi tanpa penggenangan (W0) memungkinkan akar tanaman gandum memperoleh oksigen dalam jumlah yang cukup untuk proses respirasi. Aerasi yang optimal pada zona perakaran memungkinkan akar melakukan respirasi secara efisien, mengakumulasi silika dengan lebih baik, serta memperkuat struktur batang tanaman (Siregar *et al.*, 2016), sehingga tanaman mampu tumbuh lebih vigor dibandingkan tanaman yang berada dalam kondisi tergenang. Berdasarkan data hasil korelasi pada Gambar 4.8, tinggi tanaman dan berat 1000 bulir menunjukkan korelasi positif kuat dengan nilai koefisien sebesar 0,70 (biru dongker). Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi pertumbuhan tanaman, maka cenderung diikuti oleh peningkatan berat 1000 bulir. Hubungan positif tersebut mengindikasikan bahwa pertumbuhan vegetatif tanaman berlangsung dengan baik sehingga mampu mendukung proses fotosintesis dan perkembangan tanaman secara optimal.

Pengukuran berat 1000 bulir bertujuan untuk mengetahui ukuran dan tingkat kepadatan biji sebagai salah satu indikator kualitas dan komponen hasil tanaman. Berat 1000 bulir menggambarkan tingkat pengisian biji, ukuran biji, serta potensi hasil tanaman. Semakin tinggi berat 1000 bulir, maka biji yang dihasilkan umumnya lebih bernas dan memiliki kualitas yang lebih baik (Kurniawan dan Azmi, 2021). Perlakuan S2W2 meningkatkan bobot 1000 bulir dengan kombinasi perlakuan 36,28% lebih tinggi daripada perlakuan S0W0, 14,39% daripada perlakuan S3W2, dan 4,66% daripada perlakuan S4W2. Perlakuan S2W2 juga meningkatkan panjang akar dengan perlakuan konsentrasi teh silika dan waktu penggenangan pada rentang 0,67%–36,28% lebih tinggi daripada kombinasi perlakuan yang lain. Interaksi antara konsentrasi teh silika dan lama penggenangan

terhadap parameter berat 1000 bulir tanaman, menunjukkan bahwa respon tanaman terhadap silika dipengaruhi oleh kondisi kelembapan dan aerasi media tanam. Efektivitas silika dalam meningkatkan berat bulir sangat dipengaruhi ketersediaan oksigen pada zona perakaran. Namun, penggenangan selama 48 jam tanpa sistem drainase yang baik dapat menyebabkan kondisi anaerob yang menurunkan aktivitas akar, menghambat proses pengisian bulir, serta mengurangi efektivitas silika yang diberikan (Ramírez-Olvera *et al.*, 2021). Oleh karena itu, pemberian perlakuan konsentrasi silika 300 g/L dalam kondisi penggenangan 48 jam sangat dipengaruhi oleh kecepatan pemulihan kondisi lahan dan pengelolaan drainase di lapangan. Hasil ini menunjukkan bahwa interaksi antara pemberian silika dan faktor lingkungan, khususnya manajemen air, berperan penting dalam menentukan hasil dan kualitas bulir tanaman gandum. Berdasarkan data hasil korelasi pada Gambar 4.8, berat 1000 bulir dan kadar klorofil menunjukkan korelasi positif kuat dengan nilai koefisien sebesar 0,74 (biru dongker). Hal ini menunjukkan bahwa semakin baik bobot 1000 bulir maka cenderung diikuti oleh peningkatan kadar klorofil. Hubungan positif tersebut mengindikasikan bahwa semakin tinggi kadar klorofil tanaman, maka berat 1000 bulir cenderung meningkat. Kandungan klorofil yang tinggi mendukung proses fotosintesis sehingga hasil asimilat yang digunakan dalam pengisian bulir menjadi lebih optimal dan berdampak pada peningkatan bobot bulir.

Pengukuran kadar klorofil bertujuan untuk mengetahui kemampuan tanaman dalam melakukan fotosintesis, menilai status fisiologis tanaman, serta mendeteksi tingkat stres tanaman akibat kondisi lingkungan. Kandungan klorofil juga digunakan sebagai indikator kesehatan tanaman dan kecukupan unsur hara, terutama nitrogen (Wang *et al.*, 2022). Perlakuan S4W0 meningkatkan kadar klorofil dengan kombinasi perlakuan 344,93% lebih tinggi daripada perlakuan S0W2, 253,06% daripada perlakuan S1W2, 192,64% daripada perlakuan S2W2, dan 149,88% daripada perlakuan S3W2. Perlakuan S4W0 juga meningkatkan kadar klorofil dengan perlakuan konsentrasi teh silika dan waktu penggenangan pada rentang 10,80%–344,93% lebih tinggi daripada kombinasi perlakuan yang lain. Tingginya kadar klorofil pada perlakuan S4W0 menunjukkan bahwa pemberian silika dengan konsentrasi 600 gram/L tanpa penggenangan

mampu mendukung penyerapan silika dan pembentukan klorofil secara optimal karena kondisi aerasi tanah tetap baik. Kondisi tersebut memungkinkan akar berfungsi secara normal sehingga proses fotosintesis berlangsung lebih efektif. Pengaplikasian silika diketahui mampu meningkatkan kekuatan struktur sel, efisiensi sistem antioksidan, serta memperbaiki fungsi fisiologis akar. Silika juga berperan dalam mempertahankan integritas membran sel dan meningkatkan efisiensi pemanfaatan nitrogen, sehingga secara tidak langsung membantu menjaga kandungan klorofil dan mendukung proses fotosintesis tanaman pada kondisi tergenang (Epstein, 2009; Ranjan et al., 2021; Zhang *et al.*, 2025). Silika juga berperan dalam meningkatkan ketahanan terhadap hipoksia (rendah kandungan oksigen). Sejalan dengan penelitian Epstein (2009) dalam *Annual Review of Plant Biology* menjelaskan bahwa silika membantu mempertahankan kestabilan struktur kloroplas dan melindungi pigmen fotosintetik dari stres oksidatif. Penelitian Jeff Cooke dan Michelle Leishman (2016) dalam *Functional Ecology* menyatakan bahwa tanaman yang memperoleh suplai silika yang cukup menunjukkan peningkatan kandungan klorofil. Berdasarkan data hasil korelasi pada Gambar 4.8, kadar klorofil dan kandungan prolin menunjukkan korelasi negatif kuat dengan nilai koefisien sebesar -0,96 (biru keputihan). Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar klorofil tanaman, maka kandungan prolin cenderung menurun. Tingginya kadar klorofil mencerminkan kondisi fisiologis tanaman yang lebih baik dan proses fotosintesis yang berlangsung optimal, sehingga tingkat cekaman yang dialami tanaman menjadi lebih rendah. Sebaliknya, kandungan prolin umumnya meningkat sebagai bentuk respons adaptasi tanaman terhadap kondisi stres, termasuk akibat penggenangan. Oleh karena itu, penurunan kandungan prolin pada tanaman dengan kadar klorofil tinggi mengindikasikan bahwa tanaman mampu mempertahankan kondisi fisiologisnya dengan lebih baik

Pengukuran kandungan prolin bertujuan untuk mengetahui respons fisiologis tanaman terhadap cekaman lingkungan genangan air. Prolin berfungsi sebagai senyawa osmoregulator yang membantu menjaga keseimbangan osmotik sel, melindungi struktur protein dan membran sel, serta mengurangi kerusakan akibat stres oksidatif (Bhaskara *et al.*, 2015). Perlakuan S0W2 meningkatkan kadar proli

dengan kombinasi perlakuan 833,33% lebih tinggi daripada perlakuan S4W0, 33,33% daripada perlakuan S1W2, 75,00% daripada perlakuan S2W2, 133,33% daripada perlakuan S3W2 dan 300,00% daripada perlakuan S4W2 . Perlakuan S0W2 juga meningkatkan kadar klorofil dengan perlakuan konsentrasi teh silika dan waktu penggenangan pada rentang 33,33%–833,33% lebih tinggi daripada kombinasi perlakuan yang lain. Tingginya akumulasi prolin pada perlakuan S0W2 menunjukkan bahwa tanaman gandum tanpa pemberian silika yang mengalami penggenangan selama 48 jam mengalami tingkat cekaman yang lebih besar. Kondisi genangan menyebabkan rendahnya ketersediaan oksigen pada daerah perakaran sehingga menghambat respirasi akar, penyerapan unsur hara, dan keseimbangan metabolisme tanaman. Selain itu, tanaman mengalami stres fisiologis yang akibat ketiadaan pasokan silika dan kondisi hipoksia akibat genangan. Ketiadaan pasokan silika menyebabkan tanaman tidak memperoleh perlindungan struktural maupun fisiologis terhadap stres abiotik. Selain itu, penggenangan selama 48 jam menyebabkan semakin terbatasnya suplai oksigen di zona perakaran, sehingga respirasi aerobik terganggu dan mengakibatkan akumulasi senyawa toksik seperti etanol, asetaldehida, dan asam laktat di jaringan akar. Sebagai mekanisme adaptasi, tanaman meningkatkan sintesis asam amino prolin yang berfungsi sebagai osmolit kompatibel dan antioksidan. Prolin berperan penting dalam menjaga keseimbangan osmotik, stabilitas membran sel, dan perlindungan terhadap kerusakan oksidatif akibat peningkatan spesies oksigen reaktif (ROS). Akumulasi prolin dalam kondisi stres genangan menjadi indikator fisiologis bahwa tanaman sedang berusaha mempertahankan homeostasis seluler (Kaur & Asthir, 2017; Szabados & Savouré, 2010). Oleh karena itu, pada akumulasi prolin menjadi salah satu mekanisme adaptasi tanaman untuk mempertahankan keseimbangan fisiologis dan meminimalkan kerusakan jaringan akibat cekaman lingkungan (Zulfiqar dan Ashraf, 2023). Berdasarkan data hasil korelasi pada Gambar 4.8, kandungan prolin dan panjang akar menunjukkan korelasi negatif kuat dengan nilai koefisien sebesar -0,82 (biru keputihan). Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan prolin tanaman, maka panjang akar cenderung menurun. Peningkatan kandungan prolin mengindikasikan bahwa tanaman mengalami kondisi cekaman yang lebih

tinggi, sehingga pertumbuhan akar menjadi terhambat. Sebaliknya, tanaman dengan panjang akar yang lebih baik cenderung mengalami tingkat stres yang lebih rendah sehingga akumulasi prolin dalam jaringan tanaman menjadi lebih sedikit.

Pengukuran panjang akar bertujuan untuk mengetahui pertumbuhan dan perkembangan sistem perakaran tanaman serta kemampuan akar dalam menyerap air dan unsur hara dari media tanam. Panjang akar juga digunakan sebagai indikator kemampuan adaptasi tanaman terhadap kondisi cekaman genangan air (Sumadji & Purbasari, 2018). Perlakuan S4W0 meningkatkan panjang akar dengan kombinasi perlakuan 16,35% lebih tinggi daripada perlakuan S0W0, 2,67% daripada perlakuan S3W0, 2,59% daripada perlakuan S2W0, dan 6,51% daripada perlakuan S1W0. Perlakuan S4W0 juga meningkatkan panjang akar dengan perlakuan konsentrasi teh silika dan waktu penggenangan pada rentang 1,57% - 16,35% lebih tinggi daripada kombinasi perlakuan yang lain. Hal ini mengindikasikan bahwa efektivitas silika dalam mengoptimalkan perkembangan akar sangat dipengaruhi oleh kondisi aerasi media tanam. Pemberian silika dalam konsentrasi tinggi mampu meningkatkan pertumbuhan akar pada kondisi aerasi tanah yang baik. Silika berperan penting dalam memperkuat dinding sel, meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara, serta merangsang pembentukan jaringan akar baru yang lebih panjang dan kokoh. Kondisi tanpa penggenangan juga mendukung ketersediaan oksigen di zona perakaran, sehingga respirasi akar dan aktivitas enzimatik berlangsung optimal. Kombinasi antara ketersediaan silika yang tinggi dan aerasi yang cukup menciptakan lingkungan ideal bagi pertumbuhan sistem perakaran gandum. Menurut penelitian Tripathi *et al.* (2021) dalam jurnal *Silicon Effects on the Root System of Diverse Crop Species Using Root Phenotyping Technology*, penambahan silika terbukti memperbaiki morfologi akar dan meningkatkan panjang akar pada berbagai spesies tanaman melalui peningkatan stabilitas dinding sel dan efisiensi metabolisme akar. Pada penelitian Kaur *et al.* (2023) dalam *Potential of Silicon Amendment for Improved Wheat Production*, pengaplikasian silika mampu memperbaiki pertumbuhan akar gandum terutama pada kondisi lingkungan yang mendukung pertukaran gas di dalam tanah. Selain itu, penelitian Luo *et al.* (2024) dalam *Agronomy* menunjukkan bahwa kondisi

penggenangan dapat menurunkan panjang akar gandum akibat terbatasnya oksigen di zona perakaran. Berdasarkan hasil korelasi pada Gambar 4.8, hubungan antara PA (panjang akar) dengan BD (banyak daun) dan GT (gabah per tangkai) pada perlakuan silika (S) maupun lama penggenangan (W) menunjukkan korelasi positif sangat kuat. Nilai koefisien korelasi antara panjang akar dan banyak daun masing-masing sebesar 0,94 pada perlakuan silika dan 0,95 pada lama penggenangan. Sementara itu, hubungan antara panjang akar dan gabah per tangkai memiliki nilai koefisien sebesar 0,95 pada perlakuan silika dan 0,93 pada lama penggenangan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan panjang akar diikuti oleh meningkatnya pertumbuhan vegetatif dan generatif tanaman. Perakaran yang berkembang dengan baik berperan dalam meningkatkan penyerapan air dan unsur hara, sehingga mampu mendukung pembentukan daun serta meningkatkan proses pembentukan dan pengisian gabah. Sebaliknya, akar yang pertumbuhannya kurang optimal dapat menghambat penyerapan nutrisi sehingga jumlah daun dan gabah per tangkai menjadi lebih rendah.

Perlakuan silika dan lama penggenangan tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah daun dan jumlah gabah pada tanaman gandum. Hal ini disebabkan kedua parameter tersebut lebih dipengaruhi oleh faktor genetik tanaman dibandingkan faktor lingkungan. Jumlah daun umumnya ditentukan oleh karakter varietas dan fase pertumbuhan tanaman sehingga pemberian silika maupun penggenangan selama 48 jam belum cukup kuat untuk menyebabkan perubahan yang signifikan. Selain itu, tanaman gandum masih mampu melakukan adaptasi fisiologis selama kondisi tergenang sehingga pembentukan daun tetap berlangsung normal. Menurut Pais *et al.* (2023) menjelaskan, genangan menyebabkan penurunan pertumbuhan tajuk melalui berkurangnya laju pemanjangan daun (*leaf elongation*), meningkatnya senesens daun, serta terganggunya perkembangan anakan sehingga jumlah daun cenderung menurun. Studi tersebut juga menyebutkan bahwa durasi genangan yang lebih lama meningkatkan tingkat kerusakan fisiologis tanaman. Pada parameter jumlah gabah, proses pembentukan gabah lebih dipengaruhi oleh fase pembungaan dan penyerbukan, sehingga cekaman genangan yang relatif singkat belum memberikan pengaruh nyata terhadap jumlah gabah yang terbentuk.

Silika lebih berperan dalam meningkatkan toleransi tanaman terhadap cekaman abiotik, mempertahankan aktivitas fotosintesis, dan mendukung proses pengisian biji dibandingkan meningkatkan jumlah gabah secara langsung (Thorne *et al.*, 2020; Tripathi *et al.*, 2020).

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Interaksi antara pemberian teh silika dan lama penggenangan memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan, hasil, dan fisiologi tanaman gandum. Perlakuan tanpa penggenangan yang dikombinasikan dengan pemberian teh silika menghasilkan respons tanaman yang lebih baik dibandingkan dengan tanaman yang mengalami penggenangan. Kombinasi perlakuan S3W0 (konsentrasi 450 g/L tanpa penggenangan) merupakan perlakuan terbaik karena menghasilkan tinggi tanaman sebesar 91,70 cm, panjang akar 28,47 cm, kandungan klorofil 51,30 (SU), kadar prolin 2,80 $\mu\text{mol g}^{-1}$ FW, serta berat 1000 bulir sebesar 37,75 g. Oleh karena itu, kombinasi perlakuan S3W0 direkomendasikan sebagai perlakuan yang paling efektif dalam meningkatkan pertumbuhan, hasil, dan respons fisiologis tanaman gandum.
2. Faktor tunggal konsentrasi silika berpengaruh terhadap pertumbuhan, fisiologi, dan hasil tanaman gandum. Konsentrasi 450 g L⁻¹ merupakan konsentrasi yang memberikan respons paling baik, yang ditunjukkan melalui peningkatan jumlah daun sebesar 10,11 helai, jumlah gabah sebesar 32,11 g, kandungan klorofil 51,30 (SU), kadar prolin 2,80 $\mu\text{mol g}^{-1}$ FW. Hasil tersebut menunjukkan bahwa aplikasi teh silika mampu membantu tanaman mempertahankan pertumbuhan dan kondisi fisiologis selama menghadapi cekaman genangan.
3. Faktor tunggal lama penggenangan fase vegetatif memengaruhi pertumbuhan dan fisiologi tanaman gandum. Perlakuan tanpa penggenangan (W0) memberikan respons terbaik yang ditunjukkan oleh tinggi tanaman yang lebih tinggi sebesar 91,70 cm, jumlah daun sebesar 10,11 helai yang lebih banyak, kandungan klorofil yang lebih tinggi sebesar 51,30 (SU), serta kadar prolin 2,80 $\mu\text{mol g}^{-1}$ FW yang lebih baik dibandingkan perlakuan penggenangan,

sehingga direkomendasikan sebagai kondisi yang paling mendukung pertumbuhan tanaman gandum.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan tersebut, maka dapat disarankan:

1. Bagi peneliti selanjutnya disarankan melakukan penelitian dengan variasi konsentrasi teh silika yang lebih luas karena rentang konsentrasi yang digunakan pada penelitian ini belum mampu menunjukkan secara pasti konsentrasi optimum dalam meningkatkan pertumbuhan dan hasil gandum pada kondisi genangan. Selain itu, penelitian dengan lama penggenangan yang berbeda perlu dilakukan untuk mengetahui batas toleransi tanaman gandum terhadap tingkat cekaman genangan yang lebih berat.
2. Perlu dilakukan pengamatan lanjutan terhadap fase vegetatif dan generatif secara lebih detail, termasuk analisis fisiologis seperti kandungan antioksidan dan aktivitas enzim.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, S., Riaz, A., Mahmood, T., Jawad Hashmi, A., & Hussain Kazmi, D. (2025). *A guide to irrigation requirement of wheat crop in FAO-developed agro-climatic zones of Punjab, Pakistan*. Discover Agriculture. <https://doi.org/10.1007/s44279-025-00189-5>.
- Alemayehu, S., Olago, D., Opere, A., Zeleke, T. T., & Dejene, S. W. (2024). Evaluating wheat cultivation potential in Ethiopia under the current and future climate change scenarios. *Land*, 13(11), 1915. <https://doi.org/10.3390/land13111915>
- Altaf, A., Zhu, X., Zhu, M., Ma, Q., Irshad, S., Xu, D., Aleem, M., Zhang, X., Gull, S., & Zada, A. (2021). *Effects of environmental stresses (heat, salt, waterlogging) on grain yield and associated traits of wheat under application of sulfur-coated urea*. *Agronomy*, 11(11), 2340. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112340>
- Aouz, A., Khan, I., Chattha, M. B., Ahmad, S., Ali, M., Ali, I., Ali, A., Alqahtani, F. M., Hashem, M., Albishi, T. S., Qari, S. H., Chatta, M. U., & Hassan, M. U. (2023). *Silicon induces heat and salinity tolerance in wheat by increasing antioxidant activities, photosynthetic activity, nutrient homeostasis, and osmo-protectantsynthesis*. *Plants*, 12(14),2606. <https://doi.org/10.3390/plants12142606>
- Arduini, I., Orlandi, C., Pampana, S., & Masoni, A. (2023). Wheat crop under waterlogging: Potential soil and plant effects. *Plants*, 12(1), 149. <https://doi.org/10.3390/plants12010149>
- Arifin, H., Rahman, A., & Putri, T. (2024). *A review of the utilization of modified flour: local food potential*. *Bio Web of Conferences*, 96, 01027. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20249601027>
- Arini, N., & Prakoso, T. (2023). Pengaruh lama genangan terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman kacang tanah (*Arachis hypogaea*). *Muria Jurnal Agroteknologi*, 2(1), 14–19.
- Arisqi, M. M., Junaidi, R., & Fadarina. (2021). Tinjauan sistem pengering silika gel berbasis abu sekam padi menggunakan sistem vakum tray dryer terhadap kemampuan daya serap. *Kinetika*, 12(3).
- Ashtiani, F. A., Kadir, A., Nasehi, S. R. H., Rahaghi, H., Sajili. (2012). *Effect of Silicon on Rice Blast Disease*. *Pertanika Journal Tropica Agriculture*, 35(1): 1-12.

- Attwal, K. P. S., & Dhiman, A. S. (2024). *A study of wheat morphology for yield prediction*. International Journal of Research in Agronomy, 7(5), 346–349. <https://doi.org/10.33545/2618060X.2024.v7.i5e.695>
- Avivi, S., Mufidah, A. I., Siswoyo, T. A., Restanto, D. P. (2022). Pengaruh Cekaman Genangan Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Beberapa Varietas Tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill.). *Jurnal Agroekoteknologi*, 15(1): 1-5.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. (2016). *Gandum: Peluang Pengembangan di Indonesia*. IAARD Press. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Jakarta. <https://repository.pertanian.go.id/handle/123456789/20036>
- Badan Pusat Statistik. (2021). *Banyaknya Curah Hujan (mm) Menurut Kecamatan, Stasiun Pengukur, dan Bulanan Jember Tahun 2020*. Jakarta: Ditjen BMKG.
- Badan Pusat Statistik. (2025). *Data Impor Biji Gandum dan Meslin Menurut Negara Asal Utama Tahun 2010 – 2020*. Jakarta: Dirljen Bea dan Cukai.
- Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). *Rapid determination of free proline for water-stress studies*. *Plant and Soil*, 39(1), 205–207.
- Bayisa, G. D., Ayana, M., Mekonnen, B., Hordofa, T., & Dinka, M. O. (2024). Drainage lysimeter based measurement of water requirement and crop coefficient of bread wheat under semi-arid climate of Melkassa, Ethiopia: average seasonal crop water requirement $\approx$ 427 mm. *Heliyon*. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36969>
- Berry, P. M., Sterling, M., Baker, C. J., Spink, J., Sparkes, D. L. (2003). *A Calibrated Model of Wheat Lodging Compared with Field Measurements*. *Journal Agric for Mereorol*, 119: 167-180.
- Bhaskara, G. B., Yang, T. H., & Verslues, P. E. (2015). *Dynamic proline metabolism: importance and regulation in water limited environments*. *Frontiers in Plant Science*, 6, 484. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00484>
- Cannell, R. Q., Belford R. K., Balckwell P.S. Govi G., and Thomson, R. J. (1985). *Effect of Waterlogging on Soil Aeration and on Root and Shoot Growth and iels of Winter Oats (Avena sativa L.)*. *Journal of Plant and Soil*, 85: 53-66.
- Chaiwong, N., Prom-U-Thai, C., Buapha, T., & Rerkasem, B. (2022). *Silicon application promotes productivity, nitrogen and phosphorus use efficiency and grain quality of rice (Oryza sativa L.)*. *Plants*, 11(7), 989.
- Chopra R, Singh K, Shukla S, Kadam S, Singh NK (2020) QTLs for cell membrane stability and flag leaf area under drought stress in a wheat RIL population. *J Plant Biochem Biotechnol* 29(2):276– 286. <https://doi.org/10.1007/s13562->

019-00534-y

- Chugh, V., Kaur, N., Gupta, A. K., Rai, A. (2022). *The Seed Biochemical Signature as a Potent Marker for Water Logging Tolerance in Maize*. *Plant Stress*, 4: 100085.
- Convention on Wetlands. 2021. *Global Wetland Outlook: Special Edition 2021*. Gland, Switzerland: Secretariat of the Convention on Wetlands. <https://doi.org/10.69556/GWO-2021-eng>.
- Cooke, J., & Leishman, M. R. (2016). *Consistent Alleviation of Abiotic Stress by Silicon Addition: A Meta-Analysis*. *Functional Ecology*, 30(8), 1340–1357. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12713>.
- Dewanti, F. G., Imaningsih, N., & Fadil, C. (2024). Identifikasi dampak perubahan iklim terhadap gagal panen tanaman padi di Jawa Timur. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*.
- Ding, J., Peng, L., Wu, P., Zhu, M., Li, C., Zhu, X & Guo, W. (2020). *Identifying the critical stage near anthesis for waterlogging on wheat yield and its components in the yangtze river basin, china*. *Agronomy*, 10(1), 130. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010130>
- Djanaguiraman, M., Narayanan, S., Erdayani, E., & Prasad, P. V. V. (2020). Effects of high temperature stress during anthesis and grain filling periods on photosynthesis and grain yield in wheat. *BMC Plant Biology*, 20, 268.
- El-Okkiah, S. A., El-Nagar, M. M., & El-Sayed, S. A. (2022). *Foliar spray of silica improved water stress tolerance in rice (Oryza sativa L.) cultivars*. *Plants*, 11(24), 3542.
- Epstein, E. (1994). *The Anomaly of Silicon in Plant Biology*. *Proc Natl Acad Sci USA*, 91: 11-17.
- Epstein, E. (2009). *Silicon: Its manifold roles in plants*. *Annals of Applied Biology*, 155(2). <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1744-7348.2009.00343>.
- Ezint V., De la P. R., Ahanchede A. (2010). *Effect of Anoxia on Growth and Grain Yield of Wheat Cultivars*. *World academy of Science, Engineering and Technology*, 70: 85-88.
- Frontiers. (2025). *A review of soil waterlogging impacts, mechanisms, and adaptive strategies: Plant root programmed cell death and aerenchyma formation under waterlogging*. *Frontiers in Plant Science*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1545912>
- Gaikwad, B. P., & Pujari, B. T. (2021). *Morphological characterization and yield components of wheat (Triticum aestivum L.) genotypes*. *Journal of Cereal*

Research, 13(3), 297–305.

- Gao, H., Chen, M., Jin, N., Ye, L., Zhang, G., Shen, Q & Xu, Z. (2025). A comprehensive analytical method 'regulatome' revealed a novel pathway for aerenchyma formation under waterlogging in wheat. *Physiologia Plantarum*, 177(2). <https://doi.org/10.1111/ppl.70157>
- Gao, J., Su, Y., Yu, M., Huang, Y., Feng, W., & Shen, A. (2021). Potassium alleviates post-anthesis photosynthetic reductions in winter wheat caused by waterlogging at the stem elongation stage. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.607475>
- Ghosh, U. K., Islam, M. N., Siddiqui, M. N., Cao, X., Khan, M. A. R. (2021). Proline a Multifaceted Signalling Molecule in Plant Responses to Abiotic Stress: Understanding The Physiological Mechanisms. *Plant Biology*, 1: 13-36.
- Gill, S., Ramzan, M., Naz, G., Ali, L., Danish, S., Ansari, M. J., & Salmen, S. H. (2024). Effect of silicon nanoparticle-based biochar on wheat growth, antioxidants and nutrients concentration under salinity stress. *Scientific Reports*, 14(1), 6380. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-55924-7>
- Giofandi, E., Zuhrita, A., Putriana, A., Sekarjati, D., Riyadhno, F., Mashuri, A & Sekarrin, C. (2022). Potential land suitability for spatial planning of wheat commodity (triticum aestivum) in tanah datar regency. *Jurnal Geografi Edukasi Dan Lingkungan (Jgel)*, 6(2), 1n1-112. <https://doi.org/10.22236/jgel.v6i2.8120>.
- Gusmiatun, R. A., Suwignyo, A., Wijaya, M., Hasmeda. (2015). Peningkatan Toleransi Rendaman Padi Lokal Rawa Lebak dengan Interogresi Gen Sub 1. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 43(1): 99-104.
- Harkness, C., Mikhail, A. S., Francisco, A., Nimai, S., Miroslav, T., Han B., and Jacob, B., (2020). Adverse Weather Conditions for UK Wheat Production under Climate Change. *Journal Agriculture and Forest Meteorology*, 282(107862): 1-13.
- Hasanuzzaman, M, Bhuyan, M. H. M. B., Zulfiqar, F., Raza, A., Mohsin, S. M., Mahmud, J. A., Fujita, M., & Fotopoulos, V. (2021). Plants' response to environmental stresses: Role of antioxidants and phytohormones. *Frontiers in Plant Science*, 12, 661602.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Anee, T. I., Fujita, M. (2021). Silicon-mediated regulation of proline and antioxidant metabolism confers drought tolerance in plants. *Plants*, 10(1), 76.
- Hassan, K. M., Ajaj, R., Abdelhamid, A. N., Ebrahim, M., Hassan, I. F., Hassan, F. A. S., Alam-Eldein, S. M., & Ali, M. A. A. (2024). Silicon: A powerful aid

- for medicinal and aromatic plants against abiotic and biotic stresses for sustainable agriculture. *Horticulturae*, 10(8), 806. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10080806>
- Herdhani, M., Wahyu, Y., & Trikoesoemaningtyas. (2024). Variability of agronomic traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) lines in two agroecosystems in Indonesia. *Journal of Tropical Crop Science*, 11(03), 229–306. <https://doi.org/10.29244/jtcs.11.03.229-306>.
- Herzog, M., Striker, G. G., Colmer, T. D., & Pedersen, O. (2016). Mechanisms of waterlogging tolerance in wheat: A review of root and shoot physiology. *Plant, Cell & Environment*, 39(5), 1068–1086.
- Huang, H., Rizwan, M., Li, M., Song, F., Zhou, S., He, X., Ding, R., Dai, Z., Yuan, Y., Cao, M., Xiong, S. X., Tu, S. (2019). *Comparative Efficacy of Organic and Inorganic Silicon Fertilizer on Antioxidant Response, Cd/Pb Accumulation and Health Risk Assessment in Wheat (Triticum aestivum L.)*. *Journal Environmental Pollution*, 255: 113146.
- Hussain, M. A., et al. (2022). *Sulfur uptake and distribution, grain yield, and quality of hybrid and inbred winter wheat under waterlogging*. *Journal of Plant Nutrition*
- Insani, N. N., Darmanti, S., & Saptiningsih, E. (2021). Pengaruh Durasi Penggenangan terhadap Pertumbuhan Vegetatif dan Waktu Berbunga Cabai Merah Keriting *Capsicum annum* (L.) Varietas Jacko. *Buletin Anatomi dan Fisiologi*, 6(2), 104-114. <https://doi.org/10.14710/baf.6.2.2021.104-114>
- ISTA. (2016). *International Rules for Seed Testing*. Switzerland.
- Jackson, M. B. (1979). *Rapid Injury to Peas by Soil Waterlogging*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 30: 143-152.
- Jain, P., & Fuskele, V. (2019). Rice husk ash as a potential source of silicon and its varied applications. *Advances in Power Generation from Renewable Energy Sources (APGRES)*.
- James, D. G. (2003). *Field Evaluation of Herbivore-Induced Plant Volatiles as Attractants for Beneficial Insects. Methyl Salicylate and the Green Lacewing, Chrysopa nigricornis*. *Jornal Chem Ecol*, 29: 1601-1609.
- Jiang, X., Mao, D., Zhu, M., Wang, X., Li, C., Zhu, X., Guo, W., & Ding, J. (2022). *Evaluating the waterlogging tolerance of wheat cultivars during the early growth stage using the comprehensive evaluation value and digital image analysis*. *Agriculture*, 12(3), 384. <https://doi.org/10.3390/agriculture12030384>
- Katerova, Z., Sergiev, I., Todorova, D., Shopova, E., Dimitrova, L., & Brankova, L. (2021). *Physiological responses of wheat seedlings to soil waterlogging*

- applied after treatment with selective herbicide. Plants*, 10(6), 1195. <https://doi.org/10.3390/plants10061195>
- Kaur, G., & Asthir, B. (2017). Proline: A key player in plant abiotic stress tolerance. *Biologia Plantarum*, 61(4), 623–630. <https://doi.org/10.1007/s10535-015-0549-3>
- Kaur, G., Singh, G., Motavalli, P. P., Nelson, K. A., Orlowski, J. M., Golden, B. R. (2020). *Management Practice to Reduce Crop Production and Nitrogen Losses from Waterlogging Stress in Maize Through Gene Expression Analysis. Plant Science*, 304: 110823.
- Kaur, C., Kumar, S., & Singh, K. (2023). *Effect of integrated nutrient management on growth and yield of wheat (Triticum aestivum L.) under system of wheat intensification. Journal of Cereal Research*, 15(2), 273–276. <https://doi.org/10.25174/2582-2675/2023/120083>.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2022. *Status Hutan dan Kehutanan Indonesia 2022: Menuju FOLU Net Sink 2030*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. ISBN 978-623-440-004-5.
- Khan, A. L. (2025). Silicon: A valuable soil element for improving plant growth and CO₂ sequestration. *Journal of Advanced Research*, 71, 43–54. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2024.05.027>.
- Khatami, S. A., Barmaki, M., Alebrahim, M. T., & Bajwa, A. A. (2022). Salicylic acid pre-treatment reduces the physiological damage caused by the herbicide mesosulfuron-methyl + iodosulfuron-methyl in wheat (*Triticum aestivum*). *Agronomy*, 12(12), 3053. <https://doi.org/10.3390/agronomy12123053>
- Koramutla, M. K., Pham A. T., & Ayele, B. T. (2022). *Salicylic acid enhances adventitious root and aerenchyma formation in wheat under waterlogged conditions. International Journal of Molecular Sciences*, 23(3), 1243. <https://doi.org/10.3390/ijms23031243>
- Kosova, K., Vitamvas, P., Prasil, IT. (2011). *Plant Proteome Changes Under Abiotic Stress-Contribution of Proteomics Studies to Understanding Plant Stress Response. J. Proteom*, 74: 1301-1322.
- Kowalska, J., Tyburski, J., Jakubowska, M., & Krzysińska, J. (2020). *Effect of Different Forms of Silicon on Growth of Spring Wheat Cultivated in Organic Farming System. Silicon*, 13, 211–217. <https://doi.org/10.1007/s12633-020-00414-4>
- Kumar, R., & Singh, U. (2023). *Growth and development of wheat: Morphological aspects of vegetative and reproductive stages. Advances in Plant Sciences*, 36(2), 112–121.
- Kurniawan, H., & Azmi, C. (2021). *Bobot 1000 Butir dan Kualitas Benih Tujuh Lot*

- Varietas Cabai Open Pollinated (OP)*. Agropross: National Conference Proceedings of Agriculture, 5, 217–226.
<https://doi.org/10.25047/agropross.2021.224>
- Leyshon A. J., and Sheard R. W. (1974). *Influence of Short-term Flooding on the Growth and Plant Nutrient Composition of Barley*. *Canadian Journal of Soil Science*, 54: 463-473.
- Li, H., Cai, J., Liu, F., Jiang, D., Dai, T., Cao, W. (2011). *Generation and Scavenging of Reactive Oxygen Species in Wheat Flag Leaves under Combined Shading and Waterlogging Stress Function*. *Plant Biology*, 39: 71-81.
- Li, H., Li, T., Weng, W., Cui, G., Zhang, H., Xing, Z., Fu, L., Liu, B., Wei, H., & Zhang, H. (2025). Chlormequat chloride and uniconazole regulate lodging resistance and yield formation of wheat through different strategies. *Agronomy*, 15(11), 2475. <https://doi.org/10.3390/agronomy15112475>.
- Liu, H., Jiao, Q., Fan, L., Jiang, Y., Alyemeni, M. N., Ahmad, P., Chen, Y., Zhu, M., Liu, H., Zhao, Y., Liu, F., & Li, G. (2023). Integrated physio-biochemical and transcriptomic analysis revealed mechanism underlying Si-mediated alleviation to cadmium toxicity in wheat. *Journal of Hazardous Materials*, 452, 131366. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131366>.
- Li, X., Wang, Y., Zhang, S., Chen, Y. (2020). *Regulation of grain filling and kernel weight in wheat under abiotic stress*. *Journal of Experimental Botany*, 71(18), 5649-5659.
- Li, X., Zhang, W., Niu, D., & Liu, X. (2024). Effects of abiotic stress on chlorophyll metabolism. *Plant Science*, 342, 112030.
<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2024.112030>
- Lokshin, A., Palchan, D., Golan, E., Erel, R., Andronico, D., & Gross, A. (2025). Foliar nutrient uptake from dust sustains plant nutrition. *Biogeosciences*, 22, 2653–2666.
- Lone, A. A., Khan, M. H., Dar, Z. A., Wani, S. H. (2018). *Breeding Strategies for Improveing Growth and Yield under Waterlogging Condition in Maize*. *Maydica*, 61: 1-11.
- Luo, H., Liu, S., Song, Y., Qin, T., Xiao, S., Li, W., Xu, L., & Zhou, X. (2024). Effects of waterlogging stress on root growth and soil nutrient loss of winter wheat at seedling stage. *Agronomy*, 14(6), 1247.
<https://doi.org/10.3390/agronomy14061247>
- Luyckx, M., Hausman, J. F., S. Lutts, G. Guerriero. (2017). *Silicon and Plant: Current Knowledge and Technological perspectives*. *Journal of Front Plant Sci*, 8: 1- 8.

- Ma, J. F. (2003). *Role of Silicon in Enhancing The Resistance of Plants to Biotic and Abiotic Stresses*. *Plant Nutrient*, 50(1): 11-18.
- Ma, J. F., & Yamaji, N. (2015). *A Cooperative System of Silicon Transport in Plants*. *Plant Physiology*, 136(4), 3255–3263.
- Ma, J. F., and Takahashi E. (2002). *Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan*. Elsevier: The Netherlands.
- Ma, J. F., Yamaji, N., Mitani-Ueno, N. (2021). *Transport and physiological roles of silicon in plants*. *Annual Review of Plant Biology*, 72, 551–574.
- Ma, S., Gai, P., Wang, Y., Ullah, N., Zhang, W., Fan, Y., Shan, Y., Huang, Z., & Hu, X. (2021). *Carbohydrate assimilation and translocation regulate grain yield formation in wheat crops (Triticum aestivum L.) under post-flowering waterlogging*. *Agronomy*, 11(11), 2209.
- Ma, S., Hou, J., Wang, Y., Wang, M., Zhang, W., Fan, Y & Huang, Z. (2022). *Post-flowering soil waterlogging curtails grain yield formation by restricting assimilates supplies to developing grains*. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.944308>
- Maai, E. (2024). *Effect of waterlogging on photosynthesis and growth of finger millet (Eleusine coracana)*. *Agrosystems Geosciences & Environment*, 7(1). <https://doi.org/10.1002/agg2.20467>
- Malik, A.I.; Colmer, T.D.; Lambers, H.; Setter, T.L.; Schortemeyer, M. (2002). Short-term waterlogging has long-term effects on the growth and physiology of wheat. *New Phytol*, 153, 225–236.
- Manghwar, H., Hussain, A., Alam, I., Khoso, M. A., Ali, Q., & Liu, F. (2024). *Waterlogging stress in plants: Unraveling the mechanisms and impacts on growth, development, and productivity*. *Environmental and Experimental Botany*, 224, 105824.
- Mardi, C. T., Trikoesoemaningtyas, & Wahyu, Y. (2022). *Keragaan dan keragaman genetik genotipe-genotipe F2:3 gandum (Triticum aestivum L.) di dataran tinggi Indonesia*. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 50(1), 33–40. <https://doi.org/10.24831/jai.v50i1.37104>
- Marschner, P. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants (3rd ed.)*. Academic Press.
- Mavrič Čermelj, A., Fideršek, E., Golob, A., Kacjan Maršič, N., Vogel Mikuš, K., & Germ, M. (2022). *Different concentrations of potassium silicate in nutrient solution affects selected growth characteristics and mineral composition of barley (Hordeum vulgare L.)*. *Plants*, 11(11), Article 1405. <https://doi.org/10.3390/plants11111405>

- Meena, V. D., Dotaniya, M. L., Coumar, V., Rajendiran, S., Ajay, K., & Kundu, S. (2020). A case for silicon fertilization to improve crop yields in tropical soils. *Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B*, 90, 1–12.
- Mfarrej, M., Wang, X., Saleem, M., Hussain, I., Rasheed, R., Ashraf, M & Alyemeni, M. (2021). *Hydrogen sulphide and nitric oxide mitigate the negative impacts of waterlogging stress on wheat (triticum aestivum l.)*. *Plant Biology*, 24(4), 670-683. <https://doi.org/10.1111/plb.13358>
- Musdalifa, M., Parawansa, A. K., & Tasrif, A. (2024). *Deteksi dan identifikasi cendawan Tilletia spp. pada biji gandum (Triticum aestivum L.) impor*. *AGrotekMAS Jurnal Indonesia: Jurnal Ilmu Pertanian*, 5(3).
- Mustafa, T., Sattar, A., Sher, A., Ul-Allah, S., Ijaz, M., Irfan, M., Butt, M., & Cheema, M. (2021). Exogenous application of silicon improves the performance of wheat under terminal heat stress by triggering physio-biochemical mechanisms. *Scientific Reports*, 11, 23170. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02594-4>
- Nasrudin, N., & Rosmala, A. (2020). Analisis pertumbuhan padi lokal aksesori PH 1 menggunakan penambahan pupuk silika padat pada kondisi salin. *AGROTEKNIKA*, 3(2): 75–84. <https://doi.org/https://doi.org/10.32530/agroteknika.v3i2.71>
- Ni, X.-L., Gui, M.-Y., Tan, L.-L., Zhu, Q., & Liu, W.-Z. (2019). *Programmed cell death and aerenchyma formation in water-logged sunflower stems and its promotion by ethylene and ROS*. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1928. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01928>
- Nita, I., Putra, A. N., Albayani, H. K., Khakim, A. W., & Nurhutami, S. R. (2022). Analisis potensi dan risiko banjir pada lahan pertanian di Kabupaten Pacitan. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*.
- Nur, A., Syahrudin, K. (2012). Aplikasi Teknologi Mutasi dalam Pembentukan Varietas Gandum Tropis. *Puslitbang Serealia*, 1(6): 185-201.
- Pais, I. P., Moreira, R., Semedo, J. N., Ramalho, J. C., Lidon, F. C., Coutinho, J., Maças, B., & Scotti-Campos, P. (2023). Wheat crop under waterlogging: Potential soil and plant effects. *MDPI Plants*, 12(1):149. <https://doi.org/10.3390/plants12010149>
- Pan, B., Zhang, C., Wang, W., & Li, L. (2021). *Silicon Enhances Plant Resistance of Rice against Submergence Stress*. *Plants*, 10(4), 763.
- Pan, J., Miao, Q., Zhang, W., Wang, H., Wang, W., Xue, Y., Qi, S., & Cui, Z. (2023). Increasing soil organic carbon for higher wheat yield and nitrogen productivity. *Agronomy*, 13(1), 198. <https://doi.org/10.3390/agronomy13010198>

- Pan, J., Sharif, R., Xu, X., & Chen, X. (2021). *Mechanisms of waterlogging tolerance in plants: Research progress and prospects*. *Frontiers in Plant Science*, 11, 627331. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.627331>.
- Pan, T., Zhang, J., He, L., Hafeez, A., Ning, C., & Cai, K. (2021). Silicon enhances plant resistance of rice against submergence stress. *Plants*, 10(4), 767. <https://doi.org/10.3390/plants10040767>.
- Pequeno, D. N., Hemandesz-Ocha, I. M., Reynolds, M., Sonder, K., Moleromillan, A., Robertson, R. D., Asseng, S. (2021). *Climate Impact and Adaptation to Heat and Drought Stress of Regional and Global Wheat Production*, *Environmental Research Letters*, 16(5): 1-17.
- Pitann, B., Khan, K., & Mühling, K. (2024). *Does humic acid foliar application affect growth and nutrient status of water-stressed maize?*. *Plant-Environment Interactions*, 5(3). <https://doi.org/10.1002/pei3.10156>
- Ploschuk, R. A., Miralles, D. J., Colmer, T. D., Ploschuk, E. L., & Striker, G. G. (2018). *Waterlogging of winter crops at early and late stages: Impacts on leaf physiology, growth and yield*. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1806. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01806>
- Puspitasari, S. A., & Indradewa, D. (2019). *The Effects of Silica on Growth and Yield of Chrysanthemum Plants (Dendranthema sp.)*. *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)*, 4(2), 45–54.
- Rahman, A. (2018). Pembuatan nanosilika gel dari silika abu sekam padi. *Jurnal Fisika dan Terapannya*, 5(1).
- Rahman, S. U., Xuebin, Q., Zhao, Z., Du, Z., Mehmood, F., Hussain, B., & Ashraf, M. N. (2021). *Alleviatory effects of silicon on the morphology, physiology, and antioxidative mechanisms of wheat (Triticum aestivum L.) roots under cadmium stress in acidic nutrient solutions*. *Scientific Reports*, 11(1), Article 5009. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80808-x>
- Rahmawati, A., Putranto, K., & Tristianne, A. (2023). Pengaruh substitusi tepung sagu (metroxyton sagu r) pada terigu terhadap karakteristik kue kering. *Jurnal Agribisnis Dan Teknologi Pangan (Agritekh)*, 4(1), 1-10. <https://doi.org/10.32627/agritekh.v4i1.777>
- Ramírez-Olvera, S. M., Trejo-Téllez, L. I., Gómez-Merino, F. C., Ruíz-Posadas, L. M., Alcántar-González, E. G., & Saucedo-Veloz, C. (2021). *Silicon stimulates plant growth and metabolism in rice plants under conventional and osmotic stress conditions*. *Plants*, 10(4), 777. <https://doi.org/10.3390/plants10040777>

- Ranjan, A., Sinha, R., Bala, M., Pareek, A., Singla-Pareek, S. L., & Singh, A. K. (2021). *Silicon-mediated abiotic and biotic stress mitigation in plants: Underlying mechanisms and potential for stress resilient agriculture*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 163, 15–25. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.044>
- Raras, P., E. Saptiningsih, S. Haryanti. (2021). Respon tanaman cabai rawit (*Capsicum frutescens* L.) varietas pelita f1 terhadap penggenangan. *Buletin Anatomi dan Fisiologi*. 6:56–65. <https://doi.org/10.14710/baf.6.1.2021.56-65>
- Rauf, M., Awais, M., Ud-Din, A., Ali, K., Gul, H., Rahman, M., Hamayun, M., & Arif, M. (2021). *Molecular mechanisms of the 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (acc) deaminase producing trichoderma asperellum map1 in enhancing wheat tolerance to waterlogging stress*. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.614971>
- Reddy, A. N., Rajeev, & Kumar, P. (2024). *Adaptation of drought stress by use of silicon element in wheat (Triticum aestivum L.)*. *International Journal of Environment and Climate Change*, 14(6), 55–66. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2024/v14i64211>
- Reynolds, O. L., Padula, M. P., Zeng, R., and Gurr, G. M. (2016). *Silicon: Potential to Promote Direct and Indirect Effect on Plant Defence Against Arthropod Pests in Agriculture*. *Front Plant Sci*, 7: 744.
- Rusmana, R., Ritawati, S., Ningsih, E. P., dan Kurnia, S. (2020). Pengaruh Genangan dan Pupk Nitrogen terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kedelai. *Prosiding Nasional Lahan Suboptimal*, 1(1): 914-923.
- Sacala, E. 2009. *Role of Silicon in Plant Resistance to Water Stress*. *Journal Elementol*, 14(1): 619-630.
- Sagala, Danner, dan Prihanani I. H. (2011). Perlakuan Nitrogen dan Silikat pada persemaian Pemulihan Pasca Terendam dan Peningkatan Produksi Padi. *Conference Paper*, 1: 1-9.
- Saja-Garbarz, D., Libik-Konieczny, M., & Janowiak, F. (2024). Silicon improves root functioning and water management as well as alleviates oxidative stress in oilseed rape under drought conditions. *Frontiers in Plant Science*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1359747>
- Sarto, M. V. M., Furlani Junior, E., et al. (2023). *Physiological responses of wheat to flooding stress: The role of osmolyte accumulation and antioxidant activity*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 205, 107070.
- Sasidharan, R., Hartman, S., Liu, Z., Martopawiro, S., Sajeev, N., van Veen, H., Yeung, E., & Voesenek, L. A. C. J. (2018). *Signal dynamics and interactions during flooding stress*. *Plant Physiology*, 176(2), 1106–1117.

- Sharifi P, Amirnia R, Majidi E, Hadi H (2017) Relationship between drought stress and some antioxidant enzymes with cell membrane and chlorophyll stability in wheat lines. *Afr J Microbiol Res* 6:617–623. <https://doi.org/10.5897/AJMR11.1167>
- Sharma D. P., and Swarup A. (1988). *Effect of Short-term Flooding on Growth, Yield and Mineral Composition of Wheat on sodic Soil under Field Conditions. Journal of Plant and Soil*, 107: 137-143.
- Sharma, S., Sharma, J., Soni, V., Kalaji, H. M., & Elsheery, N. I. (2021). Waterlogging tolerance: A review on regulative morpho-physiological homeostasis of crop plants. *Journal of Water and Land Development*, 49, 16–28. <https://doi.org/10.24425/jwld.2021.137092>.
- Siregar, A. F., Sipahutar, I. A., Husnain, Wibowo, H., Sato, K., Wakatsuki, T., & Masunaga, T. (2016). *Influence of Water Management and Silica Application on Rice Growth and Productivity in Central Java, Indonesia. Journal of Agricultural Science*, 8(12), 86–99. <https://doi.org/10.5539/jas.v8n12p86>
- Sitompul, S. M., & Guritno, B. (1995). *Analisis Pertumbuhan Tanaman*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Slafer, Gustavo A., Savin, R., & Sadras, V. O. (2014). *Coarse and fine regulation of wheat yield components in response to genotype and environment. Field Crops Research*, 157, 71–83. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.12.004>
- Su, J., Liu, Y., Han, F., Gao, F., Gan, F., Huang, K., & Li, Z. (2024). ROS, an important plant growth regulator in root growth and development: Functional genes and mechanism. *Biology*, 13(12), 1033. <https://doi.org/10.3390/biology13121033>
- Subiksa, G. M. (2018). *Pengaruh Pupuk Silika terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Padi Sawah pada Inceptisols. Jurnal Tanah dan Iklim*, 42(2): 153-160.
- Sudradjat, A. F., Jufri, E., Sulistyono. (2016). *Studies on the Effect of Silicon and Antitranspirant on Chili Paper (Capsicum annum L.) Growth and Yield. Journal Science*, 137: 5-10.
- Sumadji, A. R., & Purbasari, K. (2018). Indeks stomata, panjang akar dan tinggi tanaman sebagai indikator kekurangan air pada tanaman padi varietas IR64 dan Ciherang. *AGRI-TEK: Jurnal Ilmu Pertanian, Kehutanan dan Agroteknologi*, 19(2), 82–85. <https://doi.org/10.33319/agtek.v19i2.7>.
- Sundahri, S., Bell, C. J., Sale, P. W. G., Peries, R. (2005). Response of Canola and Wheat to Applied Silicate and Gypsum on Raised Beds.
- Sun, J., Cao, C., Zheng, C., Li, K., Ma, J., Zhang, J., & Dang, H. (2024). Effects of

- irrigation and silicon application on leaf microstructure and photosynthetic characteristics of winter wheat. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 32(5), 827–838. <http://www.ecoagri.ac.cn/article/doi/10.12357/cjea.20230643>
- Susanti, A. (2024). *The power of sorghum farmer corporation as strengthening national food security*. *Jurnal Penelitian Ipteks*, 9(1), 114-122. <https://doi.org/10.32528/penelitianipteks.v9i1.1464>
- Swe, T. T., Bellingrath-Kimura, S. D., & Oo, A. Z. (2021). *Effect of silicon application on growth, yield and uptake of rice (Oryza sativa L.) in two different soils*. *Agronomy*, 11(3), 547. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030547>
- Syahputra, E., Fauzi, & Razali. (2016). Karakteristik sifat kimia sub grup tanah Ultisol di beberapa wilayah Sumatera Utara. *Jurnal Agroekoteknologi*, 4(1), 1769–1803.
- Szabados, L., & Saviouré, A. (2010). *Proline: A multifunctional amino acid*. *Trends in Plant Science*, 15(2), 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.11.009>.
- Takenaka, S., Furumoto, T., & Nakamura, C. (2023). *Comprehensive gene expression analysis of submergence stress response in nucleus-cytoplasm hybrid wheat*. *Cytologia*, 88(3), 209-216. <https://doi.org/10.1508/cytologia.88.209>.
- Tarigan, D. M., Sulistiani, R., Barus, W. A., Utami, S., & Lestami, A. 2023. Assembly of Lowland Adaptive Wheat Mutant Through Gamma Ray Mutation Induction. *Agrotechnology Research Journal*, 7(1), 50–57. <https://doi.org/10.20961/agrotechresj.v7i1.71933>.
- Thorne, S. J., Hartley, S. E., & Maathuis, F. J. M. (2020). *Is Silicon a Panacea for Alleviating Drought and Salt Stress in Crops?* *Frontiers in Plant Science*, 11, 1221. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01221>
- Timotiwu, P. B., Agustiansyah, & Amalia, S. (2018). *The Effects of Foliar Boron and Silica Through the Leaves on Soybean Growth and Yield*. *Journal of Agricultural Studies*, 6(4), 63–75.
- Tirfi, A. G., Oyekale, A. S. (2022). *Impact of Climate Change on Wheat Production in Ethiopia: An Augmented Cobb-Douglas Production Function Approach*. *Research Square*, 1(1): 1-18.
- Tong, C., Hill, C., Zhou, G., Zhang, X., Jia, Y., & Li, C. (2021). *Opportunities for improving waterlogging tolerance in cereal crops—physiological traits and genetic mechanisms*. *Plants*, 10(8), 1560. <https://doi.org/10.3390/plants10081560>
- Tripathi, D. K., Singh, V. P., Lux, A., & Vaculik, M. (2020). *Silicon in plant*

- biology: From past to present, and future challenges. Journal of Experimental Botany*, 71(21), 6699–6702. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa448>.
- Tripathi, P., Subedi, S., Khan, A. L., Chung, Y.-S., & Kim, Y. (2021). Silicon Effects on the Root System of Diverse Crop Species Using Root Phenotyping Technology. *Plants*, 10(5), 885. DOI: 10.3390/plants10050885
- Trnka, M., Rotter, R. P., Ruiz-Romas, M., Kersebaum, K. C., Olesen, J. E., Zalid, Z., Semenov, M. A. (2014). *Adverse Weather Conditions for European Wheat production will become more Frequent with Climate Change. Journal Nat Clim Change*, 4: 637-643.
- Ünay, A. and Şimşek, S. (2020). *Heritability of waterlogging tolerance in wheat (triticuma aestivum l.). Turkish Journal of Field Crops*, 25(2), 156-160. <https://doi.org/10.17557/tjfc.691634>
- Van den Dries, N., et al. (2024). *Advances in the study of waterlogging tolerance in plants. Journal of Integrative Agriculture*, 23(9), 2877–2897. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2023.12.028>.
- Verma, K. K., Zeng, Y., Song, X. P., Singh, M., Wu, K. C., Rajput, V. D., & Li, Y. R. (2022). Nanosilicon: An approach for abiotic stress mitigation and sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1025974. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1025974>
- Vishwakarma, M., Kulhare, P. S., & Tagore, G. S. (2021). Chlorophyll content in leaves of wheat as influenced by inorganic, organic and integrated sources of nutrient application. *International Journal of Plant & Soil Science*, 33(2), 31–45. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2021/v33i230412>
- Voesenek, Laurentius A. C. J. & Julia Bailey-Serres. (2015). *Flood adaptive traits and processes: an overview. New Phytologist*, 206(1), 57–73. <https://doi.org/10.1111/nph.13209>
- Walker, C. D., and Lance, R. C. M. (1991). *Silicon Accumulation and 13 Composition as Indices of Water-Use Efficiency in Barley Cultivars. Aust Journal Plant Physiol*, 18: 427-434.
- Walsh, O. S., Shafian, S., McClintick-Chess, J. R., Belmont, K. M., & Blanscet, S. M. (2018). *Potential of Silicon Amendment for Improved Wheat Production. Plants*, 7(2), 26. <https://doi.org/10.3390/plants7020026>
- Wang, F., Zhou, Z., Liu, X., Zhu, L., Guo, B., Lv, C., Zhu, J., Chen, Z.H., & Xu, R. (2024). *Transcriptome and metabolome analyses reveal molecular insights into water logging tolerance in barley. BMC Plant Biology*, 24:385. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05091-8>
- Wang, W., Cheng, Y., Ren, Y., Zhang, Z., & Geng, H. (2022). *Prediction of*

- Chlorophyll Content in Multi-Temporal Winter Wheat Based on Multispectral and Machine Learning*. *Frontiers in Plant Science*, 13, 896408. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.896408>
- Wang, X., Liu, D., Wei, M., & Man, J. (2020). *Spraying 6-ba could alleviate the harmful impacts of waterlogging on dry matter accumulation and grain yield of wheat*. *Peerj*, 8, e8193. <https://doi.org/10.7717/peerj.8193>.
- Watson, E. R., Lapins, P., and Barron R. J. W. (1976). *Effect of Waterlogging on the Growth, Grain and Straw Yield of Wheat, Barley and Oats*. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 16(78): 114-122.
- Yang, R., Li, M., Harrison, M., Fahad, S., Wei, M., Li, X & Wang, X. (2022). *Itraq proteomic analysis of wheat (triticum aestivum l.) genotypes differing in waterlogging tolerance*. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.890083>
- Zainul, L. A. B., Soeparjono, S., Setiawati, T. C. (2022). Aplikasi Pupuk Silika untuk Meningkatkan Ketahanan Tanaman Cabai Rawit (*Capsicum annuum* L.) terhadap Stres Genangan. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 50(2): 172-179.
- Zargar, S. M., Mahajan, J. A., Bhat, M., Nazir, R., Deshmukh. (2019). *Role of Silicon in Plant Stress Tolerance: Opportunities to Achieve a Sustainable Cropping System*. *Biotech*, 9: 1-16.
- Zhang, X., Ye, L., Shen, Q., & Zhang, G. (2024). *Advances in the study of waterlogging tolerance in plants*. *Journal of Integrative Agriculture*, 23(9), 2877–2897. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2023.12.028>
- Zhang, Y., Chen, X., Geng, S., & Zhang, X. (2025). *Soil waterlogging impacts, physiological mechanisms, and adaptive strategies in plants*. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1545912. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1545912>
- Zhao, Y., Zhang, X., Tang, H., Jia, Q. (2020). *Waterlogging induces proline accumulation via upregulation of P5CS gene in wheat roots*. *Environmental and Experimental Botany*, 179, 104232.
- Zhou, W., Chen, F., Meng, Y., Chandrasekaran, U., Luo, X., Yang, W., Shu, K. (2020). *Plant Waterlogging/Flooding Stress Responses: From Seed Germination to Maturation*. *Journal Plant Physiology*, 148: 228-236.
- Zubaidi, A., Ma'shum, M., Gill, G., & McDonald, G. K. (2018). *Wheat (Triticum aestivum) adaptation to Lombok Island, Indonesia*. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 40(3), 556–566.
- Zuccarini P. (2008). *Effect of Silocon on Photosynthesis, Water Relation and Nutrient Uptake of Phaseolus Vulgaris under NaCl Stress*. *Journal of Biol Plant*, 52: 157-160.

- Zulfiqar, F., & Ashraf, M. (2023). *Proline Alleviates Abiotic Stress Induced Oxidative Stress in Plants*. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42(8), 4629–4651. <https://doi.org/10.1007/s00344-022-10839-3>
- Zulkiffal, M., Ahsan, A., Ahmed, J., Musa, M., Kanwal, A., Saleem, M., Gulnaz, S. (2021). *Heat dan Drought Stresses in Wheat (Triticum aestivum L.): Substantial Yield Losses, Practical Achievements, Improvement Approaches, and Adaptive*. *Journal Plant Stress Physiology*, 1(1): 3-27.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Deskripsi varietas gandum

Nama varietas	: Dewata
Spesies	: <i>Triticum aestivum</i> L.
Asal galur	: KAVKAZ/BUHO/KALIANSONA/BLUEBIRD
Introduksi dari India	
Umurberbunga	: 82 hari
Umur panen	: 129 hari
Tipe Batang	: Kompak
Warna bulu	: Kuning kecoklatan
Tinggi tanaman	: 89 cm
Warna biji	: Kuning kecokelatan
Rata-rata hasil	: 2,04–2,96 ton ha ⁻¹
Bobot 1.000 biji	: 46 g
Kandungan protein	: 13,94%
Kadar abu	: 1,78%
Keterangan	: - Dianjurkan untuk dataran tinggi (<1000 mdpl) - Sesuai untuk pembuatan roti
Pemulia	: Muslimah, M. Jusuf, Sumarny Singgih, Marsum Dahlan, Rudiyanto, Riyo Samekto, Joko Murdono, Bistok Simanjutak
Sumber	: Keputusan Menteri Pertanian No.174/Kpts/LB.240/3/2004 tentang Pelepasan Galur Gandum DWR 162 sebagai Varietas Unggul dengan Nama Dewata – DWR 162.
Tahun dilepas	:2004

Lampiran 1. Hasil Analisis Prolin



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN RISET DAN TEKNOLOGI
POLITEKNIK NEGERI JEMBER
UNIT PENUNJANG AKADEMIK BIOSAINS
Jalan Mastrip Kotak Pos 164 Jember 68101 Telp. (0331) 333532-34 Fax (0331) 333531
E-mail : politeknik@polije.ac.id Laman : www.polije.ac.id

LAPORAN HASIL ANALISA*Report of Analysis*

No. 486/Pl.17.10.2/PJ/2023

Kode Sampel : 425.12.11.23
Sample Code

Nama Customer : MUHAMMAD HAIDIR EMIR S.
Customer Name

Personil Penghubung : MUHAMMAD HAIDIR EMIR S.
Contact Person

Alamat : JALAN SINGOSARI, LINGK KEBONSARI, KEC. SUMBERSARI-JEMBER
Address

Jenis Sampel : BULIR GANDUM
Type of Sample (s)

Jenis Uji : PROLIN
Type of Analysis

Tanggal Penerimaan : 5 DESEMBER 2023
Received Date

Hasil Uji / Test Result :

No	KODE SAMPEL CODE SAMPLE	SATUAN UNIT	HASIL UJI TEST RESULT	SPESIFIKASI METODE METHOD SPESIFICATION
1.	S0K0 U1	μmol prolin/gr FW	1,81	Ninhidrin Method (Bates <i>et al.</i> 1973)
2.	S0K1 U1	μmol prolin/gr FW	2,20	
3.	S0K2 U1	μmol prolin/gr FW	2,75	
4.	S1K0 U1	μmol prolin/gr FW	0,85	
5.	S1K1 U1	μmol prolin/gr FW	1,45	
6.	S1K2 U1	μmol prolin/gr FW	2,05	
7.	S2K0 U1	μmol prolin/gr FW	0,55	
8.	S2K1 U1	μmol prolin/gr FW	1,05	
9.	S2K2 U1	μmol prolin/gr FW	1,55	
10.	S3K0 U1	μmol prolin/gr FW	0,35	
11.	S3K1 U1	μmol prolin/gr FW	0,75	
12.	S3K2 U1	μmol prolin/gr FW	1,15	
13.	S4K0 U1	μmol prolin/gr FW	0,25	
14.	S4K1 U1	μmol prolin/gr FW	0,45	
15.	S4K3 U1	μmol prolin/gr FW	0,65	
16.	S0K0 U2	μmol prolin/gr FW	1,84	
17.	S0K1 U2	μmol prolin/gr FW	2,00	
18.	S0K2 U2	μmol prolin/gr FW	2,80	
19.	S1K0 U2	μmol prolin/gr FW	0,90	
20.	S1K1 U2	μmol prolin/gr FW	1,50	
21.	S1K2 U2	μmol prolin/gr FW	2,10	

22.	S2K0 U2	μmol prolin/gr FW	0,60
23.	S2K1 U2	μmol prolin/gr FW	1,10
24.	S2K2 U2	μmol prolin/gr FW	1,60
25.	S3K0 U2	μmol prolin/gr FW	0,40
26.	S3K1 U2	μmol prolin/gr FW	0,80
27.	S3K2 U2	μmol prolin/gr FW	1,20
28.	S4K0 U2	μmol prolin/gr FW	0,30
29.	S4K1 U2	μmol prolin/gr FW	0,50
30.	S4K2 U2	μmol prolin/gr FW	0,70
31.	S0K0 U3	μmol prolin/gr FW	1,79
32.	S0K1 U3	μmol prolin/gr FW	2,05
33.	S0K2 U3	μmol prolin/gr FW	2,85
34.	S1K0 U3	μmol prolin/gr FW	0,95
35.	S1K1 U3	μmol prolin/gr FW	1,55
36.	S1K2 U3	μmol prolin/gr FW	2,15
37.	S2K0 U3	μmol prolin/gr FW	0,65
38.	S2K1 U3	μmol prolin/gr FW	1,15
39.	S2K2 U3	μmol prolin/gr FW	1,65
40.	S3K0 U3	μmol prolin/gr FW	0,45
41.	S3K1 U3	μmol prolin/gr FW	0,85
42.	S3K2 U3	μmol prolin/gr FW	1,25
43.	S4K0 U3	μmol prolin/gr FW	0,35
44.	S4K1 U3	μmol prolin/gr FW	0,55
45.	S4K2 U3	μmol prolin/gr FW	0,75

Note :

- *) Hasil analisa tersebut sesuai dengan sampel yang kami terima, tanpa adanya modifikasi yang mempengaruhi hasil analisa.
The results of those analyses are based on the sample we received without any modifications which effecting the results of the analysis.
- *) Nilai hasil analisis yang tercantum hanya berlaku bagi sampel yang kami terima tersebut diatas.
The analysis results listed in this report apply only to the sample we received above.
- *) UPA Biosains tidak bertanggung jawab atas penyalahgunaan laporan hasil analisa oleh customer/client
UPA Biosains has no responsibility for the misusing the report of analysis by customer/client.

Jember, Desember 14, 2022


Dr. Titik Budiatin, S.T.P., M.T., M.Sc.
Head of Central Laboratory for Biosciences
Polytechnic of Jember

Lampiran 2. Hasil Analisis Silika



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN RISET DAN TEKNOLOGI
POLITEKNIK NEGERI JEMBER
UNIT PENUNJANG AKADEMIK BIOSAINS
Jalan Mastrip Kotak Pos 164 Jember 68101 Telp. (0331) 333532-34 Fax (0331) 333531
E-mail : politeknik@polije.ac.id Laman : www.polije.ac.id

LAPORAN HASIL ANALISA

Report of Analysis
No: 088/PL.17.10.2/PJ/2023

Nomor Permohonan : 064/PL.17.10.1/PJ/2023
Number of Order

Nama Customer : M. Haidir Emir Sulaiman
Customer Name

Personil Penghubung : -
Contact Person

Alamat : Jalan Singosari, Lingkungan Sadenganm Kebon Sari, Sumber Sari
Address

Jenis Sampel : Larutan Silika
Type of Sample (s)

Jenis Uji : Silika
Type of Analysis

Tanggal Penerimaan : 6 Maret 2023
Received Date

Tanggal Pengujian : 7 – 24 Maret 2023
Date of Analysis

Hasil Uji / Test Result :

NO.	PARAMETER PARAMETERS	SATUAN UNIT	HASIL UJI TEST RESULT	SPESIFIKASI METODE METHOD SPESIFICATION
1.	Larutan Silika	ppm	736,8573	Atomic Absorption Cook Book.SHIMADZU Corporation

Note

- *) Hasil analisa tersebut sesuai dengan sampel yang kami terima, tanpa adanya modifikasi yang mempengaruhi hasil analisa.
The results of those analyzes are based on the sample we received without any modifications which affecting the results of the analysis.
- *) Nilai hasil analisis yang tercantum hanya berlaku bagi sampel yang kami terima tersebut diatas.
The analysis results listed in this report apply only to the sample we received above.
- *) UPA Biosains tidak bertanggung jawab atas penyalahgunaan laporan hasil analisa oleh customer/client
UPA Biosains has no responsibility for the misusing the report of analysis by customer/client.

Jember, 29 Maret 2023

Nelly Ermawati, PhD,
Head of Central Laboratory for Biosciences
Polytechnic of Jember



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN RISET DAN TEKNOLOGI
POLITEKNIK NEGERI JEMBER

UNIT PENUNJANG AKADEMIK BIOSAINS

Jalan Mastrip Kotak Pos 164 Jember 68101 Telp. (0331) 333532-34 Fax (0331) 333531

E-mail : politeknik@polije.ac.id Laman : www.polije.ac.id

LAPORAN HASIL ANALISA

Report of Analysis

No: 087/PL.17.10.2/PJ/2023

Nomor Permohonan : 063/PL.17.10.1/PJ/2023
Number of Order

Nama Customer : M. Haidir Emir Sulaiman
Customer Name

Personil Penghubung : -
Contact Person

Alamat : Jalan Singosari, Lingkungan Sadenganm Kebon Sari, Sumber Sari
Address

Jenis Sampel : TANAH
Type of Sample (s)

Jenis Uji : Silika
Type of Analysis

Tanggal Penerimaan : 6 Maret 2023
Received Date

Tanggal Pengujian : 7 – 24 Maret 2023
Date of Analysis

Hasil Uji / Test Result :

NO.	PARAMETER PARAMETERS	SATUAN UNIT	HASIL UJI TEST RESULT	SPESIFIKASI METODE METHOD SPESIFICATION
1.	Silika	ppm	442,9373	Atomic Absorption Cook Book.SHIMADZU Corporation

Note

- *) Hasil analisa tersebut sesuai dengan sampel yang kami terima, tanpa adanya modifikasi yang mempengaruhi hasil analisa.
The results of those analyzes are based on the sample we received without any modifications which effecting the results of the analysis.
- *) Nilai hasil analisis yang tercantum hanya berlaku bagi sampel yang kami terima tersebut diatas.
The analysis results listed in this report apply only to the sample we received above.
- *) UPA Biosains tidak bertanggung jawab atas penyalahgunaan laporan hasil analisa oleh customer/client
UPA Biosains has no responsibility for the misusing the report of analysis by customer/client.



27 March 2023

Netty Firmawati, PhD.
Head of Central Laboratory for Biosciences
Polytechnic of Jember

Lampiran 3. Dokumentasi Penelitian



Penyemprotan Herbisida



Persiapan Media Tanam



Penyemaian Benih Gandum



Hasil Persemaian



Semaian 3 HST



Semaian 7 HST



Semaian 12 HST



Pindah Tanam Bibit Gandum



Pengukuran Tinggi Tanaman



Penyiraman



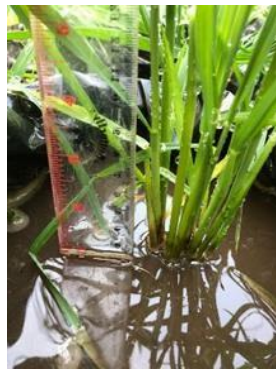
Pemberian Perlakuan
Teh Silika



Pemberian Polybag
Tanpa Lubang Drainase



Pemberian Perlakuan
Genangan



Perlakuan Genangan



Pemanenan



Pengukuran Panjang
Akar

Lampiran 4. Dokumentasi Hasil Penelitian



Hasil Tanaman Gandum



Pengukuran Panjang Akar



Penimbangan berat 1000 Bulir Gandum

b. Jumlah daun Tabel 2 Arah

Jumlah Daun						
Dosis Teh Silika	Waktu Penggenangan	1	2	3	Jumlah	Rata-rata
S0 (0g/L)	K0	7	6	7	20	6,67
	K1	8	7	8	23	7,67
	K2	9	8	8	25	8,33
S1 (150g/L)	K0	8	8	9	25	8,33
	K1	10	9	10	29	9,67
	K2	11	10	8	29	9,67
S2 (300g/L)	K0	10	9	10	29	9,67
	K1	8	7	10	25	8,33
	K2	9	10	12	31	10,33
S3 (450g/L)	K0	10	8	11	29	9,67
	K1	11	10	11	32	10,67
	K2	11	10	9	30	10,00
S4 (600g/L)	K0	8	8	10	26	8,67
	K1	10	12	11	33	11,00
	K2	10	10	10	30	10,00
TOTAL					416	

Tabel Anova

Tests of Between-Subjects Effects						
Dependent Variable:						
Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
DosisTehSilika	Hypothesis	36,533	4	9,133	10,220	0,000 **
	Error	25,022	28	.894		
WaktuPenggenangan	Hypothesis	9,644	2	4,822	5,396	0,010 *
	Error	25,022	28	.894		
Blok	Hypothesis	4,978	2	2,489	2,785	0,079
	Error	25,022	28	.894		
DosisTehSilika * WaktuPenggenangan	Hypothesis	14,133	8	1,767	1,977	0,087 ns
	Error	25,022	28	.894		
a. MS(Error)						
** = berbeda sangat nyata (p < 0,01)						
* = berbeda nyata (p < 0,05)						
ns = tidak berbeda nyata (p > 0,05)						

JumlahDaun				
Duncan ^{a,b}				
DosisTehSilika	N	Subset		Notasi
		1	2	
S0	9	7,56		B
S1	9		9,22	A
S2	9		9,44	A
S4	9		9,89	A
S3	9		10,11	A
Sig.		1,000	0,077	
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9.000.				
b. Alpha = .05.				

JumlahDaun				
Duncan ^{a,b}				
WaktuPenggenangan	N	Subset		Notasi
		1	2	
K0	15	8,60		B
K1	15		9,47	A
K2	15		9,67	A

Sig.		1,000	0,567	
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15.000.				
b. Alpha = ,05.				

c. Panjang akar Tabel 2 Arah

Panjang Akar						
Dosis Teh Silika	Waktu Penggenangan	1	2	3	Jumlah	Rata-rata
S0 (0g/L)	K0	24,5	23,8	25,1	73,4	24,47
	K1	27,3	26,8	27	81,1	27,03
	K2	26,5	26,1	25,9	78,5	26,17
S1 (150g/L)	K0	26	28,4	25,8	80,2	26,73
	K1	27,8	26,4	26	80,2	26,73
	K2	25,2	25	25,5	75,7	25,23
S2 (300g/L)	K0	27,2	27	28,5	82,7	27,57
	K1	26,8	25,7	29,2	81,7	27,23
	K2	30,2	27	26,5	83,7	27,90
S3 (450g/L)	K0	27,2	29,2	26,8	83,2	27,73
	K1	28	28	27,6	83,6	27,87
	K2	28,1	27,8	28,2	84,1	28,03
S4 (600g/L)	K0	28	28,2	29,2	85,4	28,47
	K1	27	25,5	26,4	78,9	26,30
	K2	27,2	26	26,2	79,4	26,47
TOTAL					1211,8	

Tabel Anova

Tests of Between-Subjects Effects						
Dependent Variable:						
Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
DosisTehSilika	Hypothesis	26,052	4	6,513	6,488	0,001 **
	Error	28,106	28	1,004 ^a		
WaktuPenggenangan	Hypothesis	0,654	2	0,327	0,326	0,725 ns
	Error	28,106	28	1,004 ^a		
Blk	Hypothesis	1,240	2	0,620	0,618	0,546
	Error	28,106	28	1,004 ^a		
DosisTehSilika * WaktuPenggenangan	Hypothesis	23,600	8	2,950	2,939	0,016 *
	Error	28,106	28	1,004 ^a		
a. MS(Error)						
** = berbeda sangat nyata (p < 0,01)						
* = berbeda nyata (p < 0,05)						
ns = tidak berbeda nyata (p > 0,05)						

Uji DMRT

PanjangAkar						
Duncan ^a						
Interaksi	N	Subset for alpha = 0.05				Notasi
		1	2	3	4	
S0K0	3	24,4667				d
S1K2	3	25,2333	25,2333			cd
S0K2	3	26,1667	26,1667	26,1667		bcd
S4K1	3		26,3000	26,3000		bc
S4K2	3		26,4667	26,4667		bc
S1K0	3		26,7333	26,7333	26,7333	abc
S1K1	3		26,7333	26,7333	26,7333	abc
S0K1	3		27,0333	27,0333	27,0333	abc
S2K1	3			27,2333	27,2333	ab
S2K0	3			27,5667	27,5667	ab
S3K0	3			27,7333	27,7333	ab
S3K1	3			27,8667	27,8667	ab
S2K2	3			27,9000	27,9000	ab
S3K2	3			28,0333	28,0333	ab
S4K0	3				28,4667	a

d. Berat 1000 Bulir Tabel 2 Arah

Tabel Anova

Uji DMRT

Berat1000Butir									
Duncan ^a									
Interaksi	N	Subset for alpha = 0.05							Notasi
		1	2	3	4	5	6	7	
S0K0	3	27,7000							g
S0K1	3	28,5667	28,5667						fg
S1K0	3		30,9333	30,9333					ef
S0K2	3		31,1333	31,1333	31,1333				def
S1K2	3		31,1667	31,1667	31,1667				def
S3K2	3			33,0000	33,0000	33,0000			cde
S1K1	3			33,1333	33,1333	33,1333			cde
S4K0	3				33,8333	33,8333	33,8333		bcd
S4K1	3					34,1333	34,1333		cd
S4K2	3						36,0667	36,0667	ab
S2K0	3						36,1667	36,1667	ab
S2K1	3						36,4667	36,4667	ab
S3K1	3							37,4667	a
S3K0	3							37,5000	a
S2K2	3							37,5667	a
Sig.		0,480	0,057	0,114	0,054	0,403	0,060	0,287	
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.									
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.									

e. Jumlah Gabah per Tangkai Tabel 2 Arah

Jumlah Gabah per Tangkai						
Dosis Teh Silika	Waktu Penggenangan	1	2	3	Jumlah	Rata-rata
S0 (0g/L)	K0	32	31	33	91	30,33
	K1	35	34	34	103	34,33
	K2	28	32	30	90	30,00
S1 (150g/L)	K0	33	30	28	91	30,33
	K1	28	30	27	85	28,33
	K2	31	28	30	89	29,67
S2 (300g/L)	K0	31	31	29	91	30,33
	K1	30	30	33	93	31,00
	K2	28	29	31	88	29,33
S3 (450g/L)	K0	30	33	28	91	30,33
	K1	31	28	28	87	29,00
	K2	28	31	33	92	30,67
S4 (600g/L)	K0	30	27	30	87	29,00
	K1	33	32	29	94	31,33
	K2	28	28	30	86	28,67
TOTAL					1358	

Tabel Anova

Tests of Between-Subjects Effects						
Dependent Variable:						
Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
DosisTehSilika	Hypothesis	40,578	4	10,144	3,010	0,035 *
	Error	94,356	28	3,370 ^a		
WaktuPenggenangan	Hypothesis	9,911	2	4,956	1,471	0,247 ns
	Error	94,356	28	3,370 ^a		
Blok	Hypothesis	0,311	2	0,156	0,046	0,955
	Error	94,356	28	3,370 ^a		
DosisTehSilika * WaktuPenggenangan	Hypothesis	46,089	8	5,761	1,710	0,140 ns
	Error	94,356	28	3,370 ^a		
a. MS(Error)						
** = berbeda sangat nyata (p < 0,01)						
* = berbeda nyata (p < 0,05)						
ns = tidak berbeda nyata (p > 0,05)						

Uji DMRT

GabahperTangkai				
Duncan ^{a,b}				
DosisTehSilika	N	Subset		Notasi
		1	2	
S1	9	29,44		B
S4	9	29,67		B
S3	9	30,00		B
S2	9	30,22		B
S0	9		32,11	A
Sig.		0,421	1,000	
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9.000.				
b. Alpha = ,05.				

f. Kadar Klorofil Daun Tabel 2 Arah

KLOROFIL						
Dosis Teh Silika	Waktu Penggenangan	1	2	3	Jumlah	Rata-rata
S0 (0g/L)	K0	26,4	26,3	26,2	78,9	26,30
	K1	20,1	20,6	20,0	60,7	20,23
	K2	11,1	11,5	12,0	34,6	11,53
S1 (150g/L)	K0	31,4	31,3	31,2	93,9	31,30
	K1	23,6	24,1	23,5	71,2	23,73
	K2	14,1	14,5	15,0	43,6	14,53
S2 (300g/L)	K0	36,4	36,3	36,2	108,9	36,30
	K1	28,6	29,1	28,5	86,2	28,73
	K2	17,1	17,5	18,0	52,6	17,53
S3 (450g/L)	K0	46,4	46,3	46,2	138,9	46,30
	K1	33,6	34,1	33,5	101,2	33,73
	K2	20,1	20,5	21,0	61,6	20,53
S4 (600g/L)	K0	51,4	51,3	51,2	153,9	51,30
	K1	38,6	39,1	38,5	116,2	38,73
	K2	23,1	23,5	24,0	70,6	23,53
TOTAL		422,0	426,0	425,0	1273,0	

Tabel Anova

Tests of Between-Subjects Effects						
Dependent Variable:						
Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
DosisTehSilika	Hypothesis	2027,800	4	506,950	5482,893	0,000**
	Error	2,589	28	.092 ^a		
WaktuPenggenangan	Hypothesis	3246,878	2	1623,439	17558,223	0,000**
	Error	2,589	28	.092 ^a		
Blok	Hypothesis	0,578	2	0,289	3,124	0,060*
	Error	2,589	28	.092 ^a		
DosisTehSilika * WaktuPenggenangan	Hypothesis	197,600	8	24,700	267,142	0,000**
	Error	2,589	28	.092 ^a		

a. MS(Error)

Uji DMRT

Klorofil														
Duncan ^a														
Interaksi	N	Subset for alpha = 0.05												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
S0K2	3	11,5333												m
S1K2	3		14,5333											l
S2K2	3			17,5333										k
S0K1	3				20,2333									j
S3K2	3				20,5333									j
S4K2	3					23,5333								i
S1K1	3					23,7333								i
S0K0	3						26,3000							h
S2K1	3							28,7333						g
S1K0	3								31,3000					f
S3K1	3									33,7333				e
S2K0	3										36,3000			d
S4K1	3											38,7333		c
S3K0	3												46,3000	b
S4K0	3													51,3000 a
Sig.		1,000	1,000	1,000	0,267	0,457	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

g. Kandungan Prolin Tabel 2 Arah

PROLIN						
Dosis Teh Silika	Waktu Penggenangan	1	2	3	Jumlah	Rata-rata

