

**RESPONS LAMA PENGGENANGAN TERHADAP PERTUMBUHAN
BIBIT KOPI LIBERIKA (*Coffea liberica*) DAN KOPI
ROBUSTA (*Coffea canephora*)**

Skripsi

Oleh

**Syifa Efnelita
2214121015**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

RESPONS LAMA PENGGENANGAN TERHADAP PERTUMBUHAN BIBIT KOPI LIBERIKA (*Coffea liberica*) DAN KOPI ROBUSTA (*Coffea canephora*)

Oleh

SYIFA EFNELITA

Genangan air merupakan cekaman lingkungan yang mengancam budidaya kopi, khususnya di lahan gambut dan kawasan rawan banjir. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh lama genangan terhadap pertumbuhan vegetatif bibit Kopi Liberika (*Coffea liberica*) dan Robusta (*Coffea canephora*) serta menentukan lama genangan yang masih dapat ditoleransi oleh masing-masing spesies. Percobaan dirancang menggunakan Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) dengan pola faktorial 2×4 , melibatkan dua spesies kopi dan empat taraf lama genangan (0, 6, 9, dan 12 hari) dengan tiga ulangan. Penelitian dilaksanakan dalam dua siklus pengamatan dengan fase pemulihan dua minggu di antara keduanya. Perubahan yang diamati meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, kemunculan pucuk, diameter batang, kehijauan daun (SPAD), skor kelayuan, *survival* tanaman, bobot segar, bobot segar akar, bobot kering tajuk, bobot kering akar, dan jumlah akar adventif. Hasil menunjukkan bahwa Robusta memiliki adaptasi penggenangan lebih tinggi dibandingkan Liberika, dengan nilai kehijauan daun lebih tinggi, skor kelayuan lebih rendah, dan tingkat kelangsungan hidup lebih baik. Lama genangan yang dapat ditoleransi adalah 6 hari untuk Liberika dan 9 hari untuk Robusta. Kedua spesies menunjukkan pemulihan nyata setelah fase pemulihan, namun Robusta pulih lebih cepat dan lebih sempurna dibandingkan Liberika.

Kata kunci: adaptasi, *Coffea canephora*, *Coffea liberica*, genangan air, pertumbuhan vegetatif

ABSTRACT

RESPONSE OF FLOODING DURATION ON THE GROWTH OF LIBERICA COFFEE (*Coffea liberica*) AND ROBUSTA COFFEE (*Coffea canephora*) SEEDLINGS

By

SYIFA EFNELITA

*Waterlogging is an environmental stressor that threatens coffee cultivation, particularly on peatlands and in flood-prone areas. This study aims to analyze the effect of waterlogging duration on the vegetative growth of Liberica (*Coffea liberica*) and Robusta (*Coffea canephora*) coffee seedlings and to determine the duration of waterlogging that each species can tolerate. The experiment was designed using a Completely Randomized Block Design (CRBD) with a 2×4 factorial pattern, involving two coffee species and four levels of waterlogging duration (0, 6, 9, and 12 days) with three replicates. The study was conducted in two observation cycles with a two-week recovery phase between them. The observed variables included plant height, number of leaves, stem diameter, leaf greenness (SPAD), wilting score, survival rate, fresh and dry weights of the canopy and roots, and number of adventitious roots. The results showed that Robusta exhibited higher waterlogging adaptation compared to Liberica, with higher leaf greenness values, lower wilting scores, and better survival rates. The maximum tolerable flooding duration was 6 days for Liberica and 9 days for Robusta. Both species showed significant recovery after the recovery phase, but Robusta recovered faster and more completely than Liberica.*

*Keywords: *Coffea canephora*, *Coffea liberica*, adaptation, vegetative growth, waterlogging*

**RESPONS LAMA PENGGENANGAN TERHADAP PERTUMBUHAN
BIBIT KOPI LIBERIKA (*Coffea liberica*) DAN KOPI
ROBUSTA (*Coffea canephora*)**

Oleh

**SYIFA EFNELITA
2214121015**

SKRIPSI

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA PERTANIAN**

pada

**Jurusan Agroteknologi
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

Judul Skripsi

: **RESPONS LAMA PENGGENANGAN
TERHADAP PERTUMBUHAN BIBIT
KOPI LIBERIKA (*Coffea liberica*) DAN
KOPI ROBUSTA (*Coffea canephora*)**

Nama Mahasiswa

: **Syifa Efnetita**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **2214121015**

Jurusan

: **Agroteknologi**

Fakultas

: **Pertanian**



MENYETUJUI:

1. Komisi Pembimbing,

Prof. Dr. Ir. Rusdi Evizal, M.S.
NIP 196108261986031001

Dr. Ir. Afandi, M.P.
NIP 196404021988031019

2. Ketua Jurusan Agroteknologi,

Ir. Setyo Widagdo, M.Si.
NIP 196812121992031004

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji,

Ketua

: Prof. Dr. Ir. Rusdi Evizal, M.S.

Sekretaris

: Dr. Ir. Afandi, M.P.

Penguji

Bukan Pembimbing

: Dr. Sri Ramadiana, S.P., M.Si.

2. Dekan Fakultas Pertanian,



Dr. H. Kuswana Futas Hidayat, M.P.

NIP. 196411181989021002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 15 Juni 2026

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “Respons Lama Penggenangan terhadap Pertumbuhan Bibit Kopi Liberika (*Coffea Liberica*) dan Kopi Robusta (*Coffea Canephora*)” merupakan hasil karya saya sendiri bukan hasil karya orang lain. Semua hasil yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan hasil salinan atau dibuat oleh orang lain maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 15 Juni 2026
Penulis



Syifa Efnelita
NPM 2214121015

RIWAYAT HIDUP

Penulis merupakan putri dari Bapak Irsal Yunus dan Ibu Muntas, lahir di Desa Mataram Baru, Kecamatan Bandar Sribhawono, Kabupaten Lampung Timur, pada 11 Juli 2004. Pendidikan dimulai di TK Al-Azhar pada 2008, kemudian dilanjutkan ke SD Negeri 2 Srimenanti (2010–2016), SMP Negeri 1 Bandar Sribhawono (2016–2019), dan SMA Negeri 1 Bandar Sribhawono, yang diselesaikan pada 2022. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada 2022 melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam berbagai kegiatan di kampus. Penulis telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Purwo Adi, Kecamatan Trimorjo, Kabupaten Lampung Tengah pada 2025 Periode I. Penulis juga telah melaksanakan kegiatan Praktik Umum di PT Perkebunan Nusantara VIII Kebun Cikasungka di Kecamatan Cigudeg, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat pada periode Juli 2025. Penulis aktif dalam organisasi Persatuan Mahasiswa Agroteknologi (PERMA AGT) Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada periode 2024 sebagai anggota Bidang Pengabdian Masyarakat, serta pernah dipercaya sebagai Sekretaris Koordinator Divisi *Liaison Officer* (LO) pada kegiatan Ekspedisi Nasional Tapak Kupu 2024.

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil`alamin, dengan rasa syukur dan kerendahan hati
kupersembahkan karya ini kepada:

Kepada kedua orang tua tercinta, Bapak Irsal Yunus dan Ibu Muntas, yang telah menjadi sandaran terkuat dan alasan terbesar penulis untuk terus melangkah. Terima kasih atas doa yang tidak pernah putus, kasih sayang yang tidak pernah berkurang, dan pengorbanan yang tidak pernah ternilai. Karena keduanya lah penulis mampu berdiri di titik ini. Semoga Allah senantiasa memberikan kesehatan dan umur panjang, karena dunia ini jauh lebih berarti selama Bapak dan Ibu masih ada.

Kakakku terkasih dan tersayang M. Alfarizi yang sudah ikut serta dalam proses menempuh pendidikan ini. Terima kasih atas semangat, doa, dan cinta yang selalu diberikan yang tidak didapatkan dimanapun oleh penulis.

Keluarga besar Agroteknologi 2022.

Serta Almamater tercinta, Universitas Lampung.

SANWACANA

Segala puji syukur ke hadirat Allah SWT. karena berkat dan rahmat -Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Respons Lama Penggenangan terhadap Pertumbuhan Bibit Kopi Liberika (*Coffea Liberica*) dan Kopi Robusta (*Coffea Canephora*)” dan tidak lupa sholawat serta salam kita sanjung agungkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW., yang kita nantikan syafaat nya di hari akhir kelak.

Penulis mengetahui bahwa dalam penyusunan skripsi ini terdapat banyak keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki oleh penulis. Berkat dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak penulis dapat menyelesaikan skripsi. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung;
- (2) Bapak Ir. Setyo Widagdo, M.Si., selaku Ketua Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung;
- (3) Bapak Prof. Dr. Ir. Rusdi Evizal, M.S., selaku Pembimbing Utama yang senantiasa memberikan arahan, dukungan, bimbingan, dan motivasi kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan selama penyusunan skripsi, serta Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing dan memberikan masukan dan saran kepada penulis selama perkuliahan;
- (4) Bapak Dr. Ir. Afandi, M.P., selaku Pembimbing Pembantu yang telah memberikan nasihat, saran, motivasi dan masukan selama penyusunan skripsi sehingga dapat diselesaikan dengan baik;

- (5) Ibu Dr. Sri Ramadiana, S.P., M.Si., selaku Dosen Penguji atas ketersediaannya dalam meluangkan waktu, memberikan masukan, kritik dan motivasi kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik;
- (6) Seluruh Dosen dan staf akademik Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, tempat penulis menempuh pendidikan sarjana. Semoga Allah SWT membalas amal kebaikan mereka dengan sebaik-baiknya balasan;
- (7) Kedua orang tua penulis: Bapak Irsal Yunus dan Ibu Muntas yang selalu memberikan segala dukungan berupa moral maupun material, semangat, perhatian, doa yang tidak pernah terputus setiap harinya, serta telah mendidik, dan membesarkan dalam limpahan kasih sayang namun selalu senantiasa memberikan yang terbaik. Terima kasih sudah melepas kepercayaan kepada anak bungsunya ini untuk pergi menuntut ilmu, serta tidak pernah membatasi impian penulis. Terima kasih atas apa yang telah diberikan kepada penulis yang tidak bisa dibandingkan dan tergantikan dengan apapun selamanya, sehingga penulis mampu menyelesaikan perkuliahan dengan baik. Besar harapan penulis semoga kedua orang tua penulis selalu sehat, panjang umur, dan bisa menyaksikan keberhasilan lainnya yang akan penulis raih di masa yang akan datang. Semoga penulis tumbuh sesuai dengan yang kalian harapkan;
- (8) Kakak penulis M. Alfarizi yang telah memberikan dukungan, semangat yang tidak didapatkan dimanapun, perhatian yang selalu hadir menghibur dan memberikan semangat kepada penulis di saat kejenuhan melanda dalam proses penyelesaian skripsi ini dan memberikan doa bagi penulis dalam melewati berbagai proses hingga ditahap ini;
- (9) Ibu Anizar yang memberikan doa dan kasih sayangnya tidak terputus di setiap langkah perjalanan penulis;

- (10) Kepada sahabat sekaligus penulis anggap sebagai saudara Vischa Agnindita dan Indah Permata Sari, S.Tr.Kes. terima kasih atas semangat serta doa tulus walaupun dukungan dari kejauhan yang senantiasa hadir menjadi penyemangat tersendiri bagi penulis merupakan bagian penting yang turut menguatkan langkah penulis;
- (11) Farischa Naurah Nurfaizah, S.A.B., dan Karina Faradilla Suray, S.Mat. terima kasih atas bentuk perhatian, waktu yang selalu ada disaat penulis butuhkan dan saat penulis dalam kesusahan, serta menjadi pendengar yang terbaik walupun tak sedarah tapi selalu ada bagi penulis dan menjadi rumah yang tidak hanya berupa tanah dan bangunan;
- (12) Terima kasih yang tulus penulis sampaikan kepada sahabat seperjuangan selama menempu pendidikan, Amara Mireya Rukmanda, S.P., Nur Hafiza Aulia Sabrina, S.P., dan Innaya Galih Ardiningrum, S.P. yang sudah berbagi kebahagiaan maupun kesedihan selama masa kuliah, untuk setiap dukungan, tawa, doa, dan cerita yang membuat hari-hari terasa lebih berarti. Semoga persahabatan ini tetap terjaga serta sukses dalam setiap langkah kehidupan;
- (13) Terima kasih yang mendalam penulis sampaikan kepada Falia Calista Salsa Bella, S.Ak., Firly Pradianita, S.Si., Marta Riska, Adinda Nabila, Asiva Sefia Natasya, A.Md.Keb., dan Riska Dwi Aprilia, S.T.P. yang selalu hadir dalam kebersamaan, dukungan, semangat, dan doa yang turut mengiringi penulis hingga mampu menyelesaikan skripsi ini;
- (14) Rekan-rekan seperjuangan di kampus rasa syukur dan terima kasih penulis sampaikan kepada "Keluarga Cemara Dedi Adit" yang telah membuktikan bahwa pertemanan di perkuliahan bisa bertahan hingga akhir, menjadi pengalaman berharga dalam perjalanan penulis;
- (15) Kepada Mba Sabila Infantriani Mukhlis, S.P. terima kasih atas bimbingan, kesabaran, arahan, dan memberikan ilmu yang berharga bagi penulis dengan ketulusan hati membersamai proses dalam penyusunan skripsi ini;
- (16) Teman-teman AGT A 22 "a yang suka tidur" terima kasih atas semua kehangatan dan kekeluargaan yang terjalin selama masa perkuliahan;
- (17) Keluarga Besar AGT 2022 yang berjuang membersamai penulis;

- (18) Serta pihak-pihak yang tidak dapat disebutkan namanya satu-persatu, terima kasih atas dukungan untuk penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar.

Semoga bantuan dan kebaikan yang telah diberikan kepada penulis menjadi amal jariyah yang diridhai Allah Swt dan dibalas dengan sebaik-baiknya balasan. Semoga skripsi ini dapat menjadi manfaat baik bagi penulis ataupun pembaca Aamiin ya Rabbal ‘alamin.

Bandar Lampung, 15 Juni 2026
Penulis

Syifa Efnelita
NPM 2214121015

MOTTO

“Allah tidak mengatakan hidup ini mudah. Tetapi Allah berjanji, bahwa
sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”

(QS Al Insyirah: 5-6)

“Bila esok nanti kau sudah lebih baik, jangan lupakan masa-masa sulitmu.
Ceritakan kembali pada dunia, caramu merubah peluh jadi senyuman”

(Andmesh Kamaleng)

“Terima kasih, untuk semua luka kini mendewasakan, untuk semua cinta kau
kan dirayakan. Tak beruntung soal cinta dan pertemanan, yang telah ku lawan
kecewa akan kegagalan. Bukankah hidup harus terus begitu?”

(Salma Salsabil)

“It's fine to fake it until you make it, until you do, until it's true”

(Taylor Swift)

“Be kind always”

(Syifa Efnelita)

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xxii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan.....	5
1.4 Landasan Teori	5
1.5 Kerangka Pemikiran	7
1.6 Hipotesis	9
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1 Syarat Tumbuh Kopi	10
2.2 Kopi Liberika.....	11
2.3 Kopi Robusta	13
2.4 Penggenangan.....	16
2.4.1 Respons Tanaman terhadap Penggenangan.....	18
2.4.2 Dampak Penggenangan terhadap Fisiologi Tanaman.....	19
2.4.3 <i>Waterlogging</i> dan Pengaruhnya terhadap Tanaman Kopi ...	20
2.4.4 Morfologi Akar pada Kondisi Tergenang.....	21
2.4.5 Mekanisme Adaptasi Tanaman terhadap Penggenangan.....	22
III. METODE PENELITIAN	24
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	24
3.2 Alat dan Bahan	24
3.3 Metode Penelitian.....	24
3.4 Pelaksanaan Penelitian	25
3.4.1 Penyiapan Bibit Kopi Liberika dan Kopi Robusta	26
3.4.2 Pemeliharaan.....	26
3.4.3 Perlakuan Durasi Penggenangan	27

3.4.4	Pengamatan Pertumbuhan.....	29
3.4.5	Pengumpulan Data.....	29
3.4.6	Analisis Data.....	29
3.5	Variabel Pengamatan.....	30
3.5.1	Pertambahan Tinggi Tanaman (cm)	30
3.5.2	Jumlah Daun (helai).....	30
3.5.3	Kemunculan Pucuk (tunas).....	30
3.5.4	Diameter Batang (mm)	30
3.5.5	Kehijauan Daun (unit)	31
3.5.6	Skor Kelayuan (%).....	31
3.5.7	<i>Survival</i> Tanaman (%)	31
3.5.8	Bobot Segar Tajuk (g).....	32
3.5.9	Bobot Segar Akar (g).....	32
3.5.10	Bobot Kering Tajuk (g).....	32
3.5.11	Bobot Kering Akar (g).....	32
3.5.12	Jumlah Akar Adventif (akar)	32
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1	Hasil.....	33
4.1.1	Pertambahan Tinggi Tanaman (cm)	35
4.1.2	Jumlah Daun (helai).....	35
4.1.3	Kemunculan Pucuk (tunas).....	36
4.1.4	Diameter Batang (mm)	37
4.1.5	Kehijauan Daun (unit)	39
4.1.6	Skor Kelayuan (%).....	41
4.1.7	<i>Survival</i> Tanaman (%)	42
4.1.8	Bobot Segar Tajuk (g).....	43
4.1.9	Bobot Segar Akar (g).....	45
4.1.10	Bobot Kering Tajuk (g).....	46
4.1.11	Bobot Kering Akar (g).....	47
4.1.12	Jumlah Akar Adventif (akar)	48
4.2	Pembahasan	50
V.	SIMPULAN DAN SARAN	58
5.1	Simpulan.....	58
5.2	Saran	58
	DAFTAR PUSTAKA.....	59
	LAMPIRAN.....	68

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Rekapitulasi Hasil Analisis Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan Bibit Kopi pada Penggenangan I	33
2. Rekapitulasi Hasil Analisis Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan Bibit Kopi pada pada Penggenangan II	34
3. Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Penambahan Tinggi Tanaman Kopi pada Penggenangan I	35
4. Pengaruh Interaksi Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Penambahan Tinggi Tanaman Kopi pada Penggenangan II	36
5. Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Jumlah Daun Kopi pada Penggenangan I	37
6. Pengaruh Interaksi Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Kemunculan Pucuk Kopi pada Penggenangan II	38
7. Pengaruh Interaksi Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Kehijauan Daun Kopi pada Penggenangan I	40
8. Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Kehijauan Daun Kopi pada Penggenangan II	41
9. Pengaruh Interaksi Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Skor Kelayuan Kopi pada Penggenangan I	42
10. Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Skor Kelayuan Kopi pada Penggenangan II	42
11. Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap <i>Survival</i> Tanaman pada Penggenangan II	44
12. Pengaruh Interaksi Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Bobot Segar Tajuk Kopi	44
13. Pengaruh Interaksi Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Bobot Segar Akar Kopi	45
14. Pengaruh Interaksi Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Bobot Kering Tajuk Kopi	47

15. Pengaruh Interaksi Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Bobot Kering Akar Kopi.....	48
16. Pengaruh Interaksi Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Jumlah Akar Adventif Kopi.....	50
17. Data Pengamatan Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Penambahan Tinggi Tanaman (cm).....	69
18. Uji Homogenitas Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama terhadap Variabel Penambahan Tinggi Tanaman (cm).....	70
19. Analisis Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Penambahan Tinggi Tanaman (cm).....	71
20. Data Pengamatan Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Penambahan Tinggi Tanaman (cm) setelah (<i>Recovery</i>).....	72
21. Uji Homogenitas Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Penambahan Tinggi Tanaman (cm) setelah (<i>Recovery</i>).....	73
22. Analisis Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Penambahan Tinggi Tanaman (cm) setelah (<i>Recovery</i>).....	74
23. Data Pengamatan Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Jumlah Daun (helai)	75
24. Uji Homogenitas Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Jumlah daun (helai)	76
25. Analisis Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Jumlah Daun (helai)	77
26. Data Pengamatan Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Jumlah Daun (helai) setelah (<i>Recovery</i>).....	78
27. Uji Homogenitas Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Jumlah Daun (helai) setelah (<i>Recovery</i>).....	79
28. Analisis Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Jumlah Daun (helai) setelah (<i>Recovery</i>).....	80
29. Data Pengamatan Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenanga terhadap Variabel Kemunculan Pucuk (tunas).....	81
30. Uji Homogenitas Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Kemunculan Pucuk (tunas)	82
31. Analisis Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Kemunculan Pucuk (tunas).....	83

32.	Data Pengamatan pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Kemunculan Pucuk (tunas) setelah (<i>Recovery</i>).....	84
33.	Uji Homogenitas Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Kemunculan Pucuk (tunas) setelah (<i>Recovery</i>).....	85
34.	Analisis Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Kemunculan Pucuk (tunas) setelah (<i>Recovery</i>).....	86
35.	Data Pengamatan Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Diameter Batang (mm).....	87
36.	Uji Homogenitas Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Diameter Batang (mm).....	88
37.	Analisis Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Diameter Batang (mm).....	89
38.	Data Pengamatan Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Diameter Batang (mm) setelah(<i>Recovery</i>)	90
39.	Uji Homogenitas Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Diameter Batang (mm) setelah (<i>Recovery</i>).....	91
40.	Analisis Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Diameter Batang (mm) setelah (<i>Recovery</i>)	92
41.	Data Pengamatan Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Kehijauan Daun (unit)	93
42.	Uji Homogenitas Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Kehijauan Daun (unit).....	94
43.	Analisis Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Kehijauan Daun (unit)	95
44.	Data Pengamatan Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Kehijauan Daun (unit) setelah (<i>Recovery</i>)	96
45.	Uji Homogenitas Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Kehijauan Daun (unit) setelah (<i>Recovery</i>).....	97
46.	Analisis Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Kehijauan Daun setelah (unit) setelah (<i>Recovery</i>).....	98
47.	Data Pengamatan Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Skor Kelayuan (%)	99
48.	Uji Homogenitas Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Skor Kelayuan (%).....	100

49.	Analisis Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Skor Kelayuan (%)	101
50.	Data Pengamatan Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Skor Kelayuan (%) setelah (<i>Recovery</i>).....	102
51.	Uji Homogenitas Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Skor Kelayuan (%) setelah (<i>Recovery</i>).....	103
52.	Analisis Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Skor Kelayuan (%) setelah Pemulihan (<i>Recovery</i>).....	104
53.	Data Pengamatan Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel <i>Survival</i> Tanaman (%).....	105
54.	Uji Homogenitas Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel <i>Survival</i> Tanaman (%).....	106
55.	Analisis Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel <i>Survival</i> Tanaman (%).....	107
56.	Data Pengamatan Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel <i>Survival</i> Tanaman (%) setelah (<i>Recovery</i>)	108
57.	Uji Homogenitas Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel <i>Survival</i> Tanaman (%) setelah (<i>Recovery</i>).....	109
58.	Analisis Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel <i>Survival</i> Tanaman (%) setelah (<i>Recovery</i>)	110
59.	Data Pengamatan Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Bobot Segar Tajuk (g)	111
60.	Uji Homogenitas Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Bobot Segar Tajuk (g).....	112
61.	Analisis Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Bobot Segar Tajuk (g)	113
62.	Data Pengamatan Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Bobot Segar Akar (g).....	114
63.	Uji Homogenitas Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Bobot Segar Akar (g)	115
64.	Analisis Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Bobot Segar Akar (g).....	116
65.	Data Pengamatan Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Bobot Kering Tajuk (g)	117
66.	Uji Homogenitas Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Bobot Kering Tajuk (g).....	118

67.	Analisis Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Bobot Kering Tajuk (g)	119
68.	Data Pengamatan Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Bobot Kering Akar (g).....	120
69.	Uji Homogenitas Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Bobot Kering Akar (g)	121
70.	Analisis Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Bobot Kering Akar (g).....	122
71.	Data Pengamatan Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Jumlah Akar Adventif (akar).....	123
72.	Uji Homogenitas Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Jumlah Akar Adventif (akar).....	124
73.	Analisis Ragam Pengaruh Jenis Kopi dan Lama Penggenangan terhadap Variabel Jumlah Akar Adventif (akar).....	125

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Skema kerangka pemikiran	9
2. Tata letak percobaan.....	25
3. Pengaruh jenis kopi dan lama penggenangan terhadap jumlah daun kopi pada penggenangan II.....	37
4. Pengaruh jenis kopi dan lama penggenangan terhadap kemuculan pucuk kopi pada penggenangan I.....	38
5. Pengaruh jenis kopi dan lama penggenangan terhadap diameter batang kopi pada penggenangan I	39
6. Pengaruh jenis kopi dan lama penggenangan terhadap diameter batang kopi pada penggenangan II.....	39
7. Pengaruh jenis kopi dan lama penggenangan terhadap <i>survival</i> tanaman kopi pada penggenangan I.....	43
8. Bobot segar akar (g) bibit kopi.....	46
9. Bobot kering akar (g) bibit kopi	49
10. Akar adventif: (a) akar adventif kopi Robusta, dan (b) akar adventif kopi Liberika	49
11. Grafis cara penggenangan bibit dengan air	126
12. Visualisasi jadwal penggenangan.....	126
13. Tanaman penelitian: (a) perlakuan penggenangan bibit kopi, dan (b) <i>recovery</i> bibit kopi	126
14. Kemuculan pucuk: (a) skor 1 (dorman) dan (b) skor 2 (tunas).....	127
15. Pemeliharaan: (a) pemberian pupuk urea, (b) pemberian fungisida, (c) penyiraman tanpa genangan, dan (d) pencabutan gulma	127
16. Pelaksanaan penelitian: (a) pengisian air di bak, (b) perlakuan penggenangan, (c) pengukuran tinggi tanaman (cm), dan (d) pengukuran diameter batang (mm)	128

17.	Variabel pengamatan: (a) pengambilan data kehijauan daun (unit) dan (b) pengovenan bobot tajuk dan akar (g)	128
18.	Bentuk bibit kopi: (a) kopi Liberika dan (b) kopi Robusta	129
19.	Pengaruh lama penggenangan terhadap pertumbuhan bibit kopi: (a) Liberika dan (b) Robusta.....	129
20.	Pengaruh lama penggenangan terhadap pertumbuhan bibit kopi: (a) Liberika dan (b) Robusta setelah pemulihan (<i>recovery</i>)	130

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanaman kopi (*Coffea* sp.) merupakan salah satu komoditas unggulan subsektor perkebunan yang memiliki peranan penting dalam perekonomian Indonesia. Kopi berkontribusi besar terhadap devisa melalui ekspor dan juga menjadi penopang utama kesejahteraan masyarakat pedesaan. Ekspor kopi Indonesia pada tahun 2022, mencapai sekitar 437,56 ribu ton dengan nilai 1,15 miliar USD (Pusdatin, 2022). Hal ini menunjukkan bahwa kopi tidak hanya bernilai ekonomis, tetapi juga memiliki peranan sosial yang strategis serta keberlanjutan usaha tani kopi sangat penting untuk terus ditingkatkan.

Produktivitas kopi Indonesia masih tergolong rendah, yaitu sekitar 817 kg/ha (BPS, 2021), jauh di bawah negara produsen utama seperti Vietnam dan Brazil yang masing-masing mencapai sekitar 2-3 ton/ha (Kustiari, 2007). Rendahnya produktivitas ini mencerminkan adanya ketidakefisienan dalam penggunaan lahan dan input produksi di tingkat petani. Menurut Ramadhan (2019), hasil panen kopi dipengaruhi oleh luas lahan, pemanfaatan pupuk, dan pengalaman petani. Faktor teknis dan pengelolaan usaha tani menjadi aspek penting dalam peningkatan hasil. Produksi kopi nasional didominasi oleh Robusta yang mencapai sekitar 81% dari total produksi kopi Indonesia, sedangkan sisanya disumbang oleh Arabika dan Liberika dalam jumlah yang jauh lebih kecil. Liberika meskipun kontribusinya terbatas memiliki potensi adaptasi pada kondisi lahan marjinal seperti gambut, sehingga pengembangannya menjadi penting untuk mendukung diversifikasi dan ketahanan produksi kopi nasional.

Spesies kopi yang paling banyak dibudidayakan secara komersial, Arabika (*Coffea arabica*) dikenal luas sebagai tanaman dataran tinggi yang tumbuh optimal pada ketinggian 1,200–1,950 m di atas permukaan laut (Unigarro *et al.*, 2025). Arabika sangat dihargai karena cita rasanya yang kompleks dan aroma yang khas, namun spesies ini diketahui lebih rentan terhadap perubahan iklim, hama, dan penyakit dibandingkan spesies kopi lainnya. Robusta banyak digunakan dalam industri kopi instan berkat profil rasanya yang kuat dan kandungan kafeinnya yang tinggi (Campuzano-Duque dan Blair, 2022). Spesies yang dibudidayakan, Liberika menonjol karena aromanya yang khas dan cita rasanya yang unik, sehingga membuka peluang diversifikasi produk (Yoon *et al.*, 2023). Hal tersebut sesuai dengan Evizal *et al.* (2021) bahwa menyoroti peran kopi Liberika dalam meningkatkan pendapatan petani. Pengembangan kopi secara lebih luas juga telah terbukti memperkuat perekonomian lokal (Pérez-Caselles *et al.*, 2020).

Kopi Liberika menunjukkan toleransi termal yang jauh lebih luas, mampu tumbuh subur di iklim yang lebih panas, lebih lembap, dan kurang musiman (Wild *et al.*, 2025). Seiring meningkatnya ancaman perubahan iklim terhadap produksi kopi global, dengan proyeksi bahwa hingga 50% lahan budidaya kopi yang saat ini layak dapat menjadi tidak produktif pada tahun 2050. Liberika semakin diakui sebagai kandidat unggulan untuk budidaya yang tahan iklim, berkat toleransi genetiknya terhadap suhu tinggi, hama, dan penyakit (Grüter *et al.*, 2022). Kegagalan Liberika sebagai tanaman budidaya global pada awal abad ke-20 disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk pemilihan bahan tanam yang tidak tepat untuk disebarluaskan secara global. Minat yang kembali tumbuh terhadap spesies varian Excelsa kini terlihat di seluruh rantai pasok kopi. Menurut Davis *et al.* (2022), varian Excelsa-nya, berpotensi menjadi strategi adaptasi iklim yang paling tidak disruptif, paling efisien dari segi biaya, dan paling berhasil bagi sektor kopi secara keseluruhan.

Praktik budidaya yakni faktor lingkungan yang menjadi salah satu penentu keberhasilan tanaman kopi. Kendala utama yang sering dihadapi adalah

penggenangan, terutama pada lahan yang rawan banjir dan lahan gambut. Kondisi genangan menyebabkan penurunan ketersediaan oksigen di sekitar perakaran, sehingga fungsi akar dalam menyerap air dan hara terganggu. Proses fisiologis tanaman tidak berjalan normal yang berdampak pada pertumbuhan vegetatif, seperti tinggi tanaman, jumlah daun, dan bobot kering (Hidayat dan Rahman, 2021). Perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh penggenangan terhadap pertumbuhan kopi.

Penelitian mengenai pengaruh penggenangan terhadap kopi masih terbatas. Penelitian sebagian besar yang ada lebih banyak berfokus pada Kopi Arabika, sedangkan informasi mengenai Kopi Liberika dan Robusta masih minim (Noviana, 2021). Kopi Liberika dan Robusta ini juga memiliki peranan penting dalam usaha tani masyarakat. Menurut Terceiro *et al.* (2019), faktor lingkungan lain seperti pohon penaung juga berpengaruh pada pertumbuhan kopi. Celah penelitian toleransi Kopi Liberika dan Robusta terhadap penggenangan, mengenai pengaruh durasi genangan sangat diperlukan.

Durasi penggenangan diduga memberikan dampak berbeda terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman. Semakin lama tanaman tergenang, semakin besar hambatan pertumbuhan yang dialami. Kopi Liberika, penggenangan dilaporkan dapat memengaruhi sistem perakaran yang berdampak pada kemampuan menyerap air dan hara (DaMatta, 2018). Kopi Robusta, penggenangan dapat menurunkan aktivitas fotosintesis serta mengurangi akumulasi biomassa (Rizki, 2020). Menurut Salimi (2021), kondisi tersebut dapat semakin buruk pada lahan gambut dengan tata air yang tidak stabil.

Ancaman penggenangan terhadap perkebunan kopi bukan sekadar persoalan teoritis, melainkan telah terjadi secara nyata di lapangan. Kejadian salah satu yang tercatat adalah bencana banjir pada 11 Mei 2024 di kawasan pegunungan Sumatera Barat, yang mengakibatkan kebun kopi berusia dua tahun yang sedang memasuki fase siap panen mengalami penggenangan dalam waktu yang cukup lama. Kejadian tersebut menyebabkan kerugian ekonomi yang signifikan bagi

petani setempat akibat kerusakan tanaman pada fase pertumbuhan vegetatif yang kritis (BNPB, 2024). Kondisi ini menunjukkan bahwa penggenangan merupakan salah satu faktor pembatas utama dalam budidaya kopi, terutama di wilayah dengan curah hujan tinggi dan drainase yang buruk (Striker dan Colmer, 2017). Pemahaman mendalam mengenai respons tanaman kopi terhadap durasi penggenangan menjadi sangat penting untuk dikaji lebih lanjut.

Penelitian ini menegaskan bahwa genangan dapat menghambat proses fotosintesis dan pertumbuhan vegetatif. Kondisi tergenang berdampak pada penurunan tinggi tanaman, jumlah daun, dan bobot kering (Hafif, 2024). Perbedaan respons antar varietas kopi terhadap cekaman lingkungan. Mengindikasikan bahwa toleransi kopi terhadap genangan sangat bervariasi tergantung jenisnya. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengetahui toleransi spesifik Kopi Liberika dan Robusta terhadap durasi penggenangan (Sseremba, 2021).

Penelitian ini bertujuan untuk memahami bagaimana durasi penggenangan memengaruhi pertumbuhan vegetatif dan respons fisiologis tanaman Kopi Liberika dan Robusta, yang penting dilakukan untuk menentukan batas toleransi tanaman terhadap stres air. Pemahaman yang lebih baik tentang dampak penggenangan, diharapkan dapat ditemukan strategi pengelolaan yang lebih efektif untuk meningkatkan produktivitas kedua jenis kopi tersebut. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan wawasan baru yang berguna bagi petani dalam mengelola kebun kopi mereka di daerah rawan genangan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- (1) Bagaimana pengaruh lama penggenangan terhadap pertumbuhan bibit tanaman Kopi Liberika dan Robusta?
- (2) Bagaimana kemampuan adaptasi jenis Kopi Robusta dan Liberika terhadap kondisi penggenangan yang bervariasi?

- (3) Berapa lama durasi penggenangan yang masih dapat ditoleransi oleh Kopi Liberika dan Robusta tanpa menurunkan pertumbuhan bibit secara signifikan?

1.3 Tujuan

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

- (1) Menganalisis pengaruh durasi penggenangan terhadap pertumbuhan bibit tanaman Kopi Liberika dan Robusta;
- (2) Mengidentifikasi kemampuan adaptasi fisiologis Kopi Liberika dan Robusta terhadap kondisi penggenangan yang berbeda;
- (3) Menentukan durasi penggenangan yang masih ditoleransi untuk mendukung pertumbuhan bibit Kopi Liberika dan Robusta di daerah rawan genangan.

1.4 Landasan Teori

Kopi (*Coffea* sp.) merupakan tanaman perkebunan yang bernilai ekonomi tinggi dan banyak dibudidayakan di daerah tropis. Kopi termasuk dalam famili *Rubiaceae* dengan beberapa spesies utama, yakni Arabika, Robusta, dan Liberika. Tanaman ini memiliki peranan penting dalam perekonomian karena selain menghasilkan produk dengan nilai jual tinggi juga melibatkan jutaan petani kecil dalam pengelolaannya. Morfologi kopi memiliki batang utama, cabang primer, dan cabang sekunder yang mendukung pertumbuhan vegetatif dan generatif (Pujaningrum dan Simanjuntak, 2023). Pemahaman mengenai karakteristik spesies kopi diperlukan karena setiap jenis memiliki tingkat adaptasi lingkungan yang berbeda.

Pertumbuhan vegetatif tanaman kopi meliputi pembentukan batang, cabang, daun, dan akar. Fase ini sangat menentukan produktivitas tanaman pada fase generatif berikutnya, karena kualitas bunga dan buah bergantung pada kondisi vegetatif. Faktor-faktor seperti cahaya, ketersediaan air, unsur hara, serta kondisi tanah sangat memengaruhi keberhasilan pertumbuhan. Indikator yang umum digunakan

dalam menilai pertumbuhan vegetatif antara lain tinggi tanaman, jumlah daun, dan bobot kering (Ardiyani, 2023). Indikator tersebut, respons tanaman terhadap perubahan lingkungan dapat dipelajari secara lebih mendalam.

Kondisi lingkungan memiliki peranan penting dalam menentukan keberhasilan budidaya kopi. Suhu, kelembaban, intensitas cahaya, dan ketersediaan air merupakan faktor utama yang mendukung proses metabolisme tanaman. Faktor salah satu tidak terpenuhi, maka akan mengganggu proses fotosintesis, transpirasi, serta penyerapan hara. Air merupakan salah satu faktor paling vital karena berperan dalam hampir seluruh aktivitas fisiologis tanaman. Kekurangan atau kelebihan air dapat mengakibatkan terganggunya pertumbuhan vegetatif kopi (Erdiansyah *et al.*, 2019). Manajemen lingkungan tumbuh menjadi bagian penting dalam usaha budidaya kopi yang berkelanjutan. Penggenangan (*waterlogging*) adalah kondisi tanah jenuh air sehingga suplai oksigen pada zona perakaran menjadi terbatas. Kekurangan oksigen akan mengganggu respirasi akar, yang berdampak pada penyerapan hara dan air. Laju fotosintesis menurun dan pertumbuhan vegetatif terhambat. Tanaman yang mengalami genangan dalam waktu lama biasanya menunjukkan gejala daun menguning, pertumbuhan lambat, hingga kematian pada kondisi ekstrim. Menurut Ferreira *et al.* (2017), respons tanaman terhadap penggenangan sangat bervariasi antar spesies dan dipengaruhi oleh kemampuan adaptasi fisiologisnya.

Kopi dikenal sebagai tanaman yang relatif peka terhadap kondisi penggenangan. Kondisi tergenang, kopi dapat mengalami gangguan pertumbuhan, ditunjukkan dengan berkurangnya tinggi tanaman, jumlah daun, dan biomassa. Penelitian menunjukkan bahwa beberapa jenis kopi memiliki toleransi lebih baik terhadap genangan, namun informasi mengenai Kopi Liberika dan Robusta masih terbatas. Menurut Anam *et al.* (2023), cekaman lingkungan yang dialami tanaman kopi berpengaruh langsung terhadap sistem fisiologis, termasuk aktivitas fotosintesis. Variasi genetik antarspesies kopi berpengaruh terhadap kemampuan bertahan pada cekaman air (Yustiningsih, 2019). Mengindikasikan pentingnya penelitian mengenai respons kopi terhadap durasi penggenangan.

Penggenangan merupakan salah satu faktor lingkungan yang dapat menghambat pertumbuhan vegetatif tanaman kopi. Indikator pertumbuhan seperti tinggi tanaman, jumlah daun, dan bobot kering menjadi parameter penting untuk mengukur pengaruh genangan. Penelitian yang membandingkan secara khusus respons Kopi Liberika dan Robusta terhadap durasi penggenangan masih jarang ditemukan. Menegaskan bahwa informasi mengenai toleransi tanaman kopi terhadap cekaman lingkungan dibutuhkan sebagai dasar pengembangan strategi budidaya (Kahpi, 2017). Penelitian ini penting untuk memberikan informasi spesifik bagi petani dalam mengelola kopi di lahan yang rawan genangan.

1.5 Kerangka Pemikiran

Kopi Liberika dan Robusta merupakan dua jenis kopi yang berperan penting dalam perekonomian karena permintaan pasarnya yang cukup tinggi. Mendukung produktivitas yang baik, diperlukan bibit yang sehat dengan pertumbuhan vegetatif optimal. Kondisi lingkungan yang kurang ideal seperti penggenangan air, sering menjadi hambatan. Hal ini menuntut adanya penelitian untuk mengetahui sejauh mana kedua jenis kopi mampu bertahan pada kondisi tergenang.

Kekurangan oksigen yang terjadi akibat penggenangan akan mengganggu aktivitas akar dalam menyerap air dan hara. Proses fisiologis tanaman tidak berjalan normal sehingga pertumbuhan vegetatif dapat terhambat. Gangguan ini biasanya terlihat dari pertumbuhan tinggi tanaman yang melambat, berkurangnya jumlah daun, serta menurunnya bobot kering tanaman. Perubahan terlihat dari indikator tersebut, kemampuan adaptasi tanaman kopi terhadap genangan dapat diketahui dengan lebih jelas.

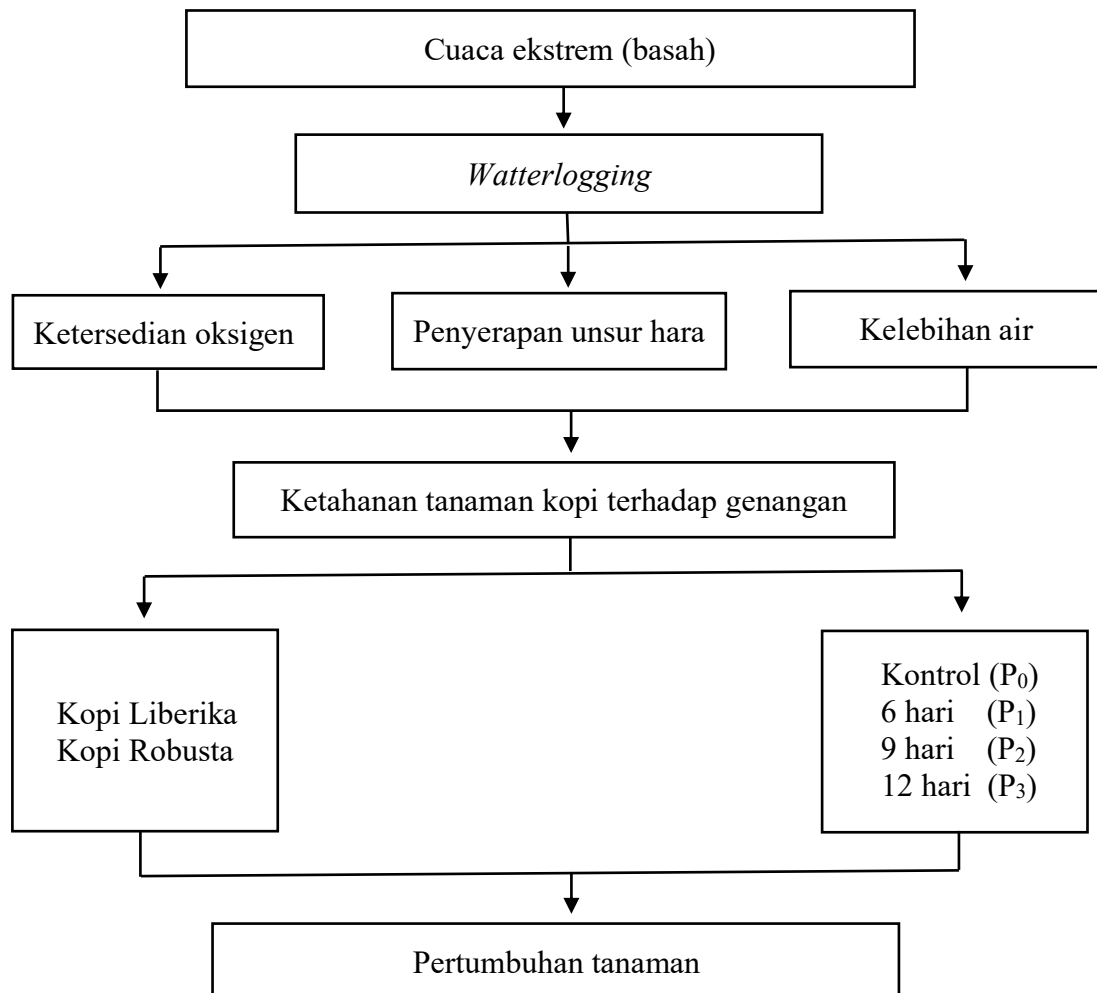
Perbedaan durasi penggenangan diperkirakan memberikan dampak yang berbeda pula pada pertumbuhan. Semakin lama tanaman tergenang, semakin besar tekanan yang diterima, meskipun tidak menutup kemungkinan adanya variasi respons antara jenis kopi yang berbeda. Kopi Liberika dan Robusta diduga memiliki

ketahanan yang berbeda terhadap kondisi cekaman air, sehingga penting untuk dibandingkan agar dapat diketahui varietas mana yang lebih toleran.

Penelitian mengenai durasi penggenangan sangat penting karena dapat memberikan gambaran mengenai batas toleransi tanaman kopi terhadap cekaman air. Melalui pengamatan indikator pertumbuhan vegetatif, seperti tinggi tanaman, jumlah daun, dan bobot kering, dapat diketahui sejauh mana pengaruh lama genangan terhadap perkembangan Kopi Liberika dan Robusta. Informasi ini dapat menjadi dasar dalam menentukan strategi budidaya pada lahan yang berisiko tergenang. Hasil pengamatan akan membantu membedakan respons adaptasi antar jenis kopi. Penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi ilmiah, tetapi juga manfaat praktis bagi petani.

Kerangka pemikiran penelitian ini dibangun atas dasar hubungan sebab-akibat antara kondisi penggenangan dan respons pertumbuhan vegetatif tanaman kopi. Penggenangan menyebabkan defisit oksigen di zona perakaran yang memicu perubahan fisiologis dan morfologis tanaman, mulai dari terhambatnya penyerapan hara hingga penurunan biomassa tanaman. Perbedaan respons antara Kopi Liberika dan Robusta terhadap variasi durasi penggenangan menjadi inti dari penelitian ini, dengan harapan dapat ditemukan jenis kopi yang lebih toleran sebagai rekomendasi budidaya di lahan rawan genangan.

Penelitian ini dilakukan untuk menguji pengaruh durasi penggenangan kontrol, 6, 9, dan 12 hari terhadap pertumbuhan vegetatif Kopi Liberika dan Robusta di polybag. Data hasil pengamatan akan digunakan untuk mengetahui durasi penggenangan yang paling merugikan bagi pertumbuhan kedua jenis kopi. Kerangka berpikir ini disajikan pada Gambar 1, yang menunjukkan alur hubungan antara kondisi penggenangan, keterbatasan oksigen, gangguan penyerapan hara, hingga berdampak pada pertumbuhan vegetatif tanaman kopi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang berguna bagi petani kopi dalam mengelola tanaman mereka secara lebih efektif.



Gambar 1. Skema kerangka pemikiran.

1.6 Hipotesis

Adapun hipotesis pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- (1) Terdapat pengaruh nyata durasi penggenangan terhadap pertumbuhan bibit tanaman Kopi Liberika dan Robusta;
- (2) Kopi Liberika dan Robusta menunjukkan kemampuan adaptasi yang berbeda terhadap durasi penggenangan yang bervariasi;
- (3) Terdapat interaksi antara jenis Kopi Liberika dan Robusta dengan durasi penggenangan terhadap pertumbuhan bibit tanaman.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Syarat Tumbuh Kopi

Kopi (*Coffea* sp.) merupakan tanaman perkebunan tropis yang memiliki persyaratan tumbuh spesifik untuk mencapai produktivitas optimal. Tanaman ini tumbuh baik pada ketinggian 400–2,000 mdpl, tergantung spesiesnya, yaitu kopi Arabika menghendaki ketinggian 700–2,000 mdpl dengan suhu 15–24°C, sedangkan kopi Robusta lebih toleran pada dataran rendah hingga menengah dengan suhu 24–30°C. Curah hujan yang ideal berkisar antara 1,500–3,000 mm per tahun dengan distribusi merata dan adanya periode kering singkat yang diperlukan untuk merangsang pembungaan. Menurut Castanheira *et al.* (2022), kondisi tanah merupakan faktor kritis dalam pertumbuhan kopi, khususnya pada lapisan atas (0–30 cm) yang menjadi zona utama aktivitas akar.

Tanaman kopi menghendaki tanah yang subur, gembur, berdrainase baik, dengan pH 5,5–6,5, serta kaya bahan organik, yaitu pada kondisi tersebut ketersediaan unsur hara makro seperti nitrogen, fosfor, dan kalium berada dalam kondisi optimal untuk diserap tanaman. Sifat fisika tanah seperti berat isi yang rendah, porositas tinggi, dan struktur remah turut mendukung penetrasi akar tunggang serta kelancaran aerasi dan pergerakan air di dalam profil tanah, sehingga penyerapan hara dapat berlangsung lebih efisien. Sifat fisika dan kimia, aktivitas biologi tanah juga memegang peranan penting. Menurut Castanheira *et al.* (2022), keberadaan mikroorganisme rhizosfer penghasil hormon *Indole Acetic Acid* (IAA) terbukti mampu memacu pertumbuhan dan proliferasi akar sehingga secara tidak langsung mendukung pemenuhan syarat tumbuh tanaman kopi secara berkelanjutan.

2.2 Kopi Liberika

Kopi Liberika termasuk dalam Kingdom *Plantae*, Divisi *Spermatophyta*, Kelas *Dicotyledoneae*, Ordo *Rubiales*, Famili *Rubiaceae*, Genus *Coffea*, dan Spesies *Coffea liberica*. Tanaman ini merupakan salah satu spesies dalam genus *Coffea* yang memiliki karakteristik genetik unik dan berbeda dari spesies lainnya seperti Arabika dan Robusta. Kopi Liberika umumnya ditemukan di kawasan tropis dan memiliki kemampuan adaptasi yang baik terhadap kondisi lingkungan yang kurang ideal. Menurut Randriani dan Dani (2018), meskipun belum sepopuler Arabika dan Robusta, Kopi Liberika memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai alternatif komoditas dalam industri kopi global.

Kopi Liberika memiliki morfologi khas, terutama terlihat dari ukuran daunnya yang relatif besar dan tebal. Bentuk daunnya cenderung oval hingga lanset dengan ujung meruncing, menjadikannya berbeda dari varietas kopi lainnya. Ukuran daun kopi Liberika dapat mencapai lebar hingga 30 cm, mengikuti postur pohon yang bisa tumbuh sangat tinggi, hingga 17-20 m. Menurut Hanifah *et al.* (2022), buah Kopi Liberika juga berukuran besar dengan kulit tebal dan berbentuk lonjong, sedangkan bijinya memiliki bentuk asimetris dan ukuran fisik terbesar dibandingkan jenis kopi lain. Tanaman Kopi Liberika memiliki daun dengan karakteristik bentuk yang lonjong memanjang, permukaan yang tebal, dan bagian ujung yang meruncing, menjadikannya mudah dibedakan dari jenis kopi lainnya. Morfologi yang unik ini berkontribusi pada adaptasi tanaman Kopi Liberika di berbagai kondisi lingkungan, termasuk lahan gambut.

Keragaman morfologi Kopi Liberika terlihat pada karakter kuantitatif seperti ukuran daun, buah, dan biji kopi yang bervariasi antar populasi. Ukuran buah dan tebal kulitnya cenderung berbanding lurus dengan besar biji, sehingga dapat dijadikan sebagai parameter prediksi produktivitas tanaman. Bentuk biji yang asimetris dan permukaan yang tidak rata juga menjadi ciri khas yang membedakan Kopi Liberika dari spesies lain. Morfologi batang yang kokoh dan bercabang tidak teratur mendukung pertumbuhan tanaman yang tinggi dan kuat.

Menurut Schmidt *et al.* (2023), pemahaman tentang karakter morfologi ini penting untuk mendukung pengembangan varietas unggul dan budidaya Kopi Liberika secara berkelanjutan.

Pertumbuhan Kopi Liberika cenderung maksimal pada daerah dengan ketinggian 0–900 m di atas permukaan laut, terutama bila suhu lingkungan hingga 21–30°C, yang sesuai dengan karakteristik fisiologis tanaman tersebut. Curah hujan yang ideal untuk pertumbuhan kopi ini adalah antara 1,250 hingga 3,500 mm per tahun dengan masa bulan kering sekitar tiga bulan, bahwa curah hujan kurang dari 60 mm per bulan. Tanah yang ideal untuk budidaya Kopi Liberika biasanya memiliki kemiringan kurang dari 30%, dengan kedalaman tanah efektif lebih dari satu meter. Tanah yang paling cocok untuk pertumbuhan tanaman kopi adalah tanah bertekstur lempung dengan lapisan atas yang gembur dan kandungan bahan organik minimal sekitar 3,5% (Balittri, 2017). Menurut Busyra *et al.* (2021), kondisi ini mendukung pertumbuhan akar secara optimal serta penyerapan unsur hara yang efektif. Ideal pH tanah berkisar antara 4,5 hingga 6,5 dengan Kapasitas Tukar Kation (KTK) lebih dari 15 me/100 g tanah dan kejenuhan basa di atas 35%. Kondisi ini mendukung pertumbuhan akar dan penyerapan unsur hara yang optimal bagi tanaman Kopi Liberika.

Pertumbuhan Kopi Liberika tidak hanya ditentukan oleh kondisi iklim dan tanah, tetapi juga dipengaruhi oleh intensitas cahaya dan kelembapan lingkungan sekitarnya. Tanaman ini memiliki fleksibilitas yang cukup baik, yakni mampu tumbuh di bawah naungan pohon lain maupun di lahan terbuka selama ketersediaan cahaya mencukupi kebutuhan fisiologisnya. Curah hujan yang terdistribusi merata sepanjang tahun serta kelembapan udara yang relatif stabil menjadi faktor pendukung penting dalam proses pembungaan hingga pembentukan buah. Menurut Rintiasti *et al.* (2018), Kopi Liberika memiliki sistem perakaran ganda berupa akar tunggang dan akar serabut, yang menjadikannya lebih adaptif terhadap berbagai tipe tanah, termasuk lahan gambut yang umumnya kurang cocok bagi tanaman kopi jenis lain. Karakteristik tersebut,

pengelolaan lingkungan tumbuh yang tepat dan terencana menjadi hal yang tidak dapat diabaikan dalam upaya meningkatkan produktivitas serta menjaga kualitas hasil panen Kopi Liberika.

Kopi Liberika semakin diminati oleh para petani karena kemampuannya beradaptasi dengan berbagai kondisi lingkungan yang berbeda. Jenis kopi ini mampu tumbuh secara optimal di dataran rendah hingga menengah, dan memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap suhu tinggi jika dibandingkan dengan varietas kopi lainnya. Proses budidaya Kopi Liberika meliputi pemilihan bibit unggul, pengelolaan tanah, dan pemeliharaan tanaman yang baik untuk memastikan hasil yang optimal. Kopi Liberika dikenal memiliki ketahanan terhadap beberapa hama dan penyakit, sehingga mengurangi kebutuhan akan pestisida. Menurut Lim *et al.* (2022), meningkatnya minat konsumen terhadap variasi cita rasa kopi mendorong para petani untuk mengembangkan Kopi Liberika, yang memiliki potensi besar sebagai komoditas unggulan dengan nilai ekonomi yang menjanjikan.

2.3 Kopi Robusta

Kopi Robusta tergolong Famili *Rubiaceae*, Genus *Coffea*, dan Spesies *Coffea canephora* L. Tanaman ini merupakan salah satu spesies penting dalam genus *Coffea* yang memiliki karakteristik berbeda dibandingkan Arabika dan Liberika. Robusta berkembang baik di daerah tropis pada ketinggian rendah hingga sedang serta memiliki ketahanan lebih tinggi terhadap hama dan kondisi lingkungan yang kurang ideal. Menurut Hidayat *et al.* (2023), kandungan kafein yang lebih tinggi dan produktivitas yang besar menjadikan Kopi Robusta memiliki nilai ekonomi penting dalam perdagangan kopi internasional.

Tanaman Kopi Robusta memiliki bentuk fisik yang unik dan berbeda dibandingkan dengan jenis kopi lainnya. Tanaman ini dapat tumbuh dengan tinggi antara 2 hingga 10 m, memiliki batang yang tegak serta cabang yang menyebar. Daunnya berwarna hijau gelap, berbentuk oval dengan permukaan mengkilap, tersusun berhadapan. Bunga Kopi Robusta memiliki warna putih dan

mengeluarkan aroma harum, umumnya tumbuh berkelompok di area pertemuan antara daun dan batang. Buah Robusta berbentuk bulat, berwarna hijau saat muda dan merah saat matang, dengan dua biji kopi di dalamnya. Akar tanaman ini kuat dan mampu menjangkau kedalaman yang cukup, sehingga dapat tumbuh di tanah kurang subur. Menurut Siahaan *et al.* (2025), adaptasi morfologi yang dimiliki Kopi Robusta membuat tanaman ini sangat sesuai untuk dibudidayakan di daerah tropis dengan kondisi iklim yang cenderung panas dan lembap.

Kopi Robusta memerlukan kondisi lingkungan spesifik meliputi ketinggian, suhu, curah hujan, dan jenis tanah yang sesuai, untuk mendukung pertumbuhan dan kualitas hasil yang optimal. Tanaman ini lebih cocok tumbuh di iklim tropis dengan suhu ideal antara 24 hingga 30°C, karena suhu yang lebih rendah dapat menghambat pertumbuhannya. Curah hujan yang dibutuhkan berkisar antara 1,500 hingga 2,500 mm per tahun dengan distribusi yang merata sepanjang tahun agar tanaman tetap mendapatkan pasokan air yang cukup. Kopi Robusta biasanya tumbuh pada ketinggian lebih rendah, di bawah 800 m di atas permukaan laut, berbeda dengan Kopi Arabika yang lebih menyukai ketinggian lebih tinggi. Menurut Abdurrahman *et al.* (2021), kondisi kesuburan tanah juga memegang peranan penting, karena tanah yang mengandung banyak bahan organik akan membantu perkembangan akar yang kuat dan mendukung pertumbuhan tanaman secara maksimal.

Minat petani terhadap budidaya Kopi Robusta terus meningkat karena tanaman ini mampu menyesuaikan diri dengan beragam kondisi lingkungan. Tanaman ini tumbuh dengan baik pada dataran tinggi yang memiliki suhu antara 18 hingga 26°C dan membutuhkan tanah yang kaya akan bahan organik agar pertumbuhannya optimal. Tahapan budidaya diawali dengan pemilihan bibit unggul dan persiapan lahan yang tepat, termasuk pengolahan tanah serta penanaman dengan jarak tanam yang ideal. Pemberian pupuk secara berkala sangat diperlukan untuk mendukung perkembangan tanaman dan meningkatkan

hasil panen. Menurut Mawardi *et al.* (2019), perawatan yang teratur, seperti memberikan air secara cukup dan melakukan pengendalian hama dengan tepat, sangat penting untuk menjaga kesehatan tanaman serta mendukung peningkatan hasil panen.

Tanaman Kopi Robusta umumnya mulai menghasilkan buah yang siap dipanen setelah mencapai usia antara 2 hingga 5 tahun, tergantung pada faktor lingkungan dan cara budidaya yang digunakan. Menurut BSIP Perkebunan (2023), panen biasanya dilakukan secara manual dengan cara memilih hanya buah yang benar-benar matang agar mutu biji kopi tetap terjaga. Kegiatan panen, biji kopi harus melalui serangkaian proses pengolahan yang tepat, seperti sortasi, pengupasan kulit, fermentasi, pencucian, dan pengeringan, agar mutu kopi tetap terjaga. Penerapan teknik budidaya dan perawatan yang baik, produktivitas tanaman Kopi Robusta dapat meningkat secara signifikan, memberikan manfaat ekonomi yang besar bagi petani sekaligus mendukung keberlanjutan industri kopi di Indonesia.

Budidaya Kopi Robusta semakin populer di kalangan petani karena kemampuannya beradaptasi dengan beragam kondisi lingkungan. Tanaman ini berkembang dengan baik pada ketinggian rendah hingga menengah, dengan suhu ideal sekitar 21 hingga 24°C dan membutuhkan curah hujan tahunan antara 1,250 sampai 2,500 mm agar pertumbuhannya maksimal. Penanaman diawali dengan pemilihan bibit unggul seperti Klon BP 308 dan Klon BP 42 yang dikenal tahan terhadap penyakit serta memiliki produktivitas tinggi. Menurut Rahayu *et al.* (2019), penyiapan lahan melibatkan penyesuaian pH tanah agar sesuai untuk pertumbuhan Kopi Robusta, serta pemberian pupuk organik untuk kesuburan dan mendukung perkembangan tanaman. Perawatan rutin seperti penyiraman dan pengendalian hama juga sangat penting untuk menjaga kesehatan tanaman.

Tanaman Kopi Robusta mulai dapat dipanen setelah berumur sekitar 2,5 hingga 3 tahun secara manual agar hanya buah yang matang sempurna yang dipilih, dengan proses panen berlangsung selama 4–5 bulan. Menurut Prasetyo *et al.* (2022), setelah dipanen, biji kopi perlu menjalani pengolahan berupa pelepasan kulit luar

dan pengeringan untuk menjaga kualitasnya. Teknik budidaya dan perawatan yang optimal, hasil panen dapat mencapai sekitar 1-2 ton/ha, sehingga meningkatkan pendapatan petani dan mendukung keberlanjutan sektor kopi di Indonesia.

2.4 Penggenangan

Penggenangan pada lahan pertanaman kopi dapat disebabkan oleh berbagai faktor, baik alami maupun akibat aktivitas manusia. Penyebab utama adalah curah hujan yang tinggi dan terjadi dalam waktu lama, terutama pada lahan yang sulit menyerap air. Kondisi lahan yang datar atau cekung juga membuat air hujan tidak bisa mengalir dengan lancar, sehingga air menumpuk di permukaan tanah. Tanah yang banyak mengandung liat cenderung lambat dalam meloloskan air ke lapisan yang lebih dalam, sehingga zona perakaran mudah menjadi jenuh air (Tian *et al.*, 2021). Sistem pengelolaan, sistem drainase yang buruk atau tidak adanya saluran pembuangan air yang memadai dapat memperparah terjadinya genangan. Lahan gambut menjadi salah satu contoh lahan yang paling rentan tergenang karena kemampuannya menyimpan air sangat tinggi, namun kemampuan drainase alaminya sangat terbatas. Penyebab penggenangan merupakan langkah awal yang penting dalam merancang pengelolaan air yang baik pada budidaya kopi.

Oksigen memiliki peranan penting dalam pertumbuhan tanaman kopi karena berfungsi dalam proses respirasi akar yang mendukung aktivitas metabolisme sel. Jumlah air di dalam tanah harus dijaga agar tidak berlebihan, sehingga oksigen yang dibutuhkan akar tetap tersedia. Tanah yang terlalu jenuh air atau mengalami penggenangan dapat menurunkan kadar oksigen pada pori-pori tanah, sehingga menghambat fungsi akar (Jacobsen *et al.*, 2020). Keterjadian kondisi ini, ruang udara dalam tanah yang biasanya berisi oksigen akan terisi air dan menyebabkan stres pada akar. Keadaan tersebut berimplikasi pada menurunnya kemampuan akar dalam mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman. Penggenangan sering menjadi faktor pembatas dalam budidaya kopi pada lahan tropis.

Penggenangan tanah dapat memengaruhi pertumbuhan tanaman kopi secara signifikan karena berhubungan langsung dengan ketersediaan oksigen dan nutrisi. Tanah ketika terendam air, respirasi akar terganggu dan tanaman kesulitan menyerap unsur hara yang penting bagi pertumbuhan. Akar yang kekurangan oksigen cenderung mengalami kerusakan, akumulasi senyawa beracun seperti etilen dapat memperburuk kondisi fisiologis tanaman (León-Burgos *et al.*, 2022). Situasi ini berpotensi menurunkan hasil panen sekaligus kualitas biji kopi, sehingga dengan menjaga keseimbangan tata air menjadi salah satu aspek penting dalam budidaya.

Drainase yang baik dan yang tepat dapat membantu mengurangi risiko genangan. Menurut Almeida *et al.* (2018), kondisi drainase yang dikelola dengan benar mampu menjaga kesehatan akar dan meningkatkan produktivitas tanaman kopi. Tanaman kopi yang terpapar genangan berkepanjangan berisiko mengalami pembusukan akar, sehingga mengurangi vitalitas tanaman. Gejala stres juga dapat muncul berupa daun menguning, pertumbuhan terhambat, serta penurunan kualitas hasil panen. Pemahaman mengenai mekanisme pengaruh penggenangan terhadap kopi sangat diperlukan dalam upaya meningkatkan ketahanan tanaman.

Periode penggenangan yang berbeda dapat menimbulkan variasi respons fisiologis dan biokimia pada tanaman. Respons tersebut dapat diamati melalui perubahan fluoresensi klorofil, kadar prolin, serta aktivitas enzim antioksidan yang berfungsi melindungi sel dari kerusakan oksidatif. Genangan menegaskan bahwa tidak hanya berdampak pada aspek morfologi akar, tetapi juga memengaruhi mekanisme fisiologis internal tanaman. Kondisi genangan pada kopi yang berulang berpotensi melemahkan sistem pertahanan fisiologis sehingga tanaman menjadi lebih rentan terhadap stres lingkungan lain. Menurut Chávez-Arias *et al.* (2019), temuan ini mendukung pentingnya manajemen air yang tepat dalam budidaya kopi agar dampak negatif penggenangan dapat diminimalisir.

2.4.1 Respons Tanaman terhadap Penggenangan

Tanaman padi (*Oryza sativa*) merupakan contoh tanaman yang memiliki kemampuan adaptasi terhadap genangan. Adaptasi ini terlihat dari pembentukan akar yang dangkal dan melebar untuk memaksimalkan penyerapan oksigen, serta peningkatan produksi etilen yang membantu pertumbuhan jaringan baru (Muttaqien *et al.*, 2018). Sistem pengelolaan air secara terputus-putus terbukti dapat meningkatkan hasil padi, sedangkan kapasitas lapang justru menurunkan pertumbuhan. Strategi pengairan berperan besar dalam menentukan produktivitas tanaman padi pada lahan tergenang.

Tanaman kopi justru sangat rentan terhadap kondisi penggenangan meskipun hanya berlangsung dalam waktu singkat. Kejadian cuaca ekstrem seperti banjir tiba-tiba, kopi jauh lebih mudah mengalami kerusakan akar akibat kekurangan oksigen dibandingkan padi yang sudah memiliki mekanisme adaptasi khusus. Kondisi tersebut secara langsung berdampak pada penurunan kualitas maupun kuantitas biji kopi yang dihasilkan (Putri *et al.*, 2021), sehingga cekaman air menjadi salah satu faktor pembatas yang perlu mendapat perhatian serius dalam budidaya kopi.

Tanaman kopi termasuk Liberika dan Robusta, memiliki respons beragam terhadap genangan. Pengurangan oksigen di sekitar akar menghambat respirasi dan penyerapan hara, sehingga tanaman harus beradaptasi. Pembentukan akar dangkal serta peningkatan produksi antioksidan untuk melawan stres oksidatif adalah salah satu bentuk adaptasi. Tanaman juga dapat meningkatkan laju transpirasi untuk membuang kelebihan air. Menurut Rakocovic *et al.* (2022), mekanisme ini membantu kopi tetap bertahan dalam kondisi kurang ideal, meskipun dampaknya terhadap hasil panen masih signifikan. Respons-respons tersebut menjadi dasar penting untuk memahami perbedaan toleransi antar spesies kopi.

2.4.2 Dampak Penggenangan terhadap Sifat Tanah dan Fisiologi Tanaman

Penggenangan menyebabkan perubahan mendasar pada kondisi tanah, yakni beralihnya lingkungan perakaran dari kondisi aerob menjadi anaerob. Kondisi normal, oksigen tersedia cukup di pori-pori tanah untuk mendukung respirasi akar dan aktivitas mikroorganisme aerobik (Ponnamperuma, 1984). Tanah tergenang ketika, seluruh pori-pori tanah terisi air sehingga suplai oksigen terhenti dan kondisi anaerob terbentuk hanya dalam beberapa jam saja (Voesenek dan Bailey-Serres, 2015). Laju difusi oksigen dalam air diketahui sekitar 10,000 kali lebih lambat dibandingkan di udara, sehingga oksigen yang tersisa di tanah akan habis dengan sangat cepat akibat aktivitas respirasi akar dan mikroorganisme (Striker, 2012).

Peralihan dari kondisi aerob ke anaerob memicu serangkaian perubahan kimia tanah yang merugikan tanaman. Mikroorganisme tanah yang semula bersifat aerobik beralih menjadi anaerobik dan menggunakan nitrat (NO_3^-), mangan (Mn^{4+}), besi (Fe^{3+}), dan sulfat (SO_4^{2-}) sebagai akseptor elektron pengganti oksigen, yang menghasilkan akumulasi senyawa toksik seperti Fe^{2+} , Mn^{2+} , dan H_2S di zona perakaran (Ponnamperuma, 1984). Penurunan dapat terjadi secara potensial redoks tanah secara drastis dari kisaran +400 mV pada kondisi aerob menjadi di bawah -200 mV pada kondisi anaerob penuh, yang semakin memperburuk ketersediaan unsur hara bagi tanaman (Striker, 2012). Akumulasi senyawa toksik tersebut secara langsung merusak membran sel akar, menghambat penyerapan air dan unsur hara, serta menyebabkan penurunan aktivitas enzim-enzim yang berperan dalam metabolisme tanaman (Voesenek dan Bailey-Serres, 2015).

Kondisi anaerob akibat penggenangan berdampak langsung pada perubahan fisiologis tanaman kopi. Berkurangnya ketersediaan oksigen di rizosfer menyebabkan penurunan laju pertukaran gas daun, laju transpor elektron, dan pemadaman fotokimia pada tanaman Kopi Robusta (Pinheiro *et al.*, 2020). Kopi Arabika pada penggenangan terbukti menurunkan total biomassa kering, luas

daun total, dan jumlah daun seiring bertambahnya durasi penggenangan (Unigarro *et al.*, 2022). Kondisi hipoksia yang berkepanjangan memaksa akar beralih ke respirasi anaerobik yang melemahkan proses respirasi dan meningkatkan produksi etilen (Xu, 2025). Akumulasi etilen yang berlebihan selanjutnya mengganggu fungsi fisiologis penting tanaman sehingga pertumbuhan vegetatif terhambat secara keseluruhan. Kondisi anaerob juga memicu akumulasi senyawa beracun seperti etanol dan asetaldehida yang merusak membran sel akar sehingga kemampuan penyerapan air dan unsur hara semakin menurun. Dampak keseluruhan dari kondisi tersebut tercermin dari penurunan indikator pertumbuhan vegetatif seperti tinggi tanaman, kehijauan daun, dan biomassa tanaman yang semakin nyata seiring bertambahnya durasi penggenangan.

Tingkat seluler, perubahan dari aerob ke anaerob memaksa akar beralih dari respirasi aerobik menjadi fermentasi anaerobik untuk mempertahankan produksi energi. Fermentasi anaerobik jauh kurang efisien dibandingkan respirasi aerobik, sehingga energi yang tersedia untuk pertumbuhan dan fungsi sel menjadi sangat terbatas (Kozlowski, 1997). Fermentasi anaerobik juga menghasilkan akumulasi etanol dan asetaldehida yang bersifat toksik bagi sel tanaman, yang semakin memperparah kerusakan jaringan akar dan menghambat pembelahan serta pemanjangan sel (Striker, 2012). Akibatnya pertumbuhan vegetatif tanaman kopi mengalami perlambatan yang signifikan, yang tercermin dari terhambatnya pembentukan daun baru, penurunan tinggi tanaman, serta berkurangnya diameter batang selama periode penggenangan berlangsung (Unigarro *et al.*, 2022).

2.4.3 *Waterlogging* dan Pengaruhnya terhadap Tanaman Kopi

Waterlogging atau penggenangan merupakan kondisi terendamnya tanah dalam waktu lama sehingga menciptakan lingkungan anaerobik. Kondisi pada kopi ini sangat berbahaya karena akar tidak memperoleh oksigen yang cukup untuk respirasi. Jaringan akar dapat rusak, penyerapan hara terhambat, dan pertumbuhan

vegetatif melambat (Eliyin *et al.*, 2025). Senyawa beracun seperti etilen juga dapat terakumulasi, mengganggu pembentukan akar dan daun baru. Meminimalkan untuk dampak buruk tersebut, pemangkasan rutin dan pemupukan yang tepat diperlukan guna menjaga kesehatan tanaman.

Dampak *waterlogging* pada kopi juga terlihat dari perubahan morfologi tanaman. Daun yang semula hijau dapat menguning, rontok, atau bahkan menyebabkan tanaman kerdil dan tidak berbunga. Akar yang terendam air berpotensi mengalami pembusukan, sehingga kemampuan menyerap air dan hara semakin berkurang. Menurut Murtiningrum *et al.*, (2018), sistem drainase dapat membantu mengurangi risiko kerusakan akibat genangan. Membuktikan bahwa manajemen air merupakan salah satu faktor kunci dalam budidaya kopi di lahan rawan banjir.

Stres air menjadi faktor lingkungan yang sangat memengaruhi pertumbuhan kopi, termasuk Liberika dan Robusta. Kekurangan air menurunkan proses fisiologis penting seperti fotosintesis dan respirasi. Kopi Liberika diketahui memiliki ketahanan relatif lebih baik pada kondisi kurang optimal dibandingkan Robusta. Adaptasi tanaman meliputi pengurangan kehilangan air melalui daun dan pengembangan akar lebih dalam untuk menjangkau air tanah (Borjas *et al.*, 2022). Kekeringan dapat memicu produksi senyawa sekunder yang meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres. Informasi mengenai toleransi spesifik Kopi Liberika dan Robusta terhadap lama genangan masih terbatas, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut.

2.4.4 Morfologi Akar pada Kondisi Tergenang

Penggenangan pertama kali merusak sistem perakaran tanaman, yang berdampak pada terganggunya penyerapan air dan unsur hara secara keseluruhan. Sebagai respons adaptif, tanaman membentuk akar adventif dan aerenkim sebagai strategi utama untuk bertahan dalam kondisi tergenang (Yamauchi *et al.*, 2018). Akar adventif yang terbentuk di bagian batang bawah berfungsi menggantikan peran akar primer yang mengalami kerusakan akibat hipoksia, sehingga tanaman masih

dapat menyerap air dan unsur hara meskipun dalam kondisi tergenang (Yamauchi *et al.*, 2018). Akar adventif, aerenkim, dan ruas batang merupakan struktur target utama dalam adaptasi tanaman terhadap penggenangan, bahwa tanaman merespons dengan mengatur struktur morfologinya, fotosintesis, respirasi, metabolisme energi, dan biosintesis hormon endogen (Xu, 2025).

Sifat morfologi dan anatomi akar sangat menentukan pertumbuhan dan fungsi akar di tanah tergenang yang anoksik. Peningkatan jumlah akar adventif yang baru muncul dapat mengkompensasi, setidaknya sebagian, penghambatan pertumbuhan atau bahkan kematian bagian distal akar yang terjadi saat penggenangan berlangsung (Yamauchi *et al.*, 2018). Aerenkim merupakan jaringan dengan ruang udara besar yang terbentuk di korteks akar akibat kematian sel secara terprogram *programmed cell death* (PCD), yang berfungsi sebagai saluran difusi oksigen dari tajuk ke ujung akar sehingga membantu mempertahankan respirasi aerobik pada jaringan yang tergenang (Geng *et al.*, 2023). Pembentukan aerenkim terus meningkat seiring lamanya penggenangan, namun penggenangan yang berlebihan justru dapat menyebabkan pembusukan jaringan, pengurangan panjang akar, dan degradasi jaringan aerasi itu sendiri (Xu, 2025).

2.4.5 Mekanisme Adaptasi Tanaman terhadap Penggenangan

Tanaman telah mengembangkan berbagai mekanisme adaptasi fisiologis dan biokimia untuk bertahan dalam kondisi penggenangan. Fitohormon etilen berperan penting sebagai faktor regulasi dalam toleransi tanaman terhadap penggenangan, bahwa biosintesis dan transduksi sinyal etilen memberikan kontribusi yang tidak tergantikan dalam memodulasi mekanisme adaptasi tanaman pada kondisi tergenang, termasuk dalam regulasi mekanisme energi, adaptasi morfologis, regulasi ROS, dan interaksi dengan fitohormon lainnya (Chen *et al.*, 2024). Etilen yang terakumulasi di jaringan tanaman yang tergenang selanjutnya

menginduksi pembentukan aerenkim dan akar adventif, serta mendorong fermentasi etanol sebagai jalur alternatif produksi energi dalam kondisi anaerob (Geng *et al.*, 2023).

Tanaman yang toleran terhadap cekaman penggenangan juga mengembangkan mekanisme pertahanan biokimia yang kompleks untuk mengatasi kerusakan akibat kondisi hipoksia. Kondisi cekaman penggenangan, tanaman mengandalkan sistem enzim antioksidan seperti superoksida dismutase (SOD), peroksidase (POD), dan katalase (CAT) untuk menjaga keseimbangan dinamis spesies oksigen reaktif (ROS), sehingga mengurangi tingkat kerusakan oksidatif pada jaringan tanaman (Pan *et al.*, 2021). Tanaman mengalami dua perubahan mendasar selama penggenangan, yakni peningkatan akumulasi ROS dan peningkatan kadar hormon etilen, bahwa tanaman yang toleran terhadap penggenangan memanfaatkan perubahan kadar O₂, ROS, dan etilen sebagai sinyal untuk menginduksi serangkaian proses adaptif guna mempertahankan kelangsungan hidup sel-selnya (Zheng *et al.*, 2023). Interaksi antara sistem antioksidan dan regulasi hormonal ini menjadi kunci utama yang membedakan tanaman toleran dari tanaman yang rentan terhadap cekaman penggenangan (Chen *et al.*, 2024).

Biologis akar merupakan organ pertama yang mengalami dampak langsung akibat penggenangan, yaitu sistem perakaran menghadapi cekaman hipoksia yang mengakibatkan perubahan fenotipik signifikan, kerusakan jaringan, dan retardasi pertumbuhan (Sasidharan *et al.*, 2024). Mode respirasi sel akar secara bertahap beralih dari aerobik menjadi anaerobik, dan produk respirasi anaerobik berupa etanol, asetaldehida, dan asam laktat terakumulasi dalam jumlah besar di sel akar sehingga menyebabkan kematian sel akar dan perubahan warna akar primer menjadi coklat hingga kehitaman. Kematian bulu-bulu akar sebagai organ utama penyerapan air dan unsur hara turut terjadi akibat akumulasi produk anaerobik tersebut, yang secara langsung menurunkan vigor sistem perakaran secara keseluruhan. Menurut Ejiri *et al.* (2021), tanaman membentuk barrier radial oxygen loss (ROL) pada eksodermis akar untuk mencegah kebocoran oksigen dan masuknya senyawa fitotoksik ke dalam jaringan akar.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2025 sampai Januari 2026 yang bertempat di Laboratorium Lapang Terpadu (LTPD), Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

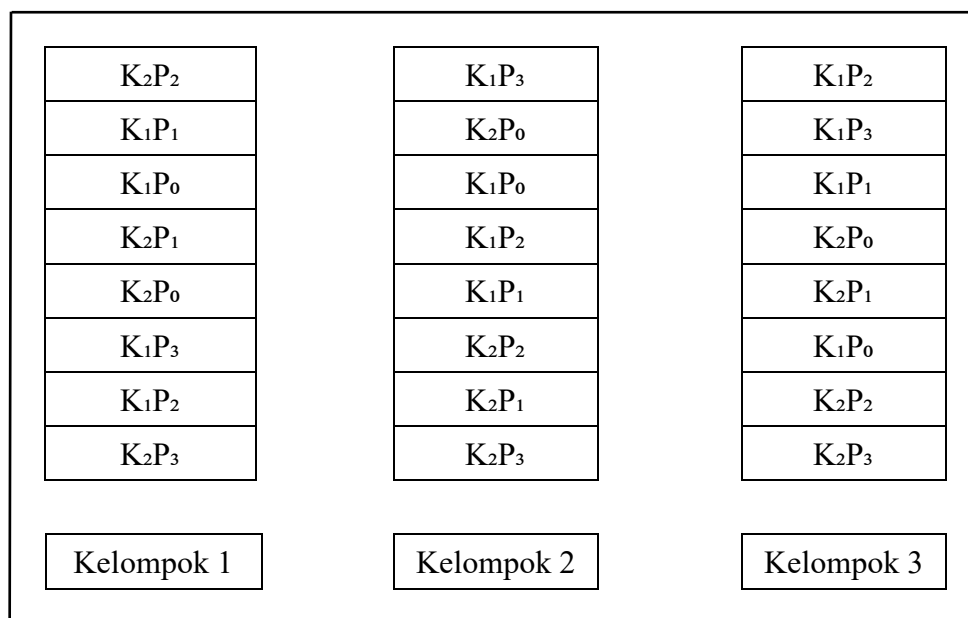
3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah penggaris, alat tulis, jangka sorong, SPAD Minolta 502, timbangan, oven, kamera *handphone*, bak, dan alat bantu lainnya. Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu bibit Kopi Liberika dan bibit Kopi Robusta berusia 4 bulan, *polybag* 20x20 cm, air, tanah, pupuk NPK dengan dosis (1,8 g/*polybag*), dan nordox (fungisida).

3.3 Metode Penelitian

Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) yang disusun secara faktorial 2x4 dengan dua faktor. Faktor pertama dalam penelitian ini adalah jenis kopi yang terdiri dari 2 jenis yaitu Kopi Liberika (K_1) dan Kopi Robusta (K_2). Faktor kedua adalah lama penggenangan yang terdiri dari empat taraf, yaitu: tanpa penggenangan (P_0), penggenangan selama 6 hari (P_1), penggenangan selama 9 hari (P_2), dan penggenangan selama 12 hari (P_3). Perlakuan yang diberikan adalah durasi penggenangan terhadap tanaman Kopi Liberika dan Robusta didalam *polybag*.

Percobaan ini, diulang sebanyak 3 kali dengan total 24 satuan percobaan. Masing-masing perlakuan terdiri dari 3 tanaman sehingga jumlah total tanaman adalah 72 tanaman. Setelah masa pemulihan (*recovery*) selama dua minggu, tanaman diberi perlakuan penggenangan kembali dan dilakukan pengambilan data untuk pengamatan tahap kedua. Tata letak percobaan disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tata letak percobaan.

Keterangan:

K₁P₀ = Liberika, tanpa penggenangan (kontrol)

K₁P₁ = Liberika, penggenangan 6 hari

K₁P₂ = Liberika, penggenangan 9 hari

K₁P₃ = Liberika, penggenangan 12 hari

K₂P₀ = Robusta, tanpa penggenangan (kontrol)

K₂P₁ = Robusta, penggenangan 6 hari

K₂P₂ = Robusta, penggenangan 9 hari

K₂P₃ = Robusta, penggenangan 12 hari

3.4 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan pelaksanaan yang meliputi penyiapan bibit, pemupukan, perlakuan durasi penggenangan, pemeliharaan, dan pengamatan pertumbuhan.

3.4.1 Penyiapan Bibit Kopi Liberika dan Kopi Robusta

Kopi Liberika dan Robusta merupakan dua varietas kopi yang umum tumbuh di daerah tropis dengan kemampuan adaptasi yang relatif baik terhadap berbagai kondisi lingkungan. Penelitian ini dilakukan menggunakan bibit kedua jenis kopi tersebut yang berada pada fase awal pertumbuhan vegetatif, yakni berumur 4 bulan dengan tinggi rata-rata 17–25 cm. Bibit yang digunakan berasal dari klon lokal yang sama guna menjaga keseragaman dan homogenitas bahan penelitian. Sebelum perlakuan diberikan, bibit ditanam terlebih dahulu dalam *polybag* berukuran 20×20 cm dan dipelihara selama masa adaptasi untuk memastikan kondisi tanaman dalam keadaan sehat dan seragam.

Kondisi awal tanaman seperti tinggi tanaman dan jumlah daun dicatat secara teliti sebelum perlakuan penggenangan diterapkan. Pencatatan data awal ini bertujuan untuk menyediakan acuan yang akurat dalam mengamati dan menganalisis perubahan morfologis yang terjadi setelah perlakuan diterapkan. Parameter tinggi tanaman diukur dari pangkal batang hingga titik tumbuh tertinggi, sedangkan jumlah daun dihitung pada seluruh daun yang telah membuka sempurna. Data awal tersebut menjadi landasan penting dalam mengevaluasi respons pertumbuhan dan tingkat toleransi masing-masing varietas kopi terhadap cekaman penggenangan.

3.4.2 Pemeliharaan

Perawatan tanaman Kopi Liberika dan Robusta dilakukan dengan memastikan bahwa kondisi lingkungan tumbuh tetap optimal untuk mendukung pertumbuhannya. Penggenangan dilakukan sesuai dengan durasi yang ditentukan untuk setiap perlakuan. Gulma yang tumbuh di sekitar *polybag* akan dibersihkan secara berkala agar tidak menghambat pertumbuhan tanaman. Tujuan dari pemeliharaan ini adalah untuk memastikan bahwa pertumbuhan tanaman hanya dipengaruhi oleh perlakuan durasi penggenangan yang diberikan.

Pemberian pupuk merupakan bagian krusial dalam mendukung perkembangan vegetatif tanaman Kopi Liberika dan Robusta selama masa perawatan. Pupuk NPK diaplikasikan sebelum dilakukan perlakuan penggenangan dengan dosis 1,8 g/*polybag* yang berukuran 20x20 cm. Menurut Dewantara *et al.* (2017), dosis pupuk tersebut memberikan hasil pertumbuhan bibit kopi terbaik, terutama pada parameter tinggi tanaman, diameter batang, dan bobot brangkasan. *Polybag* berisi satu bibit tanaman, sehingga pemberian pupuk difokuskan per tanaman agar kebutuhan nutrisi terpenuhi secara optimal. Penerapan pupuk ini bertujuan untuk meningkatkan pertumbuhan akar, batang, dan daun sehingga tanaman dapat tumbuh dengan sehat selama masa vegetatif. Pemupukan dilakukan dua kali pada fase sebelum penggenangan dan ketika fase pemulihan.

3.4.3 Perlakuan Durasi Penggenangan

Perlakuan penggenangan diberikan sesuai rancangan penelitian dengan empat taraf durasi, yakni 0 hari (kontrol/ P_0), 6 hari (P_1), 9 hari (P_2), dan 12 hari (P_3), masing-masing dengan dua kali ulangan pengamatan. Penggenangan dilakukan menggunakan bak plastik berukuran 33×25 cm dengan tinggi bak sekitar 11 cm yang diisi air sebanyak 9 liter. Bibit kopi yang ditanam dalam *polybag* dengan tinggi ± 8 cm dimasukkan ke dalam bak sehingga ketinggian air berada 3 cm di atas permukaan media tanam, dengan demikian seluruh bagian bawah *polybag* terendam sepenuhnya dan air berkontak langsung dengan zona perakaran tanaman. Ketinggian air dalam bak dipertahankan tetap stabil selama periode perlakuan berlangsung dengan cara menambahkan air apabila terjadi penyusutan akibat evaporasi. Konsep penggenangan ini dirancang untuk mensimulasikan kondisi *waterlogging* di lapangan, yaitu akar tanaman berada dalam kondisi jenuh air secara terus-menerus sehingga pasokan oksigen ke zona perakaran terhambat sesuai dengan durasi perlakuan yang ditetapkan.

Penelitian dilaksanakan di rumah kaca yang diberi naungan paranet 50% untuk mengurangi intensitas cahaya dan menekan peningkatan suhu akibat radiasi langsung. Selama penelitian, suhu udara berada pada kisaran 28–32°C, serta

sirkulasi udara dijaga agar tidak terlalu lembap guna mencegah pertumbuhan jamur pada media maupun daun bibit. Pengaturan kondisi lingkungan ini dilakukan untuk memastikan bahwa perbedaan respons yang muncul antarperlakuan semata-mata disebabkan oleh variasi durasi penggenangan, bukan oleh perubahan kondisi mikro lingkungan yang ekstrem. Selama perlakuan, bibit kopi tidak mendapat perlakuan tambahan selain pemeliharaan dasar agar kondisi antarperlakuan tetap seragam dan terstandar.

Penelitian ini dilaksanakan dalam dua periode pengamatan. Pengamatan pertama, seluruh perlakuan penggenangan diterapkan sesuai durasi yang telah ditetapkan, yakni 0, 6, 9, dan 12 hari. Seluruh perlakuan pada pengamatan pertama selesai, pengumpulan data pertama segera dilakukan, kemudian tanaman memasuki fase pemulihan selama dua minggu sebelum pengamatan kedua dimulai tetapi dilakukan pemupukan kembali dengan dosis 1,8 g/polybag. Fase pemulihan bertujuan untuk memulihkan kondisi fisiologis tanaman pasca-cekaman penggenangan, memberikan kesempatan bagi sistem perakaran untuk kembali berfungsi normal, serta memastikan tanaman berada dalam kondisi yang relatif seragam sebelum perlakuan penggenangan kedua diterapkan kembali.

Fase pemulihan berlangsung, air dalam bak dikeluarkan sepenuhnya untuk menghentikan kondisi genangan dan mengembalikan aerasi tanah ke kondisi normal. Penyiraman tidak langsung dilakukan setelah penggenangan berakhir, melainkan baru dimulai pada hari ke-5 setelah penggenangan dihentikan. Hal ini dilakukan karena media tanam masih dalam kondisi jenuh air sehingga pemberian air lebih awal justru dapat memperpanjang kondisi anaerob di zona perakaran. Penyiraman dilakukan secara rutin setiap tiga hari sekali dengan volume yang disesuaikan dengan kebutuhan tanaman setelah hari ke-5. Pemupukan kembali juga dilakukan selama fase pemulihan (*recovery*) dengan tujuan untuk menggantikan unsur hara yang hilang atau tidak terserap secara optimal selama periode penggenangan, sekaligus mendukung pemulihan pertumbuhan vegetatif tanaman secara lebih cepat. Fase pemulihan selesai, pengamatan kedua dimulai dengan menerapkan kembali perlakuan penggenangan sesuai durasi yang ada.

3.4.4 Pengamatan Pertumbuhan

Pengamatan dilakukan secara berkala untuk mencatat penambahan tinggi tanaman, jumlah daun, kemunculan pucuk, diameter batang, dan warna daun. Parameter pertumbuhan diamati untuk mengevaluasi dampak perlakuan terhadap kesehatan dan kekuatan tanaman. Data dikumpulkan dalam interval waktu yang konsisten untuk menjamin keakuratan hasil. Hasil pengamatan menjadi dasar dalam mengevaluasi respons tanaman terhadap durasi penggenangan.

3.4.5 Pengumpulan Data

Pengukuran dilakukan untuk memperoleh data kuantitatif dari respons pertumbuhan vegetatif tanaman Kopi Liberika dan Robusta. Parameter yang diukur meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, pertumbuhan pucuk, dan diameter batang. Pengukuran dilakukan secara berkala menggunakan alat bantu berupa meteran dan alat bantu lainnya agar hasil yang diperoleh akurat dan konsisten. Data kemudian direkap dalam tabel pengamatan sesuai parameter yang diukur. Data yang diperoleh digunakan sebagai dasar untuk menganalisis pengaruh durasi penggenangan terhadap pertumbuhan tanaman.

3.4.6 Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan uji Barlett untuk mengetahui homogenitas ragam antarperlakuan, Aditifitas data diuji menggunakan uji Tukey. Kemudian data dianalisis dengan analisis ragam, perlakuan yang berpengaruh nyata dilakukan uji lanjut menggunakan uji *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf 5% untuk mengetahui perbedaan nyata antarperlakuan. Data yang telah dianalisis ragam tidak menunjukkan potensi terbaik, dilakukan pendekatan dengan menggunakan *standar error of mean*. Tujuan analisis ini adalah untuk mengetahui pengaruh masing-masing perlakuan durasi penggenangan terhadap pertumbuhan vegetatif Kopi Liberika dan Robusta.

3.5 Variabel Pengamatan

Variabel yang diamati pada penelitian ini adalah penambahan tinggi tanaman, jumlah daun, kemunculan pucuk, diameter batang, kehijauan daun, skor kelayuan, *survival* tanaman, bobot segar tajuk dan akar, bobot kering tajuk dan akar, dan jumlah akar adventif.

3.5.1 Pertambahan Tinggi Tanaman (cm)

Pengukuran tinggi tanaman untuk memantau perkembangan pertumbuhan vertikal selama masa perlakuan penggenangan. Tinggi tanaman dihitung dengan cara mengurangi data akhir pengamatan dengan data awal pengamatan tinggi tanaman. Hasil pengamatan tinggi tanaman dinyatakan dalam satuan (cm).

3.5.2 Jumlah Daun (helai)

Jumlah daun diamati dengan menghitung seluruh daun yang telah membuka secara sempurna pada setiap tanaman selama periode pengamatan. Data jumlah daun digunakan untuk mengetahui respons dan kemampuan adaptasi tanaman terhadap kondisi media yang mengalami penggenangan.

3.5.3 Kemunculan Pucuk (tunas)

Kemunculan pucuk diamati dengan mencatat ada atau tidaknya pucuk baru yang muncul pada setiap tanaman selama periode pengamatan. Pucuk yang tidak tumbuh atau pucuk telah berkembang menjadi daun diberi skor 1, sedangkan apabila yang masih aktif tumbuh diberi skor 2.

3.5.4 Diameter Batang (mm)

Pengukuran diameter batang dilakukan pada posisi 5 cm di atas permukaan media tanam dengan bantuan jangka sorong, dinyatakan dalam satuan (mm).

3.5.5 Kehijauan Daun (unit)

Pengukuran tingkat kehijauan daun dilakukan menggunakan alat SPAD Minolta 502 pada bagian tengah helaian daun. Daun yang diamati adalah daun ketiga pada setiap tanaman, dan nilai yang diperoleh digunakan sebagai indikator kadar klorofil. Kandungan klorofil dikonversikan dengan rumus:

$$\text{Chlorophyll} = 1,034 + 0,308 \times \text{SPAD Value} + 0,11 \times (\text{SPAD Value})^2$$

Sumber: Monje dan Bugbee (1992).

3.5.6 Skor Kelayuan (%)

Skor kelayuan tanaman kopi diamati menggunakan tiga kategori skor yang diadaptasi dari IRRI (2013), disesuaikan dengan kondisi tanaman kopi. Skoring skor kelayuan sebagai berikut: skor 1 apabila seluruh daun berwarna hijau segar dan tidak merunduk (0% kelayuan), skor 2 apabila 50% daun mulai merunduk dan berubah warna (50% kelayuan), dan skor 3 apabila seluruh daun merunduk dan layu (100% kelayuan).

3.5.7 *Survival* Tanaman (%)

Survival tanaman merupakan persentase jumlah tanaman yang tetap hidup pada akhir periode penggenangan dan digunakan sebagai acuan penilaian tingkat kelangsungan hidup tanaman kopi selama dan setelah perlakuan penggenangan berlangsung. Nilai *survival* dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Survival (\%)} = \text{Jumlah tanaman hidup} / \text{Jumlah tanaman awal} \times 100\%$$

3.5.8 Bobot Segar Tajuk (g)

Bobot segar tajuk diukur dengan menimbang bagian tajuk tanaman segera setelah dipisahkan dari akar pada akhir masa pengamatan. Penimbangan dilakukan dalam kondisi segar menggunakan timbangan digital, kemudian hasilnya dicatat dalam satuan gram (g).

3.5.9 Bobot Segar Akar (g)

Bobot segar akar diukur dengan menimbang seluruh bagian akar setelah dibersihkan dari sisa media tanam pada akhir pengamatan. Akar ditimbang dalam keadaan segar menggunakan timbangan digital, lalu hasilnya dicatat dalam satuan gram (g).

3.5.10 Bobot Kering Tajuk (g)

Bobot kering tajuk diperoleh dengan mengoven bagian tajuk pada suhu 70°C selama 2×24 jam hingga mencapai berat konstan, kemudian ditimbang menggunakan timbangan digital dan hasilnya dicatat dalam satuan gram (g).

3.5.11 Bobot Kering Akar (g)

Bobot kering akar ditentukan dengan mengeringkan bagian akar dalam oven bersuhu 70°C selama 2×24 jam hingga beratnya stabil. Akar yang telah kering kemudian ditimbang dan hasil pengukurannya dicatat dalam satuan gram (g).

3.5.12 Jumlah Akar Adventif (akar)

Jumlah akar adventif dihitung dengan cara melihat dan menghitung langsung berapa banyak akar adventif yang tumbuh pada batang tanaman, lalu hasilnya dicatat untuk setiap tanaman.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Simpulan yang diperoleh pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- (1) Durasi penggenangan berpengaruh nyata terhadap kehijauan daun dan skor kelayuan pada saat penggenangan, serta terhadap tinggi tanaman, kemunculan pucuk, kehijauan daun, skor kelayuan, *survival* tanaman, bobot segar tajuk, bobot segar akar, bobot kering tajuk, bobot kering akar, dan jumlah akar adventif setelah periode pemulihan, namun tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah daun dan diameter batang. Kopi Robusta lebih toleran terhadap penggenangan dibandingkan Kopi Liberika;
- (2) Kopi Robusta memiliki kemampuan adaptasi yang lebih baik terhadap cekaman penggenangan dibandingkan kopi Liberika, yang ditunjukkan oleh skor kelayuan lebih rendah dan kehijauan daun lebih stabil pada seluruh perlakuan, serta pemulihan yang lebih baik setelah periode pemulihan;
- (3) Durasi penggenangan yang masih dapat ditoleransi adalah hingga 6 hari untuk kopi Liberika dan hingga 9 hari untuk kopi Robusta, berdasarkan munculnya gejala kelayuan nyata pada masing-masing jenis kopi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan, disarankan untuk dilakukan penelitian lanjutan dengan durasi penggenangan yang lebih panjang, tanaman pada fase yang lebih dewasa, pemanjangan penambahan periode pengamatan pemulihan setelah penggenangan dihentikan, untuk memperoleh informasi yang lebih lengkap mengenai toleransi kedua jenis kopi terhadap kondisi tergenang.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahman, A., Sari, D. K dan Putra, A. 2021. Evaluasi kesesuaian lahan untuk pengembangan kopi robusta (*Coffea canephora*) menggunakan sistem informasi geografis di Kecamatan Darul Hasanah Kabupaten Aceh Tenggara. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 26(3): 150-160.
- Almeida, J. A. S., Azevedo, M. T. V. L., Salomon, M. V., dan Medina, P. F. 2018. Water stress in germination, growth and development of coffee cultivars. *Journal of Seed Science*. 40(1): 82-89.
- Anam, S., Bare, R., dan Dewi, R. 2023. Faktor lingkungan terhadap kopi robusta dalam sistem agroforestri. *Agrotechnology Research Journal*. 8(2): 101-110.
- Ardiyani, F. 2023. Potensi perbanyak Kopi Liberika dengan metode somatik embriogenesis. *Prosiding Seminar Nasional Kopi*. 1(2): 1-15.
- Ashraf, M., dan Foolad, M. R. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*. 59(2): 206-216.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). 2024. *Data dan informasi bencana banjir Sumatera Barat Mei 2024*. BNPB. Jakarta. 23 hlm.
- Badan Pusat Statistik Indonesia. 2022. *Statistik Kopi Indonesia 2022*. Jakarta. 8 hlm.
- Bailey-Serres, J., dan Voesenek, L. A. C. J. 2008. Flooding stress: acclimations and genetic diversity. *Annual Review of Plant Biology*. 59(1): 313-339.
- Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Industri. 2017. *Persiapan dan Kesesuaian Lahan Tanaman Kopi*. Kementerian Pertanian. hlm 22.
- Bertrand, B., Vaast, P., Alpizar, E., Etienne, H., Davrieux, F., dan Charmetant, P. 2006. Comparison of bean biochemical composition and beverage quality of Arabica hybrids involving Sudanese-Ethiopian origins with traditional varieties at various elevations in Central America. *Tree Physiology*. 26(9): 1239-1248.

- Busyra, B., Saidi, E., dan Suryani. 2021. Evaluasi kesesuaian lahan untuk pengembangan kopi liberika di Kabupaten Tanjung Jabung Timur Jambi. *Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan Universitas Jambi*. 5(1): 1-15.
- Borjas, V. R., Alvarado, H. L., Julca, O. A., Figueroa, L., dan Castro, V. 2022. Low water availability has a greater influence on the development of coffee seedlings than an increase in temperature. *Agronomia Colombiana*. 41(1): 1-11.
- BSIP Perkebunan. 2023. *Standardisasi Pengolahan Biji Kopi Berkualitas*. Warta BSIP Perkebunan. Jawa Barat. 15 hlm.
- Campuzano-Duque, F. L., dan Blair, W. M. 2022. Strategies for robusta coffee (*Coffea canephora*) improvement as a new crop in Colombia agriculture. *Agriculture*. 1(2): 1-14.
- Castanheira, D. T., Guimaraes, R. J., Rezende, T. T., Carvalho, M. A. F., Knuppel, C. A., dan Carvalho, R. C. S. 2022. Optimization of water use in (*Coffea arabica* L.) grown under different agronomic practices. *Australian Journal of Crop Science*. 16(07): 870-878.
- Chávez-Arias, C. C., Gómez-Caro, S., dan Restrepo-Díaz, H. 2019. Physiological, biochemical and chlorophyll fluorescence parameters of *Physalis peruviana* L. seedlings exposed to short-term waterlogging. *Scientia Horticulturae*. 24(3): 373-381.
- Chen, Y., Zhang, H., Chen, W., Gao, Y., Xu, K., Sun, X., dan Huo, L. 2024. The role of ethylene in the regulation of plant response mechanisms to waterlogging stress. *Plant Cell Reports*. 43(12): 278.
- Colmer, T. D., dan Voesenek, L. A. C. J. 2009. Flooding tolerance: suites of plant traits in variable environments. *Functional Plant Biology*. 36(8): 665-681.
- Dat, J. F., Capelli, N., Folzer, H., Bourgeade, P., dan Badot, P. M. 2004. Sensing and signalling during plant flooding. *Plant Physiology and Biochemistry*. 42(4): 273-282.
- DaMatta, F. M., Avila, R. T., Cardoso, A. A., Martins, S. C. V., dan Ramalho, J. C. 2018. Physiological and agronomic performance of coffee in the context of climate change and global warming. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 66(21): 5264-5274.
- DaMatta, F. M., Ronchi, C. P., Maestri, M., dan Barros, R. S. 2007. Ecophysiology of coffee growth and production. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 19(4): 485-510.

- Dewantara, F. R., Ginting, J., dan Irsal. 2017. Respons pertumbuhan bibit kopi robusta (*Coffea robusta* L.) terhadap berbagai media tanam dan pupuk organik cair. *Jurnal Agroteknologi FP USU*. 5(3): 676-684.
- Davis, A. P., Kiwuka, C., Faruk, A., Walubiri, M. J. dan Kalema, J. 2022. The re-emergence of Liberica coffee as a major crop plant. *Nature Plants*. 8(1): 1322-1328.
- Ejiri, M., Fukao, T., Miyashita, T., dan Shiono, K. 2021. A barrier to radial oxygen loss helps the root system cope with waterlogging-induced hypoxia. *Breeding Science*. 71(1): 40-50.
- Eliyin, Mahara, S., Susanti, Z., dan Zulfa, I. 2025. Intensitas pemangkasan dan pemupukan tanaman kopi arabika yang dilakukan oleh petani di Desa Tebes Lues sebagai upaya peningkatan produksi. *Mikroba: Jurnal Ilmu Tanaman Sains Dan Teknologi Pertanian*. 2(1): 149-160.
- Erdiansyah, N. P., Wachjar, A., Sulistyono, E., dan Supijatno, S. 2019. Growth response of seedlings of four robusta coffee (*Coffea canephora* Pierre Ex. A Froehner) clones to drought stress. *Pelita Perkebunan*. 35(1): 1-11.
- Else, M. A., Coupland, D., Dutton, L., dan Jackson, M. B. 2001. Decreased root hydraulic conductivity reduces leaf water potential, initiates stomatal closure and slows leaf expansion in flooded plants of *Castanea sativa*. *Environmental and Experimental Botany*. 46(1): 43-51.
- Evizal, R., Hariri, M. A., Sugiatno., dan Prasmatiwi, E. F. 2021. Pembibitan kopi liberika di Desa Puralaksana, Kecamatan Way Tenong, Lampung Barat. *Jurnal Sumbangsih*. 2(1): 204-211.
- Ferreira, C. da S., Piedade, M. T. F., dan Franco, A. C. 2017. Submergence, seed germination, and seedling development of the Amazonian floodplain tree pseudobombax munguba: evidence for root oxytropism. *Trees-Structure and Function*. 3(1): 705-716.
- Freschet, G. T., Roumet, C., Comas, L. H., Weemstra, M., Bengough, A. G., Rewald, B., Bardgett, R. D., De Deyn, G. B., Johnson, D., Klimešová, J., Lukac, M., McCormack, M. L., Meier, I. C., Pagès, L., Poorter, H., Prieto, I., Wurzbarger, N., Zadworny, M., Bagniewska-Zadworna, A., dan Iversen, C. M. 2021. Root traits as drivers of plant and ecosystem functioning: current understanding, pitfalls and future research needs. *New Phytologist*. 232(3): 1123-1158.
- Geng, S., Lin, Z., Xie, S., Xiao, J., Wang, H., Zhao, X., Zhou, Y., dan Duan, L. 2023. Ethylene enhanced waterlogging tolerance by changing root architecture and inducing aerenchyma formation in maize seedlings. *Journal of Plant Physiology*. 28(7): 154042.

- Gomathi, R., Rao, P. N. G., Chandran, K., dan Selvi, A. 2014. Adaptive responses of sugarcane to waterlogging stress: an overview. *Sugar Tech.* 17(4): 325-338.
- Grüter, R., Trachsel, T., Laube, P., dan Jaisli, I. 2022. Expected global suitability of coffee, cashew and avocado due to climate change. *PLOS ONE*. 17(1): e0261976.
- Hafif, B., Ferry, Y., Martono, B., Harni, R., Sasmita, K. D., Saidi, B. B., Maswar, M., Heryanto, R. B., Nazir, N., Agus, F., dan Ibrahim, M. S. D. 2024. Liberica coffee as an alternative cropping system for sustainable farming on Indonesian Peatlands. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 17(1): 180-188.
- Hanifah, D., Andarwulan, N., dan Herawati, D. 2022. Karakteristik fisikokimia dan kapasitas antioksidan kopi liberika dari Kabupaten Tanjung Jabung Barat, Jambi. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*. 33(1): 39-51.
- Hartman, S., Liu, Z., van Veen, H., Vicente, J., Reinen, E., Martopawiro, S., Zhang, H., van Dongen, N., Bosman, F., Bassel, G. W., Visser, E. J. W., Bailey-Serres, J., Theodoulou, F. L., Hebelstrup, K. H., Gibbs, D. J., Holdsworth, M. J., Sasidharan, R., dan Voesenek, L. A. C. J. 2019. Ethylene-mediated nitric oxide depletion pre-adapts plants to hypoxia stress. *Nature Communications*. 10(1): 20-40.
- Hidayat, T., dan Rahman, A. 2021. Efek konsentrasi eko-enzim dan pupuk NPK terhadap pertumbuhan bibit kopi liberika. *Jurnal Ilmu Pertanian*. 9(1): 45-52.
- Hidayat, R., Nugroho, A., dan Santoso, B. 2023. Evaluasi pertumbuhan dan produktivitas kopi robusta (*Coffea canephora*) pada berbagai ketinggian di Jawa Tengah. *Jurnal Agronomi Indonesia*. 11(1): 34-42.
- International Rice Research Institute 2013. Standard evaluation system for rice. *International Rice Research Institute*. Philippines. 34 hlm.
- Jacobsen, S. E., Sørensen, J. N., dan Pedersen, S. M. 2020. Feeding the world: genetically modified crops versus agricultural diversification. *Agronomy for Sustainable Development*. 40(5): 651-662.
- Kahpi, M. 2017. Faktor lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman kopi arabika. *Jurnal Ilmiah Pertanian*. 9(3): 123-130.
- Kozlowski, T. T. 1997. Responses of woody plants to flooding and salinity. *Tree Physiology*. 17(7): 490-520.

- Kustari, D., Kurniawan, M. F., dan Fitrilia, T. 2007. Deskripsi atribut sensori tiga jenis kopi (Arabika, Robusta, dan Liberika) asal Indonesia dan hasil cupping score. *Karimah Tauhid*. 3(8): 9031-9042.
- León-Burgos, A. F., León-Burgos, A. F., Unigarro, C. A., dan Balaguera-López, H. E. 2022. Soil waterlogging conditions affect growth, water status, and chlorophyll “a” fluorescence in coffee plants (*Coffea arabica* L.). *J. Agronomy*. 1(2): 1-15.
- Lim, S. A. H., Mohtar, W. A. A. Q., Surapinchai, S., dan Azizan, N. Z. 2022. Optimum condition of roasting process of liberica coffee towards the local and international preference. *Food Research*. 6(3): 115-123.
- Mawardi, M., Purbasari, N., dan Santoso, H. 2019. Bimbingan teknis dan pendampingan budidaya kopi robusta di Desa Batang Kapas. *Jurnal Pengabdian Masyarakat*. 5(2): 45-53.
- Monje, O. A., dan Bugbee, B. 1992. Inherent limitations of nondestructive chlorophyll meters: A comparison of two types of meters. *In: HortScience*. 27(1): 69-71.
- Murtiningrum, N., Setiadi, I., dan Putra, G. A. 2018. Desain sistem irigasi pompa untuk perkebunan kopi di Desa Pagerharjo, Kecamatan Samigaluh, Kabupaten Kulon Progo D I Yogyakarta. *Jurnal Irigasi*. 5(2): 45-54.
- Mustroph, A. 2018. Improving flooding tolerance of crop plants. *Agronomy*. 8(9): 1-25.
- Muttaqien, K., Ariffin, dan Wardiyati, T. 2018. Evaluasi dampak sistem pengelolaan air pada budidaya padi (*Oryza sativa* L.). *Jurnal Produksi Tanaman*. 6(8): 1810-1817.
- Negrão, S., Schmöckel, S. M., dan Tester, M. 2017. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Annals of Botany*. 119(1): 1-11.
- Nishiuchi, S., Yamauchi, T., Takahashi, H., Kotula, L., dan Nakazono, M. 2012. Mechanisms for coping with submergence and waterlogging in rice. *Rice*. 5(2): 1-12.
- Noviana, Y., Meiriani., dan Irmansyah, T. 2021. Respons perkecambahan benih kopi robusta (*Coffea robusta* L.) terhadap pemberian dan lama perendaman zat pengatur tumbuh alami. *Jurnal Pertanian Tropik*. 8(3): 195-202.
- Pan, J., Sharif, R., Xu, X., dan Chen, X. 2021. Mechanisms of waterlogging tolerance in plants: Research progress and prospects. *Frontiers in Plant Science*. 1(1): 627331.

- Pedersen, O., Perata, P., dan Voeselek, L. A. C. J. 2017. Flooding and low oxygen responses in plants. *Functional Plant Biology*. 44(9): 3-6.
- Pérez-Caselles, C., Brugarolas, M., dan Martínez-Carrasco, L. 2020. Traditional varieties for local markets: a sustainable proposal for agricultural SMEs. *Sustainability*. 1(2): 1-19.
- Pinheiro, H. A., Silva, J. V., Endres, L., Ferreira, V. M., Câmara, C. A., dan Cabral, F. F. 2020. Drought-tolerant coffee plants display increased tolerance to waterlogging and post-waterlogging reoxygenation. *Environmental and Experimental Botany*. 17(5): 104055.
- Ponnamperuma, F. N. 1984. Effects of flooding on soils. Dalam Kozlowski, T. T. (Ed.). *Flooding and Plant Growth*. 2(3): 9-45.
- Prasetyo, E., Nugroho, S., dan Haryanto, B. 2022. Produktivitas dan kualitas kopi robusta (*Coffea canephora*) pada sistem budidaya berkelanjutan di Jawa Tengah. *Jurnal Agronomi Indonesia*. 50(1): 12-20.
- Pujaningrum, R. D., dan Simanjuntak, B. H. 2023. Pertumbuhan akar dan tunas stek batang kopi robusta (*Coffea canephora*) sebagai respon dari penggunaan *Indole-3-Butyric Acid* (IBA). *Jurnal Vegetalika*. 5(2): 28-48.
- Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian. 2022. *Outlook Kopi 2022*. Sekretariat Jenderal Kementerian Pertanian. Jakarta. 47 hlm.
- Putri, G. A., Wirianata, H., dan Santosa, T. N. B. 2021. Analisis pengaruh curah hujan terhadap produktivitas kopi (*Coffea* sp.) Kec. Gemawang, Kab. Temanggung, Jawa Tengah. *Buletin Pertanian*. 1(1): 95-102.
- Rahayu, A. Y., Herliana, O., Dewi, E. M., dan Rostaman, R. 2019. Pengembangan budidaya kopi robusta organik pada kelompok tani sido makmur Desa Pesangkalan Kabupaten Banjarnegara. *Jurnal Ilmiah Pangabdhi*. 5(2): 112-125.
- Ramadhan, M. 2019. *Produksi Kopi dan Faktor-Faktor yang Mempengaruhi (Studi Kasus di Kabupaten Aceh Tengah)*. Unimal Press. Universitas Lhokseumawe. Aceh. 62 hlm.
- Randriani, E., dan Dani. 2018. *Pengenalan Varietas Unggul Kopi*. IAARD Press. Jakarta. 38 hlm.
- Rintiasti, A., Krisnaadi, I., dan Suhartono, A. A. 2018. Sistem pakar syarat tumbuh optimal tanaman industri menggunakan javascript dan html. *Jurnal Teknologi Proses dan Inovasi Industri*. 3(2): 63-72.
- Rizki, D., Wijonarko, R. B., dan Purwanto. 2020. Karakter agronomis dan fisiologis tanaman kopi robusta (*Coffea canephora*) pada dataran tinggi di

Kecamatan Pejawaran Kab. Banjarnegara. *Jurnal Ilmu Pertanian*. 2(1): 11-16.

Rodrigues, W. N., Tomaz, M. A., Ferrão, M. A. G., Martins, L. D., Colodetti, T. V., Brinate, S. V. B., Amaral, J. F. T., Sobreira, F. M., dan Apostólico, M. A. 2016. Biometry and diversity of Arabica coffee genotypes cultivated in a high density plant system. *Genetics and Molecular Research*. 15(1): 1501-7724.

Sairam, R. K., Dharmar, K., Lekshmy, S., dan Chinnusamy, V. 2011. Expression of antioxidant defense genes in mung bean (*Vigna radiata* L.) roots under water-logging is associated with hypoxia tolerance. *Acta Physiologiae Plantarum*. 33(3): 735-744.

Salimi, S., Berggren, M., dan Scholz, M. 2021. Response of the peatland carbon dioxide sink function to future climate change scenarios and water level management. *Global Change Biology*. 2(7): 5154-5168.

Sari, S. P., Evizal, R., Afandi, dan Sanjaya, P. 2025. Respons tiga varietas tanaman tebu (*Saccharum officinarum* L.) terhadap lama penggenangan. *Jurnal Agrotek Tropika*. 13(4): 1142-1152.

Sasidharan, R., Bailey-Serres, J., Ashikari, M., Atwell, B. J., Colmer, T. D., Fagerstedt, K., Fukao, T., Geigenberger, P., Hebelstrup, K. H., Hill, R. D., Holdsworth, M. J., Ismail, A. M., Licausi, F., Mustroph, A., Nakazono, M., Pedersen, O., Perata, P., Sauter, M., Skirycz, A., van Dongen, J. T., Voesenek, L. A. C. J., dan Visser, E. J. W. 2018. Community recommendations on terminology and procedures used in flooding and low oxygen stress research. *Plant Physiology*. 176(2): 1106-1117.

Sasidharan, R., Hartman, S., Liu, Z., Martopawiro, S., Sajeev, N., van Veen, H., Yeung, E., dan Voesenek, L. A. C. J. 2024. How plant roots respond to waterlogging. *Journal of Experimental Botany*. 75(2): 511-535.

Schmidt, R., Almeida, R. N., Feitoza, R. B. B., Cunha, M., dan Partelli, F. L. 2023. Morpho-agronomic and leaf anatomical traits in *Coffea canephora* genotypes. *Ciencia Rural*. 53(7): 1-12.

Siahaan, G. S. S., Yenny, R. F., Ritawati, S., dan Hermita, N. 2025. Eksplorasi dan karakterisasi morfologi tanaman kopi robusta (*Coffea canephora*) di kawasan Gunung Karang. *Agroteksos*. 34(3): 1094-1108.

Sseremba, G., Kagezi, G., Kobusinge, J., Musoli, P., Akodi, D., Olango, N., Kucel, P., Chemutai, J., Mulindwa, J., dan Arinaitwe, G. 2021. High robusta coffee plant density is associated with better yield potential at mixed responses for growth robustness, pests and diseases: which way for a farmer. *Australian Journal of Crop Science*. 15(4): 494-503.

- Steffens, B., dan Rasmussen, A. 2016. The physiology of adventitious roots. *Plant Physiology*. 170(2): 603-617.
- Striker, G. G. 2012. Flooding stress on plants: Anatomical, morphological and physiological responses. *Botany*. 6(3): 115-123.
- Striker, G. G., dan Colmer, T. D. 2017. Flooding tolerance of forage legumes. *Journal of Experimental Botany*. 68(8): 1851-1872.
- Taiz, L. dan Zeiger, E. 2010. *Plant Physiology*, 6th Edition. Sinauer Associates. Sunderland, Massachusetts. 782 hlm.
- Terceiro, G. M., Meirelles, C. F., Cavalcante, G. A., Mingotte, C. L. A., dan Lemos, B. L. 2019. Caracteres morfológicos de cafeeiro de porte baixo no primeiro ano de formação em Jaboticabal-SP. *Amazonian Journal*. 6(2): 1-7.
- Tian, L. X., Zhang, Y. C., Chen, P. L., Zhang, F. F., Li, J., Yan, F., Dong, Y., dan Feng, B. L. 2021. How does the waterlogging regime affect crop yield? A global meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*. 1(2): 634-898.
- Ullah, F., Ali, S., Siraj, M., Akhtar, M. S., dan Zaman, W. 2025. Plant microbiomes alleviate abiotic stress-associated damage in crops and enhance climate-resilient agriculture. *Plants*. 14(12): 1-25.
- Unigarro, C. A., Cayón Salinas, D. G., dan León-Burgos, A. F. 2025. Flowering and fruiting of *Coffea arabica* L.: A comprehensive perspective from phenology. *Plants*. 14(21): 33-96.
- Vartapetian, B. B., dan Jackson, M. B. 1997. Plant adaptations to anaerobic stress. *Annals of Botany*. 79(1): 3-20.
- Veronica, N., Srinivas, T., Venkata Ramana Rao, P., dan Vani Praveena, M. 2023. Evaluation for multiple abiotic stress tolerance in rice (*Oryza sativa*) genotypes. *Journal of Rice Research*. 16(2): 1-6.
- Visser, E. J. W., Voesenek, L. A. C. J., Vartapetian, B. B., dan Jackson, M. B. 2003. Flooding and plant growth. *Annals of Botany*. 91(2): 107-109.
- Viviani, A., Smith, J., dan Lee, C. 2024. *The Plant Genome*. Wiley. Hoboken. 54 hlm.
- Voesenek, L. A. C. J., dan Bailey-Serres, J. 2015. Flood adaptive traits and processes: an overview. *New Phytologist*. 206(1): 57-73.
- Voesenek, L. A. C. J., Colmer, T. D., Pierik, R., Millenaar, F. F., dan Peeters, A. J. M. 2006. How plants cope with complete submergence. *New Phytologist*. 170(2): 213-226.

- Wang, X., Li, F., Zhou, S., Komatsu, S., dan Sun, L. 2024. Protein homeostasis and cell wall remodeling in response to jasmonate and gibberellin signals improve flood tolerance in soybean (*Glycine max* L.). *Environmental and Experimental Botany*. 22(6): 105-902.
- Wild, J., Davis, A. P., dan Tay, H. Z. 2025. Thermal tolerance and climatic adaptability of *Coffea liberica*. *Global Change Biology*. 31(2): e17105.
- Woo, H. R., Masclaux-Daubresse, C., dan Lim, P. O. 2018. Plant senescence: how plants know when and how to die. *Journal of Experimental Botany* 69(4): 715-718.
- Xu, J. 2025. A review of soil waterlogging impacts, mechanisms, and adaptive strategies. *Frontiers in Plant Science*. 16(1): 1545912.
- Yoon, G., Kwak, S. H., Heo, J., dan Lee, Y. 2023. Comparison of conventional and consumer-based sensory profiling methods for ready-to-drink coffee beverages. *Journal of Sensory Studies*. 1(2): 1-18.
- Yamauchi, T., Abe, F., Nomura, T., Ploschuk, E. L., Peacock, W. J., Dennis, E. S., dan Colmer, T. D. 2018. Regulation of root traits for internal aeration and tolerance to soil waterlogging-flooding stress. *Plant Physiology*. 176(2): 1118–1130.
- Yustiningsih, M. 2019. Intensitas cahaya dan efisiensi fotosintesis pada tanaman naungan dan tanaman terpapar cahaya langsung. *BIOEDU*. 4(2): 43-48.
- Zheng, Q., Li, G., Wang, H., dan Zhou, Z. 2023. The relationship between ethylene-induced autophagy and reactive oxygen species in Arabidopsis root cells during the early stages of waterlogging stress. *PeerJ*. 11: e15404.