

**FENOLOGI, PERTUMBUHAN, DAN PRODUKSI TANAMAN SORGUM
(*Sorghum bicolor* [L.] Moench) DI DATARAN RENDAH DENGAN
PENAMBAHAN BAHAN ORGANIK: STUDI ADAPTASI TANAMAN
TERHADAP PERUBAHAN IKLIM**

(Skripsi)

Oleh

Dimas Ferdiansyah
1914161018



**UNIVERSITAS LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

FENOLOGI, PERTUMBUHAN, DAN PRODUKSI TANAMAN SORGUM (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) DI DATARAN RENDAH DENGAN PENAMBAHAN BAHAN ORGANIK: STUDI ADAPTASI TANAMAN TERHADAP PERUBAHAN IKLIM

OLEH

DIMAS FERDIANSYAH

Perubahan iklim yang dicirikan oleh peningkatan suhu udara, perubahan pola curah hujan, dan kejadian cuaca ekstrem menjadi ancaman bagi keberlanjutan produksi tanaman pangan. Sorgum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) merupakan tanaman sereal yang adaptif, sehingga berpotensi dikembangkan sebagai tanaman alternatif pada kondisi iklim ekstrem di dataran rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan fenologi, pertumbuhan, hasil produksi, dan menghitung nilai *Growing Degree Days* (GDD), serta mengetahui pengaruh media tanam dan varietas terhadap pertumbuhan dan produksi sorgum. Penelitian dilaksanakan pada Agustus hingga Desember 2025 di Rumah Kaca Laboratorium Terpadu *Smart Security* POLINELA, Bandar Lampung. Penelitian menggunakan Rancangan Strip-Plot dalam Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan dua faktor perlakuan, yaitu varietas sorgum (Mandau, Super-2, dan Numbu) dan media tanam (pupuk NPK dan pupuk NPK + bahan organik), dengan tiga ulangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nyata pada tahapan fenologi, laju pertumbuhan, dan hasil produksi ketiga varietas sorgum. Varietas Mandau mencapai matang fisiologis paling cepat dengan rata-rata 87,5 hari dan akumulasi GDD sebesar 1.656,06 DD, diikuti varietas Numbu dengan 103 hari dan GDD 1.951 DD, serta varietas Super-2 dengan waktu terlama yakni rata-rata 114 hari dengan GDD 2.159,48 DD. Hasil produksi varietas Mandau unggul pada panjang malai, bobot malai, dan bobot biji per malai, sedangkan varietas Super-2 unggul pada tinggi tanaman, jumlah daun, serta bobot segar dan kering brangkasan. Respons varietas dipengaruhi oleh perbedaan media tanam yang digunakan. Perbedaan respons tersebut terlihat pada bobot segar dan kering brangkasan, panjang malai, serta kadar air benih.

Kata kunci: *fenologi, Growing Degree Days, perubahan iklim, sorgum, dan dataran rendah.*

ABSTRACT

PHENOLOGY, GROWTH, AND PRODUCTION OF SORGHUM (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) IN LOWLAND WITH ORGANIC MATTER ADDITION: A STUDY OF PLANT ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE

By

DIMAS FERDIANSYAH

Climate change, characterized by rising air temperatures, shifting rainfall patterns, and extreme weather events, poses a significant threat to the sustainability of food crop production. Sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) is an adaptive cereal crop with potential for development as an alternative crop under extreme climate conditions in lowland areas. This study aimed to determine differences in phenology, growth, and yield production, to calculate *Growing Degree Days* (GDD) values, and to assess the effects of growing media and variety on sorghum growth and production. The research was conducted from August to December 2025 at the Smart Security Integrated Laboratory Greenhouse of POLINELA, Bandar Lampung. A Strip-Plot design within a Randomized Complete Block Design was employed with two treatment factors: sorghum variety (Mandau, Super-2, and Numbu) and growing medium (NPK fertilizer and NPK + organic matter), with three replications. Results indicated significant differences in phenological stages, growth rates, and yield components among the three sorghum varieties. Mandau reached physiological maturity fastest at an average of 87.5 days with a GDD accumulation of 1,656.06 DD, followed by Numbu at 103 days with 1,951 DD, and Super-2 requiring the longest period at an average of 114 days with 2,159.48 DD. In terms of yield, Mandau excelled in panicle length, panicle weight, and grain weight per panicle, while Super-2 outperformed in plant height, leaf count, and fresh and dry stover weight. Varietal responses are influenced by differences in the growing media used. These differences are evident in the fresh and dry weight of the stalks, panicle length, and seed moisture content.

Keywords: phenology, Growing Degree Days, climate change, sorghum, lowlands.

**FENOLOGI, PERTUMBUHAN, DAN PRODUKSI TANAMAN SORGUM
(*Sorghum bicolor* [L.] Moench) DI DATARAN RENDAH DENGAN
PENAMBAHAN BAHAN ORGANIK: STUDI ADAPTASI TANAMAN
TERHADAP PERUBAHAN IKLIM**

Oleh

DIMAS FERDIANSYAH

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Agronomi dan Hortikultura
Fakultas Pertanian, Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

Judul Skripsi : **FENOLOGI, PERTUMBUHAN, DAN PRODUKSI TANAMAN SORGUM (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) DI DATARAN RENDAH DENGAN PENAMBAHAN BAHAN ORGANIK: STUDI ADAPTASI TANAMAN TERHADAP PERUBAHAN IKLIM**

Nama : **Dimas Ferdiansyah**

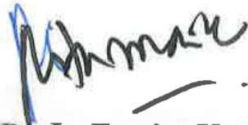
Nomor Poko Mahasiswa : 1914161018

Jurusan : Agronomi dan Hortikultura

Fakultas : Pertanian

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Prof. Dr. Ir. Tumiari Katarina B. Manik, M.Sc.
NIP 196302021987032001



Prof. Dr. Ir. Paul B. Timotiwu, M.S.
NIP 196209281987031001

2. Ketua Jurusan Agronomi dan Hortikultura



Prof. Ir. Maria Viva Rini, M.Agr.Sc., Ph.D.
NIP 196603041990122001

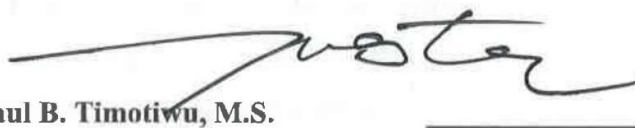
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Prof. Dr. Ir. Tumiar Katarina B. Manik, M.Sc



Sekretaris : Prof. Dr. Ir. Paul B. Timotiwu, M.S.



Penguji

Bukan Pembimbing : Prof. Ir. Maria Viva Rini, M.Agr.Sc., Ph.D.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dr. P. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.
NIP. 196411181989021002



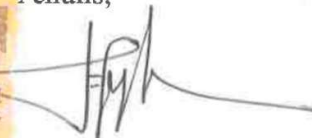
Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 28 April 2026

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **“Fenologi, Pertumbuhan, dan Produksi Tanaman Sorgum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) di Dataran Rendah dengan Penambahan Bahan Organik: Studi Adaptasi Tanaman Terhadap Perubahan Iklim”** merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan hasil karya orang lain. Semua hasil yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan hasil salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 28 April 2026
Penulis,




Dimas Ferdiansyah
NPM 1914161018

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Dimas Ferdiansyah, lahir di Gisting pada tanggal 14 Februari 2001. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Suradi dan Ibu Sanijah serta memiliki satu adik kandung bernama Dio Adi Saputra. Penulis menempuh pendidikan sekolah dasar di SDN 2 Gisting Atas pada tahun 2007-2013, sekolah menengah pertama di SMPN 1 Gisting pada tahun 2013-2016, dan sekolah menengah atas di SMAN 1 Sumberejo pada tahun 2016-2019. Setelah lulus, penulis melanjutkan studi jenjang Strata 1 (S1) di Jurusan Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menempuh pendidikan di perguruan tinggi, penulis aktif dalam berbagai kegiatan akademik, organisasi kemahasiswaan, kepemudaan, serta kegiatan sosial kemasyarakatan. Dalam bidang akademik, penulis berperan aktif sebagai Asisten Dosen pada praktikum mata kuliah Kimia Dasar tahun 2020 dan 2021, Teknologi Benih tahun 2022, serta Produksi Tanaman Pangan tahun 2026. Selain itu, penulis juga berkontribusi sebagai Tutor Forum Ilmiah Mahasiswa (FILMA) Fakultas Pertanian Unila pada tahun 2020. Dalam kegiatan organisasi kemahasiswaan, penulis aktif di Himpunan Mahasiswa Agronomi dan Hortikultura (HIMAGRHO) Fakultas Pertanian Universitas Lampung pada bidang Kaderisasi dan Organisasi sebagai anggota tahun 2021 dan mentor tahun 2022.

Penulis aktif dalam organisasi kepemudaan GenRe (Generasi Berencana) melalui UKM PIK R Raya Universitas Lampung dan Forum GenRe Kabupaten Tanggamus sejak tahun 2021. Pada tahun yang sama, penulis terpilih sebagai Finalis Duta GenRe Universitas Lampung dan Finalis Duta GenRe Provinsi Lampung. Penulis kemudian melanjutkan kontribusinya di GenRe Provinsi

Lampung sebagai Kepala Biro *Life Skill*, yang turut mengantarkan prestasi Juara 2 Pentas *Cultural Immersion* ADUJAK tingkat Nasional di Yogyakarta pada tahun 2022. Penulis juga aktif dalam kegiatan sosial kemasyarakatan melalui Komunitas RuangPangan, Rumah Perempuan dan Anak (RPA) Kabupaten Tanggamus dan BalikK(L)ampung *Community*.

Pada bulan Januari-Februari 2023, penulis melaksanakan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Pekon Way Napal, Kecamatan Krui Selatan, Kabupaten Pesisir Barat. Penulis juga melaksanakan Praktik Umum (PU) di Unit Penunjang Akademik Laboratorium Terpadu Universitas Lampung pada Juli-Agustus 2025. Kegiatan tersebut menghasilkan karya ilmiah berupa laporan kerja praktik yang berjudul **“Penentuan Total Nitrogen pada Sampel Tanah Pertanian Menggunakan Metode Kjeldahl di Unit Penunjang Akademik Laboratorium Terpadu Universitas Lampung.”** Berbagai pengalaman akademik, organisasi, kepemudaan, dan kegiatan sosial yang telah diikuti menjadi bekal bagi penulis dalam mengembangkan kemampuan kepemimpinan, komunikasi, serta pemahaman terhadap permasalahan masyarakat dan pembangunan pertanian.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbilalamin. Segala puji kepada Allah SWT., berkat segala rahmat dan karunianya, skripsi ini dapat terselesaikan. Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada junjungan besar Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan tuntunan di jalan yang benar.

Dengan penuh kesadaran, rasa syukur, dan hati yang tulus kupersembahkan hasil karya ini kepada:

Teruntuk Mamaku dan Bapakku,

Maaf telah memeras keringatmu terlalu sering, membanting tulangmu terlalu kasar, atau bahkan membuat air mata penuh kecewa sepanjang prosesku ini ya. Terima kasih, berkatmu “Sarjana” tak lagi jadi andai-andai. Juangku memang belumlah usai, jadi sehat terus ya kalian...

Teruntuk Seluruh Keluargaku,

Terima kasih telah banyak sediakan tawa, haturkan doa, hingga beri bala bantuan tanpa ada keraguan ditengah langkahku yang masih samar.

Teruntuk Mereka,

Teruntuk mereka. Manusia yang hadir dan ku jumpai di kehidupan ini. Terima kasih telah turut andil memberikan pelajaran. Terkhusus sahabat dan teman seperjuangan di semua bidang, terima kasih telah membantuku memecah ragu dan selesaikan ini satu persatu.

Teruntuk seluruh dosen yang selalu bersemangat memberikan ilmu dan motivasi.

Almamater tercinta Universitas Lampung.

MOTTO

“Maka nikmat Tuhanmu yang manakah yang kamu dustakan?”

(Q.S. Ar-Rahman 55:13)

"Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan pergantian malam dan siang terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi orang yang berakal."

(QS. Ali 'Imran: 190)

“Perkuat kompetensi, perbanyak kolaborasi, maka potensi dapat kita eskalasi.”

(Dimas Ferdiansyah)

“Memulai langkah sekarang juga adalah opsi terbaik untuk menjawab ragu. Sebab sesal mendalam akan terjadi jika menunda, lupa dan akhirnya tak bisa berbuat apa-apa.”

(Dimas Ferdiansyah)

SANWACANA

Puji syukur kehadiran Allah SWT., atas segala rahmat, hidayat, serta karunia-Nya sehingga Penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Fenologi, Pertumbuhan, dan Produksi Tanaman Sorgum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) di Dataran Rendah dengan Penambahan Bahan Organik: Studi Adaptasi Tanaman Terhadap Perbedaan Musim**”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat utama dalam mencapai gelar Sarjana Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Penulis menyampaikan terima kasih yang tak terhingga kepada pihak-pihak yang terlibat dalam proses penelitian maupun dalam penyelesaian skripsi ini, yaitu kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Suradi dan Ibu Sanijah, serta adikku Dio Adi Saputra yang selalu memberikan dukungan, motivasi, doa dan perjuangan luar biasa hingga penulis bisa menyelesaikan masa studi ini;
2. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
3. Ibu Prof. Ir. Maria Viva Rini, M.Agr.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Agronomi dan Hortikultura sekaligus Dosen Penguji yang telah banyak memberikan arahan, motivasi, kritik, dan saran yang membangun kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik;
4. Ibu Prof. Dr. Ir. Tumiar Katarina B Manik, M.Sc., selaku Pembimbing Pembimbing Akademik sekaligus Dosen Pembimbing Pertama yang telah banyak memberikan ilmu, mengayomi dengan sabar, memberi kesempatan, motivasi belajar, bimbingan sejak awal masa studi, dan terus memberikan rasa percaya diri hingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi;

5. Bapak Prof. Dr. Ir. Paul Benyamin Timotiwu, M.S., selaku Dosen Pembimbing Kedua yang telah banyak memberikan masukan dan wawasan mengenai metode pengolahan data yang digunakan selama penelitian;
6. Ibu Dr. RA. Diana Widyastuti, S.P., M.Si., selaku Sekretaris Jurusan Agronomi dan Hortikultura;
7. Seluruh dosen dan staf Jurusan Agronomi dan Hortikultura yang telah kebersamai penulis dalam proses penggalian ilmu selama masa studi;
8. Seluruh keluarga “*MasterChef Indonesia*” yang senantiasa menciptakan tawa dan mengirimkan doa sehingga menjadi sumber penyemangat bagi penulis;
9. Keluarga Pak Udi yang telah memberikan tempat singgah selama penulis menjalankan proses penelitian dan penulisan skripsi;
10. Persepupuan (Senot dan Silput) yang telah banyak menemani dan membantu penulis melewati hari-hari yang sulit;
11. *Sorgumers team*, yaitu Mba Dwi, Raffly, Fharaz, Nadila, dan Eka yang telah menjadi sahabat dan keluarga baru dalam proses perjuangan panjang penelitian sorgum dari awal hingga selesai;
12. Teman-teman AGH, terima kasih atas cerita dan pembelajaran yang tercipta selama masa kuliah;
13. Teman-teman Tim KPS, yaitu Dhifa, Rey, Mia, Zeda, dan Novriansyah, yang telah kebersamai penulis dalam merealisasikan ide-ide aneh hingga menciptakan momen-momen terbaik bagi penulis. Semoga kesehatan dan kebahagiaan menyertai selalu di masa mendatang;
14. *Sangkaners*, Ben, Ian, dan Lik teman terbaik lintas bidang yang secara tak disangka bisa akrab dan dekat. Terima kasih telah memotivasi dalam banyak hal dan melengkapi cerita bahagia di waktu itu bahkan sampai saat ini;
15. Teman-teman Baramuda, Mba Detri, Kak Juli, Kak Dandri, Mba Riens, Ajo, Adel, Kak Elv, Munif, Ernando, Andi, Bang Zandi, dan semua yang berjuang di waktu itu. Terima kasih telah memberi kesempatan terbaik dan dorongan kuat bagi penulis untuk menyelesaikan studi dengan lebih tanggungjawab;
16. Teman-teman KKN Desa Way Napal, Andika, Affan, Aul, Intan, Zhafira, dan Nanda yang telah berhasil jadi tim kompak dan mendukung penulis menyelesaikan penulisan skripsi ini;

17. Teman teman “Jam 8 di Lab Tiap Hari”, terima kasih pernah menerima penulis sebagai bagian dari tim dan keluarga, serta atas segala bantuan yang diberikan saat penulis menghadapi kesulitan;
18. Untuk teman-teman yang pernah hadir dan mengisi hari-hari penulis, terima kasih telah memberikan pelajaran berharga yang layak dikenang selamanya;
19. Serta seluruh pihak yang telah membantu penulis hingga selesainya skripsi ini. Penulis tidak bisa menyebutkan satu persatu, tapi semoga Allah senantiasa melimpahkan rahmat, kesehatan, kebahagiaan, dan kelimpahan pahala.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, Penulis sangat menerima adanya kritik dan masukan yang bersifat membangun dari pembaca. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat yang baik, Aamiin.

Bandar Lampung, 28 April 2026
Penulis,

Dimas Ferdiansyah

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Landasan Teori	5
1.5 Kerangka Pemikiran	8
1.6 Hipotesis Penelitian	10
II. TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1 Perubahan Iklim	11
2.1.1 Dampak Peningkatan Suhu dan Perubahan Musim Tanam.....	12
2.1.2 Dampak Perubahan Pola Curah Hujan Terhadap Ketersediaan Air	13
2.1.3 Dampak Terhadap Serangan Hama dan Penyakit Tanaman.....	13
2.2 Tanaman Sorgum (<i>Sorghum bicholar</i> [L] Moench).....	14
2.2.1 Varietas Mandau	16
2.2.2 Varietas Super-2.....	16
2.2.3 Varietas Numbu.....	17
2.3 Fenologi Tanaman	18
2.4 Growing Degree Days (GDD)	19
III. METODOLOGI PENELITIAN	20

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	20
3.2 Bahan dan Alat	20
3.3 Metode Penelitian.....	20
3.4 Pelaksanaan Penelitian.....	21
3.4.1 <i>Persiapan Penelitian</i>	21
3.4.2 <i>Persiapan Media Tanam</i>	21
3.4.3 <i>Penanaman</i>	22
3.4.4 <i>Pemeliharaan</i>	22
3.4.5 <i>Panen dan Pasca Panen</i>	24
3.5 Variabel Pengamatan	25
3.5.1 <i>Unsur Cuaca</i>	25
3.5.2 <i>Pengamatan Pertumbuhan dan Produksi Tanaman</i>	25
3.5.3 <i>Pengamatan Fenologi Tanaman</i>	27
3.6 Pengolahan Data.....	29
3.6.1 <i>Perhitungan Growing Degree Days (GDD)</i>	29
3.6.2 <i>Analisis Data</i>	29
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Hasil.....	31
4.1.1 <i>Unsur Iklim</i>	31
4.1.1.1 <i>Suhu Udara di Lokasi Penelitian</i>	31
4.1.1.2 <i>Intensitas Radiasi Matahari</i>	32
4.1.1.3 <i>Intensitas Cahaya dan Kelembapan Udara</i>	33
4.1.1.4 <i>Daya Hantar Tanah, Kelembapan Tanah, pH Tanah, dan Suhu Tanah</i>	34
4.1.2 <i>Fenologi</i>	37
4.1.3 <i>Growing Degree Days (GDD)</i>	38
4.1.3.1 <i>Fase Awal Pertumbuhan</i>	41
4.1.3.2 <i>Fase Vegetatif Lanjutan</i>	42
4.1.3.3 <i>Fase Generatif</i>	42
4.1.3.4 <i>Fase Pengisian dan Pengerasan Biji</i>	43
4.1.3.5 <i>Fase Matang Fisiologis</i>	43

4.1.4 <i>Pertumbuhan dan Produksi Tanaman</i>	44
4.1.4.1 <i>Tinggi Tanaman</i>	45
4.1.4.2 <i>Jumlah Daun</i>	46
4.1.4.3 <i>Bobot Segar Brangkasan</i>	47
4.1.4.4 <i>Bobot Kering Brangkasan</i>	48
4.1.4.5 <i>Panjang Malai</i>	50
4.1.4.6 <i>Bobot Malai</i>	50
4.1.4.7 <i>Bobot Biji Permalai</i>	50
4.1.4.8 <i>Bobot 1000 Butir</i>	51
4.1.4.9 <i>Kadar Air</i>	52
4.1.4.10 <i>Bobot Segar Akar</i>	53
4.1.4.11 <i>Bobot Kering Akar</i>	53
4.2 <i>Pembahasan</i>	54
V. KESIMPULAN DAN SARAN	60
5.1 <i>Kesimpulan</i>	60
5.2 <i>Saran</i>	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN	68

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Intensitas cahaya dan kelembapan udara	33
2. Daya hantar tanah, kelembapan tanah, pH tanah, dan suhu tanah.....	34
3. Rata-rata waktu tercapainya tahapan pertumbuhan tanaman sorgum.....	38
4. Nilai <i>Cumulative Degree Days</i> dari hari ke-1 sampai hari ke-78.....	39
5. Nilai <i>Cumulative Degree Days</i> dari hari ke-79 sampai hari ke-122.....	40
6. Nilai GDD per varietas tanaman sorgum	41
7. Rekapitulasi analisis ragam setiap variabel pengamatan	44
8. Pengaruh media tanam dan varietas terhadap rata-rata tinggi tanaman (cm) sorgum berumur 10 MST	45
9. Pengaruh media tanam dan varietas terhadap rata-rata jumlah daun (helai) tanaman sorgum berumur 10 MST	46
10. Pengaruh media tanam dan varietas terhadap rata-rata bobot segar brangkasan (g) tanaman sorgum	47
11. Pengaruh media tanam dan varietas terhadap rata-rata bobot kering brangkasan (g) tanaman sorgum.....	48
12. Pengaruh media tanam terhadap rata-rata panjang malai (cm) tanaman sorgum.....	49
13. Pengaruh media tanam dan varietas terhadap rata-rata bobot malai (g) tanaman sorgum.....	50
14. Pengaruh media tanam dan varietas terhadap bobot biji per malai (g) tanaman sorgum.....	51

15. Pengaruh media tanam dan varietas terhadap bobot 1.000 butir (g) tanaman sorgum.....	51
16. Pengaruh media tanam dan varietas terhadap kadar air (%) tanaman sorgum.....	52
17. Pengaruh media tanam dan varietas terhadap bobot segar akar (g) tanaman sorgum.....	53
18. Pengaruh media tanam dan varietas terhadap bobot kering akar (g) tanaman sorgum.....	53
19. Nilai rata-rata jumlah daun dan tinggi tanaman	70
20. Nilai rata-rata bobot segar brangkasan dan bobot kering brangkasan	71
21. Nilai rata-rata panjang malai dan bobot malai	72
22. Nilai rata-rata bobot biji permalai dan bobot 1000 butir.....	73
23. Nilai rata-rata kadar air	74
24. Nilai rata-rata bobot kering akar dan bobot segar akar.....	75
25. Hasil uji Barlett untuk homogenitas data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel tinggi tanaman	76
26. Hasil uji Tukey untuk aditivitas data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel tinggi tanaman	76
27. Hasil analisis ragam data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel tinggi tanaman	76
28. Nilai koefisien keragaman strip plot data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel tinggi tanaman	77
29. Hasil uji lanjut BNT data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel tinggi tanaman	77
30. Hasil uji Shapiro untuk kenormalan data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel jumlah daun	77
31. Hasil uji Barlett untuk homogenitas data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel jumlah daun	77

32. Hasil uji Tukey untuk aditivitas data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel jumlah daun	78
33. Hasil analisis ragam strip plot antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel jumlah daun	78
34. Nilai koefisien keragaman strip plot data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel jumlah daun	78
35. Hasil uji lanjut BNT data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel jumlah daun	79
36. Hasil uji Barlett untuk homogenitas data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada bobot segar brangkasan	79
37. Hasil uji Tukey untuk aditivitas data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada bobot segar brangkasan	79
38. Hasil analisis ragam strip plot antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada bobot segar brangkasan	80
39. Nilai koefisien keragaman strip plot data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada bobot segar brangkasan	80
40. Hasil uji Shapiro untuk kenormalan data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada bobot kering brangkasan	80
41. Hasil uji Barlett untuk homogenitas data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada bobot kering brangkasan	81
42. Hasil uji Tukey untuk aditivitas data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada bobot kering brangkasan	81
43. Hasil analisis ragam antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada bobot kering brangkasan	81
44. Nilai koefisien keragaman strip plot data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada bobot kering brangkasan	82
45. Hasil uji Shapiro untuk kenormalan data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel panjang malai	82

46. Hasil uji Barlett untuk homogenitas data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel panjang malai	82
47. Hasil uji Tukey untuk aditivitas data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel panjang malai	82
48. Hasil analisis ragam antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel panjang malai	83
49. Nilai koefisien keragaman strip plot data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel panjang malai	83
50. Hasil uji Shapiro untuk kenormalan data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot biji permalai	83
51. Hasil uji Barlett untuk homogenitas data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot biji permalai	84
52. Hasil uji Tukey untuk aditivitas data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot biji permalai	84
53. Hasil analisis ragam antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot biji permalai	84
54. Nilai koefisien keragaman strip plot data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot biji permalai	85
55. Hasil uji Shapiro untuk kenormalan data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel kadar air	85
56. Hasil uji Barlett untuk homogenitas data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel kadar air	85
57. Hasil uji Tukey untuk aditivitas data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel kadar air	85
58. Hasil analisis ragam antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel kadar air	86
59. Nilai koefisien keragaman strip plot data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel kadar air	86

60. Hasil uji Shapiro untuk kenormalan data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot segar akar	86
61. Hasil uji Barlett untuk homogenitas data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot segar akar	87
62. Hasil uji Tukey untuk aditivitas data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot segar akar	87
63. Hasil analisis ragam antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot segar akar	87
64. Nilai koefisien keragaman strip plot data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot segar akar	88
65. Hasil uji Shapiro untuk kenormalan data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot kering akar	88
66. Hasil uji Barlett untuk homogenitas data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot kering akar	88
67. Hasil uji Tukey untuk aditivitas data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot kering akar	88
68. Hasil analisis ragam antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot kering akar	89
69. Nilai koefisien keragaman strip plot data antar perlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot kering akar	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Diagram Alir Kerangka Pemikiran	9
2. Tata letak percobaan	21
3. Tahap pertumbuhan tanaman sorgum serta hama dan penyakitnya	27
4. Suhu maksimum dan minimum harian di lokasi penelitian	32
5. Perbandingan daya hantar tanah antara pemberian pupuk NPK dan pupuk NPK dengan penambahan bahan organik	35
6. Perbandingan kelembapan tanah antara pemberian pupuk NPK dan pupuk NPK dengan penambahan bahan organik	36
7. Perbandingan pH tanah antara pemberian pupuk NPK dan pupuk NPK dengan penambahan bahan organik	36
8. Perbandingan suhu tanah antara pemberian pupuk NPK dan pupuk NPK dengan penambahan bahan organik	37
9. Akumulasi nilai GDD tanaman sorgum berdasarkan fase pertumbuhan...	54
10. Akumulasi nilai GDD tanaman sorgum pada media dengan penambahan pupuk NPK berdasarkan fase pertumbuhan	55
11. Akumulasi nilai GDD tanaman sorgum pada media dengan penambahan pupuk NPK dan bahan organik berdasarkan fase pertumbuhan.....	55
12. Penyiapan media tanam.....	90
13. Pengamatan dan Perawatan	90
14. Panen dan Pascapanen.....	91
15. Pengamatan fenologi.....	92

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Nilai rata-rata variabel pengamatan	9
2. Hasil uji statistik variabel pengamatan	21
3. Dokumentasi kegiatan penelitian.....	27

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim memberikan pengaruh buruk terhadap berbagai aspek dalam kehidupan khususnya di sektor pertanian. Perubahan iklim akan menimbulkan tantangan bagi produksi pertanian yang berkelanjutan terutama produksi tanaman pangan (Asir *et al.*, 2022). Perubahan iklim mengakibatkan peningkatan suhu udara, perubahan pola curah hujan, dan frekuensi kejadian cuaca ekstrem yang berpotensi mengganggu sistem budidaya, menurunkan produktivitas, serta risiko gagal panen. Menurut Ningsih *et al.* (2016) peningkatan suhu yang tinggi dapat meningkatkan laju respirasi tanaman dan mengganggu proses fotosintesis. Sebagian besar tanaman serealia hanya dapat menoleransi kenaikan suhu dalam kisaran sempit, jika terjadi kenaikan suhu selama fase pembungaan akan merusak fertilisasi dan produksi biji yang kemudian akan menurunkan hasil tanaman (Sopandie, 2013).

Perubahan iklim dicirikan dengan adanya peningkatan suhu, kenaikan konsentrasi CO₂ di atmosfer, distribusi hujan yang tidak merata, dan kenaikan permukaan air laut (Pinontoan *et al.*, 2022). Terjadinya kenaikan konsentrasi gas rumah kaca mengakibatkan kenaikan suhu yang dapat memengaruhi aspek fungsi, pertumbuhan, dan perkembangan tanaman dengan cara yang berbeda tergantung jenis tanaman dan letak geografis. Perbedaan ketinggian tempat menyebabkan perbedaan kondisi iklim seperti temperatur dan kelembapan udara. Semakin tinggi lokasi penanaman, maka temperatur udara akan semakin menurun, sebaliknya kelembapan udara semakin meningkat (Nurnasari dan Djumali, 2016). Produksi tanaman dipresiksi akan menurun jika terjadi kenaikan suhu 1-2 °C di wilayah tropis pada musim kering (Aryani *et al.*, 2023).

Peningkatan suhu global menjadi salah satu faktor utama yang memengaruhi produktivitas tanaman (Sumastuti dan Pradono, 2016). Tanaman pangan termasuk komoditas paling rentan terhadap dampak perubahan iklim terutama adanya peningkatan suhu (Makarim, 2011). Tanaman pangan memiliki rentang suhu optimal untuk pertumbuhannya, dan ketika suhu melebihi batas toleransinya, tanaman mengalami stres termal yang mengganggu proses fotosintesis, respirasi, dan pengisian biji (Sopandie, 2013). Sebagai contoh pada tanaman padi, yang merupakan sumber utama karbohidrat bagi banyak negara, mengalami penurunan produksi gabah saat suhu harian ekstrem melebihi 30°C selama fase pembungaan (Sulaminingsih *et al.*, 2024).

Salah satu strategi adaptasi penting dalam menghadapi fenomena ini adalah dengan membudidayakan tanaman yang tahan terhadap cekaman lingkungan. Sorgum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench] merupakan tanaman pangan alternatif yang memiliki toleran tinggi terhadap cekaman abiotik seperti suhu tinggi dan kekeringan. Tanaman ini memiliki akar serabut yang mampu melakukan penyerapan air dengan cepat dan daunnya yang dilapisi lilin berkilap dapat membantu mengurangi evapotranspirasi. Tanaman sorgum termasuk dalam golongan tanaman C4 yang hanya menunjukkan sedikit perubahan dalam proses fotosintesisnya terhadap peningkatan CO₂ karena jalur C4 tidak dihambat oleh O₂ dan dapat dijenuhkan oleh CO₂ secara total (Ahmad *et al.*, 2010). Sorgum juga memiliki keunggulan dalam tingkat adaptasinya yaitu dapat tetap tumbuh dengan baik di daerah dengan curah hujan tinggi maupun kering (Prasetyo *et al.*, 2022).

Fenologi tanaman adalah ilmu yang mempelajari tentang tahapan pertumbuhan dan perkembangan tanaman secara alamiah sebagai respon terhadap iklim dan lingkungan (Ziello *et al.*, 2009). Tanaman merespons perubahan iklim melalui mekanisme penyesuaian pola fenologinya, seperti pergeseran fase pertumbuhan, perubahan struktur morfologi, dan reproduksi (Workie dan Debella, 2018). Oleh karena itu, fenologi tanaman menjadi salah satu indikator efektif untuk melihat dampak dari perubahan iklim terhadap tanaman. Fenologi tanaman juga dapat digunakan dalam merancang kegiatan pertanian, memantau dinamika iklim, serta keterkaitan fungsi ekosistem dan interaksinya (Zhang *et al.*, 2016).

Fenologi tanaman yang menggambarkan tahapan perkembangan suatu tanaman dapat dianalisis secara kuantitatif menggunakan konsep *Growing Degree Days* (GDD). GDD merupakan metode untuk memperkirakan laju perkembangan tanaman berdasarkan suhu harian, yang dapat menjadi indikator penting dalam mengidentifikasi adaptasi tanaman terhadap perubahan iklim (Bankole, 2022). GDD menjelaskan hubungan antara suhu dengan laju pertumbuhan tanaman yang dijelaskan secara linier, dengan asumsi bahwa kecepatan pertumbuhan meningkat seiring kenaikan suhu selama nilainya berada di atas suhu dasar dan belum melampaui batas suhu maksimum yang masih dapat ditoleransi oleh tanaman (Zhang *et al.*, 2013). Melalui pendekatan ini, setiap fase fenologi seperti perkecambahan, pembungaan, hingga kematangan dapat diprediksi berdasarkan akumulasi GDD yang dibutuhkan tanaman untuk mencapai tahap tersebut.

Penggunaan GDD terbukti mampu meningkatkan ketepatan dalam memprediksi waktu terjadinya fase-fase fenologis dibandingkan metode konvensional seperti jumlah hari setelah tanam, karena GDD mempertimbangkan variasi kondisi lingkungan khususnya suhu udara (Bewick *et al.*, 1988). Melalui metode GDD ini, penentuan waktu panen tidak hanya berdasarkan hari setelah tanam saja tetapi juga dengan cara memperhitungkan faktor cuaca (Timotiwu *et al.*, 2021). Namun, respons fenologis dan produktivitas sorgum di dataran rendah masih belum banyak diteliti secara mendalam, terutama dalam kaitannya dengan akumulasi suhu yang dinyatakan dengan *Growing Degree Days*. Oleh karena itu, penting untuk mengkaji aspek fenologi, pertumbuhan, dan produksi tanaman sorgum serta kebutuhan GDD-nya, sebagai bagian dari studi adaptasi tanaman terhadap perubahan iklim. Hasil penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi terhadap pengembangan sistem budidaya sorgum yang adaptif, efisien, dan berkelanjutan.

Tanaman sorgum mempunyai banyak varietas dengan berbagai karakteristik dan keunggulan yang berbeda-beda. Tanaman sorgum dapat ditanam di tanah dataran rendah, dataran sedang, dan dataran tinggi dengan menyesuaikan varietas sorgum. Varietas yang sesuai mampu beradaptasi dengan baik pada lingkungan yang terbatas, seperti kemasaman tanah dan kekeringan, serta tetap dapat mempertahankan pertumbuhan dan produksi secara optimal (Susilo *et al.*, 2011).

Oleh karena itu, perlu didapatkan varietas yang tepat untuk dikembangkan di dataran rendah untuk menunjang upaya peningkatan produksi dan perluasan areal pertanaman sorgum di masing-masing lokasi penanaman (Biba, 2015). Varietas Mandau, Super-2, dan Numbu merupakan varietas unggul sorgum yang telah dilepas di Indonesia dan memiliki karakteristik agronomis yang berbeda, sehingga dapat digunakan sebagai bahan kajian adaptasi terhadap faktor lingkungan seperti waktu tanam dan suhu.

Varietas Numbu dikenal dengan potensi hasil biji tinggi dan tahan terhadap cekaman kekeringan, menjadikannya cocok dibudidayakan di daerah beriklim kering (Susilo *et al.*, 2011). Varietas Super 2 memiliki keunggulan pada siklus hidupnya yang relatif lebih cepat, serta memiliki kemampuan produksi biomassa tinggi yang potensial sebagai sumber energi atau pakan ternak (Subagio, 2014). Adapun varietas Mandau memiliki keunggulan dalam toleransi terhadap tanah marginal serta hasil gabah yang lebih tinggi pada berbagai kondisi lingkungan (Siswanto *et al.*, 2015). Menurut Badan Litbang Pertanian (2015), ketiga varietas ini menunjukkan respons fenologis yang berbeda terhadap perlakuan waktu tanam dan lingkungan tumbuh, sehingga penting untuk mengkaji pertumbuhan dan produksi sorgum di dataran rendah. Dengan memahami respons masing-masing varietas terhadap akumulasi suhu (GDD), waktu tanam, dan input organik, petani dapat memilih varietas yang paling sesuai untuk mendukung ketahanan produksi sorgum di masa depan.

Peningkatan suhu dapat mempercepat penguapan, sehingga tanah cepat kering dan ketersediaan air bagi tanaman menurun. Bahan organik berperan dalam meningkatkan kapasitas tanah untuk menahan air dan unsur hara, yang sangat krusial bagi tanaman yang dibudidayakan di dataran rendah dengan risiko cekaman kekeringan. Menurut Rawung *et al.* (2018), aplikasi bahan organik kotoran ayam memberikan pengaruh yang berbeda nyata ($P < 0.05$) terhadap tinggi tanaman, jumlah daun, dan panjang daun yang pada akhirnya berdampak positif terhadap hasil panen. Pada akhirnya kombinasi bahan organik dengan waktu tanam, dan varietas yang tepat dapat meningkatkan efisiensi penggunaan suhu sehingga mempercepat perkembangan fenologis sorgum secara optimal.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Apakah terjadi perbedaan fenologi, pertumbuhan, dan hasil produksi 3 varietas sorgum yang ditanam di dataran rendah?
2. Berapakah nilai *Growing Degree Days* (GDD) ketiga varietas sorgum yang ditanam di dataran rendah?
3. Apakah penambahan bahan organik dalam media tanam dan perbedaan varietas sorgum memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan dan produksi sorgum yang ditanam di dataran rendah?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut :

1. Mengetahui perbedaan fenologi, pertumbuhan, dan hasil produksi 3 varietas sorgum yang ditanam di dataran rendah.
2. Mengetahui dan menghitung nilai *Growing Degree Days* (GDD) ketiga varietas sorgum yang ditanam di dataran rendah.
3. Mengetahui pengaruh media tanam dan varietas sorgum terhadap pertumbuhan dan produksi sorgum yang ditanam di dataran rendah.

1.4 Landasan Teori

Perubahan iklim disebabkan oleh peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer yang mengakibatkan terperangkapnya panas matahari dan meningkatnya suhu di permukaan bumi. Aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil, industri dan manufaktur, deforestasi, dan konversi lahan pertanian menjadi penyumbang utama emisi karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dan dinitrogen oksida (N₂O) (Fresillia *et al.*, 2024). Suhu global saat ini telah meningkat sekitar 1,2 °C sejak era pra-industri dan diperkirakan akan terus meningkat sekitar 2°C hingga tahun 2100, yang dapat menimbulkan kerugian ekonomi besar secara global (Malhi *et al.*, 2021).

Perubahan iklim menjadi ancaman serius bagi produksi pertanian yang berkelanjutan karena sistem pertanian sangat dipengaruhi oleh kestabilan iklim, sehingga berpotensi menurunkan produktivitas dan mengancam ketahanan pangan jangka panjang. Ketidakpastian musim tanam, stres akibat suhu tinggi, serta peningkatan serangan hama dan penyakit yang dipicu oleh perubahan iklim menghambat upaya untuk menjaga keberlanjutan produksi pertanian, terutama di wilayah agraris yang masih bergantung pada sistem tradisional (Harahap *et al.*, 2025). Oleh karena itu, diperlukan strategi adaptasi yang tepat, seperti penggunaan varietas tahan cekaman, pengelolaan waktu tanam yang lebih fleksibel, serta penerapan teknologi budidaya yang adaptif terhadap perubahan iklim guna menjaga stabilitas produksi pertanian.

Sorgum merupakan tanaman sereal tropis yang tergolong dalam kelompok tanaman C4, yaitu jenis tanaman yang memiliki jalur fotosintesis lebih efisien dalam pemanfaatan cahaya, air, dan karbon dioksida dibandingkan tanaman C3. Karakter fotosintesis C4 ini menjadikan sorgum adaptif terhadap kondisi lingkungan ekstrem seperti kekeringan, suhu tinggi, dan lahan marginal (Harmini dan Fanindi, 2020). Efisiensi fotosintesis pada tanaman C4 memungkinkan sorgum tetap produktif pada intensitas cahaya tinggi dan ketersediaan air terbatas, menjadikannya salah satu komoditas potensial dalam menghadapi dampak perubahan iklim. Selain itu, sorgum memiliki sistem perakaran yang dalam, toleran terhadap salinitas, serta input budidaya yang relatif rendah, sehingga mendukung keberlanjutan sistem pertanian di lahan-lahan kering (Harmini dan Fanindi, 2020). Dengan karakteristik tersebut, sorgum sangat layak dikembangkan sebagai tanaman alternatif pangan dan pakan di wilayah yang rentan terhadap perubahan iklim serta dalam rangka diversifikasi pangan nasional yang berkelanjutan.

Kondisi suhu yang lebih panas di dataran rendah berdampak langsung pada proses fisiologis tanaman, termasuk laju fotosintesis dan transpirasi. Salah satu dampaknya adalah percepatan akumulasi suhu harian yang dinyatakan dalam GDD, sehingga fase-fase fenologi tanaman seperti munculnya daun, pembungaan, hingga pematangan biji terjadi lebih awal dibandingkan wilayah yang lebih sejuk.

Meskipun pergeseran fenologi ini bisa memperpendek masa tanam, namun jika terlalu cepat, dapat menyebabkan ketidakseimbangan pertumbuhan dan dapat menggugurkan bakal biji sehingga terjadi penurunan hasil (Sopandie, 2013).

Konsep GDD dapat digunakan untuk mengukur akumulasi panas yang dibutuhkan tanaman untuk mencapai fase pertumbuhan tertentu. GDD dihitung berdasarkan selisih suhu harian rata-rata dengan suhu dasar (*base temperature*) spesifik untuk setiap jenis tanaman. Keterkaitan antara fenologi dan GDD pada tanaman sorgum menunjukkan bahwa perubahan suhu akibat perubahan iklim dapat mempengaruhi waktu pencapaian fase pertumbuhan. Oleh karena itu, pemahaman mengenai fenologi dan GDD menjadi penting untuk merancang strategi adaptasi tanaman terhadap perubahan iklim yang efektif dan mendukung ketahanan pangan di masa depan (Ammaiyappan *et al.*, 2023).

Peningkatan suhu di wilayah dataran rendah merupakan fenomena yang terjadi akibat kombinasi faktor alamiah dan antropogenik. Secara geografis, dataran rendah memiliki ketinggian relatif rendah di atas permukaan laut sehingga tekanan udara lebih tinggi dan kemampuan atmosfer dalam menyerap panas lebih besar dibandingkan dengan wilayah dataran tinggi. Hal ini menyebabkan suhu udara cenderung lebih tinggi di dataran rendah (Purwantara, 2015). Salah satu dampak utama dari peningkatan suhu ini adalah percepatan penguapan, degradasi tanah, dan penurunan kelembapan tanah, yang pada akhirnya menghambat pertumbuhan tanaman. Penambahan bahan organik seperti pupuk kandang ayam telah terbukti menjadi solusi adaptif yang efektif untuk mengurangi dampak suhu tinggi terhadap tanah dan tanaman. Secara tidak langsung penambahan bahan organik ke dalam tanah akan memengaruhi proses agregasi dan sebaran pori tanah sehingga meningkatkan kemampuan tanah dalam menyimpan air dan menjaga kelembapan tanah (Saidy, 2018). Selain itu, bahan organik juga meningkatkan Kapasitas Tukar Kation (KTK) dan aktivitas biologi tanah, yang secara tidak langsung membantu tanaman beradaptasi terhadap cekaman suhu tinggi dengan memperbaiki keseimbangan iklim mikro di sekitar perakaran tanaman budidaya (Lumbanraja dan Erwin, 2015).

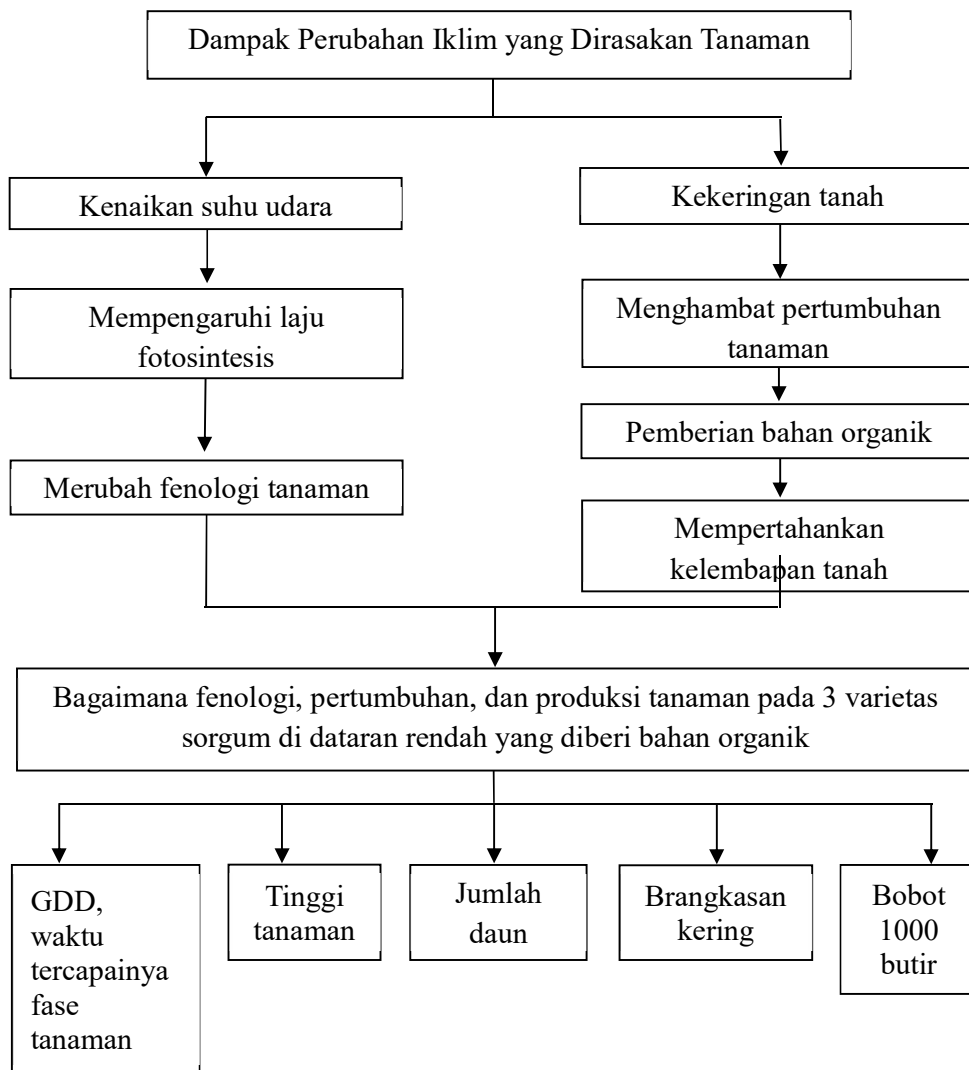
1.5 Kerangka Pemikiran

Perubahan iklim memberikan dampak langsung terhadap kondisi lingkungan yang dirasakan tanaman, terutama melalui dua faktor utama yaitu kenaikan suhu udara dan kekeringan tanah. Tanaman sorgum merupakan salah satu komoditas pangan penting yang memiliki kemampuan adaptasi baik pada kondisi lahan kering, namun tetap tidak terlepas dari dampak perubahan iklim. Secara geografis, wilayah dataran rendah lebih rentan terhadap akumulasi panas atau suhu tinggi. Peningkatan suhu udara serta semakin seringnya terjadi kekeringan tanah dapat mengganggu proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman, sehingga berisiko menurunkan produktivitas serta mutu biji yang dihasilkan. Kenaikan suhu udara akibat perubahan iklim berpengaruh terhadap proses fisiologis tanaman, seperti laju fotosintesis dan perubahan fenologi tanaman. Perubahan ini dapat mempercepat atau menghambat waktu tercapainya fase pertumbuhan, yang dalam penelitian ini diukur menggunakan parameter *Growing Degree Days* (GDD).

Di sisi lain, kekeringan tanah menjadi kendala utama dalam pertumbuhan tanaman karena dapat menghambat penyerapan air dan nutrisi. Untuk mengatasi hal tersebut, pemberian bahan organik berupa pupuk kandang ayam menjadi salah satu strategi adaptasi yang efektif, karena pupuk kandang ayam mampu meningkatkan kapasitas tanah dalam menyimpan air dan mempertahankan kelembapan tanah. Dengan mempertimbangkan kedua aspek tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji bagaimana fenologi, pertumbuhan, dan produksi tiga varietas sorgum yang ditanam di dataran rendah dan diberi bahan organik berupa pupuk kandang ayam. Perbedaan respons antar varietas terhadap suhu tinggi dan kekeringan diharapkan dapat memberikan informasi dalam menentukan varietas yang lebih adaptif dan tahan terhadap kondisi lingkungan ekstrem, sehingga berpotensi meningkatkan ketahanan pangan di wilayah kekeringan. Dalam konteks perubahan iklim, pengujian terhadap fenologi, pertumbuhan, dan produksi tanaman menjadi sangat penting untuk memahami bagaimana faktor lingkungan memengaruhi perkembangan tanaman sejak fase perkecambahan hingga panen.

Variabel yang diamati meliputi GDD atau waktu tercapainya fase tanaman, tinggi tanaman, jumlah daun, berat brangkasan kering, dan bobot 1000 butir sebagai indikator pertumbuhan dan hasil produksi. Hubungan antara faktor lingkungan, perlakuan bahan organik, dan respon fisiologis serta agronomis tanaman sorgum ini diharapkan memberikan pemahaman komprehensif adaptasi tanaman terhadap perubahan iklim di ekosistem dataran rendah.

Kerangka pemikiran dalam penelitian ini terangkum dalam diagram alir sebagai berikut :



Gambar 1. Diagram Alir Kerangka Pemikiran

1.6 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan kerangka pemikiran diatas, maka hipotesis yang diajukan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Terdapat perbedaan fenologi, pertumbuhan dan produksi dari 3 varietas tanaman sorgum yang ditanam di dataran rendah.
2. Terdapat perbedaan nilai *Growing Degree Days* (GDD) pada 3 varietas sorgum yang ditanam di dataran rendah.
3. Terjadi interaksi antara media tanam dan varietas sorgum terhadap pertumbuhan dan produksi sorgum yang ditanam di dataran rendah.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perubahan Iklim

Iklim bumi mengalami perubahan secara alami. Menurut Hartmann (2013), perubahan iklim adalah peralihan yang terjadi pada iklim, diidentifikasi dari rerata dan variabilitas pada waktu dan dekade yang lama. Perubahan iklim disebabkan oleh peningkatan gas rumah kaca dan sektor peternakan menyumbang 14,5% dari total emisi gas rumah kaca yang tersusun dari 27% CO₂, 29% N₂O, dan 44% CH₄ (Herawati, 2012). Perubahan iklim memiliki indikator diantaranya yaitu perubahan suhu permukaan, curah hujan, suhu dan tinggi permukaan laut, serta iklim dan cuaca ekstrem yang berdampak pada perubahan ekosistem. Hal ini berpengaruh secara langsung maupun tidak langsung terhadap lingkungan fisik dan biologis (Evans and Moustakas, 2018).

Perubahan dalam intensitas sinar matahari yang mencapai bumi menyebabkan siklus pemanasan dan pendinginan yang menjadi ciri khas dalam sejarah iklim bumi. Menurut *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) mengungkapkan bahwa perubahan iklim merupakan perubahan yang terjadi pada variasi rata-rata kondisi iklim di suatu tempat secara statistik dalam periode waktu tertentu. Perubahan iklim memberikan tantangan besar terhadap produktivitas tanaman, keamanan pangan, dan ketahanan sistem pertanian. Perubahan iklim memengaruhi pertanian melalui dampaknya terhadap pertumbuhan, perkembangan, dan hasil tanaman. Tanaman seperti padi, kedelai, dan gandum sangat sensitif terhadap perubahan suhu dan pola hujan, yang dapat mempercepat atau mengganggu fase-fase fenologis penting seperti pembungaan dan pengisian biji (Wheeler and von Braun, 2013).

2.1.1 Dampak Peningkatan Suhu dan Perubahan Musim Tanam

Peningkatan suhu dapat menurunkan hasil panen melalui stres termal dan air, serta mendorong penyebaran organisme pengganggu tanaman ke wilayah yang sebelumnya tidak terdampak (Lesk *et al.*, 2016). Suhu yang lebih tinggi dapat mempercepat fase-fase fenologis tanaman, seperti pembungaan dan pematangan biji, yang pada akhirnya mengurangi waktu fotosintesis dan akumulasi biomassa, serta berdampak pada penurunan hasil panen. Cekaman suhu tinggi adalah faktor utama yang memengaruhi laju perkembangan tanaman, yang mungkin meningkatkan perkembangan sampai batas tertentu dan menurun setelahnya (Wahid *et al.*, 2007). Menurut Deryng *et al.* (2014), pergeseran waktu tanam akibat perubahan iklim dapat meningkatkan risiko gagal panen jika tidak diantisipasi dengan strategi adaptasi, seperti pemilihan varietas genjah atau pengaturan ulang kalender tanam. Oleh karena itu, pemantauan suhu dan pola musim secara berkala menjadi penting dalam pengelolaan pertanian berkelanjutan di era perubahan iklim.

Sorgum merupakan tanaman C4 dengan *subtype* NADP-ME dikenal dapat beradaptasi pada kondisi kekeringan dan suhu yang tinggi (Ghannoum, 2009). Tanaman C4 merupakan tanaman yang hanya menunjukkan sedikit perubahan dalam proses fotosintesisnya atau tidak berespons sama sekali terhadap peningkatan CO₂ karena jalur C4 tidak dihambat oleh O₂ dan dapat dijenuhi oleh CO₂ secara total (Ahmad *et al.*, 2010). Hal tersebut didukung oleh karakter morfologi dan anatomi (seperti daunnya yang mengandung lapisan lilin tebal dan mempunyai sistem perakaran yang dalam), respon fisiologi (seperti penyesuaian tekanan osmotik) serta sejumlah mekanisme yang mendukung sorgum di bawah kondisi kekeringan. Kenaikan konsentrasi CO₂ akan berdampak pada meningkatnya suhu yang kemudian dapat memengaruhi dari aspek fungsi, pertumbuhan, dan perkembangan tanaman dengan cara yang berbeda tergantung jenis tanaman dan letak geografis. Produksi tanaman diprediksi akan menurun jika terjadi kenaikan suhu 1-2°C di wilayah tropis pada musim kering (Chakrabarti *et al.*, 2012).

2.1.2 Dampak Perubahan Pola Curah Hujan terhadap Ketersediaan Air

Perubahan pola curah hujan memiliki dampak signifikan. Pola curah hujan sangat memengaruhi ketersediaan air tanah, lama masa tanam, awal tanam, dan pola tanam serta pemilihan komoditi tanaman pangan lahan tadah hujan atau lahan kering. Selain itu, perubahan pola curah hujan dan musim tanam yang tidak menentu dapat menyebabkan ketidaksesuaian antara kebutuhan pertumbuhan tanaman dengan ketersediaan air dan cahaya matahari. Hal ini sangat krusial terutama bagi tanaman di wilayah tropis seperti Indonesia, yang sangat bergantung pada kestabilan pola hujan musiman. Tanaman pangan sangat bergantung pada ketersediaan air yang cukup untuk pertumbuhan dan perkembangan. Cekaman kekeringan dapat menurunkan produksi tanaman karena kadar air tanah yang tersedia tidak cukup untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman secara optimal (Farooq *et al.*, 2009). Kondisi cekaman kekeringan di daerah tropis seperti di Indonesia dapat mengakibatkan penurunan hasil produksi sekitar 17 - 60 % (Monneveux *et al.*, 2005).

2.1.3 Dampak Terhadap Serangan Hama dan Penyakit Tanaman

Perubahan iklim memengaruhi kejadian penyakit dan terjadinya serangan hama di pertanian. Perubahan iklim secara langsung maupun tidak langsung akan memengaruhi hewan kecil seperti *atropoda* yang di dalamnya banyak terdapat serangga hama, musuh alami, dan pengurai, serta mikroorganisma lain seperti cendawan, bakteri dan virus yang dapat menyebabkan terjadinya penyakit pada tumbuhan. Sejalan dengan Sharma. (2014) yang menyatakan bahwa perubahan iklim menjadi penyebab utama dari perubahan keragaman dan kelimpahan artropoda, distribusi geografi dari serangga hama, dinamika populasi, biotope hama, interaksi antara tanaman dan herbivora, aktivitas dan kelimpahan musuh alami, kepunahan spesies, serta efikasi dan teknologi proteksi tanaman. Pertanian yang cukup rapat dan hujan yang besar merangsang perkembangan serangga tersebut tetapi hujan juga menyebabkan mortalitas tinggi.

2.2 Tanaman Sorgum (*Sorghum bicholar* [L] Moench)

Sorgum merupakan bagian dari divisi *Spermatophyta* yakni kelompok tumbuhan yang berkembang biak dengan biji (disebut juga tumbuhan berbiji). Termasuk dalam kelas *Monocotyledoneae* (tumbuhan biji berkeping satu), ordo *Poales* yang dicirikan melalui bentuk tanaman terjal dengan siklus hidup semusim, famili *Poaceae* atau *Gramineae* yang merupakan jenis tumbuhan rerumputan dengan karakteristik batang berbentuk silinder dengan buku-buku yang jelas dan genus sorgum (Tjitrosoepomo, 2000). Sorgum adalah tanaman yang termasuk kedalam golongan *serealia* yang berpotensi sebagai komoditas pengganti padi. Memiliki toleransi terhadap cekaman abiotis khususnya pada kekeringan maupun cuaca panas (Aqil dan Bunyamin, 2013). Oleh sebab itu, tanaman sorgum dapat tumbuh baik pada kondisi ekologi yang lebih beragam jika dibandingkan jenis tanaman serealia lainnya. Tanaman sorgum cocok ditanam di daerah dataran rendah sampai daerah yang berketinggian 800 mdpl dengan curah hujan antara 375-425 mm, suhu optimal pertumbuhan pada sorgum antara 23°C-30°C dan kelembapan relatif 20-40%. Tanaman sorgum juga masih dapat tumbuh dengan baik pada tanah yang tergenang atau pada tanah yang berpasir dengan pH tanah berkisar pH 5,5-7,5 (Siregar, 2021). Sorgum memiliki daya adaptasi yang luas, toleran terhadap kekeringan dan genangan air, dapat berproduksi pada lahan marginal, serta relatif tahan terhadap gangguan hama atau penyakit. sehingga sangat berpotensi dikembangkan di Indonesia.

Klasifikasi tanaman sorgum sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
 Divisi : Spermatophyta
 Kelas : Monocotyledone
 Ordo : Poales
 Famili : Poaceae
 Genus : Sorghum
 Spesies : *Sorghum bicholar* (L.) Moench
 (Sumarno *et al.*, 2013)

Tanaman sorgum berakar serabut (Rismunandar, 2006) dan mempunyai perakaran sekunder 2 kali lipat dari tanaman jagung sehingga memiliki toleransi terhadap kekeringan (Andriani dan Isnaini, 2013) dan mampu menyerap air dengan cukup intensif (Lestari *et al.*, 2017). Kemampuan sorgum dalam menghadapi kekeringan juga didukung dengan adanya daun dan batang yang dilapisi lilin tebal yang berfungsi mengurangi transpirasi (du Plessis, 2008). Selain itu sorgum juga memiliki sel penggerak yang akan bekerja menggulung daun secara cepat ketika terjadi kekeringan untuk mengurangi adanya transpirasi (du Plessis, 2008). Bentuk biji sorgum bulat dan terdiri dari tiga lapisan utama, yaitu kulit luar (8%), lembaga (10%), dan endosperma (82%), dengan ukuran sebesar 4,0 x 2,5 x 3,5 mm, dan berat biji 100 butir berkisar antara 8 mg sampai 50 mg dengan rata-rata 28 mg. Kulit biji sorgum dapat berwarna merah, hitam, putih, atau kuning tergantung varietasnya (Earp *et al.*, 2004).

Pola pertumbuhan tanaman sorgum memiliki persamaan dengan jagung, namun interval waktu antara tahap pertumbuhan dan jumlah daun yang berkembang dapat berbeda. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh varietas dan lingkungan tumbuh tanaman. Faktor lingkungan tersebut antara lain kelembapan dan kesuburan tanah, hama dan penyakit, cekaman abiotik populasi tanaman, dan persaingan gulma. Pertumbuhan tanaman sorgum dapat dikelompokkan ke dalam tiga tahap yaitu, fase vegetatif, fase reproduktif, pembentukan biji, dan masak fisiologis (du Plessis, 2008). Fase vegetatif seluruh daun terbentuk sempurna berfungsi memproduksi fotosintat untuk pertumbuhan dan pembentukan biji berlangsung pada saat tanaman berumur antara 1-30 hari, di fase reproduktif atau generatif terjadi pembentukan malai dan jumlah biji yang akan diproduksi maksimum 70% dari total bakal biji tumbuh pada periode ini (du Plessis, 2008), fase pembentukan biji dan masak fisiologis dimulai dengan proses pembentukan polong basahan hingga akumulasi bahan kering pada biji terhenti yang ditandai oleh munculnya lapisan hitam (*black layer*) pada bagian bawah biji yang menempel di tangkai (Gerik *et al.*, 2003).

2.2.1 Varietas Mandau

Sorgum varietas Mandau merupakan salah satu varietas unggul yang telah dilepas pada tahun 1991 dan memiliki adaptasi cukup baik pada berbagai kondisi lahan. Varietas ini tergolong berumur genjah hingga sedang dengan umur panen sekitar 91 hari setelah tanam. Tanaman memiliki tinggi relatif sedang, yaitu sekitar 153 cm, sehingga lebih pendek dibanding beberapa varietas lain seperti Numbu atau Super. Biji varietas Mandau berwarna coklat muda dan memiliki potensi hasil yang cukup tinggi, yaitu berkisar antara 4,5-5,0 ton/ha. Selain itu, berdasarkan beberapa hasil penelitian, varietas Mandau dikenal memiliki karakter pertumbuhan yang relatif lebih pendek dibanding varietas lain, namun menunjukkan keunggulan pada aspek tertentu seperti kandungan gula (*Brix*) yang lebih tinggi pada kondisi lahan kering. Hal ini menjadikan Mandau berpotensi tidak hanya sebagai sumber pangan biji, tetapi juga untuk pemanfaatan sebagai sorgum manis. Secara umum, varietas Mandau cukup prospektif dikembangkan karena memiliki produktivitas baik, umur relatif singkat, serta adaptif terhadap lingkungan kering (Azrai *et al.*, 2021),

2.2.2 Varietas Super-2

Sorgum varietas Super-2 merupakan varietas hasil perbaikan galur 15021 yang diintroduksi dari ICRISAT dan dilepas pada 18 Desember 2013. Varietas ini tergolong berumur sedang, dengan fase berbunga 50% pada sekitar 60 hari setelah tanam (HST) dan umur panen berkisar antara 115-120 HST. Tanaman memiliki tinggi sekitar 229,7 cm dengan kedudukan tangkai di pucuk. Malainya berbentuk agak terserak dan simetris dengan panjang sekitar 26,3 cm. Biji berwarna krem kemerahan dengan ukuran panjang 4,63 mm, lebar 3,6 mm, dan diameter 2,92 mm. Kandungan gizinya meliputi protein sekitar 9,2%, lemak 3,1%, karbohidrat 75,6%, kadar gula (*brix*) 12,7%, serta kadar tanin 0,3%. Bobot 1000 biji sekitar 30,1 gram pada kadar air 10%. Dari segi produktivitas, rata-rata hasil mencapai 3,0 ton/ha dengan potensi hasil hingga 6,3 ton/ha pada kadar air 10%. Varietas ini memiliki ketahanan terhadap hama aphid serta agak tahan terhadap penyakit antraknosa, karat, dan hawar daun (Arvan dan Aqil, 2020).

2.2.3 Varietas Numbu

Sorgum varietas Numbu merupakan varietas yang berasal dari India dan telah dilepas pada 22 Oktober 2001. Varietas ini tergolong berumur sedang, dengan fase berbunga 50% pada sekitar 69 hari setelah tanam (HST) dan umur panen berkisar 100-105 HST. Tanaman memiliki tinggi sekitar 187 cm dengan kedudukan tangkai di pucuk. Malainya berbentuk kompak hingga elips dengan panjang sekitar 22-23 cm. Bijinya berbentuk bulat lonjong, berwarna krem, berukuran 4,2-4,8 mm, serta memiliki sifat mudah rontok. Kandungan gizinya meliputi protein sekitar 9,12%, lemak 3,94%, dan karbohidrat 84,58%. Bobot 1000 biji berkisar antara 36-37 gram. Dari segi produktivitas, rata-rata hasil mencapai 3,11 ton/ha dengan kadar air 10%, dan berpotensi menghasilkan hingga 4,0-5,0 ton/ha. Varietas Numbu juga tahan terhadap hama aphid serta penyakit karat dan bercak daun. Selain itu, varietas ini memiliki adaptasi yang baik karena dapat ditanam di lahan sawah maupun tegalan (Arvan dan Aqil, 2020).

Tanaman sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) merupakan salah satu komoditas serealia yang memiliki peranan penting dalam sistem pertanian berkelanjutan, terutama di wilayah tropis dan kering. Sorgum dimanfaatkan sebagai sumber pangan karena kandungan karbohidratnya yang tinggi serta memiliki protein dan serat yang cukup, bahkan bersifat bebas gluten sehingga berpotensi sebagai pangan fungsional (Azrai *et al.*, 2021). Selain sebagai bahan pangan, sorgum juga digunakan sebagai pakan ternak, baik dalam bentuk biji maupun hijauan, karena memiliki nilai nutrisi yang baik dan produktivitas biomassa yang tinggi. Pada tipe sorgum manis, batangnya mengandung nira dengan kadar gula yang cukup tinggi (*brix*), sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku industri, seperti pembuatan gula cair, bioetanol, dan produk fermentasi lainnya. Oleh karena itu, sorgum sering direkomendasikan sebagai tanaman alternatif dalam diversifikasi pangan dan strategi mitigasi perubahan iklim. Selain itu, residu tanaman sorgum dapat dimanfaatkan sebagai bahan organik untuk meningkatkan kesuburan tanah, sehingga berkontribusi dalam sistem pertanian terpadu (Subagio dan Aqil, 2014).

2.3 Fenologi Tanaman

Fenologi merupakan ilmu yang mempelajari tentang waktu terjadinya berbagai tahap dalam siklus tanaman seperti munculnya kuncup daun, fase pembungaan, dan fase pembuahan (Stucky *et al.*, 2018). Menurut Rana *et al.* (2024) fenologi tanaman sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tempat tumbuhnya seperti suhu dan faktor lingkungan lainnya. Perubahan kondisi lingkungan terutama akibat dari perubahan iklim telah menyebabkan kurang optimalnya pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Handayani dan Amanah, 2018). Menurut (Aryani *et al.*, 2023) fenologi tanaman merupakan salah satu indikator yang paling efektif dan sederhana untuk mengidentifikasi dampak dari perubahan iklim terhadap tanaman. Vegetasi dapat berpengaruh terhadap adaptasi tanaman dengan merubah fenologinya seperti pergeseran waktu untuk mencapai fase pertumbuhan, perpindahan lokasi tempat tumbuh agar sesuai dengan suhu udara yang diperlukan, perubahan pada morfologi tumbuhan, serta genetika tanaman yang terancam punah (Workie and Debella, 2018).

Fenologi berfungsi sebagai indikator kondisi pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang berkorelasi dengan hasil tanaman. Hubungan ini ditentukan oleh adanya interaksi yang kompleks antara faktor genetik dan lingkungan. Suhu memainkan peran utama dalam menentukan waktu tahap fase-fase perkembangan (fenofasik) sorgum, seperti inisiasi bunga dan pembungaan 50%. Perubahan lingkungan yang terjadi setiap hari, periode waktu penanaman optimal memiliki pengaruh besar pada pertumbuhan dan hasil panen yang ideal untuk mendapatkan hasil sorgum yang maksimal (Ammayappan *et al.*, 2023). Iklim dengan suhu lebih hangat dapat mempercepat fenologi tanaman dan memengaruhi saat panen. Suhu yang lebih tinggi menghasilkan musim tanam yang lebih pendek, mempercepat penuaan daun dan mengurangi biomas karena pembungaan yang awal (Zhang *et al.*, 2013). Memahami fenologi dapat membantu para ilmuwan memahami perubahan pada tanaman khususnya di daerah lintang tinggi karena pengaruh perubahan iklim dan pengamatan fenologis sekarang menjadi penting dalam mengamati dampak perubahan iklim (Menzel, 2002).

2.4 *Growing Degree Days (GDD)*

Perubahan iklim yang sulit diprediksi dapat memengaruhi perkembangan tanaman, sehingga kesesuaian lahan dikaitkan dengan metode *Growing Degree Days (GDD)*. Konsep GDD ini menggambarkan akumulasi suhu efektif yang dibutuhkan tanaman untuk menyelesaikan satu atau lebih fase pertumbuhannya, dari mulai berkecambah hingga mencapai panen. GDD dihitung berdasarkan selisih antara suhu rata-rata harian dengan suhu dasar (*base temperature*), yaitu suhu minimum yang diperlukan agar tanaman mulai tumbuh. Melalui pendekatan (GD) ini, peneliti dan petani dapat memperkirakan durasi fase-fase fenologis tanaman, seperti pembungaan dan pematangan biji, secara lebih akurat, bahkan dalam kondisi iklim yang tidak menentu. Oleh karena itu, GDD menjadi salah satu alat penting dalam sistem pertanian presisi, terutama dalam menghadapi dampak perubahan iklim terhadap waktu tanam, jadwal pemupukan, dan prediksi hasil panen. Penggunaan metode GDD juga memungkinkan perbandingan kesesuaian lahan antarwilayah berdasarkan kemampuan lingkungan dalam menyediakan kebutuhan suhu akumulatif bagi pertumbuhan optimal tanaman tertentu seperti sorgum yang dikenal adaptif di lahan kering dan marginal.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada 20 Agustus 2025 sampai 20 Desember 2025 di Rumah Kaca Laboratorium Terpadu *Smart Security* POLINELA berlokasi di Rajabasa, Bandar Lampung, berada pada ketinggian 110-130 m dpl.

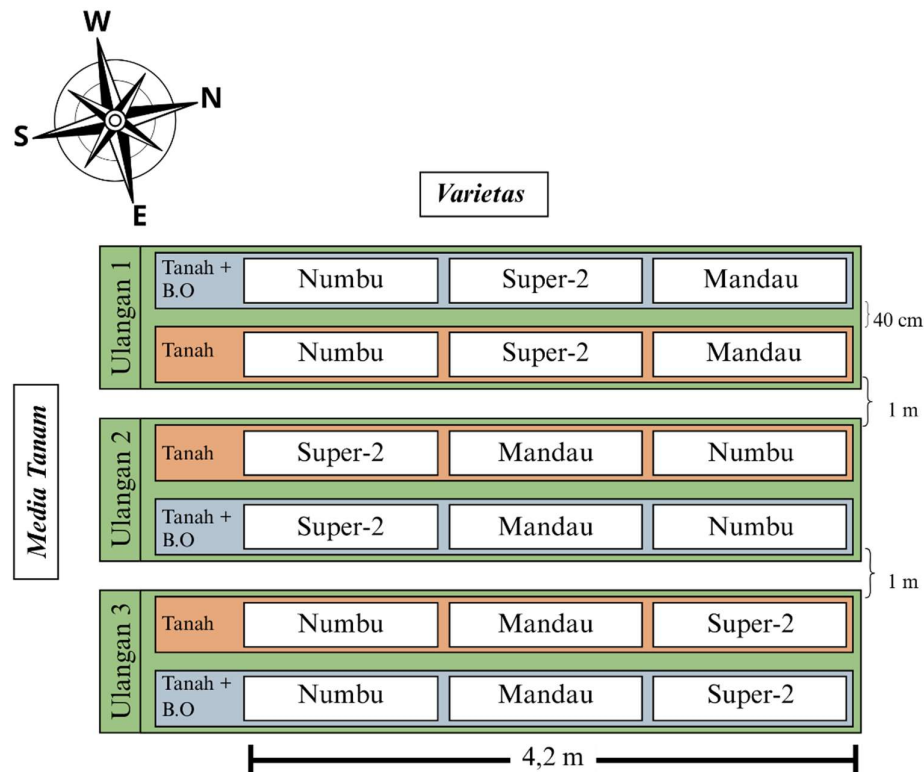
3.2 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah benih tanaman sorgum 3 varietas (Mandau, Super 2, Numbu), polybag, pupuk kandang ayam, tanah, Regent 50 SC berbahan aktif *Fipronil*, Dithane 45WP bahan aktif *Manzokeb* dan pupuk NPK mutiara 16-16-16. Peralatan yang digunakan meliputi a) alat persiapan media tanam berupa cangkul, timbangan, sekop, ayakan, dan tugal, b) peralatan pemeliharaan berupa *sprayer*, dan selang, c) alat panen berupa pisau, dan karung, dan d) alat pengukuran dan pengamatan berupa ATK dan meteran.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan rancangan *Strip-Plot* dalam Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan 2 faktor, yaitu varietas sorgum dan bahan organik. Faktor varietas sorgum terdiri atas 3 taraf, sedangkan faktor bahan organik terdiri atas 2 taraf, dengan 3 ulangan sehingga memiliki $(3 \times 2) \times 3 = 18$ satuan percobaan. Setiap satu satuan percobaan diwakili oleh 4 tanaman, sehingga jumlah total tanaman yang diamati adalah $18 \times 4 = 72$ tanaman.

Berikut ini tata letak antar perlakuan yang diterapkan pada tanaman sorgum.



Gambar 2 Tata Letak Percobaan

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Persiapan Penelitian

Persiapan benih dilakukan dengan Uji Daya Berkecambah yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan benih tumbuh menjadi kecambah normal dalam kondisi optimal, yang mencerminkan viabilitas (daya hidup) benih. Uji ini penting untuk menentukan keberhasilan awal pertumbuhan tanaman di lapangan.

3.4.2 Persiapan Media Tanam

Media tanam yang digunakan bersumber dari tanah yang ada di Laboratorium Terpadu *Smart Security* Politeknik Negeri Lampung (POLINELA). Tanah diambil dengan kedalaman maksimal 10 cm atau bagian dari *topsoil*.

Sebagai media tanpa penambahan bahan organik, tanah langsung ditimbang sebanyak 18 kg. Sementara sebagai media perlakuan dengan bahan organik, tanah tersebut ditambahkan pupuk kandang ayam dengan perbandingan 4:1 atau sebanyak 14,4 kg tanah dan 3,6 kg pupuk kandang. Pupuk kandang ayam yang digunakan adalah pupuk yang sudah terdekomposisi sempurna dan berasal dari peternakan ayam yang ada di Jati Agung, Lampung Selatan. Media tanam yang telah disiapkan kemudian dilakukan penjemuran selama 10 hari sebelum penanaman sebagai upaya pengendalian hama dan gulma dalam media tanam yang akan digunakan.

3.4.3 Penanaman

Kegiatan penanaman sorgum dimulai dengan penyediaan benih. Benih yang digunakan merupakan benih sorgum yang diperoleh dari Badan Standardisasi Instrumen Pertanian (BSIP) Kementerian Pertanian. Benih sorgum yang digunakan terdiri dari tiga varietas, yaitu varietas Mandau, Varietas Super-2, dan Varietas Numbu. Penanaman tersebut dilakukan secara serempak dalam polybag berukuran 50x50 cm yang berisi 18 kg media tanam dengan lubang tanam sedalam 3 cm dan jumlah bibit yang ditanam sebanyak 3 benih untuk setiap polybag. Penanaman dilakukan pada pagi hari tanggal 20 Agustus 2025 di Rumah Kaca Laboratorium Terpadu *Smart Security* POLINELA. Jarak antar polybag disusun dengan jarak 30x30 cm untuk menjaga ketersediaan ruang tumbuh dan memudahkan dalam proses perawatan.

3.4.4 Pemeliharaan

Pemeliharaan tanaman terdiri dari beberapa kegiatan yaitu sebagai berikut:

1. Penyulaman, dilakukan apabila terdapat benih yang rusak atau tidak tumbuh pada 7-10 hari setelah tanam agar jumlah tanaman sampel sesuai perencanaan dan hasil tetap optimal. Sejalan dengan pendapat Saparinto (2013), bahwa penyulaman dilakukan ketika tanaman berusia kurang dari 2 MST dengan varietas yang sama, untuk mendukung perolehan hasil panen yang tetap seragam dan optimal.

2. Pengendalian atau penyiangan gulma dilakukan sebagai upaya menjaga unsur hara dan nutrisi dalam tanah dapat diserap optimal oleh tanaman. Penyiangan gulma tetap perlu dilakukan secara berkala meskipun tanamannya dalam polybag. Penyiangan gulma merupakan bagian penting dari pemeliharaan agar tanaman tumbuh optimal dan sehat.
3. Pengendalian hama dan penyakit tanaman guna menjaga produksi, kualitas maupun kuantitas saat panen. Hama tanaman sorgum umumnya adalah lalat bibit (*Atherigona exiqua stein*), ulat tanah (*Agrotis sp.*), kutu daun, kepik malai diatasi dengan menggunakan insektisida Regent 50 SC. Sedangkan untuk penyakit yang menyerang tanaman sorgum umumnya adalah hawar daun dan bercak daun yang dapat diatasi dengan fungisida Dithane 45WP dengan bahan aktif *Manzokeb*.
4. Pemupukan, pemupukan dilakukan guna menjaga kebutuhan unsur hara yang diperlukan tanaman untuk tumbuh optimal. Berdasarkan hasil penelitian Klau *et al.* (2023) dan Sari *et al.* (2024), bahwa dosis pupuk NPK tanaman sorgum yang optimal yaitu berkisar antara 400-600 kg/ha atau 40-60 g/m². Dosis pupuk yang digunakan dalam penelitian ini adalah 400 kg/ha NPK Mutiara, dengan waktu pengaplikasian dilakukan sebanyak 3 kali yaitu saat memasuki fase tumbuh tanaman muncul daun ke-3/4 (10-15 HST) sebanyak 40%, fase P1 (30-35 HST) sebanyak 40%, dan fase pembungaan (60-65 HST) sebanyak 20%. Pengaplikasian pupuk dilakukan dengan cara dikocor dan pada saat sore hari. Menurut Lingga (2008), keuntungan cara ini yaitu kelebihan unsur hara lebih mudah diserap dalam bentuk ion.

Adapun perhitungan dosis pemupukan pada masing-masing petak percobaan dilakukan dengan perhitungan persamaan dibawah ini.

Dosis pupuk NPK Mutiara yang digunakan 400 kg/ha

Berdasarkan Hazelton dan Murphy (2007), berat tanah 1 ha pada kedalaman 0-20 cm diasumsikan sebesar 2.000.000 kg/ha, yang diperoleh dari perhitungan volume tanah ($10.000 \text{ m}^2 \times 0,2 \text{ m}$) dan bulk density 1,0 ton/m³.

$$\text{Dosis per kg tanah } \left(\frac{\text{g}}{\text{kg}} \right) = \frac{400 \text{ (kg)}}{2.000.000 \text{ (kg tanah)}} = 0,2 \text{ g/kg}$$

$$\text{Dosis pupuk per polybag (g)} = 0,2 \frac{\text{g}}{\text{kg}} \times 18 \text{ kg} = 3,6 \text{ g/polybag}$$

Dosis pupuk semua polybag = 3,6 g/polybag x 72 polybag = 259,2 g
diaplikasikan sebanyak tiga kali. Perhitungan per sekali aplikasi adalah:

$$\text{Aplikasi pertama (40\%)} = 40\% \times 259,2 \text{ gram} = 103,68 \text{ g}$$

$$\text{Aplikasi kedua (40\%)} = 40\% \times 259,2 \text{ gram} = 103,68 \text{ g}$$

$$\text{Aplikasi ketiga (20\%)} = 20\% \times 259,2 \text{ gram} = 51,84 \text{ g}$$

Pupuk NPK dilarutkan dengan air sebanyak 72 liter setiap aplikasinya.

Sehingga pemupukan untuk setiap aplikasi pada tanaman sorgum dalam polybag berukuran 50x50 cm adalah sebanyak 1 Liter larutan pupuk NPK.

5. Penyiraman dan pemasangan lanjaran. Penyiraman dilakukan untuk mempertahankan ketersediaan air tanah, mengingat peningkatan suhu dapat meningkatkan laju evaporasi yang menyebabkan kehilangan air secara berlebihan. Penyiraman dilakukan sebanyak 1 kali sehari dan dilakukan saat sore hari. Pemasangan lanjaran berfungsi untuk menopang tanaman agar tumbuh tegak dan tidak rebah dengan bambu ukuran 1 meter yang diikatkan pada batang tanaman, dilakukan saat tanaman berada pada 3 MST.

3.4.5 Panen dan Pasca Panen

Pemanenan tanaman sorgum dilakukan pada saat sorgum berusia 90-120 HST. Panen dilakukan ketika tanaman sorgum menunjukkan ciri-ciri benih berwarna kuning kecoklatan dan terdapat retakan, sebagian besar daun menguning, serta batang berwarna kecoklatan. Cara panen sorgum dilakukan dengan memotong malai menggunakan sabit. Malai yang telah dipotong selanjutnya dikumpulkan dan dilanjutkan dengan proses penjemuran di bawah sinar matahari langsung. Pengeringan malai sorgum dilakukan dengan cara penjemuran malai di bawah sinar matahari untuk menurunkan kadar air. Pengeringan ini dilakukan agar sorgum aman disimpan dan memudahkan kegiatan perontokan.

Teknis pengeringan dilakukan dengan menyusun malai sorgum di atas lantai jemuran dan dilakukan pembalikan untuk mempercepat proses pengeringan. Lama waktu penjemuran malai sorgum yaitu 14 hari. Kriteria untuk mengetahui tingkat kekeringan adalah dengan cara menggigit sorgum, bila berbunyi maka sorgum telah kering dan malai siap dirontok. Kriteria lain untuk menentukan kekeringan biji sorgum adalah melihat perubahan warna. Warna biji yang semula tampak pucat atau keputihan akan berubah menjadi lebih mengkilap dan cerah sesuai dengan varietasnya, seperti merah kecokelatan pada varietas Mandau atau kuning keemasan pada varietas Numbu. Tingkat kekeringan yang ideal biasanya ditandai dengan kadar air biji turun hingga sekitar 12-14%, yang penting untuk mencegah kerusakan akibat jamur selama penyimpanan.

3.5 Variabel Pengamatan

3.5.1 Unsur Cuaca

Unsur cuaca yang diamati pada penelitian ini yaitu suhu dan kelembapan udara harian yang diukur setiap selang 1 jam dengan menggunakan alat pengukur suhu dan kelembapan yang disertai dengan *Flash USB Temperature and Humidity Data Logger Model GM1365*.

3.5.2 Pengamatan Pertumbuhan dan Produksi Tanaman

Tanaman diamati setiap hari untuk mengetahui kapan tanaman tersebut mencapai setiap fase pertumbuhan dan perkembangannya. Pengamatan fenologi ini dilakukan dengan mendokumentasikan foto perkembangan tanaman sebagai data deskriptif. Selain itu, terdapat variabel pengamatan budidaya yang diamati yaitu:

1. Jumlah daun, dihitung secara manual dengan menghitung seluruh daun yang telah membuka sempurna pada setiap tanaman sampel setiap minggu setelah tanam (MST).
2. Tinggi tanaman, dilakukan dengan mengukur jarak dari pangkal batang di permukaan tanah hingga titik tumbuh tertinggi tanaman menggunakan penggaris pada setiap MST.

3. Bobot segar brangkasan, yaitu bobot batang dan daun secara keseluruhan, tanpa menyertakan bagian akar dan malai. Penimbangan dilakukan segera setelah panen dalam kondisi tanaman masih segar, menggunakan timbangan analitik, setelah bagian akar dan malai dipisahkan.
4. Bobot kering brangkasan, yaitu bobot bagian batang dan daun setelah berada dalam kondisi kering. Bobot ini diperoleh melalui proses penjemuran selama 14 hari yang dilanjutkan dengan pengeringan menggunakan oven pada suhu 80 °C selama 72 jam.
5. Panjang dan bobot malai, diamati dengan mengukur panjang malai dari pangkal hingga ujung malai, serta menimbang bobot malai menggunakan timbangan analitik. Pengukuran dilakukan segera setelah panen saat malai masih dalam kondisi segar.
6. Bobot biji permalai, diperoleh dari rata-rata bobot biji tanaman sampel pada setiap varietas sorgum. Biji yang digunakan merupakan biji kering yang telah dipipil dari malai dan dibersihkan dari kotoran. Seluruh biji dari setiap malai dikumpulkan dan ditimbang menggunakan timbangan analitik, kemudian bobot total tersebut dibagi dengan jumlah malai dari masing-masing tanaman sampel. Selanjutnya dikonversi ke bobot biji permalai pada kadar air standar 12%.
7. Bobot 1000 butir, diperoleh dari biji setiap sampel pada masing-masing varietas sorgum yang telah dikeringkan, dipipil dari malai, dan dibersihkan dari kotoran. Perhitungan jumlah biji dilakukan menggunakan aplikasi *CountCam* hingga mencapai 1000 butir, kemudian biji tersebut ditimbang menggunakan timbangan analitik, selanjutnya dikonversi ke bobot 1000 butir pada kadar air standar 12%.
8. Kadar air benih, yaitu persentase kandungan air yang terdapat dalam benih, yang dinyatakan berdasarkan perbandingan antara berat air dengan berat total benih. Kadar air benih ditentukan dengan metode oven, yaitu menimbang berat awal benih (kering matahari), kemudian mengeringkannya dalam oven pada suhu $\pm 103-105$ °C selama 24 jam hingga berat konstan, lalu ditimbang kembali untuk mendapatkan berat kering.

Penetapan bobot pada kadar air 12%, dapat digunakan cara konversi dengan rumus sebagai berikut:

$$W_{12\%} = \frac{(100 - \text{KA awal})}{(100 - 12)} \times W \text{ aktual}$$

Keterangan:

W_{12%} : Bobot koreksi pada KA 12%

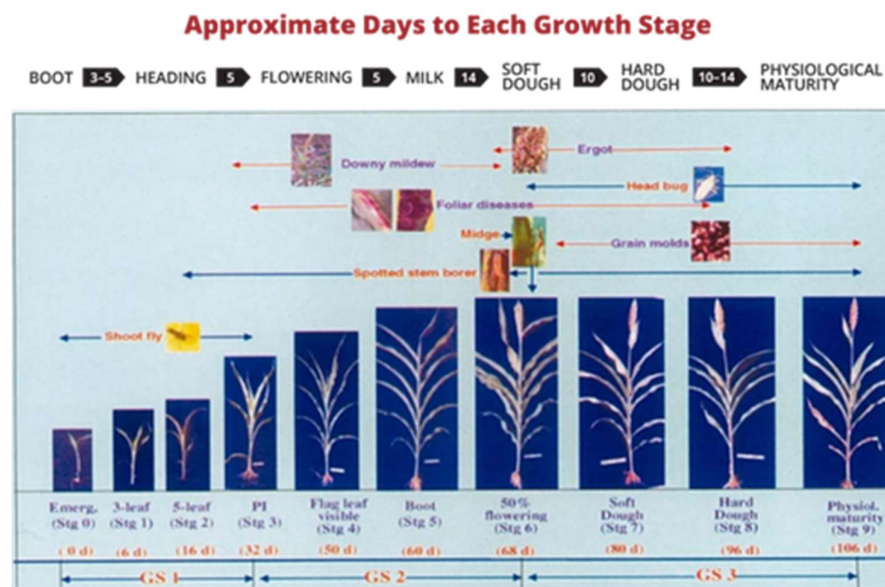
KA awal : Kadar air aktual

W aktual : Bobot aktual

- Bobot akar segar dan kering, bobot akar segar diperoleh dengan menimbang akar setelah dipanen yang telah bersih dari tanah. Sedangkan bobot akar kering diperoleh dengan menimbang akar setelah melalui proses penjemuran selama 14 hari yang dilanjutkan dengan pengeringan menggunakan oven pada suhu 80 °C selama 72 jam.

3.5.3 Pengamatan Fenologi Tanaman

Pengamatan dilakukan dengan mengamati waktu perubahan fase-fase yang terjadi pada tanaman sorgum baik itu fase vegetatif maupun fase generatif, mulai dari tanaman berkecambah hingga menghasilkan benih.



Gambar 3 Tahap pertumbuhan tanaman sorgum serta hama dan penyakitnya. (Sumber: Rao *et al.*, 2007; Sorghumcheckoff, 2025)

Setiap fase diamati berdasarkan ciri morfologi yang muncul pada tanaman.

Adapun fase pertumbuhan dan perkembangan tanaman sorgum berdasarkan Rao *et al.* (2007) berlangsung melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Tahap 0, merupakan tahap perkecambahan (*emergence*), pengamatan dilakukan saat benih mulai tumbuh dan muncul ke permukaan tanah. Munculnya kecambah dipengaruhi oleh suhu, kelembaban, kedalaman posisi benih, dan vigor benih.
2. Tahap 1, terjadi saat pelepah daun ke-3 terlihat, daun dihitung setelah pelepah daun mulai terlihat atau tidak lagi tertutup oleh pelepah daun sebelumnya, namun titik tumbuh masih berada di tanah.
3. Tahap 2, tahapan ini ditandai dengan munculnya daun ke-5. Pada fase ini batang belum memanjang, yang terlihat di permukaan tanah adalah lapisan pelepah daun, namun vigor tanaman lebih tinggi dibanding pada tahap 1.
4. Tahap 3, merupakan tahap terjadinya deferensiasi titik tumbuh. Pada fase ini titik tumbuh mulai membentuk primordial bunga.
5. Tahap 4, merupakan fase pertumbuhan tahap lanjut memasuki fase generatif yang ditandai dengan pembentukan daun bendera/*flag leaf*.
6. Tahap 5, merupakan tahap terjadi pengisian pelepah daun bendera (*booting*). Pada tahap ini seluruh daun telah berkembang sempurna, sehingga luas daun dan intersepsi cahaya mencapai maksimal.
7. Tahap 6, terjadi saat tanaman mulai berbunga 50%, pengamatan dilakukan saat malai mulai keluar hingga terjadi pembungaan, yang ditandai dengan munculnya bunga pada malai.
8. Tahap 7, merupakan tahap terjadinya pengisian biji (*milk* dan *soft dough*), diamati perkembangan biji yang mulai terisi cairan seperti susu hingga bertekstur lunak.
9. Tahap 8, pada tahap ini biji mulai mengeras (*hard dough*) biji mulai mendekati kematangan. Biji sorgum telah mencapai akhir bobot kering 75% dan penyerapan nutrisi hampir selesai, sehingga biji-bijian ini tidak dapat lagi ditekan dengan menggunakan jari. Kulit biji tidak lagi berwarna hijau dan telah berubah warna yang bisa menjadi putih, cokelat, atau merah tua.

10. Tahap 9, biji sorgum telah mencapai berat kering (matang fisiologis). Pengamatan dilakukan dengan mengenali lapisan hitam (*black layer*) pada bagian bawah biji pada varietas mandau, varitas numbu ditandai dengan malai yang mulai mengering dan daun yang mengalami senesens, sedangkan varietas super ditandai dengan biji berwarna kecoklatan.

3.6 Pengolahan Data

3.6.1 Perhitungan Growing Degree Days (GDD)

Perkembangan fenologi tanaman sangat bergantung pada suhu yang yang diterima tanaman dan indeks suhu yang umum digunakan untuk menduga fase perkembangan tanaman adalah nilai *Growing Degree Days* (GDD) yang dihitung dari suhu maksimum dan minimum harian dengan rumus sebagai berikut.

$$GDD (^{\circ}C) = \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) - T_{base}$$

Keterangan:

T_{max} : suhu maksimum ($^{\circ}C$)

T_{min} : suhu minimum ($^{\circ}C$)

T_{base} : suhu dasar ($^{\circ}C$)

3.6.2 Analisis Data

Perlakuan dalam penelitian ini disusun secara faktorial 2x3 dalam Rancangan Acak Kelompok (RAK) *Strip-Plot*, kemudian data dikalkulasi menggunakan program Microsoft Excel, dan dilakukan analisis data menggunakan perangkat lunak R Studio dan dilakukan sidik ragam dengan homogenitas ragam (uji Bartlett) dan sifat aditif (uji Tukey). Selanjutnya dilakukan analisis uji lanjut dengan menghitung perbedaan nilai perlakuan (faktor uji) dengan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) bertaraf 5% untuk mengetahui perbedaan nyata atau tidaknya pengaruh antar perlakuan, dengan model linier kuadrat Rancangan Acak Kelompok (RAK) *Strip-Plot* adalah sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \gamma_k + \varepsilon_{ijk}$$

Keterangan:

- Y_{ijk} : Respon pengamatan pada kombinasi faktor a ke-i dan faktor b ke-j di setiap ulangan ke-k
- μ : Rataan umum
- α_i : Pengaruh dari taraf ke-i dari faktor a
- β_j : Pengaruh dari taraf ke-j dari faktor b
- $(\alpha\beta)_{ij}$: Interaksi antara faktor a ke-i dan faktor b ke-j
- γ_k : Pengaruh blok ke-k
- ε_{ijk} : Galat acak (*error*)

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Terdapat perbedaan tahapan fenologi, laju pertumbuhan dan hasil produksi pada 3 varietas sorgum yang berbeda yang ditanam di dataran rendah. Pada fase awal berkecambah hingga daun ke-5, seluruh varietas relatif menunjukkan waktu yang hampir seragam. Namun, varietas Super 2 pada fase generatif cenderung memiliki waktu pertumbuhan lebih lama. Sementara itu, varietas Mandau menunjukkan waktu tercepat mencapai matang fisiologis. Varietas Mandau menunjukkan hasil produksi terbaik pada panjang malai, bobot malai, dan bobot biji permalai sedangkan varietas Super-2 menunjukkan hasil terbaik pada tinggi tanaman, jumlah daun, bobot segar brangkasan dan bobot kering brangkasan.
2. Tanaman sorgum yang ditanam di dataran rendah memerlukan waktu dan energi yang berbeda-beda untuk menyelesaikan fase pertumbuhannya, seperti varietas Mandau memerlukan rata-rata 87,5 hari dengan GDD 1656,06 DD, varietas Super-2 memerlukan rata-rata 114 hari dengan GDD sebesar 2159,48 DD, dan varietas Numbu memerlukan 103 hari dengan GDD 1951 DD.
3. Respons varietas dipengaruhi oleh perbedaan media tanam yang digunakan. Perbedaan respons tersebut terlihat pada bobot segar dan kering brangkasan, panjang malai, serta kadar air benih. Varietas Super-2 menunjukkan pertumbuhan terbaik pada media NPK + bahan organik dengan bobot kering brangkasan mencapai 203,19 g dan 131,51 g, sedangkan varietas Mandau dan Numbu menunjukkan respons yang relatif seragam pada berbagai media tanam.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka penulis dapat memberikan saran sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai kombinasi jenis dan dosis bahan organik yang berbeda untuk mengetahui pengaruh yang lebih spesifik terhadap efisiensi penggunaan GDD, fenologi, serta peningkatan hasil produksi sorgum di dataran rendah.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan melibatkan lebih banyak varietas sorgum guna mengetahui tingkat adaptasi dan stabilitas masing-masing varietas terhadap variasi media tanam dan kondisi lingkungan. Penelitian pada musim tanam yang berbeda juga penting dilakukan untuk melihat konsistensi respons tanaman terhadap perubahan iklim, khususnya suhu dan curah hujan.
3. Pengamatan parameter fisiologis dan analisis sifat tanah setelah perlakuan juga perlu ditambahkan agar diperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai mekanisme pengaruh bahan organik terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman sorgum.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A., Diwan, H., and Abrol, Y.P. 2010. Global climate change, stress and plant productivity. *Abiotic Stress Adaptation in Plants*. 7(1): 503-521.
- Ammaiyappan, A., Geethalakshmi, V., Bhuvaneswari, K., Kalarani, M.K., Thavaprakash, N., and Prahadeeswaran, M. 2023. Phenology, phyllochron and productivity of sorghum in response to varying growing environments and nitrogen levels in the semiarid irrigated condition. *Journal of Applied and Natural Science*. 15(4): 1563-1571.
- Andriani, A. dan Isnaini, M. 2013. *Morfologi dan Fase Pertumbuhan Sorgum*. IAARD Press. Jakarta.
- Apriyana, Y., Susanti, E., Suciantini, R.F., dan Surmaini, E. 2016. Analisis dampak perubahan iklim terhadap produksi tanaman pangan pada lahan kering dan rancang bangun sistem informasinya. *Indonesian Agency for Agricultural Research and Development*. 25(1): 69-80.
- Aqil, M. dan Bunyamin, Z. 2013. *Pengelolaan Air Tanaman Sorgum*. Balai Penelitian dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Arvan, R.M. dan Aqil, M. 2020. *Deskripsi Varietas Unggul Jagung, Sorgum, Dan Gandum*. Balai Penelitian Tanaman Serealia, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Aryani, N., Manik, T.K., Timotiwu, P.B., dan Agustiansyah. 2023. Laju pertumbuhan, fase fenologis dan produksi stroberi (*Fraga Spp.*) di dataran rendah dengan perlakuan pupuk NPK: kajian tentang adaptasi tanaman terhadap perubahan iklim. *Jurnal Agrotek Tropika*. 11(3): 429-435.
- Asir, M., Nendisa, S.J., Sari, P.N., Indriani., Yudawisastra, H.G., Abidin, Z., Indriani, R., Nurdiana., Hakim, A.R., Kristini, W., Suryana, A.T., Ratri, W.S., dan Soeyatno, R.F. 2022. *Ekonomi Pertanian*. Widina Bakti Persada. Jawa Barat.
- Asnawi, R. 2015. Perubahan iklim dan kedaulatan pangan di Indonesia: tinjauan produksi dan kemiskinan. *Jurnal Sosio Informa*. 1(3): 293-309.

- Azrai, M., Pabendon, M.B., Aqil, M., Suarni., Arvan, R.Y., Zainuddin, B., dan Andayani, N.N. 2021. *Teknologi Budidaya Tanaman Sorgum Unggul Bebas Limbah*. CV Cakrawala. Yogyakarta.
- Balitbangtan. 2015. *Rekomendasi varietas, waktu tanam dan cara tanam serta pemupukan pada tanaman padi, jagung dan kedelai (PJK) Provinsi Sulawesi Tenggara 2015*. [Diakses pada 01 Juni 2025 Pukul 14:29 WIB]. <https://repository.pertanian.go.id/items/a393177c-f06c-4c42-b67b-9d54a30a7195>.
- Bankole, J.A. 2022. *Growth and yield of sorghum cultivars as influenced by population density of components of soya bean*. Kwara State University. Nigeria.
- Bewick, T.A., Binning, L.K., and Yandell, B. 1988. A degree-day model for predicting the emergence of swamp dodder in Cranberry. *Journal of the American Society for Horticultural*. 113(1): 839-841.
- Brady, N.C. and Weil, R.R. 2010. *The Nature and Properties of Soils 14th ed.* Pearson Education. Upper Saddle River.
- Chakrabarti, B., Singh, S.D., Kumar, V., Harit, R.C., and Misra, S. 2013. Growth and yield response of wheat and chickpea crops under high temperature. *Indian Journal of Plant Physiology*. 18(1): 7-14.
- Biba, M.A. 2015. Prospek pengembangan sorgum untuk ketahanan pangan dan energi. *Iptek Tanaman Pangan*. 6(2): 257-269.
- Deryng, D., Conway, D., Ramankutty, N., Price, J., and Warren, R. 2014. Global crop yield response to extreme heat stress under multiple climate change futures. *Environmental Research Letters*. 9(3): 1-13.
- Diacono, M. and Montemurro, F. 2010. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. *Agronomy for Sustainable Development*. 30(2): 401-422.
- Du Plessis, J. 2008. *Sorghum Production*. Department of Agriculture. Republic of South Africa.
- Earp, C.F., Donough, C.M., and Rooney, L. 2004. Microscopy of pericarp development in the caryopsis of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Journal Cereal Science*. 39(1): 21-27.
- Sumastuti, E. dan Pradono, N.S. 2016. Dampak perubahan iklim pada tanaman padi di Jawa Tengah. *Journal of Economic Education*. 5(1): 31-38.
- Evans, M.R. and Moustakas, A. 2018. Plasticity in foraging behaviour as a possible response to climate change. *Ecol Inform*. 47(1): 61-66.

- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, A., Fujita, D., and Basra, B. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management to cite this version: review article. *Agronomy for Sustainable Developmen*. 29(1): 185-212.
- Fresilia, D., Sudarti, and Yushardi. 2024. Mekanisme terbentuknya lapisan gas rumah kaca. *Jurnal Pendidikan Sains dan Teknologi*. 3(2): 306-313.
- Gerik, T., Bean, B., and Vanderlip, R.L. 2003. *Sorghum Growth and Development*. Texas Cooperative Extension Service. Texas.
- Ghannoum, O. 2009. C4 photosynthesis and water stress. *Annals of Botany*. 103(4): 635-644.
- Handayani, T. dan Amanah, N. 2018. Keanekaragaman jenis tumbuhan strata herba di kawasan Gunung Tidar Kota Magelang sebagai sumber belajar biologi. In *SENDIKA: Seminar Pendidikan*. 2(1): 85-90.
- Harahap, L.M., Sitanggang, C.B., Tambunan, A.M., Pinem, D.A., dan Hasugian, A.B. 2025. Pengaruh perubahan iklim terhadap strategi manajemen agribisnis: studi kasus di wilayah pertanian Indonesia (the effect of climate change on agribusiness management strategies: a case study in Indonesian agriculture). *Jurnal Ilmiah Ekonomi dan Manajemen*. 3(3): 451-462.
- Harmini dan Fanindi, A. 2020. Strategi adaptasi tanaman pakan ternak terhadap perubahan iklim (adaptation strategy of forage crops to climate change). *Wartozoa*. 30(4): 201-210.
- Hartmann D.L., Klein Tank A.M.G., and Rusticucci, M.A.E. 2013. *Observations: Atmosphere and surface*. Cambridge University Press. Cambridge (UK).
- Herawati, T. 2012. Refleksi sosial dari mitigasi emisi gas rumah kaca pada sektor peternakan di Indonesia. *Wartazoa*. 22(1): 35-45.
- Lesk, C., Rowhani, P., and Ramankutty, N. 2016. Pengaruh bencana cuaca ekstrem terhadap produksi tanaman. *Global Nature*. 529: 84-7.
- Lestari, D.V. 2017. Strategi adaptasi petani tanaman pangan terhadap perubahan cuaca. *Procsiding Seminar Nasional Lembaga Penelitian Universitas Islam Riau*. 150-157.
- Lingga, P. dan Marsono. 2008. *Petunjuk Penggunaan Pupuk*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Lumbanraja, P. dan Erwin, M.H. 2015. Pebaikan kapasitas pegang air dan kapasitas tukar kations tanah berpasir dengan aplikasi pupuk kandang pada ultisol simalingkar. *Jurnal Pertanian Tropik*. 2(1): 52-67.

- Makarim, A.K. dan Ikhvani. 2011. Antisipasi dampak banjir dan tindakan adaptasi pada usahatani padi akibat perubahan iklim global. *Jurnal Tanah dan Lingkungan*. 12(1): 1-15.
- Malhi, G.S., Kaur, M., and Kaushik, P. 2021. Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: A review. *Sustainability*. 13(3): 13-18.
- Menzel, A. 2002. Phenology: it's importance to the global change community. *Clim Change*. 54: 379-385.
- Monneveux, P., Sa'nchez, C.D., and Beck, G. 2005. Drought tolerance improvement in tropical maize source populations. *Crop Science*. 46(1): 180-191.
- Ningsih, M.S., Susilo, E., Rahmadina., Qolby. D.D., Anis, U., Susila, E., Pangabea, N.H., Priyadi, S., Nasution, J., Sari, N.Y., Baharuddin, R., dan Wisnubroto, M.P. 2023. *Dasar Dasar Fisiologi Tumbuhan*. CV Hei Publishing Indonesia. Sumatra Barat.
- Nisa, D.K., Qomariyah, S., dan Solichin, S. 2015. Analisis indikasi perubahan iklim (hujan) di wilayah Kota Surakarta. *Matriks Teknik Sipil*. 3(1): 285-291.
- Nurnasari, E. dan Djumali. 2016. Pengaruh kondisi ketinggian tempat terhadap produksi dan mutu Tembakau Temanggung. *Buletin Tanaman Tembakau, Serat dan Minyak Industri*. 2(2): 45-49.
- Pinontoan, O.R., Sumampouw, O.J., dan Nelwan, J.E. 2022. *Perubahan Iklim dan Pemanasan Global*. Deepublish. Jakarta. 51 hlm.
- Prasad, V.B.R., Govindaraj, M., Djanaguiraman, M., Djalovic, I., Shailani, A., Rawat, N., Pareek, S.L.S., Pareek, A., and Prasad, P.V.P. 2021. Drought and High Temperature Stress in Sorghum: Physiological, Genetic, and Molecular Insights and Breeding Approaches. *International Journal of Molecular Science*. 22(1): 1-25.
- Prasetyo, B.H. dan Hermiyanto, H. 2022. Meningkatnya ketersediaan air akibat perubahan iklim dan dampaknya terhadap produktivitas tanaman. *Jurnal Ilmu Pertanian*. 15(2): 45-52.
- Prasetyo, M.R.B. dan Hermiyanto, B. 2022. Pengaruh pemberian jamur mikoriza arbuskular dan batuan fosfat terhadap infeksi akar, kadar p, pertumbuhan dan produksi tanaman sorgum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Jurnal Berkala Ilmiah Pertanian*. 5(4): 207-214.

- Purwantara, S. 2018. Studi temperatur udara terkini wilayah di Jawa Tengah dan DIY. *Geomedia: Majalah Ilmiah dan Informasi Kegeografian*. 13(1): 41-52.
- Rana, N., Manish, K., and Pandit, M.K. 2024. Effect of climate change on the flowering phenology of (*Rhododendron Arboreum* Sm.) in the Western Himalaya. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*. 18(1): 197-203.
- Rawung, C.F., Anis, S.D., Rustandi., and Kaunang, W.B. 2018. pengaruh level bokashi kotoran ayam terhadap pertumbuhan vegetatif Sorgum Brown Midrib (BMR) pada kondisi ternaung. *Jurnal Zootec*. 38(1): 1-50.
- Rismunandar. 2006. *Sorgum Tanaman Serba Guna*. Sinar Baru. Bandung.
- Saidy, A.R.S. 2018. *Bahan Organik Tanah: Klasifikasi, Fungsi dan Metode Studi*. Lambung Mangkurat University Press. Kalimantan Selatan.
- Santoso, A.B. 2016. Pengaruh perubahan iklim terhadap produksi tanaman pangan di Provinsi Maluku. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*. 35(1): 29-38.
- Saparinto, C. 2013. *Grow Your Own Vegetables: Panduan Praktis Menanam 14 Sayuran Konsumsi Populer di Pekarangan*. Lily Publisher. Yogyakarta.
- Sharma, H.C. 2014. Climate change effects on insects: implications for crop protection and food security. *Journal of Crop Improvement*. 28(2): 229-259.
- Siswanto, T., Zuhry, E., dan Nurbaiti. 2015. Daya hasil dan kandungan lemak beberapa varietas sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) yang diberi beberapa dosis pupuk fosfor. *JOM Faperta*. 2(2): 1-12.
- Sopandie, D. 2013. *Fisiologi Adaptasi Tanaman (Terhadap Cekaman Abiotik pada Agroekosistem Tropika)*. Ipb Press. Bogor. 244 hlm.
- Stucky, B.J., Guralnick, R., Deck, J., Denny, E.G., Bolmgren, K., and Walls, R. 2018. The plant phenology ontology: a new informatics resource for large-scale integration of plant phenology data. *Frontiers in Plant Science*. 9(517): 1-12.
- Subagio, H. dan Aqil, M. 2014. Perakitan pengembangan varietas unggul sorgum untuk pangan, pakan, dan bioenergi. *Iptek Tanaman Pangan*. 9(1): 39-50.
- Sulaminingih, Silamat, E., Ruruh. A., Syaiful, M., dan Ninasari, A. 2024. Dampak perubahan iklim terhadap dan penurunan tanaman pangan. *Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran*. 7(3): 89-95.

- Sumarno., Damardjati, D.S., Syam, M., dan Hermanto. 2013. *Sorgum: Inovasi Teknologi dan Pengembangan*. IAARD Press. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor.
- Suryana, A. 2014. Dampak perubahan iklim terhadap produksi tanaman pangan di Indonesia. *Jurnal Produksi Tanaman*. 2(1): 1-10.
- Susilo, E., Pujiwati, H., dan Husna, M. 2021. Pertumbuhan dan hasil sorgum pada pemberian beberapa dosis pupuk NPK majemuk di lahan pesisir. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*. 23(1): 15-22.
- Timotiwu, P.B., Manik, T.K.B., Agustiansyah., dan Pramono, E. 2021. Fenologi pertumbuhan tanaman strawberry di dataran rendah sebagai kajian awal dampak perubahan iklim terhadap pertumbuhan tanaman. *Jurnal Agrotropika*. 20(1): 1-8.
- Tjitrosoepomo, G. 2000. *Taksonomi Tumbuhan (Spermatophyta)*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Wahid, A. and Close T.J. 2007. Expression of dehydrins under heat stress and their relationship with water relations of sugarcane leaves. *Jurnal Biol Plant*. 51(1): 104-109.
- Wheeler, T. and von Braun, J. 2013. Climate change impacts on global food security. *Science*. 341(6145): 508-513.
- White, J.W., Alagarwamy, G., Ottman, M.J., Porter, C.H., Singh, U., and Hoogenboom, G. 2015. An overview of CERES-Sorghum as implemented in the cropping system model version 4.5. *Agronomy Journal*. 107(6): 1987-2002.
- Workie, T.G. and Debella, H.J. 2018. Climate change and its effects on vegetation phenology across ecoregions of ethiopia. *Global Ecology and Conservation*. 13.
- Ye, J., Zhang, R., Nielsen, S., Joseph, S.D., Huang, D., and Thomas, T. 2016. A combination of biochar mineral complexes and compost improves soil bacterial processes, soil quality, and plant properties. *Frontiers in Microbiology*. 7(372): 1-13.
- Ziello, C., Estrella, N., and Kostova, M. 2009. Influence of altitude on phenology of selected plant species in the Alpine Region (1971- 2000). *Climate Res*. 39: 227-234.
- Zhang, S. and Tao, F. 2013. Modeling the response of rice phenology to climate change and variability in different climatic zones: comparison of five models. *European Journal of Agronomy*. 45: 165-176.