

FENOLOGI, PERTUMBUHAN, PRODUKSI, DAN *GROWING DEGREE DAYS* (GDD) TANAMAN SORGUM (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) DI DATARAN TINGGI: STUDI ADAPTASI TANAMAN TERHADAP PERUBAHAN IKLIM

(Skripsi)

Oleh

**MUHAMMAD FHARAZ RAMADHAN ANWAR
NPM 2114161065**



**UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

ABSTRACT

PHENOLOGY, GROWTH, YIELD, AND GROWING DEGREE DAYS (GDD) OF SORGHUM (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) IN HIGHLAND AREAS: A STUDY OF CROP ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE

By

MUHAMMAD FHARAZ RAMADHAN ANWAR

Climate change is generally characterized by an increase in air temperature; therefore, studies on its impact on crops can begin by examining how rising temperatures affect plant growth and yield. This study aimed to investigate the phenology, growth rate, yield, and Growing Degree Days (GDD) of sorghum cultivated in highland areas, as well as to evaluate the effect of organic matter addition to the growing media. The research was conducted at the Seed Source Unit of the Horticultural Seed Center, Sekincau, West Lampung, from January to May 2025, using a randomized block design in a 2×3 strip-plot arrangement.

The treatments consisted of two types of growing media, namely NPK fertilizer (P) and NPK fertilizer combined with organic matter (P+BO), and three sorghum varieties. The results showed that highland climatic conditions, along with differences in growing media, influenced the rate of phenological phases and GDD values of the three sorghum varieties.

Keywords: climate change, sorghum, phenology, Growing Degree Days, highland, organic matter.

ABSTRAK

FENOLOGI, PERTUMBUHAN, PRODUKSI, DAN *GROWING DEGREE DAYS* (GDD) TANAMAN SORGUM (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) DI DATARAN TINGGI: STUDI ADAPTASI TANAMAN TERHADAP PERUBAHAN IKLIM

Oleh

MUHAMMAD FHARAZ RAMADHAN ANWAR

Fenomena perubahan iklim umumnya ditandai dengan peningkatan suhu udara, sehingga kajian mengenai bagaimana dampaknya terhadap tanaman dapat diawali dengan meneliti pengaruh kenaikan suhu terhadap pertumbuhan dan hasil produksi tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui fenologi, laju pertumbuhan, hasil produksi, serta nilai *Growing Degree Days* (GDD) dari tanaman sorgum yang ditanam di dataran tinggi, serta mengevaluasi pengaruh penambahan bahan organik pada media tanam. Penelitian dilaksanakan di UPB Balai Benih Induk Tanaman Hortikultura Sekincau, Lampung Barat, pada Januari–Mei 2025 dengan menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) dalam *Strip-plot Design* 2×3.

Penelitian ini terdiri dari faktor media tanam, yaitu pupuk NPK (P) dan pupuk NPK + bahan organik (P+BO) serta faktor varietas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi iklim dataran tinggi dengan perbedaan media tanam dapat memengaruhi kecepatan fase fenologi dan nilai GDD pada ketiga varietas sorgum.

Kata kunci : Perubahan iklim, sorgum, fenologi, *Growing Degree Days*, dataran tinggi, bahan organik.

FENOLOGI, PERTUMBUHAN, PRODUKSI, DAN *GROWING DEGREE DAYS* (GDD) TANAMAN SORGUM (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) DI DATARAN TINGGI: STUDI ADAPTASI TANAMAN TERHADAP PERUBAHAN IKLIM

Oleh

MUHAMMAD FHARAZ RAMADHAN ANWAR

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
2025**

Judul Skripsi : **FENOLOGI, PERTUMBUHAN,
PRODUKSI, DAN *GROWING DEGREE*
DAYS (GDD) TANAMAN SORGUM
(*Sorghum bicolor* [L.] Moench) DI
DATARAN TINGGI: STUDI ADAPTASI
TANAMAN TERHADAP PERUBAHAN
IKLIM**

Nama Mahasiswa : **Muhammad Fharaz Ramadhan Anwar**

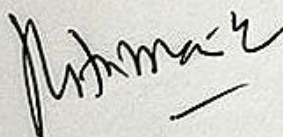
Nomor Pokok Mahasiswa : 2114161065

Jurusan : Agronomi dan Hortikultura

Fakultas : Pertanian

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



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



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

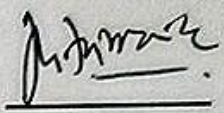
2. Ketua Jurusan Agronomi dan Hortikultura

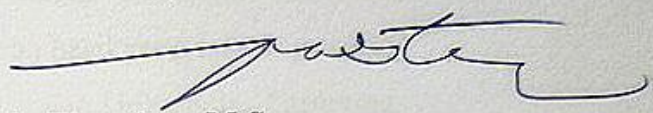


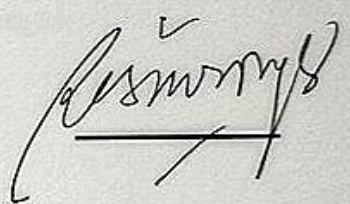
Prof. Ir. Maria Viva Rini, M.Agr.Sc., Ph.D.
NIP 196603041990122001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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

Sekretaris : Prof. Dr. Ir. Paul Benyamin Timotiwi, M.S. 

Penguji : Ir. Dad Resiwordo Jekti Sembodo, M.S.
bukan 
pembimbing

2. Dekan Fakultas Pertanian


Dr. Ir. Kustanta Futas Hidayat, M.P.
NIP. 196411181989021002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 26 Juni 2025

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **“Fenologi, Pertumbuhan, Produksi, dan *Growing Degree Days* (GDD) Tanaman Sorgum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) di Dataran Tinggi: 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, 26 September 2025
Penulis,



Muhammad Fharaz Ramadhan Anwar
NPM 2114161065

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan pada tanggal 23 November 2001 di Cianjur, Jawa Barat. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Anwar Budiman dan Ibu Eneng Syumarni. Penulis mengawali pendidikan formal pada tahun 2007-2008 di Taman Kanak-kanak Amartatani HKTI Bandar Lampung, tahun 2008-2014 di Sekolah Dasar Al-Azhar 1 Bandar Lampung, tahun 2014-2017 di Sekolah Menengah Pertama Negeri 29 Bandar Lampung, dan tahun 2017-2020 di Sekolah Menengah Atas Negeri 5 Bandar Lampung. Pada tahun 2021 penulis diberikan kesempatan untuk melakukan studi sebagai mahasiswa Jurusan Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan Himpunan Mahasiswa Jurusan Agronomi dan Hortikultura (HIMAGRHO) Fakultas Pertanian Universitas Lampung sebagai anggota bidang media komunikasi dan informasi periode kepengurusan 2023, dan menjadi kepala bidang akademik dan profesi periode kepengurusan 2024. Penulis juga pernah menjadi asisten dosen mata kuliah Fisiologi Tumbuhan, Iklim Mikro Tanaman, dan Klimatologi Pertanian. Penulis juga pernah menjadi pendamping mahasiswa yang

sedang melaksanakan Homestay untuk mata kuliah Pengenalan Praktik Pertanian di Tanggamus.

Pada bulan Oktober - November 2024, penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di Balai Pengawasan dan Sertifikasi Benih Tanaman Pangan dan Hortikultura Provinsi Lampung (UPTD BPSB TPH Provinsi Lampung) Rajabasa, Bandar Lampung. Pada bulan Januari - Februari 2025, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Simpang Pematang, Kecamatan Simpang Pematang, Kabupaten Mesuji.

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT., skripsi ini penulis persembahkan kepada Ayah dan Ibu tercinta yang telah memberikan doa, dukungan, dan pengorbanan tiada henti, kepada Dosen Pembimbing yang sangat sabar membimbing, mengarahkan, dan memberikan ilmu sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik, serta almamater tercinta Jurusan Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung tempat penulis menimba ilmu dan pengembangan diri.

Semoga karya tulis ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan bagi pengembangan ilmu pengetahuan

SANWACANA

Puji dan syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT., karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi yang berjudul "Fenologi, Pertumbuhan, Produksi, dan Growing Degree Days (GDD) Tanaman Sorgum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) di Dataran Tinggi: Studi Adaptasi Tanaman Terhadap Perubahan Iklim" adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Pertanian di Universitas Lampung. Shalawat serta salam tak lupa penulis sanjungkan kepada nabi besar Muhammad SAW. beserta keluarga, sahabat, dan pengikutnya hingga akhir zaman.

Dengan selesainya skripsi ini, maka penulis ingin menyampaikan banyak sekali rasa terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Ibu Prof. Dr. Ir. Tumiar Katarina B. Manik, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Akademik dan Pembimbing Utama yang telah banyak memberikan ilmu, bimbingan, motivasi, saran dan arahan kepada penulis selama penulis menjadi mahasiswa hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Paul Benyamin Timotiwu, M.S., selaku Pembimbing Kedua yang telah banyak memberikan ilmu, bimbingan, motivasi, saran dan arahan kepada penulis selama penulis menjadi mahasiswa hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak Ir. Dad Resiwordo Jekti Sembodo, M.S., selaku Pembahas/Penguji yang telah memberikan banyak ilmu, saran, kritik, dan arahan kepada penulis selama penyusunan skripsi.

5. Ibu Prof. Ir. Maria Viva Rini, M.Agr.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Agronomi dan Hortikultura Universitas Lampung.
6. Seluruh Dosen mata kuliah Jurusan Agronomi dan Hortikultura atas semua ilmu, didikan, dan bimbingan yang penulis peroleh selama masa studi.
7. Seluruh staff Jurusan Agronomi dan Hortikultura atas bantuan yang penulis peroleh selama masa studi.
8. Bapak Anwar Budiman dan Ibu Eneng Syumarni selaku kedua Orang Tua penulis yang telah memberikan kasih sayang, do'a, motivasi, dukungan moril dan materil yang tiada henti kepada penulis selama ini.
9. Sahabat GELORA, teman-teman sepenelitian, dan teman-teman ruang baca atas kebersamaan disaat suka dan duka, bantuan, dukungan, serta semangat yang diberikan kepada penulis.
10. Seluruh keluarga besar Jurusan Agronomi dan Hortikultura, terkhusus angkatan 2021 atas kebersamaan, bantuan, dan dukungan yang diberikan kepada penulis.

Akhir kata, semoga Allah SWT., senantiasa membalas segala kebaikan yang telah diberikan kepada semua pihak yang telah membantu penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, namun penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi rekan-rekan yang membaca.

Aamiin.

Bandar Lampung, September 2025

Muhammad Fharaz Ramadhan Anwar

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv

I. PENDAHULUAN1

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	10

II. TINJAUAN PUSTAKA11

2.1 Dampak Perubahan Iklim	11
2.1.1 Kenaikan Suhu dan Perubahan Musim Tanam.....	13
2.1.2 Perubahan Pola Curah Hujan dan Kelangkaan Air.....	13
2.1.3 Peningkatan Cuaca Ekstrem	13
2.1.4 Wabah Hama dan Penyakit.....	14
2.1.5 Kerusakan pada Tanah	14
2.2 Tanaman Sorgum (<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench).....	14
2.2.1 Syarat Tumbuh dan Habitat Tanaman Sorgum.....	17
2.2.2 Klasifikasi dan Jenis Tanaman Sorgum	19
2.2.3 Morfologi Tanaman Sorgum	20
2.2.3.1 Akar.....	20
2.2.3.2 Batang	20
2.2.3.3 Daun	21
2.2.3.4 Tunas	21
2.2.3.5 Bunga	22
2.2.3.6 Biji.....	23
2.2.4 Fase Pertumbuhan Tanaman Sorgum	23
2.2.4.1 Fase Pertumbuhan Vegetatif	25

2.2.4.2 Fase Pertumbuhan Generatif	30
2.2.4.3 Fase Pembentukan dan Pemasakan Biji	34
2.3 Fenologi	38
2.4 <i>Growing Degree Days</i> (GDD)	39
III. METODOLOGI PENELITIAN	42
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	42
3.2 Alat dan Bahan	42
3.3 Metode Penelitian	42
3.3.1 Rancangan Percobaan	42
3.3.2 Tata Letak Percobaan	43
3.3.3 Pelaksanaan Penelitian	44
3.3.3.1 Pengambilan Sampel Tanah	44
3.3.3.2 Persiapan Media Tanam	45
3.3.3.3 Persiapan Benih	45
3.3.3.4 Penanaman	45
3.3.3.5 Dosis Pemupukan	46
3.3.3.6 Pemeliharaan	47
3.3.3.7 Pemanenan	47
3.3.3.8 Pengeringan dan Pemipilan	48
3.3.4 Variabel Pengamatan	48
3.3.4.1 Unsur Cuaca	48
3.3.4.2 Pengamatan Pertumbuhan dan Produksi Tanaman	48
3.3.4.2.1 Tinggi Tanaman	49
3.3.4.2.2 Jumlah Daun	49
3.3.4.2.3 Bobot Basah Brangkas	49
3.3.4.2.4 Bobot Kering Brangkas	49
3.3.4.2.5 Panjang dan Bobot Malai Segar	50
3.3.4.2.6 Bobot Biji permalai	50
3.3.4.2.7 Bobot 1000 Butir	50
3.3.4.2.8 Kadar Air Benih	50
3.3.4.3 Pengamatan Fenologi	51
3.3.5 Pengolahan Data	51
3.3.5.1 Perhitungan <i>Growing Degree Days</i>	51
3.3.5.2 Analisis Data	51
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	53
4.1 Hasil	53
4.1.1 Unsur Iklim	53
4.1.1.1 Perbandingan Suhu Udara Sekincau dan Bandar Lampung	53
4.1.1.2 Intensitas Radiasi Matahari di Rumah Kaca	55
4.1.1.3 Kelembaban Udara dan Intensitas Cahaya di dalam Rumah Kaca	58
4.1.1.4 Daya Hantar, Kelembaban, pH dan Suhu Tanah	61

4.1.2 Fenologi	66
4.1.3 <i>Growing Degree Days</i> (GDD).....	67
4.1.3.1 Fase Awal Pertumbuhan	70
4.1.3.2 Fase Vegetatif Lanjutan	70
4.1.3.3 Fase Generatif	71
4.1.3.4 Fase Pengisian dan Pengerasan Biji	71
4.1.3.5 Fase Matang Fisiologis	71
4.1.4 Membandingkan Nilai GDD di Lokasi Penelitian dengan Literatur	73
4.1.4.1 Nilai GDD dari Penelitian Nield <i>et al.</i> , 1977	73
4.1.4.2 Nilai GDD dari Penelitian Rao <i>et al.</i> , 2004	75
4.1.5 Pertumbuhan dan Produksi Tanaman	76
4.1.5.1 Tinggi Tanaman	78
4.1.5.2 Jumlah Daun.....	79
4.1.5.3 Bobot Basah Brangkas	79
4.1.5.4 Bobot Kering Brangkas	80
4.1.5.5 Panjang Malai.....	82
4.1.5.6 Bobot Malai.....	82
4.1.5.7 Bobot Biji permalai	83
4.1.5.8 Bobot 1000 Butir.....	84
4.1.5.9 Kadar Air Benih	85
4.1.5.10 Bobot Basah Akar	86
4.1.5.11 Bobot Kering Akar	87
4.2 Pembahasan	87
V. KESIMPULAN DAN SARAN	92
5.1 Kesimpulan.....	92
5.2 Saran	93
DAFTAR PUSTAKA	95
LAMPIRAN.....	102

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Peningkatan suhu rata-rata global tahun 1880-2023	12
2. Kandungan nutrisi tanaman sorgum	16
3. Kandungan nutrisi tanaman sorgum dengan tanaman pangan lainnya	17
4. Kriteria kesesuaian lahan tanaman sorgum.....	18
5. Waktu dan karakteristik dari tahap pertumbuhan tanaman sorgum.....	25
6. Hasil analisis sifat fisika dan sifat kimia tanah perlakuan pupuk (NPK).....	44
7. Hasil analisis sifat fisika dan sifat kimia tanah perlakuan pupuk (NPK) + Bahan Organik.....	44
8. Intensitas radiasi matahari dibawah kanopi berbagai perlakuan dari jam 08.00-12.00 WIB	56
9. Intensitas radiasi matahari dibawah kanopi berbagai perlakuan dari jam 13.00-18.00 WIB	57
10. Kelembaban udara, dan intensitas cahaya berbagai perlakuan	59
11. Daya hantar listrik dan kelembaban tanah berbagai perlakuan.....	62
12. pH dan suhu tanah berbagai perlakuan	63
13. Rata-rata waktu tercapainya tahapan pertumbuhan tanaman sorgum.....	66
14. Nilai <i>Cumulative Degree Days</i> (CDD) dari hari ke-1 sampai hari ke-54	67
15. Nilai <i>Cumulative Degree Days</i> (CDD) dari hari ke-55 sampai hari ke-121 ...	68
16. Nilai GDD per varietas tanaman sorgum	69
17. Perbandingan nilai GDD dari lokasi penelitian dengan hasil penelitian Nield <i>et al.</i> , 1977	73
18. Perbandingan nilai GDD dari lokasi penelitian dengan hasil penelitian Rao <i>et al.</i> , 2004.....	75
19. Rekapitulasi analisis ragam setiap variabel pengamatan	77

20. Pengaruh media tanam dan varietas terhadap rata-rata tinggi tanaman (cm) sorgum berumur 10 MST	78
21. Pengaruh varietas terhadap rata-rata jumlah daun (helai) tanaman sorgum berumur 10 Minggu Setelah Tanam (MST)	79
22. Pengaruh media tanam dan varietas terhadap rata-rata bobot basah brangkasan (g) tanaman sorgum.....	80
23. Pengaruh media tanam dan varietas terhadap bobot kering brangkasan (g) tanaman sorgum.....	81
24. Pengaruh media tanam dan varietas terhadap rata-rata panjang malai (cm) tanaman sorgum.....	82
25. Pengaruh media tanam dan varietas terhadap rata-rata bobot malai (g) tanaman sorgum.....	83
26. Pengaruh media tanam dan varietas terhadap bobot biji permalai (g) tanaman sorgum.....	84
27. Pengaruh varietas terhadap bobot 1000 butir (g) tanaman sorgum.....	85
28. Pengaruh media tanam dan varietas terhadap kadar air benih (%) tanaman sorgum	86
29. Pengaruh media tanam dan varietas terhadap bobot basah akar (g) tanaman sorgum	86
30. Pengaruh media tanam dan varietas terhadap bobot kering akar (g) tanaman sorgum	87
31. Nilai rata-rata tinggi tanaman dan jumlah daun	102
32. Nilai rata-rata bobot basah brangkasan dan bobot kering brangkasan.....	103
33. Nilai rata-rata Panjang malai, bobot malai dan bobot biji permalai	104
34. Nilai rata-rata bobot 1000 butir, kadar air benih, bobot basah akar, dan bobot kering akar	105
35. Hasil uji Shapiro untuk kenormalan data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel tinggi tanaman.....	105
36. Hasil uji Bartlett untuk homogenitas data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel tinggi tanaman.....	106

37. Hasil uji Tukey untuk aditivitas data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel tinggi tanaman	106
38. Hasil analisis ragam antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel tinggi tanaman	106
39. Nilai koefisiensi keragaman antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel tinggi tanaman	106
40. Hasil uji lanjut LSD antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel tinggi tanaman	107
41. Hasil uji Shapiro untuk kenormalan data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel jumlah daun	107
42. Hasil uji Bartlett untuk homogenitas data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel jumlah daun	107
43. Hasil uji Tukey untuk aditivitas data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel jumlah daun	107
44. Hasil analisis ragam antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel jumlah daun	108
45. Nilai koefisiensi keragaman antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel jumlah daun	108
46. Hasil uji lanjut LSD antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel jumlah daun	108
47. Hasil uji Shapiro untuk kenormalan data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot basah brangkasan	108
48. Hasil uji Bartlett untuk homogenitas data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot basah brangkasan	109
49. Hasil uji Tukey untuk aditivitas data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot basah brangkasan	109
50. Hasil analisis ragam antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot basah brangkasan	109

51. Nilai koefisiensi keragaman antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot basah brangkasan	109
52. Hasil uji lanjut LSD antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot basah brangkasan	110
53. Hasil uji Shapiro untuk kenormalan data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot kering brangkasan	110
54. Hasil uji Bartlett untuk homogenitas data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot kering brangkasan	110
55. Hasil uji Tukey untuk aditivitas data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot kering brangkasan	110
56. Hasil analisis ragam antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot kering brangkasan	111
57. Nilai koefisiensi keragaman antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot kering brangkasan	111
58. Hasil uji lanjut LSD antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot kering brangkasan	111
59. Hasil uji Shapiro untuk kenormalan data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel panjang malai	111
60. Hasil uji Bartlett untuk homogenitas data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel panjang malai	112
61. Hasil uji Tukey untuk aditivitas data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel panjang malai	112
62. Hasil analisis ragam antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel panjang malai	112

63. Nilai koefisiensi keragaman antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel panjang malai.....	112
64. Hasil uji lanjut LSD antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel panjang malai	113
65. Hasil uji Shapiro untuk kenormalan data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot malai	113
66. Hasil uji Bartlett untuk homogenitas data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot malai	113
67. Hasil uji Tukey untuk aditivitas data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot malai	113
68. Hasil analisis ragam antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot malai	114
69. Nilai koefisiensi keragaman antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot malai	114
70. Hasil uji lanjut LSD antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot malai	114
71. Hasil uji Shapiro untuk kenormalan data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot biji permalai	114
72. Hasil uji Bartlett untuk homogenitas data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot biji permalai	115
73. Hasil uji Tukey untuk aditivitas data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot biji permalai	115
74. Hasil analisis ragam antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot biji permalai	115
75. Nilai koefisiensi keragaman antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot biji permalai.....	115
76. Hasil uji lanjut LSD antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot biji permalai	116

77. Hasil uji Shapiro untuk kenormalan data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot 1000 butir.....	116
78. Hasil uji Bartlett untuk homogenitas data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot 1000 butir.....	116
79. Hasil uji Tukey untuk aditivitas data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot 1000 butir.....	116
80. Hasil analisis ragam antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot 1000 butir	117
81. Nilai koefisiensi keragaman antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot 1000 butir	117
82. Hasil uji lanjut LSD antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot 1000 butir	117
83. Hasil uji Shapiro untuk kenormalan data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel kadar air	117
84. Hasil uji Bartlett untuk homogenitas data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel kadar air	118
85. Hasil uji Tukey untuk aditivitas data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel kadar air	118
86. Hasil analisis ragam antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel kadar air.....	118
87. Nilai koefisiensi keragaman antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel kadar air	118
88. Hasil uji lanjut LSD antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel kadar air.....	119
89. Hasil uji Shapiro untuk kenormalan data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot basah akar	119

90. Hasil uji Bartlett untuk homogenitas data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot basah akar	119
91. Hasil uji Tukey untuk aditivitas data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot basah akar	119
92. Hasil analisis ragam antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot basah akar.....	120
93. Nilai koefisiensi keragaman antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot basah akar	120
94. Hasil uji lanjut LSD antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot basah akar.....	120
95. Hasil uji Shapiro untuk kenormalan data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot kering akar	120
96. Hasil uji Bartlett untuk homogenitas data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot kering akar	121
97. Hasil uji Tukey untuk aditivitas data antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot kering akar	121
98. Hasil analisis ragam antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot kering akar.....	121
99. Nilai koefisiensi keragaman antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot kering akar	121
100. Hasil uji lanjut LSD antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam (M) dan varietas (V) pada variabel bobot kering akar.....	122

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Diagram alir kerangka pemikiran.....	8
2. Diagram sederhana tentang dampak perubahan iklim terhadap pertumbuhan tanaman.	12
3. Bagian-bagian pada raceme bunga sorgum: (a) <i>raceme</i> , (b) <i>spikelet</i> , (c) bunga biseksual/hermaprodit.	23
4. Tahap pertumbuhan tanaman sorgum serta hama dan penyakit yang dapat menyerang.	24
5. Tahap 0 tanaman sorgum.	27
6. Tahap 1 tanaman sorgum.	28
7. Tahap 2 tanaman sorgum.	29
8. Tahap 3 tanaman sorgum.	30
9. Tahap 4 tanaman sorgum.	31
10. Tahap 5 tanaman sorgum.	32
11. Tahap 6 tanaman sorgum.	34
12. Tahap 7 tanaman sorgum.	35
13. Tahap 8 tanaman sorgum.	37
14. Tahap 9 tanaman sorgum.	38
15. Gambar ambang batas dan derajat-hari.....	40
16. Tata letak percobaan.	43
17. Perbandingan suhu udara harian maksimum Sekincau dan Bandar Lampung.....	54
18. Perbandingan suhu udara harian minimum Sekincau dan Bandar Lampung.	55
19. Perbandingan radiasi matahari di dalam dan di luar rumah kaca.....	60

20. Perbandingan kelembaban dan cahaya matahari di dalam dan di luar rumah kaca.....	60
21. Perbandingan daya hantar listrik tanah antara pemberian pupuk NPK dan pupuk NPK dengan penambahan bahan organik.....	64
22. Perbandingan PH tanah antara pemberian pupuk NPK dan pupuk NPK dengan penambahan bahan organik.....	64
23. Perbandingan kelembaban tanah (%) antara pemberian pupuk NPK dan pupuk NPK dengan penambahan bahan organik.....	65
24. Perbandingan suhu tanah (°C) antara pemberian pupuk NPK dan pupuk NPK dengan penambahan bahan organik.....	65
25. Akumulasi nilai GDD tanaman sorgum berdasarkan fase pertumbuhan.....	88
26. Rumah kaca BBI Sekincau.....	123
27. Dua jenis media tanam.....	123
28. Tiga varietas sorgum yang mulai berkecambah.....	123
29. Kemunculan coleoptile.....	123
30. Kemunculan daun ke-3.....	123
31. Pengurangan jumlah tanaman menjadi satu tanaman. perpolybag.....	123
32. Kemunculan daun ke-5.....	124
33. Terjadi diferensiasi titik tumbuh pada tanaman.....	124
34. Kemunculan daun bendera.....	124
35. Daun bendera mulai menggebung atau booting.....	124
36. Bunga mulai mekar dan memasuki fase berbunga 50%.....	124
37. Biji mulai terisi/masak susu (<i>soft dough</i>).....	124
38. Biji mulai mengeras (<i>hard dough</i>).....	125
39. Memasuki fase matang fisiologis.....	125
40. Alat pengukur suhu dan kelembaban.....	125
41. Pengukuran tinggi tanaman.....	125
42. Pemupukan tanaman dengan pupuk NPK.....	125
43. Hama yang ditemukan menyerang tanaman.....	125
44. Penjemuran tanaman selama 11 hari.....	126
45. Pengukuran bobot 1000 butir.....	126
46. Pengukuran bobot biji permalai.....	126

47. Brangkasan dioven pada suhu 80 °C selama 3 hari.	126
48. Benih dioven pada suhu 105°C selama 1 hari untuk kadar air.	126
49. Benih diletakkan pada desikator setelah dioven.	126

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanaman sorgum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) merupakan salah satu tanaman pangan semusim yang toleran terhadap kekeringan dan sudah lama dibudidayakan oleh para petani sekitar 7.000 tahun yang lalu. Sorgum merupakan tanaman sereal penting kelima secara global dalam hal produksi dan luas wilayah tanam setelah gandum, padi, jagung, dan barley (Sumarno *et al.*, 2013; FAOSTAT, 2019). Tanaman sorgum termasuk tanaman C4 tahunan yang dapat digunakan sebagai bahan pangan alternatif, pakan ternak, dan industri *biofuel* (Siantar *et al.*, 2019). Tanaman sorgum secara global menghasilkan rata-rata produksi optimal yang berkisar antara 2,5-5 t/ha (Khalifa & Eltahir, 2023). Sedangkan, di Indonesia sendiri produksi sorgum rata-rata dihasilkan sebanyak 1,3-1,5 t/ha (Johanna *et al.*, 2024).

Tanaman sorgum di Indonesia kebanyakan akan digunakan sebagai bahan pangan alternatif dengan tingkat substitusi yang bervariasi antara 30-60% total penggunaan, seperti tingkat substitusi pada tepung sorgum dapat mencapai 70-80%, kue 40-45%, mie dan roti 20-25% (Wardhani, 2024). Selain sebagai bahan pangan alternatif, sorgum juga digunakan sebagai bahan pakan ternak mencapai 20-30% total penggunaan yang berasal dari biji dan limbah tanaman (batang dan daun). *Bioetanol* juga dapat dikembangkan dengan menggunakan tanaman sorgum, meskipun kontribusinya dalam sektor energi masih relatif kecil namun tetap dimanfaatkan sekitar 5-10% dari total penggunaan (Febiani *et al.*, 2024).

Berdasarkan potensi dan kelebihan dari tanaman sorgum ini, maka pemerintah menargetkan perluasan lahan sorgum hingga 30.000 hektar pada tahun 2023 dengan produksi yang diperkirakan mencapai 115.848 ton, dan 40.000 hektar pada tahun 2024 dengan target produksi 154.464 ton (Limanseto, 2022). Hal ini menjadi daya tarik sorgum sebagai pengganti gandum, mengingat Indonesia adalah salah satu pengimpor gandum terbesar dengan volume rata-rata 8,3 juta ton per tahun (Dinpertan Pangan, 2022). Besarnya kebutuhan tanaman sorgum saat ini tidak diimbangi dengan meningkatnya inovasi terhadap masalah perubahan iklim. Meskipun tanaman sorgum menjadi salah satu tanaman alternatif yang adaptif terhadap perubahan iklim, jika masalah ini tidak segera teratasi maka akan berdampak pada ketahanan pangan secara jangka panjang. Hal ini disebabkan karena perubahan iklim dapat mempengaruhi pola suhu dan intensitas curah hujan, maka dapat dikatakan bahwa perubahan iklim dapat menurunkan produktivitas suatu tanaman (Rizwan *et al.*, 2023).

Perubahan iklim merupakan fenomena pola cuaca dan suhu rata-rata di Bumi yang terus berubah tidak menentu dalam jangka waktu yang panjang. Hal ini disebabkan oleh adanya pemanasan global yang mengakibatkan meningkatnya emisi gas rumah kaca karena aktivitas manusia. Fenomena perubahan iklim ini akan sangat berdampak bagi sektor pertanian karena perubahan pola curah hujan, kenaikan suhu udara, kurangnya ketersediaan air, serta cuaca ekstrem yang akan mengancam produktivitas tanaman dan ketersediaan pangan (Tarigan *et al.*, 2024). Tanaman dapat mengalami kerusakan fisik dan metabolisme saat terkena tekanan suhu yang tinggi, IPCC (*International Panel for Climate Change*) memperkirakan akan terjadi peningkatan suhu 1,8-4°C menjelang tahun 2100. Produksi tanaman juga diperkirakan akan menurun dengan rata-rata 17% penurunan hasil untuk setiap 1-2°C kenaikan suhu udara di wilayah tropis (IPCC, 2007).

Setiap tanaman mempunyai batas toleransi suhu tertentu, seperti tanaman padi selama masa pembungaan yang tidak dapat menerima suhu diatas 30 °C karena dapat menyebabkan penurunan produksi gabah secara signifikan. Suhu yang terlalu tinggi juga dapat mempercepat laju evapotransporasi tanaman, sehingga

tanaman lebih cepat kehilangan air dan mudah mengalami stress (Sulaminingsih *et al.*, 2024). Menurut Sitompul (2024), defisit air dalam tanah yang disebabkan karena kekeringan yang berkepanjangan akan menghambat penyerapan nutrisi oleh akar tanaman dan akan mengurangi hasil produksi. Sedangkan curah hujan yang berlebihan dapat mengakibatkan penggenangan air yang dapat memicu pembusukan akar, dan potensi banjir yang dapat merusak tanaman. Oleh karena itu, dampak perubahan iklim yang sangat mengganggu bagi tanaman yaitu suhu dan curah hujan.

Peningkatan suhu yang terus terjadi ini mulai menjadi perhatian para peneliti, karena belum banyak sumber atau penelitian sebelumnya yang mengamati tentang pengaruh suhu terhadap tanaman. Kendala yang dialami oleh para peneliti ini yaitu sulitnya merubah atau memodifikasi suhu udara untuk hamparan lahan yang luas dan berada di alam (luar ruangan). Maka penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan ketinggian tempat yang berbeda untuk mendapatkan suhu yang berbeda. Dengan adanya perbedaan pada ketinggian tempat maka dapat dilihat reaksi tanaman dataran rendah ketika ditanam di dataran tinggi.

Salah satu faktor perubahan iklim yang akan diamati pada penelitian ini adalah perubahan suhu udara dalam periode tertentu. Hal ini disebabkan karena perubahan iklim umumnya akan terjadi dengan adanya kenaikan suhu udara terlebih dahulu. Kenaikan suhu udara dapat mempengaruhi fase-fase pertumbuhan tanaman, waktu pembungaan, pematangan biji, dan hasil produksi (Gunarsih *et al.*, 2017). Oleh karena itu, penelitian ini akan mempelajari terkait bagaimana respon tanaman dalam menghadapi pengaruh kenaikan suhu udara. Reaksi tanaman yang akan diamati pada penelitian ini dilakukan melalui metode fenologi yang dikuantifikasikan melalui konsep *Growing Degree Days* (GDD).

Fenologi merupakan ilmu yang mempelajari tentang periode fase-fase yang terjadi secara alami pada tanaman seperti berapa lama suatu jenis tanaman dapat mencapai fase pembungaan. Fenologi tanaman menjadi salah satu indikator yang efektif untuk melihat dampak dari perubahan iklim terhadap tanaman. Reaksi yang dihasilkan oleh suatu vegetasi terhadap perubahan iklim ialah dengan

menyesuaikan pola fenologinya, seperti adanya pergeseran waktu pencapaian fase pertumbuhan, perubahan struktur morfologi, cara reproduksi, atau bahkan kehilangan keragaman genetiknya (Workie & Debella, 2018). Fenologi tanaman juga digunakan untuk membantu perencanaan kegiatan pertanian, memantau perubahan iklim dan lingkungan, serta menghubungkan berbagai fungsi ekosistem dan interaksinya dalam lingkungan (Liu *et al.*, 2016).

Fenologi tanaman yang mendeskripsikan tahapan-tahapan pertumbuhan suatu tanaman dapat diukur secara kuantitatif melalui konsep *Growing Degree Days* (GDD). GDD adalah keterkaitan antara suhu udara dengan kecepatan pertumbuhan tanaman melalui hubungan linier yang berasumsi bahwa laju pertumbuhan sebanding dengan suhu udara selama berada di atas suhu dasar dan dibawah suhu maksimum tertentu yang dapat di toleransi oleh tanaman (McMaster & Wilhelm, 1997). GDD dapat dihitung dengan menentukan suhu dasar (*base temperature*) serta mengumpulkan suhu udara harian maksimum dan minimum berdasarkan rumus yang ada. Proses perhitungan dilakukan setiap hari dan nilai GDD harian akan terus dijumlahkan secara kumulatif untuk memperoleh total GDD hingga tanaman mencapai fase pertumbuhan tertentu, misalnya berbunga atau panen. GDD digunakan untuk memprediksi pertumbuhan tanaman dengan cara mengakumulasikan nilai suhu harian yang diterima tanaman (Yang *et al.*, 1995; Miller *et al.*, 2018). Metode ini juga bermanfaat untuk memperkirakan umur tanaman, sehingga penentuan waktu panen tidak hanya didasarkan pada jumlah hari setelah tanam tetapi juga mempertimbangkan kondisi iklim yang terjadi (Aryani, 2023).

Berdasarkan pernyataan-pernyataan diatas, yang membuktikan bahwa penelitian semacam ini diperlukan untuk memperkirakan bagaimana tanaman dapat bereaksi terhadap perubahan iklim dan diharapkan dapat menjadi acuan untuk menyelesaikan masalah ketersediaan pangan. Hal ini disebabkan karena sedikitnya kajian mengenai dampak perubahan iklim di wilayah tropis dengan anggapan bahwa suhu di wilayah tropis relatif stabil dan tidak banyak berfluktuasi. Namun, beberapa penelitian menyatakan bahwa wilayah tropis akan sangat menderita jika terjadi kenaikan suhu sekecil apapun. Oleh karena itu,

penelitian ini dilaksanakan untuk memahami bagaimana reaksi tanaman sorgum jika ditanam di dataran tinggi.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dijawab dalam penelitian ini adalah berikut:

1. Bagaimana fenologi, laju pertumbuhan dan hasil produksi antara 3 varietas sorgum yang ditanam di dataran tinggi?
2. Berapakah nilai GDD dari 3 varietas sorgum yang ditanam di dataran tinggi?
3. Apakah pemberian bahan organik pada media tanam dapat mempengaruhi fenologi, laju pertumbuhan dan hasil produksi antara 3 varietas sorgum yang ditanam di dataran tinggi?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui tahap fenologi, laju pertumbuhan dan hasil produksi 3 varietas sorgum.
2. Untuk mengetahui dan menghitung nilai *Growing Degree Days* pada 3 varietas tanaman sorgum.
3. Untuk mengetahui apakah pemberian bahan organik pada media tanam dapat mempengaruhi nilai *Growing Degree Days* pada 3 varietas tanaman sorgum.

1.4 Landasan Teori

Perubahan iklim adalah fenomena global yang ditandai oleh perubahan jangka panjang pada suhu dan pola cuaca akibat aktivitas manusia, terutama peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK) seperti karbondioksida (CO₂) dan metana (CH₄) yang berasal dari industri, transportasi, dan deforestasi. Penyebab utama perubahan iklim ini meliputi penggunaan bahan bakar fosil, konversi lahan untuk pertanian, serta limbah dari kegiatan domestik dan industri (IPCC, 2007; Prajapati

et al., 2024). Perubahan iklim ini berdampak sangat luas mencakup peningkatan suhu global, perubahan curah hujan yang ekstrem, serta dampak negatif terhadap ekosistem kesehatan manusia. Hal ini juga dapat sangat mengganggu dalam sektor pertanian karena perubahan iklim dapat mengakibatkan kerusakan pada tanaman, terhambatnya pertumbuhan, pergeseran waktu panen, kurangnya ketersediaan air, dan sebagainya (Dinpertan Pangan, 2022).

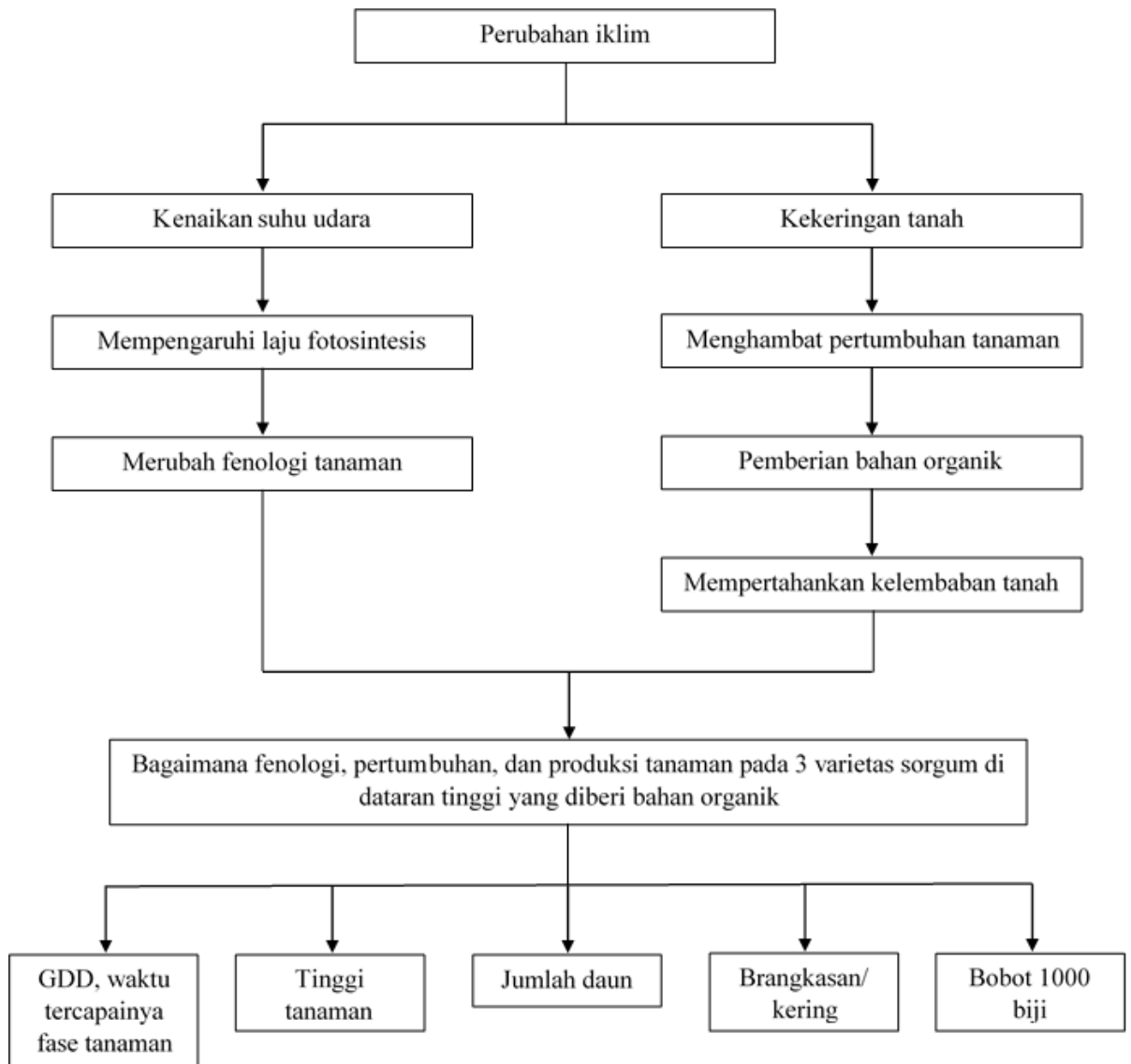
Tanaman sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) adalah salah satu jenis tanaman pangan yang memiliki potensi besar sebagai alternatif dalam mengatasi masalah perubahan iklim. Tanaman sorgum dikenal dengan kemampuan beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang ekstrem, seperti kekeringan dan suhu tinggi. Oleh karena itu, tanaman sorgum menjadi pilihan yang ideal untuk ditanam di daerah yang terpengaruh oleh perubahan iklim (Borrell, 2014). Tanaman ini memiliki efisiensi fotosintesis yang tinggi dan memerlukan lebih sedikit air dibandingkan dengan tanaman pangan lainnya seperti padi dan jagung, sehingga dapat mengurangi tekanan pada sumber daya air yang semakin terbatas. Dengan demikian, pengembangan dan peningkatan produksi sorgum tidak hanya menyediakan sumber pangan yang berkelanjutan tetapi juga membantu mitigasi dampak perubahan iklim yang sejalan dengan upaya global dalam menciptakan ketahanan pangan dan lingkungan yang lebih baik (Chadalavada *et al.*, 2021).

Fenologi tanaman merujuk pada studi tentang waktu dan urutan fase pertumbuhan tanaman, yang sangat penting dalam memahami bagaimana tanaman beradaptasi terhadap perubahan lingkungan, termasuk perubahan iklim. Pada tanaman sorgum, fase-fase fenologis seperti perkecambahan, pembungaan, dan pematangan sangat dipengaruhi oleh suhu lingkungan. Konsep *Growing Degree Days* (GDD) digunakan untuk mengukur akumulasi panas yang diperlukan untuk mencapai fase-fase tersebut, di mana GDD dihitung berdasarkan suhu harian yang melebihi ambang batas tertentu (Miller *et al.*, 2018). Dengan menggunakan GDD, petani dan peneliti dapat memprediksi waktu panen yang lebih akurat, yang penting untuk meningkatkan hasil pertanian dalam kondisi iklim yang berubah.

Keterkaitan antara fenologi dan GDD pada tanaman sorgum menunjukkan bahwa perubahan suhu akibat perubahan iklim dapat mempengaruhi waktu pencapaian fase pertumbuhan. Misalnya, tanaman sorgum yang ditanam di ketinggian berbeda mengalami perbedaan dalam jumlah GDD yang dibutuhkan untuk mencapai fase berbunga dan pematangan. Hal ini menunjukkan bahwa pemahaman tentang fenologi dan GDD tidak hanya penting untuk meningkatkan produktivitas sorgum tetapi juga untuk merancang strategi adaptasi yang efektif terhadap perubahan iklim, sehingga dapat memastikan ketahanan pangan di masa depan (Ammaiyappan *et al.*, 2023).

1.5 Kerangka Pemikiran

Adapun kerangka pemikiran dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram alir kerangka pemikiran.

Perubahan iklim merupakan sebuah fenomena global yang diakibatkan oleh peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Fenomena ini menyebabkan

perubahan pola cuaca yang signifikan, termasuk kenaikan suhu rata-rata dan perubahan curah hujan. Sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) sebagai salah satu tanaman pangan penting yang dapat bertahan di daerah kering, juga ikut terpengaruh oleh kondisi iklim yang berubah. Kenaikan suhu dan frekuensi kekeringan tanah dapat mengganggu siklus pertumbuhan sorgum, yang berpotensi mengurangi hasil panen dan kualitas biji.

Kenaikan suhu akibat perubahan iklim dapat mempengaruhi berbagai aspek fisiologis tanaman sorgum, seperti laju fotosintesis. Suhu yang lebih tinggi dapat mempercepat proses fotosintesis pada awal pertumbuhan, tetapi jika suhu terlalu tinggi melebihi ambang batas toleransi maka dapat menyebabkan stres termal. Stres ini berakibat pada penurunan efisiensi penggunaan air dan nutrisi, sehingga mengganggu pertumbuhan vegetatif dan generatif tanaman. Maka dari itu, penelitian ini dilakukan untuk memahami bagaimana perubahan suhu di luar habitat aslinya dapat merubah fenologi sorgum, yang berguna untuk mengembangkan strategi adaptasi yang efektif.

Kekeringan tanah merupakan salah satu dampak langsung dari perubahan iklim yang berakibat pada ketersediaan air untuk tanaman. Dalam kondisi kekeringan, pertumbuhan tanaman sorgum menjadi terhambat dan harus beradaptasi dengan cara mengubah pola pertumbuhannya untuk bertahan hidup. Dalam mengatasi masalah ini maka digunakan bahan organik berupa pupuk kandang yang dicampurkan pada media tanam tanah. Penggunaan bahan organik ini berfungsi untuk menambah ketersediaan hara, meningkatkan porositas tanah, dan meningkatkan kemampuan media tanam dalam menyimpan air. Sehingga pemberian bahan organik ini diharapkan dapat mempertahankan kelembaban tanah. Oleh karena itu, penelitian ini juga ingin melihat bagaimana respons sorgum terhadap kekeringan untuk mengetahui batas toleransi antar varietas yang berbeda terhadap kondisi tersebut. Hal ini akan membantu dalam pemilihan varietas sorgum yang lebih unggul dan tahan terhadap kekeringan, sehingga meningkatkan ketahanan pangan di daerah yang rawan kekeringan. Dalam menghadapi tantangan yang ditimbulkan oleh perubahan iklim, maka pengujian fenologi, pertumbuhan, dan produksi tanaman sorgum menjadi sangat

penting. Melalui pengujian ini, kita dapat mengevaluasi bagaimana berbagai faktor lingkungan mempengaruhi perkembangan tanaman dari fase perkecambahan hingga panen. Data yang diperoleh dari pengujian ini akan memberikan informasi berharga mengenai strategi manajemen agronomi yang tepat dalam menghadapi perubahan iklim, terutama pada budidaya sorgum. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada peningkatan hasil produksi sorgum tetapi juga mendukung keberlanjutan pertanian di masa depan.

1.6 Hipotesis

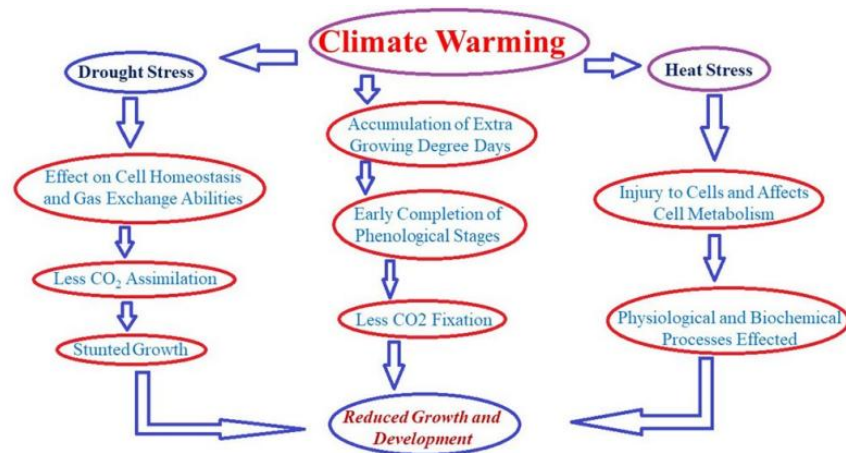
Hipotesis yang didapat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Terdapat perbedaan tahapan fenologi, laju pertumbuhan dan hasil produksi pada 3 varietas sorgum yang berbeda yang ditanam di dataran tinggi.
2. Terdapat perbedaan nilai GDD pada 3 varietas sorgum yang ditanam di dataran tinggi.
3. Varietas sorgum yang berbeda akan memberikan tanggapan tahapan fenologi, laju pertumbuhan dan hasil produksi tanaman sorgum yang berbeda terhadap media tanam.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dampak Perubahan Iklim

Perubahan iklim merupakan perubahan jangka panjang dari pola cuaca rata-rata di Bumi, seperti pergeseran suhu, curah hujan, dan variabel iklim lainnya. Faktor utama terciptanya perubahan iklim kontemporer adalah pemanasan global yang meningkatkan suhu rata-rata permukaan Bumi akibat aktivitas manusia. Kegiatan seperti pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, dan berbagai proses industri yang menyebabkan pelepasan gas rumah kaca ke atmosfer, peningkatan efek rumah kaca dan menghangatkan planet Bumi. Melalui riset dan analisis yang tepat, kita dapat mengukur potensi resiko yang ditimbulkan oleh perubahan iklim yang semakin sering dan intens. Hal ini dilakukan untuk menciptakan kebijakan yang melindungi pertanian, memastikan keamanan air, dan melindungi masyarakat yang rentan (Rayhan *et al.*, 2023).



Gambar 2. Diagram sederhana tentang dampak perubahan iklim terhadap pertumbuhan tanaman.

(Sumber: Fatima *et al.*, 2020)

Tabel 1. Peningkatan suhu rata-rata global tahun 1880-2023

Tahun	Peningkatan Suhu Rata-rata Global (°C)
1880	+0,0
1900	+0,2
1950	+0,6
2000	+1,0
2023	+1,2 (Perkiraan)

Sumber: Rayhan *et al.*, 2023.

Pertanian merupakan salah satu sektor yang menyumbang peningkatan emisi gas rumah kaca di Indonesia sebesar 7% dan global sebesar 14%. Direktorat Jendral Perubahan Iklim melaporkan bahwa terjadi peningkatan total emisi gas rumah kaca dari tahun 2000 sebesar 96,305 Gg CO₂-eq dan tahun 2012 mencapai 112,727 Gg CO₂-eq (Rozci, 2023). Gibson dan Paulsen (1999) menyatakan bahwa tanaman akan kehilangan 3-5% hasil panen untuk setiap kenaikan suhu 1°C. Perubahan suhu akan mempengaruhi proses fisiologi, ukuran dan berat daun tanaman tropis, merubah ketergantungan thermal dari laju fotosintesis,

pertumbuhan dan pemasakan biji, serta jumlah biji. Faktor perubahan iklim yang memberikan dampak terhadap sektor pertanian, yaitu:

2.1.1 Kenaikan Suhu dan Perubahan Musim Tanam

Peningkatan suhu secara langsung mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Stres panas selama fase pertumbuhan generatif dapat menyebabkan penurunan hasil, penurunan kualitas biji-bijian, dan bahkan gagal panen. Suhu yang lebih tinggi juga dapat mempersingkat durasi musim tanam, membatasi waktu yang tersedia bagi tanaman untuk mencapai kematangan. Misalnya, dalam produksi gandum, suhu tinggi menjadi penyebab utama penurunan hasil biji-bijian karena berkurangnya ukuran biji dan durasi pengisian biji-bijian yang lebih rendah (Prajapati *et al.*, 2024).

2.1.2 Perubahan Pola Curah Hujan dan Kelangkaan Air

Perubahan pola curah hujan (pergeseran waktu dan intensitas hujan) secara signifikan memengaruhi ketersediaan air untuk tanaman. Distribusi curah hujan yang tidak teratur dapat menyebabkan kekeringan atau genangan air, yang keduanya berdampak buruk pada pertumbuhan tanaman. Daerah yang mengalami peningkatan kekeringan menghadapi tantangan untuk menjaga kelembaban tanah yang memadai agar pertumbuhan tanaman tetap optimal. Kelangkaan air dapat menyebabkan berkurangnya hasil panen dan gagal panen, contohnya seperti pada budidaya tanaman jagung dan padi (Prajapati *et al.*, 2024).

2.1.3 Peningkatan Cuaca Ekstrem

Peristiwa cuaca ekstrem, seperti banjir, angin topan, dan badai, menjadi lebih sering karena perubahan iklim. Peristiwa ini dapat menyebabkan kerusakan fisik langsung pada tanaman, mengganggu rantai pasokan, dan menyebabkan erosi tanah. Selain kehilangan hasil langsung, akibat dari peristiwa ekstrem sering kali

melibatkan periode pemulihan yang berkepanjangan, yang selanjutnya membahayakan produksi pangan. Cuaca ekstrem juga dapat membatasi pergerakan petani dalam melakukan perawatan tanaman di lahan (Prajapati *et al.*, 2024).

2.1.4 Wabah Hama dan Penyakit

Suhu yang lebih hangat dan kondisi iklim yang berubah dapat menyebabkan ledakan perkembangbiakan hama dan penyakit yang menimpa tanaman. Kenaikan suhu dapat menciptakan kondisi yang menguntungkan untuk hama dalam memperluas jangkauan dan bereproduksi, yang menyebabkan peningkatan infestasi hama. Wabah semacam itu dapat menyebabkan hilangnya hasil panen dan kebutuhan akan aplikasi pestisida yang intensif secara keberlanjutan pada tanaman (Prajapati *et al.*, 2024).

2.1.5 Kerusakan pada Tanah

Kenaikan suhu, perubahan pola curah hujan, dan peristiwa cuaca ekstrem dapat memperburuk degradasi tanah dan hilangnya nutrisi. Peningkatan suhu juga mempercepat aktivitas mikroba yang menyebabkan dekomposisi bahan organik dan mengurangi penyimpanan karbon dalam tanah. Proses semacam itu akan membahayakan struktur tanah, mengurangi kemampuannya untuk menahan air dan nutrisi. Selain itu, pergeseran pola curah hujan mengakibatkan peningkatan erosi, merusak integritas lapisan atas tanah dan semakin mengurangi kesuburan tanah (Prajapati *et al.*, 2024).

2.2 Tanaman Sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)

Sorgum merupakan tanaman yang termasuk dalam jenis biji-bijian (sereal) yang berasal dari daerah beriklim kering di Ethiopia. Saat abad ke-9, tanaman sorgum banyak dikenal sebagai tanaman petani miskin (*the poor man crop*) karena biaya

budidaya yang murah, produktivitas rendah, mampu ditanam pada tanah marginal dan kering bahkan tanah dengan kandungan garam alkali (*saline-alkaline soil*) (Huang, 2018; Murtini & Sabilla, 2021). Biji sorgum memiliki kualitas gizi dan nutrisi yang sebanding dengan jagung dan beras dengan perbedaan kandungan proteinnya lebih tinggi, namun kandungan lemaknya lebih rendah (Tabri & Zubachtirodin, 2013). Dalam 100 g biji sorgum terdapat 73% karbohidrat, 332 kalori, 11% protein, 3,3% lemak, 280 ppm kalsium, 28.700 ppm fosfor, 4.400 ppm zat besi, vitamin B1 380 ppm, dan 12% air (Sumarno *et al.*, 2013). Tanaman sorgum memiliki potensi produktivitas dengan berat biji berkisar antara 40-100 g/malai. Produksi biji rata-rata mencapai 6,36 t/ha, bahkan bisa mencapai 8-9 t/ha. Berat batang sorgum berkisar antara 400-800 g/batang dan dapat dimanfaatkan sebagai sumber pakan dan bahan bakar (Slameto, 2022).

Tabel 2. Kandungan nutrisi tanaman sorgum

Components	Range
Protein (%)	4,40 – 21,10
Water-soluble protein (%)	0,30 – 0,9
Lysine (%)	1,06 – 3,64
Starch (%)	55,60 – 75,20
Amylose (%)	21,20 – 30,20
Soluble sugar (%)	0,70 – 4,20
Reducing sugar (%)	0,05 – 0,53
Crude fiber (%)	1,00 – 3,40
Fat (%)	2,10 – 7,60
Ash (%)	1,30 - 3,30
Calcium (mg/100 g)	11,00 – 586,00
Phosphorus (mg/100 g)	167,00 – 751,00
Iron (mg/100 g)	0,90 – 20,00
Thiamine (mg/100 g)	0,24 – 0,54
Niacin (mg/100 g)	2,90 – 6,40
Ribovlavin (mg/100 g)	0,10 – 0,20
Tannin (%)	0,10 – 7,22
Phytic acid (mg/100 g)	875,00 – 2211,90
Energy value (kcal/100 g)	296,1 – 356,0
Non-starch polysaccharides (g/100 g)	6,0 – 15,0
Isoluble fibers (%)	75,0 – 90,0
Soluble fibers (%)	10,0 – 25,0
α -kafirins (%)	66 – 84
β -kafirins (%)	8 – 13
γ -kafirins (%)	9 – 21
Reduced lipid (g/100 g)	1,24 – 3,07
Unsaturated fatty acids (%)	83 – 88
Linoleic acid (%)	45,6 – 51,1
Oleic acid (%)	32,2 – 42,0
Palmitic acid (%)	12,4 – 16,0
Linolenic acid (%)	1,4 – 2,8

Sumber: Hossain *et al.*, 2022.

Tabel 3. Kandungan nutrisi tanaman sorgum dengan tanaman pangan lainnya

Nutritional value/Crops	Rice	Maize	Wheat	Barley	Oat	Rye	Sorghum	Millet
Water (g)	13,9	12,2	14	10,6	8,5	15	12	11
Energy (kJ)	1518	1517	1320	1535	1644	1268	1422	1468
Energy (kcal)	357	357	310	360	388	298	335	346
Carbohydrate(g)	81,3	77,2	63,9	83,6	69,4	65,9	69,9	68,1
Protein (g)	6,7	9,4	12,7	7,9	11,8	8,2	10,7	11,8
Fat (g)	2,8	3,3	2,2	1,7	9	2	3,3	4,8
Dietary fiber (g)	1,9	2,2	9	5,9	7	11,7	7,5	6,9
Essential amino acid (g/100 g protein)								
Phenylalanine	5,2	4,8	4,6	5,2	5,4	5	5,1	5,5
Histidine	2,5	2,9	2	2,1	2,4	2,4	2,1	2
Isoleucine	4,1	3,6	3	3,6	4,2	3,7	4,1	3,8
Leucine	8,6	12,4	6,3	6,6	7,5	6,4	14,2	10,9
Lysine	4,1	2,7	2,3	3,5	4,2	3,5	2,1	2,7
Methionine	2,4	1,9	1,2	2,2	2,3	1,6	1	2,5
Threonine	1	3,9	2,4	3,2	3,3	3,1	3,3	3,7
Tryptophan	1,4	0,5	2,4	1,5	0,2	0,8	1	1,3
Valine	5,8	4,9	3,6	5	5,8	4,9	5,4	5,5
Fatty acid profiles (g/100 g food)								
Total fat	2,8	3	1,2	1,7	9,2	2	2,9	4
Saturated fatty acids	0,74	-	0,16	0,29	1,61	0,27	-	-
Cis-mono-unsaturated fatty acids	0,66	-	0,13	0,14	3,34	0,21	-	-
Polyunsaturated fatty acids								
Total cis	0,98	-	0,51	0,77	3,71	0,95	-	-
n-6 (as 18:2)	0,94	-	0,48	0,7	3,52	0,82	-	-
n-3	0,04	-	0,03	0,07	0,19	0,13	-	-

Sumber: Fatima *et al.*, 2020.

2.2.1 Syarat Tumbuh dan Habitat Tanaman Sorgum

Tanaman sorgum merupakan tanaman semusim dengan dapat dibudidayakan dengan kesesuaian lahan yang tidak terlalu sulit. Tanaman sorgum dapat tetap berproduksi meskipun dibudidayakan pada lahan yang kurang subur, ketersediaan air terbatas, dan masukan (*output*) yang rendah. Kriteria kesesuaian lahan untuk tanaman sorgum dapat dilihat pada tabel 2.4 dibawah ini.

Tabel 4. Kriteria kesesuaian lahan tanaman sorgum

Penciri lahan yang dikelompokkan berdasarkan kualitas	Kelas kesesuaian lahan			
	Sangat sesuai (S1)	Sesuai (S2)	Kurang sesuai (S3)	Tidak sesuai (S4)
Suhu				
Rata-rata suhu tahunan (°C)	27-32	33-37 26-18	38-40 17-15	>40 <15
Ketersediaan air				
Bulan-bulan kering (< 75 mm)	4-8	8,1-8,5 4,1-2,5	8,6-9,5 2,4-1,5	>9,5 <1,5
Rata-rata curah hujan tahunan (mm)	600-1500	1500-2000 600-400	2000-4000 400-250	>4000 <250
Perakaran				
Kelas drainase tanah	cukup baik, baik	cukup berlebihan	buruk, cukup buruk	sangat buruk, berlebihan
Tekstur tanah (permukaan)	lempung, liat-berpasir, lempung berdebu, debu, lempung berliat, lempung-liat berdebu	lempung berpasir, liat berpasir	pasir berlempung, liat berdebu, liat (berstruktur)	berkerikil, liat (<i>massive</i>)-berpasir, liat
Kedalaman perakaran (cm)	>66	40-59	20-39	<20
Daya serap hara				
KTK me/100 g tanah	>sedang	rendah	sangat rendah	sangat rendah
pH lapisan bawah	6,0-7,5	7,6-8,0	8,1-9,0	>9,0
pH lapisan atas	5,9-5,5	5,4-5,0	<5,0	
Ketersediaan unsur hara				
Total K (lapisan permukaan)	>sedang	rendah	sangat rendah	sangat rendah
P ₂ O ₅ (lapisan permukaan)	>tinggi	sedang	rendah	sangat rendah
K ₂ O (lapisan permukaan)	>rendah	sangat rendah	-	-

Sumber: Tabri & Zubachtirodin, 2013.

Berdasarkan Tabel 2.4 diatas, tanaman sorgum dapat tumbuh pada daerah dengan tingkat kesuburan rendah sampai tinggi selama media tanamnya memiliki kedalaman > 15 cm. Tanaman sorgum dapat tumbuh dengan baik pada tanah dengan pH 6,0-8,0 dan curah hujan 50-100 mm per bulan yang diikuti dengan

periode kering. Tanaman sorgum juga dapat beradaptasi dengan baik walaupun pada daerah dengan curah hujan yang tinggi selama fase pertumbuhan hingga panen. Kondisi lingkungan dengan suhu yang panas ($> 20^{\circ}\text{C}$) dan udara yang kering menjadi habitat yang cocok bagi tanaman sorgum. Oleh karena itu, dataran rendah dengan ketinggian 1-500 m dpl sangat cocok untuk membudidayakan tanaman sorgum. Pada ketinggian 500 m dpl umumnya umur panen sorgum akan lebih panjang (Tabri & Zubachtirodin, 2013).

2.2.2 Klasifikasi dan Jenis Tanaman Sorgum

Bersasarkan USDA (2025) tanaman sorgum dibagi menjadi 17 spesies yaitu *Sorghum alnum Parodi*, *Sorghum bicolor* (L.), *Sorghum aethiopicum* (Hack.), *Sorghum arundinaceum* (Desv.), *Sorghum lanceolatum* Stapf, *Sorghum verticilliflorum* (Steud.), *Sorghum virgatum* (Hack.), *Sorghum coffrorum* (Retz.), *Sorghum caudatum* (Hack.), *Sorghum cernum* (Ard.), *Sorghum dochna* (Forssk.), *Sorghum durra* (Forssk.), *Sorghum guineense* Stapf, *Sorghum nervosum* Besser, *Sorghum saccharatum* (L.), *Sorghum subglabrescens* Schweinf., dan *Sorghum vulgare* Pers. Di antara beragam spesies sorgum ini, spesies *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Merupakan spesies yang umum dan paling banyak dibudidayakan saat ini. Tanaman sorgum yang dikutip dari data USDA (2025) memiliki klasifikasi sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae - <i>Plants</i>
Subkingdom	: Tracheobionta - <i>Vascular plants</i>
Superdivision	: Spermatophyta - <i>Seed plants</i>
Division	: Magnoliophyta - <i>Flowering plants</i>
Class	: Liliopsida - <i>Monocotyledons</i>
Subclass	: Commelinidae
Order	: Cyperales
Family	: Poaceae Barnhart - <i>Grass family</i>
Genus	: <i>Sorghum</i> Moench - <i>sorghum</i>
Species	: <i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench - <i>sorghum</i>

2.2.3 Morfologi Tanaman Sorgum

Tanaman sorgum terdiri dari beberapa bagian penting seperti akar, batang, daun, tunas, bunga dan biji (Dinpertan Pangan, 2022).

2.2.3.1 Akar

Sistem perakaran tanaman sorgum yaitu perakaran serabut yang terdiri dari akar-akar seminal (akar-akar primer) pada dasar buku pertama pangkal batang, akar sekunder, akar tunjang, dan akar nafas (*brace roots*) atau akar yang tumbuh di permukaan tanah. Akar primer merupakan akar yang tumbuh pertama kali saat proses perkecambahan yang berkembang secara vertikal dari radikula dan akar ini berfungsi sebagai alat transportasi nutrisi dan air saat berkecambah (Li *et al.*, 2014). Akar sekunder berkembang di ruas pertama pada mesokotil di bawah tanah dan akan menggantikan fungsi dari akar primer dalam menyerap air dan unsur hara. Akar sekunder berukuran kecil, seragam, dan memiliki panjang 5-15 cm. Akar tunjang berkembang dari primordia buku yang berada < 1 m dan berfungsi sebagai jangkar bagi tanaman. Perakaran tanaman sorgum mampu menopang pertumbuhan dan perkembangan tanaman ratun hingga dua atau tiga kali lebih kuat sehingga menjadikan tanaman ini toleran terhadap kekeringan (House, 1985; Artschwager, 1948; Singh *et al.*, 1997).

2.2.3.2 Batang

Batang tanaman sorgum merupakan rangkaian berseri tidak berkambium yang terdiri dari ruas (*internodes*) dan buku (*nodes*). Batang tanaman sorgum dapat tumbuh setinggi 0,5-4 m dan memiliki diameter batang antara 0,5-5 cm yang terdiri atas empulur dan kulit yang tersusun secara radial. Tipe batang tanaman sorgum bervariasi mulai dari solid dan kering hingga sukulen dan manis (House, 1985; Artschwager, 1948; Singh *et al.*, 1997). Batang tanaman sorgum mengandung serat berupa selulosa sebanyak 65,1% dan lignin sebanyak 6,5% (Reddy & Yang, 2007). Permukaan ruas batang sorgum mirip dengan tanaman

tebu karena diselimuti oleh lapisan lilin yang berfungsi untuk mengurangi laju transpirasi (Artschwager, 1948).

2.2.3.3 Daun

Daun pada tanaman sorgum melekat pada buku-buku batang dan tumbuh memanjang, yang terdiri dari pelepah dan helaian daun. Titik pertemuan antara pelepah dan helaian daun terdapat ligula (*ligule*) dan kerah daun (*dewlaps*). Helaian daun muda mulanya kaku dan tegak lalu mulai menjadi melengkung saat tanaman dewasa. Daun sorgum memiliki panjang rata-rata 90-100 cm dengan penyimpangan 10-15 cm dan lebar berkisar antara 10-13 cm (Artschwager, 1948). Daun yang terletak paling atas atau daun bendera (*flag leaf*) biasanya memiliki bentuk yang lebih pendek dan lebih kecil dibandingkan dengan yang lain. Jumlah daun bervariasi antara 7-40 helai tergantung pada varietasnya, namun tanaman sorgum akan mulai berbunga saat daun biasanya berjumlah 14-18 helai (Bakeer, 2013). Hasil penelitian Bullard dan York (1985) menunjukkan bahwa jumlah daun tanaman sorgum mempunyai korelasi dengan panjang periode vegetatif yang dialami tanaman tersebut, yang dibuktikan dengan kemunculan satu helai daun baru memerlukan waktu 3-5 hari.

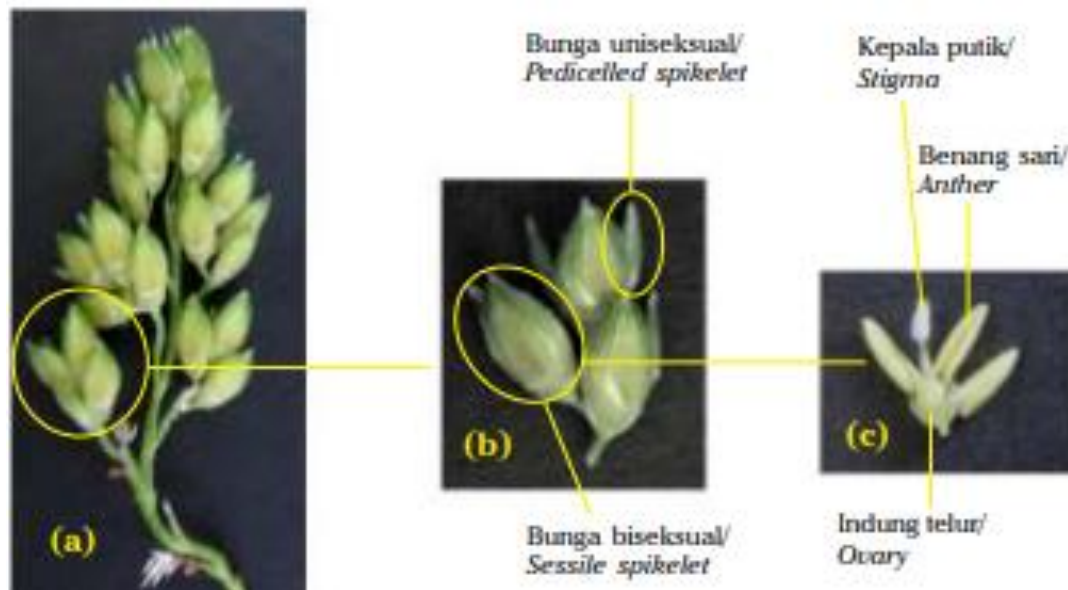
2.2.3.4 Tunas

Beberapa varietas sorgum dapat menghasilkan tunas yang tumbuh dari buku pada batang sorgum yang rata dengan ruasnya. Tunas baru dapat membentuk percabangan atau anakan yang dapat tumbuh menjadi individu baru selain batang utama (House, 1985). Ruas batang sorgum bersifat *gemmiferous* yang artinya setiap ruas batang terdapat satu mata tunas yang bisa tumbuh sebagai anakan atau cabang. Tunas yang tumbuh pada ruas yang terdapat di permukaan tanah akan tumbuh sebagai anakan, sedangkan tunas yang tumbuh pada bagian atas akan menjadi cabang. Pada suhu $< 18^{\circ}\text{C}$ dapat memicu munculnya anakan selama fase pertumbuhan daun ke-4 sampai ke-6. Tanaman sorgum tahunan dapat menghasilkan tunas 2-3 kali lebih banyak dibandingkan sorgum semusim, hal ini

menjadikan tanaman sorgum tahunan dapat dipanen dan diratun (Artschwager, 1948).

2.2.3.5 Bunga

Pembungaan pada tanaman sorgum dipicu oleh periode penyinaran pendek dan suhu tinggi karena tanaman sorgum termasuk dalam tanaman hari pendek (Pedersen *et al.*, 1988). Bunga sorgum merupakan tipe bunga *panicle*/malai yang tersusun atas tangkai malai (*peduncle*), malai (*panicle*), rangkaian bunga (*raceme*), dan bunga (*spikelet*). Bentuk, posisi, kerapatan, dan warna malai tanaman sorgum sangat beragam tergantung dari varietasnya. Tangkai malai (*peduncle*) terdapat pada batang sorgum yang berfungsi untuk mendorong malai keluar dari pelepah daun bendera dan menopang malai saat pembungaan. Malai (*panicle*) tersusun atas tandan primer, sekunder, dan tersier. Ukuran malai sangat beragam umumnya memiliki panjang 4-50 cm dan lebar 2-20 cm. Rangkaian bunga (*raceme*) adalah kumpulan bunga yang terdapat pada cabang sekunder dan tersusun atas satu atau beberapa bunga. Bunga (*spikelet*) pada setiap malai berjumlah sekitar 1.500-4.000 bunga dan dalam setiap bunga terdapat setidaknya satu bunga biseksual (*hermaphrodit*) dan satu atau dua bunga uniseksual, berupa bunga jantan atau steril (House, 1985).



Gambar 3. Bagian-bagian pada raceme bunga sorgum: (a) *raceme*, (b) *spikelet*, (c) bunga biseksual/hermaprodit.

(Sumber: Andriani & Isnaini, 2013)

2.2.3.6 Biji

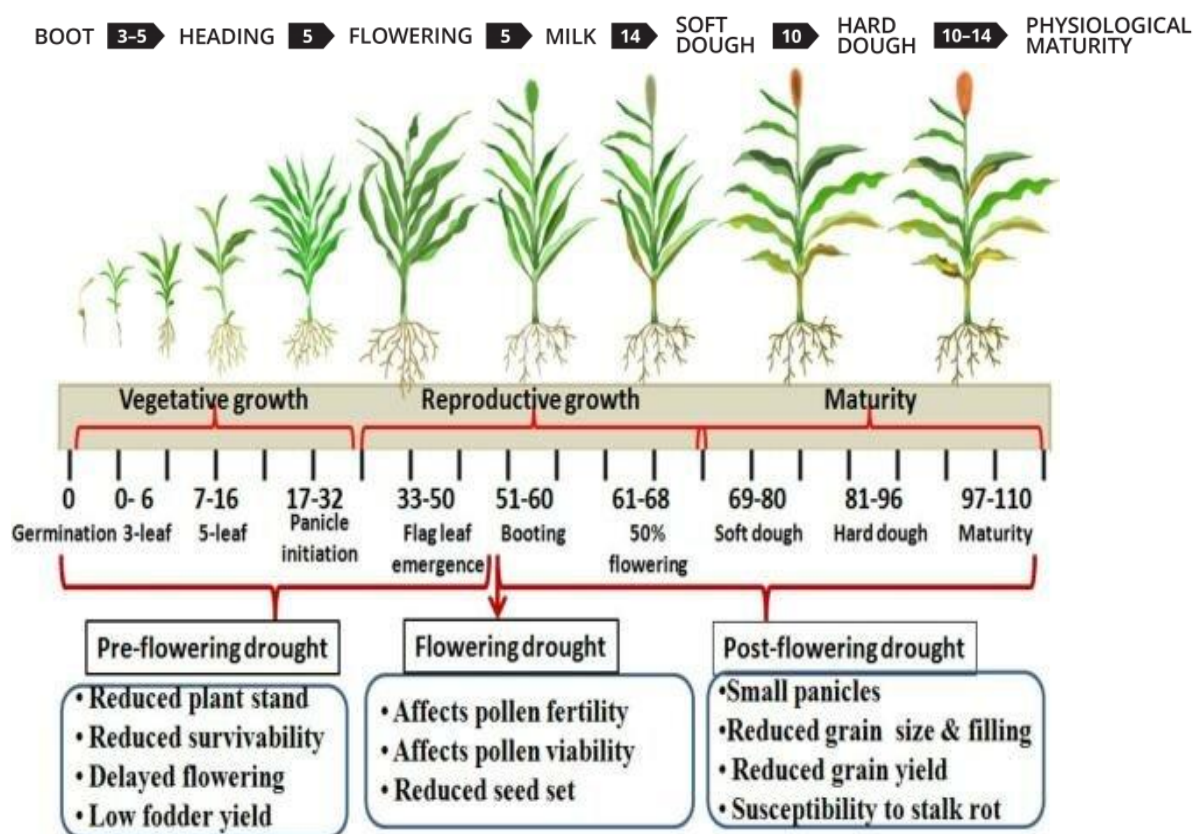
Biji tanaman sorgum umumnya berbentuk butiran bulat pipih (*flattened spherical*) dengan ukuran 4,0 x 2,5 x 3,5 mm dan memiliki berat antara 25-55 mg (Dicko *et al.*, 2006). Biji sorgum tersusun atas embrio, endosperm, dan testa yang dilindungi oleh sebuah lapisan (*pericarp*). Berdasarkan bentuk dan ukurannya, sorgum dibedakan menjadi tiga golongan, yaitu biji berukuran kecil (8-10 mg), sedang (12-24 mg), dan besar (25-35 mg). Endosperm pada biji sorgum tersusun atas dua jenis pati, yaitu amilosa dan amilopektin. Endosperm juga menyumbangkan sekitar 80-85% dari total keseluruhan ukuran biji sorgum dan berperan penting dalam penentuan kualitas biji (Valencia & Rooney, 2009).

2.2.4 Fase Pertumbuhan Tanaman Sorgum

Pola pertumbuhan tanaman sorgum hampir sama dengan tanaman jagung, namun terdapat perbedaan interval waktu antara tahap pertumbuhan dan jumlah daun

yang berkembang. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai berbagai tahap pertumbuhan ini dipengaruhi oleh genetik varietas dan lingkungan tumbuhnya. Faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi yaitu kesuburan tanah, kelembaban, suhu dan udara, air, hama dan penyakit, cekaman abiotik, persaingan gulma, dan polulasi tanaman. Pola pertumbuhan tanaman sorgum dibagi menjadi tiga tahap, yaitu fase vegetatif, fase generatif, dan fase pembentukan biji-masak fisiologis (du Plessis, 2008).

Approximate Days to Each Growth Stage



Gambar 4. Tahap pertumbuhan tanaman sorgum serta hama dan penyakit yang dapat menyerang.

(Sumber: Bejiga *et al.*, 2021; Sorghumcheckoff, 2025)

Tabel 5. Waktu dan karakteristik dari tahap pertumbuhan tanaman sorgum

Tahap Pertum- buhan (<i>Growth Stage</i>)	Hari Setelah Berke- cambah (HSB)	Jarak Tahap (Hari)	Karakteristik Tanaman	
0	0	0	Kemunculan	<i>Coleoptile</i> terlihat di permukaan tanah (daun pertama terlihat dengan ujung bulat)
1	6	6	Daun ke-3	Kerah daun ke-3 terlihat
2	16	10	Daun ke-5	Kerah daun ke-5 terlihat
3	32	16	Inisiasi malai	Diferensiasi titik tumbuh pada saat daun ke-9
4	50	18	Daun Bendera	Ujung daun bendera (daun terakhir) muncul
5	60	10	<i>Booting</i>	Penggembungan pelepah daun dan kepala malai memanjang ke selubung daun bendera
6	68	8	Berbunga 50%	Setengah dari tanaman telah menyelesaikan penyerbukan dari ujung atas ke bawah
7	80	12	<i>Soft dough</i>	Biji lunak: biji tanaman mulai mengembang dan jika ditekan dengan jari akan menghasilkan cairan seperti susu
8	96	16	<i>Hard dough</i>	Biji keras: biji semakin mengeras dan tidak dapat ditekan lagi dengan jari serta kadar air biji berkurang sekitar 25-30%
9	106	10	Matang fisiologis	Lapisan hitam (<i>black layer</i>) muncul di <i>hilum</i> pada pangkal benih, pengisian cadangan makanan dan penurunan kadar air sekitar 20-25%

Sumber: Rao, *et al.*, 2007.

2.2.4.1 Fase Pertumbuhan Vegetatif

Pada fase vegetatif bagian tanaman yang aktif berkembang adalah daun dan tunas. Saat fase vegetatif ini seluruh daun yang terbentuk sempurna berfungsi untuk memproduksi fotosintat yang akan digunakan selama pertumbuhan dan pembentukan biji. Fase vegetatif berlangsung pada saat tanaman berumur antara

1-30 hari. Tahap-tahap pertumbuhan pada fase vegetatif meliputi tiga tahap pertumbuhan, yaitu:

Tahap 0 (saat kecambah muncul di atas permukaan tanah)

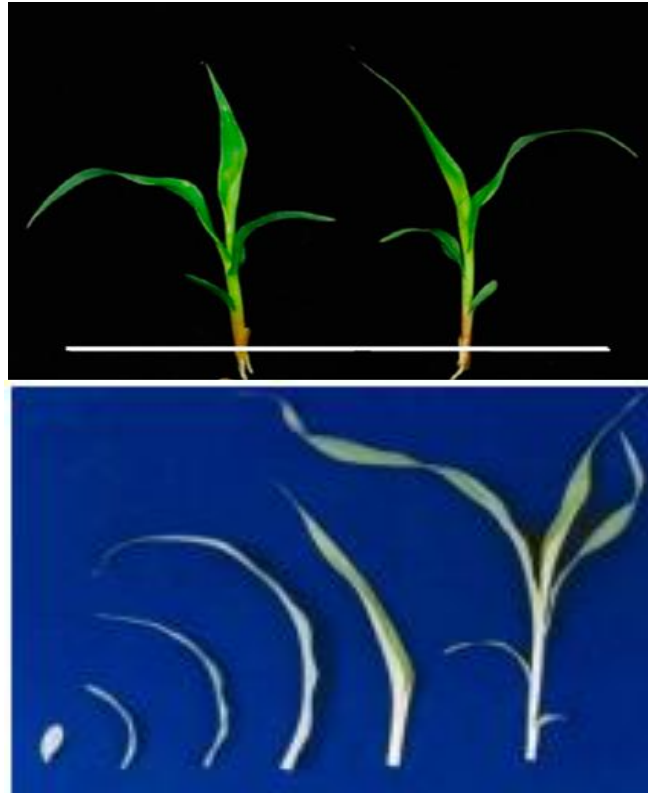
Tahap ini disebut tahap 0 karena umur tanaman adalah 0 hari setelah berkecambah (HSB). Tahap ini dimulai ketika bibit terlihat yang ditandai dengan munculnya tunas pucuk (*coleoptile*) di atas permukaan tanah. Umumnya *coleoptile* akan muncul antara 3-10 hari setelah tanam (HST) (Rao *et al.*, 2007). Pada suhu tanah 20°C atau lebih, *coleoptile* muncul di atas permukaan tanah setelah 3-4 HST, dan akan lebih lama jika suhu semakin rendah. Selain itu, kemunculan *coleoptile* ini dipengaruhi oleh kelembaban tanah, kepadatan tanah, kedalaman penanaman, dan vigor benih. Sedangkan akar skunder akan mulai berkembang 3-7 HSB. Selama tahap ini, pertumbuhan bergantung pada nutrisi dan cadangan makanan dari benih (Vanderlip, 1993).



Gambar 5. Tahap 0 tanaman sorgum.
(Sumber: Sorghumcheckoff, 2025)

Tahap 1 (Saat daun ke-3 terlihat)

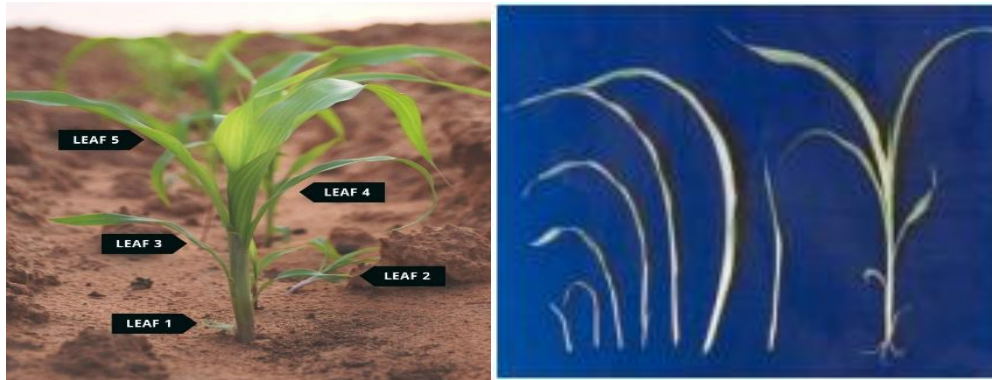
Tahap ini terjadi saat tanaman memiliki 3 daun yang mengembang penuh, daun dihitung setelah pelepah daun mulai terlihat atau tidak lagi tertutup oleh pelepah daun sebelumnya. Tanaman telah tumbuh dengan ketinggian sekitar 15-20 cm. Titik tumbuh masih berada dipermukaan tanah dengan laju pertumbuhan yang relatif lambat. Tahap ini berlangsung pada umur sekitar 7-10 HSB. Kecepatan pertumbuhan pada tahap ini bergantung pada kondisi lingkungan dengan suhu yang hangat (Rao *et al.*, 2007). Pemeliharaan tanaman pada tahap ini harus segera dilakukan, seperti melakukan pengendalian gulma secara manual untuk mendorong pertumbuhan dan menghemat air. Selain itu, pengendalian hama juga sangat disarankan untuk dilakukan dengan menggunakan dosis yang rendah untuk melindungi bagian pucuk tempat bakal daun dan menjaga titik tumbuh (Vanderlip, 1993).



Gambar 6. Tahap 1 tanaman sorgum.
(Sumber: Rao *et al.*, 2007; Sorghumcheckoff, 2025)

Tahap 2 (Saat daun ke-5 terlihat)

Pada tahap ini tanaman memasuki umur sekitar 16-20 HSB dan memasuki periode pertumbuhan cepat, namun titik tumbuh masih berada di bawah permukaan tanah. Hal ini ditandai dengan daun dan sistem perakaran yang berkembang dengan cepat. Tanaman telah tumbuh dengan ketinggian sekitar 40-50 cm. Pertumbuhan yang cepat memerlukan penyiangan, pemupukan, pengairan, dan pengendalian hama dan penyakit yang optimal (Vanderlip, 1993). Pada tahap ini, batang belum memanjang, yang terlihat di permukaan tanah adalah lapisan pelepah daun, namun vigor tanaman lebih tinggi dibanding pada tahap 1. Suhu dingin dan lembab serta cuaca mendung yang berkepanjangan dapat menyebabkan bercak berwarna ungu pada tepi daun dan urat daun, selain klorosis besi (Rao *et al.*, 2007).



Gambar 7. Tahap 2 tanaman sorgum.
(Sumber: Rao *et al.*, 2007; Sorghumcheckoff, 2025)

Tahap 3 (Tahap deferensiasi titik tumbuh)

Deferensiasi titik tumbuh berlangsung saat tanaman berumur sekitar 30-32 HSB. Pada fase ini titik tumbuh mulai berubah dari tahap membentuk daun menjadi tahap membentuk primordial bunga (inisiasi malai). Setidaknya sepertiga jumlah daun sudah benar-benar berkembang, dan total jumlah daun optimal sudah terdeferensiasi. Inisiasi malai dapat diidentifikasi dengan membelah tangkai dengan pisau tajam dan diamati di bawah mikroskop majemuk. Selama tahap ini, tanaman mengembangkan 9-10 daun dan 2-3 daun basal akan menjadi tua. Batang tumbuh dengan cepat mengikuti pertumbuhan titik tumbuh. Penyerapan unsur hara secepat pertumbuhan tanaman, sehingga kebutuhan hara dan air juga cukup tinggi, penambahan pupuk terutama unsur nitrogen, sangat membantu pertumbuhan malai secara optimal. Waktu yang diperlukan dari penanaman hingga deferensiasi titik tumbuh umumnya menghabiskan sepertiga dari umur tanaman (Rao *et al.*, 2007).



Gambar 8. Tahap 3 tanaman sorgum.
(Sumber: Rao *et al.*, 2007; Sorghumcheckoff, 2025)

2.2.4.2 Fase Pertumbuhan Generatif

Berakhirnya fase vegetatif ditandai dengan munculnya inisiasi bunga pada tanaman dan fase reproduktif/generatif akan dimulai. Fase generatif umumnya akan terjadi pada saat tanaman berumur 30-60 HST (Vanderlip, 1993). Tanaman sorgum dapat berbunga lebih cepat dalam kondisi suhu panas dan begitu pula sebaliknya, pada suhu yang lebih pembungaan sedikit lebih lambat (House, 1985). Pada fase ini terbentuk struktur malai (*panicle*) dan jumlah biji yang bias terbentuk dalam satu malai. Fase ini sangat penting bagi produksi biji karena jumlah biji yang akan diproduksi maksimum 70% dari total bakal biji yang tumbuh pada periode ini. Jika pertumbuhan malai terganggu akan menurunkan jumlah biji yang akan terbentuk (du Plessis, 2008). Tahap pertumbuhan fase generatif meliputi:

Tahap 4 (Saat munculnya daun bendera/daun terakhir)

Daun bendera muncul pada saat tanaman berumur sekitar 40-50 HSB yang ditandai oleh terlihatnya daun bendera yang masih menggulung. Setelah diferensiasi titik tumbuh, perpanjangan batang dan daun terjadi secara cepat bersamaan sampai daun bendera (daun akhir). Tanaman dapat tumbuh hingga

ketinggian 115-120 cm pada tahap ini. Pada tahap ini semua daun sudah terbuka sempurna, kecuali 3-4 daun terakhir dan 3-5 daun basal akan hilang karena penuaan (Rao *et al.*, 2007). Memasuki umur 40-45 HST, malai mulai memanjang dalam daun bendera dimana ukuran malai ditentukan pada saat ini. Laju pertumbuhan dan penyerapan hara jauh lebih besar dan cepat serta lebih dari 40% kalium sudah diserap. Pada tahap ini kebutuhan nutrisi dan air diperlukan untuk pertumbuhan maksimal serta pengendalian hama perlu dilakukan karena hama yang ada di dalam gulungan dapat menunda munculnya daun bendera. Tanaman sorgum pada fase ini cukup kompetitif dengan gulma, maka pengendalian gulma tetap harus diperhatikan (Rao *et al.*, 2007; Vanderlip, 1993).



Gambar 9. Tahap 4 tanaman sorgum.
(Sumber: Rao *et al.*, 2007; Sorghumcheckoff, 2025)

Tahap 5 (Menggelembungnya pelepah daun bendera)

Tahap ini diidentifikasi dengan selubung daun bendera yang membengkak yang menutupi malai. Tahap ini terjadi pada saat tanaman berumur sekitar 50-60 HSB dengan tinggi tanaman dapat mencapai 125-130 cm. Pada tahap ini struktur malai (*panicle*) telah berkembang sempurna dan jumlah daun telah mencapai batas maksimalnya, sehingga luas daun dan intersepsi cahaya juga mencapai batas maksimal (Rao *et al.*, 2007). Pertumbuhan batang juga sudah mencapai batas,

kecuali tangkai bunga (*peduncle*) yang mulai memanjang dan mendorong malai untuk keluar dari pelepah daun bendera. Stres kekeringan, kelembaban tinggi dan kerusakan akibat herbisida selama fase pembentukan malai dapat memperpendek panjang tangkai, mencegah malai keluar dari selubung daun bendera, dan mencegah penyerbukan saat berbunga (House, 1985; Vanderlip, 1993; Rao *et al.*, 2007).



Gambar 10. Tahap 5 tanaman sorgum.
(Sumber: Sorghumcheckoff, 2025)

Tahap 6 (Tanaman 50% berbunga)

Tahap ini ditandai dengan seluruh tanaman memasuki periode berbunga mekar sepenuhnya (*anthesis*). Tahap ini terjadi pada saat tanaman berumur sekitar 60-70 HSB dengan tinggi tanaman dapat mencapai 130-160 cm. Tanaman berbunga 50% artinya sebagian malai sudah mekar sekitar 50% dari jumlah tanaman di lahan, yang dapat dilihat pada saat kotak sari (*anther*) keluar dari lemma dan palea (Rao *et al.*, 2007). Pada fase ini bagian vegetatif tanaman seperti batang mengalami sedikit peningkatan, dan telah mencapai produksi biomas maksimum, sekitar 50% dari total bobot kering tanaman. Serapan hara N, P, dan K telah mencapai hampir 70%, 60%, dan 80% dari total N, P₂O₅, dan K₂O. Jika kondisi lingkungan menguntungkan, hasil tanaman sorgum masih dapat ditingkatkan

dengan meningkatnya bobot biji. Penyiraman sangat penting pada tahap ini untuk mencegah kekeringan yang dapat mengakibatkan menurunnya pengisian biji serta pengendalian hama sangat diperlukan karena hama akan tertarik pada malai yang berbunga dan akan bertelur di sana yang akan mempengaruhi perkembangan biji (Vanderlip, 1993; Rao *et al.*, 2004; Rao *et al.*, 2007).

Bunga Sorgum akan mekar teratur dari tujuh cabang malai paling atas atau ujung malai (*panicle*) kemudian tengah dan terakhir bagian bawah. Lama pembungaan dari bunga pertama kali mekar berkisar antara 6-9 hari setelah malai keluar dari pelepah daun bendera. Bunga sorgum umumnya akan mekar (*anthesis*) sebelum pukul 10 pagi yang diawali dengan mekarnya bunga hermaprodit, kemudian bunga tunggal akan mekar 2-4 hari kemudian (Stephens, 1934). Cuaca mendung, suhu yang rendah, dan kelembaban tinggi menunda bunga untuk mekar. Individu bunga mulai mekar pada saat bunga mulai membuka dari kumpulan rangkaian bunga (*raceme*), 7 menit kemudian lemma dan palea akan terbuka sempurna selama 20 menit, diikuti oleh keluarnya kepala putik dan benang sari. Serbuk sari (*pollen*) dapat hidup (*viable*) 3-6 jam setelah mekar. Putik bunga sorgum mulai reseptif 2 hari sebelum bunga mekar, hingga 8-16 hari setelah bunga mekar, tetapi reseptif optimal selama 3 hari setelah mekar (Stephens, 1934; House, 1985; Pedersen *et al.*, 1998).



Gambar 11. Tahap 6 tanaman sorgum.
(Sumber: Sorghumcheckoff, 2025)

2.2.4.3 Fase Pembentukan dan Pemasakan Biji

Fase pembentukan dan pemasakan biji terjadi ketika tanaman berumur 70-100 HSB dan merupakan tahapan terakhir dalam pertumbuhan tanaman sorgum. Fase ini diawali dengan proses pembuahan hingga akumulasi bahan kering pada biji terhenti dengan hadirnya lapisan hitam (*black layer*) pada bagian bawah biji yang menempel pada tangkai (Gerik *et al.*, 2003). Biji sorgum mulai berkembang dengan tanda adanya perubahan warna yang awalnya hijau muda, dan setelah 10 hari akan semakin besar dan berwarna hijau gelap, kemudian setelah 30 hari biji akan mencapai bobot kering maksimal (matang fisiologis) (House, 1985). Fase pembentukan dan pemasakan biji akan berlangsung dalam tiga tahap pertumbuhan, yaitu:

Tahap 7 (Biji masak susu)

Setelah tanaman berbunga, biji berkembang dari akumulasi pati berbentuk cairan yang terdapat dalam biji, kemudian berubah seperti susu, sehingga sering disebut sebagai masak susu. Hal ini dapat dibuktikan dengan biji yang dapat

ditekan/diperas dengan mudah menggunakan jari untuk melihat adanya cairan susu dalam biji. Tahap ini terjadi pada saat tanaman berumur 70-80 HSB atau 12 hari dari kemunculan bunga. Tanaman sorgum saat memasuki tahap ini menandakan akhir dari perpanjangan batang dan tanaman dapat tumbuh hingga 170 cm. Bobot batang juga mengalami penurunan seiring dengan pengisian biji, sekitar 10% dari bobot biji berasal dari pengurangan bobot batang (Vanderlip, 1993).

Nitrogen dan fosfor masih diserap dengan cepat oleh tanaman pada tahap ini, namun serapan hara kalium mulai menurun. Daun basal mulai mengering dan meninggalkan 8-12 daun fungsional selama tahap ini berlangsung. Hasil biji bergantung pada laju akumulasi bahan kering pada biji dan lamanya fase akumulasi. Laju akumulasi bahan kering antarvarietas tidak terlalu beragam. Kondisi lingkungan dengan kelembaban yang tinggi dapat menimbulkan jamur pada biji dan menyebabkan hilangnya bobot dan kualitas biji (Vanderlip, 1993; Rao *et al.*, 2004; Rao *et al.*, 2007).



Gambar 12. Tahap 7 tanaman sorgum.
(Sumber: Sorghumcheckoff, 2025)

Tahap 8 (Pengerasan biji)

Pada tahap ini, biji sudah tidak dapat ditekan lagi dengan jari karena sekitar tiga-perempat dari bobot kering biji telah terakumulasi. Tahap ini memakan waktu sekitar 85-96 HSB atau 16 hari sejak kemunculan dan tahap 7. Bobot batang telah menurun hingga pada bobot terendah. Seluruh biji sudah terbentuk secara sempurna, embrio sudah masak, akumulasi bahan kering biji akan terhenti, dan serapan hara sudah berhenti. Sebagian daun mulai mengering dan beberapa sudah ada yang rontok akibat serangan hama dan penyakit selama tahap pengerasan biji. Cuaca berawan atau hujan dengan kelembaban yang tinggi akan menyebabkan perubahan warna biji, timbulnya jamur pada biji, dan akan menurunkan bobot biji atau biji hampa (Vanderlip, 1993; Rao *et al.*, 2004; Rao *et al.*, 2007).



Gambar 13. Tahap 8 tanaman sorgum.
(Sumber: Rao *et al.*, 2007; Sorghumcheckoff, 2025)

Tahap 9 (Biji matang fisiologis)

Tahap ini ditandai oleh lapisan pati yang keras pada biji berkembang sempurna dan lapisan hitam (*black layer*) muncul di bagian basal (sisi sebelah luar embrio). Hal ini menjadi tanda bahwa akan berakhirnya pasokan fotosintesis ke biji. Tahap pematangan biji berlangsung pada saat tanaman berumur sekitar 95-106 HSB atau 10 hari sejak tahap pengerasan biji. Bobot kering tanaman juga telah mencapai batas maksimum, begitu pula pada biji yang mencapai bobot kering maksimum dengan kadar air biji yang berkisar antara 25-35%. Selama periode matang fisiologis, kadar air benih akan turun hingga 10-15% selama 20-25 hari. Rata-rata berat 1000 biji berkisar antara 13-40 g tergantung pada kemampuan tanaman untuk mengakumulasi biomas selama tahap pengisian biji (House, 1985; Vanderlip, 1993; Rao *et al.*, 2007).

Setelah matang fisiologis, daun akan kering dan mati, atau beberapa daun akan tetap berwarna hijau (*stay green*). Jika kondisi suhu dan kelembaban menguntungkan, cabang mulai tumbuh dari beberapa mata tunas pada ruas batang, terutama pada ruas bagian atas. Biji yang telah matang fisiologis dapat dipanen, namun untuk mendapatkan hasil biji yang maksimum, sebaiknya tanaman dipanen setelah masak fisiologis. Cuaca yang kurang tepat dapat menurunkan kualitas biji yang dipanen. Biji yang dipanen pada kadar air lebih dari 12% harus dikeringkan

terlebih dahulu sebelum disimpan (Vanderlip & Reeves, 1972; Vanderlip, 1993; Rao *et al.*, 2004).



Gambar 14. Tahap 9 tanaman sorgum.
(Sumber: Rao *et al.*, 2007; Sorghumcheckoff, 2025)

2.3 Fenologi

Fenologi merupakan cabang ilmu yang berasal dari dua kata Yunani, yaitu *phaino* (muncul) dan *logos* (penalaran atau pemikiran rasional). Fenologi berhubungan dengan studi tentang peristiwa periodik biologis pada tumbuhan dan hewan yang dipengaruhi oleh lingkungan, terutama perubahan suhu yang didorong oleh cuaca dan iklim (Matsoukis, 2024). Ilmu ini dapat diterapkan pada pencatatan dan studi tanggal kejadian alam atau terjadinya peristiwa yang berulang. Contohnya, pembungaan tanaman, kemunculan malai, atau kemunculan burung migrasi yang berkaitan dengan perubahan iklim musiman.

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%. Karena lingkungan berubah setiap hari, periode waktu penanaman optimal memiliki pengaruh besar pada pertumbuhan dan hasil panen yang ideal untuk mendapatkan hasil sorgum yang maksimal (Ammaiyappan *et al.*, 2023).

Iklim dengan suhu lebih hangat dapat mempercepat fenologi tanaman dan mempengaruhi saat panen (Madan *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2013; Ahmed *et al.*, 2016). Craufurd dan Wheeler (2009) melaporkan bahwa pembungaan dan kemasakan dapat terjadi lebih awal di tempat dengan suhu yang lebih tinggi. Suhu yang lebih tinggi menghasilkan musim tanam yang lebih pendek, mempercepat penuaan daun dan mengurangi biomas karena pembungaan yang awal (Tao *et al.*, 2013; Figueiredo *et al.*, 2015). Suhu tinggi mempunyai efek negatif pada biomas, panjang *spike*, hasil bulir dan indeks panen (Plaut *et al.*, 2004).

2.4 Growing Degree Days (GDD)

Growing Degree Days (GDD) digunakan untuk memprediksi pertumbuhan dan perkembangan tanaman selama musim tanam. Konsep dasar dari GDD adalah bahwa perkembangan hanya akan terjadi jika suhu rata-rata harian (Persamaan 1) melebihi ambang batas suhu tertentu yang dikenal sebagai suhu dasar (T_{base}). T_{base} dapat bervariasi secara signifikan tergantung pada jenis tanaman dan varietasnya. Jika suhu rata-rata harian (T_{ave}) sama dengan atau lebih rendah dari T_{base} maka nilai GDD adalah nol, yang berarti meskipun waktu telah berlalu sesuai dengan jadwal kalender tetapi pertumbuhan tanaman tidak berkembang seperti yang diharapkan (Persamaan 2). Ketika T_{ave} melebihi T_{base} maka nilai GDD akan dihitung sebagai selisih antara T_{ave} dan T_{base} . Sedangkan GDD kumulatif selama periode target dihitung sesuai dengan persamaan 3 (Ammaiyappan *et al.*, 2023).

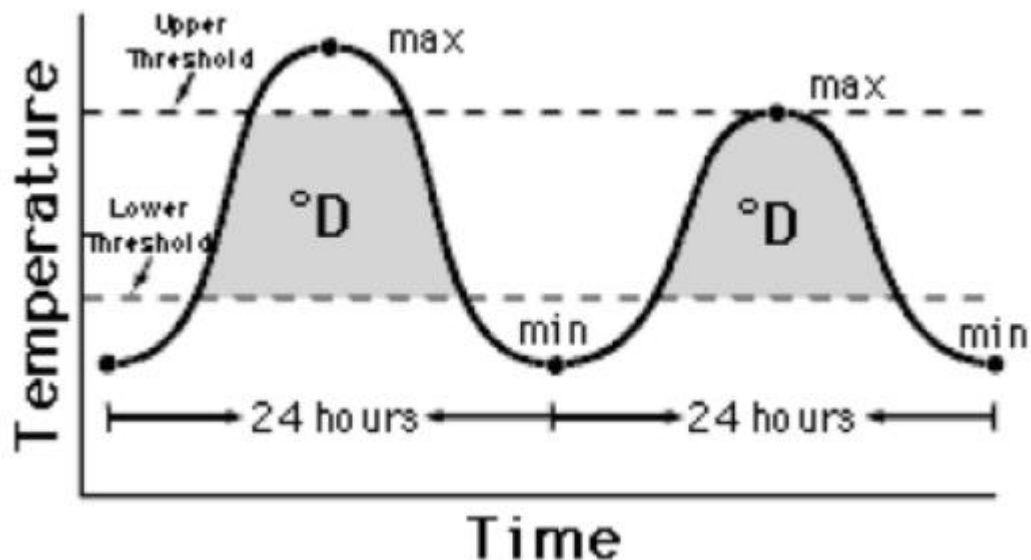
$$T_{ave} = \frac{(T_{max} + T_{min})}{2} \dots\dots\dots(\text{Persamaan 1})$$

$$GDD = \begin{cases} T_{ave} - T_{base} & \text{if } T_{ave} > T_{base} \\ 0 & \text{if } T_{ave} \leq T_{base} \end{cases} \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2})$$

$$GDDs = \sum_{i=1}^n GDD_i \dots\dots\dots(\text{Persamaan 3})$$

Menurut Miller *et al.* (2018) bahwa GDD dapat dihitung dengan cara:

- Menambahkan suhu maksimum dan suhu minimum harian sepanjang musim tanam
- Hasil penjumlahan tersebut dibagi dengan dua untuk mendapatkan suhu rata-rata harian (Persamaan 1), dan
- Kurangi dengan suhu dasar yang ditetapkan untuk tanaman



Gambar 15. Gambar ambang batas dan derajat-hari.

Catatan : Dibutuhkan sembilan hari derajat Fahrenheit untuk membuat lima hari derajat Celcius. $DD^{\circ}C = 5/9 (DD^{\circ}F)$ dan $DD^{\circ}F = 9/5 (DD^{\circ}C)$.

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

Gambar 15 mengilustrasikan hubungan antara waktu, suhu dan akumulasi derajat hari ($^{\circ}\text{D}$). Satu derajat hari adalah satu hari ketika suhu rata-rata harian setidaknya satu derajat di atas ambang perkembangan yang lebih rendah (suhu di bawah ketika perkembangan berhenti). Misalnya, jika suhu terendah untuk hari itu adalah 33°F dan tertinggi adalah 67°F , maka pada hari itu memiliki suhu rata-rata 50°F . Jika tanaman memiliki basis suhu 32°F , seperti gandum, maka hari itu dihitung sebagai 18 DD pada skala Fahrenheit ($67 + 33 / 2 - 32 = 18$) (Miller *et al.*, 2018).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai tanggal 17 Januari 2025 sampai 4 Juni 2025 di UPB Balai Benih Induk (BBI) Tanaman Hortikultura dan Pengembangan Lahan Kering, Unit Produksi Benih Tanaman Sayuran. UPB BBI terletak di Kecamatan Sekincau, Kabupaten Lampung Barat dengan ketinggian tempat 1100 m dpl.

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat-alat yang digunakan pada penelitian ini, yaitu data logger model GM1365, timbangan, penggaris, sprayer, alat tulis, drum air 200 L, gembor, selang air, polybag, cangkul, dan gelas ukur. Sedangkan bahan-bahan yang digunakan, yaitu benih tanaman sorgum 3 varietas (Varietas Mandau, Varietas Super 2, Varietas Numbu), Pestisida dengan bahan aktif *Alfa Sipermetrin* dan *Fipronil*, bahan organik (pupuk kandang kotoran ayam), dan pupuk NPK mutiara 16:16:16.

3.3 Metode Penelitian

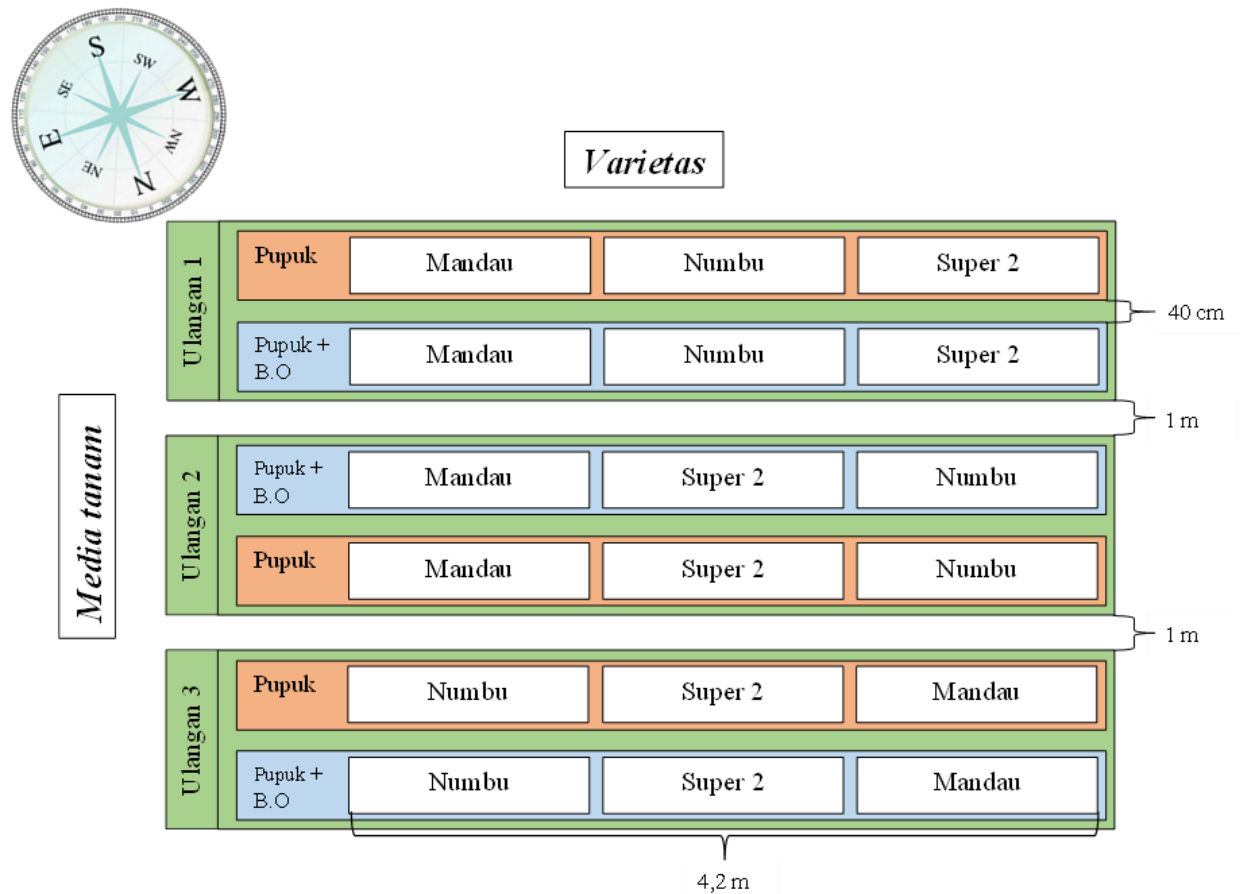
3.3.1 Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan rancangan *Strip-Plot* dalam Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan dua perlakuan (varietas sorgum dan bahan organik) yang diulang sebanyak 3 kali pengulangan sehingga memiliki $((2 \times 3) \times 4) \times 3 =$

72 satuan percobaan. Varietas sorgum yang digunakan pada penelitian ini sebanyak 3 varietas, yaitu Varietas Mandau, Varietas Super 2, dan Varietas Numbu. Analisis data yang digunakan adalah uji *Bartlett* yang dilanjutkan dengan uji lanjut BNT (Beda Nyata Terkecil) menggunakan taraf 5%.

3.3.2 Tata Letak Percobaan

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



Gambar 16. Tata letak percobaan.

3.3.3 Pelaksanaan Penelitian

3.3.3.1 Pengambilan Sampel Tanah

Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan mengambil sampel tanah secara komposit pada tanggal 19 Januari 2025. Hal ini dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan kimia tanah seperti kadar nutrisi, pH, dan kelembaban.

Tabel 6. Hasil analisis sifat fisika dan sifat kimia tanah perlakuan pupuk (NPK)

No.	Parameter	Hasil
1.	pH	5,8
2.	Bahan Organik	4,18 %
3.	Tekstur	
	- Pasir	45,9 %
	- Debu	32,0 %
	- Liat	22,1 %

Sumber: Laboratorium Analisis Polinela, 2025.

Tabel 7. Hasil analisis sifat fisika dan sifat kimia tanah perlakuan pupuk (NPK) + Bahan Organik

No.	Parameter	Hasil
1.	pH	6,3
2.	Bahan Organik	3,69 %
3.	Tekstur	
	- Pasir	45,9 %
	- Debu	32,0 %
	- Liat	22,1 %

Sumber: Laboratorium Analisis Polinela, 2025.

3.3.3.2 Persiapan Media Tanam

Media tanam yang digunakan berupa tanah yang diambil menggunakan cangkul di sekitar lahan pertanian UPB BBI Sekincau. Sebagian tanah yang sudah diambil kemudian dicampurkan dengan bahan organik (kotoran ayam) serta perbandingan bobot antara bahan organik dan tanah yaitu 1:4 untuk digunakan sebagai media perlakuan penambahan bahan organik. Sedangkan untuk media perlakuan pupuk hanya menggunakan tanah saja tanpa adanya campuran bahan organik. Media tanam disiapkan 10 hari sebelum penanaman dan dilakukan penjemuran agar memastikan tidak ada hama dan gulma dalam tanah. Setiap polybag serempak diisi media tanam dengan perlakuan masing-masing hingga mencapai bobot 18 kg/polybag.

3.3.3.3 Persiapan Benih

Benih yang digunakan merupakan benih sorgum yang diperoleh dari Badan Standardisasi Instrumen Pertanian (BSIP) Kementrian Pertanian. Dilakukan perendaman benih sorgum pada tanggal 18 Januari 2025 selama sehari semalam. Perendaman benih dilakukan untuk memecahkan masa dormansi benih, melunakkan kulit benih yang keras, dan mempercepat proses imbibisi (penyerapan air) sehingga benih dapat lebih cepat untuk berkecambah.

3.3.3.4 Penanaman

Penanaman dilakukan secara serempak di dalam polybag berukuran 50x50 cm yang berisi 18 kg media tanam dengan jumlah bibit yang ditanam sebanyak 3 benih untuk setiap polybag. Penanaman dilakukan pada pagi hari tanggal 19 Januari 2025 di rumah kaca UPB BBI Sekincau. Jarak antar polybag yang digunakan yaitu 30x30 cm.

3.3.3.5 Dosis Pemupukan

Dosis pupuk yang digunakan dalam penelitian ini adalah 810 g pupuk NPK Mutiara (16:16:16)/200 L air. Waktu pengaplikasian dilakukan sebanyak 3 kali yaitu saat memasuki fase daun ke-3/4 (10-15 HST), fase P1 (30-35 HST), dan fase pembungaan (60-65 HST). Pemupukan dilakukan dengan cara dikocor dan diaplikasikan pada saat sore hari.

Pemupukan pada masing-masing petak percobaan dilakukan dengan perhitungan persamaan dibawah ini.

a. Dosis Pupuk per kg Tanah

- Berdasarkan hasil penelitian Klau *et al.* (2023) dan Sari *et al.* (2024), bahwa dosis pupuk NPK optimal bagi tanaman sorgum yaitu berkisar antara 400-600 kg/ha atau 40-60 g/m².
- Diasumsikan berat tanah lapisan olah tanah 1 ha = 2.000.000 kg (dari volume tanah 10.000 m² x 0,2 m x 1,0 t/m³).

$$\text{Dosis per kg tanah (g/kg)} = \frac{400 \text{ kg}}{2.000.000 \text{ kg tanah}} = 0,0002 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} = 0,2 \text{ g/kg}$$

b. Dosis Pupuk per Polybag

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

c. Perhitungan Dosis Pupuk Semua Polybag

- Dosis sekali aplikasi:

$$\text{Dosis aplikasi (g)} = 3,6 \text{ g} \times 75 \text{ polybag} = 270 \text{ gram}$$

Dengan dosis 270 g yang dilarutkan untuk 200 L air, maka jumlah larutan yang diperlukan untuk mencapai 3,6 g/polybag adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah larutan yang diberikan per polybag} &= \frac{270 \text{ Liter}}{75 \text{ polybag}} \\ &\approx 3,67 \text{ Liter/polybag} \end{aligned}$$

Sehingga aplikasi pemupukan untuk setiap tanaman sorgum dalam polybag berukuran 50x50 cm memerlukan sekitar 3,67 L larutan pupuk NPK mutiara 16:16:16 untuk mencapai dosis yang optimal.

3.3.3.6 Pemeliharaan

Pemeliharaan tanaman yang dilakukan untuk tanaman sorgum pada penelitian ini adalah penyiraman, penyiangan gulma, serta penanganan hama dan penyakit. Penyiraman dilakukan sebanyak 2 kali sehari yaitu saat pagi hari dan sore hari. Penyiangan gulma akan dilakukan secara mekanis setelah tanaman berumur 1 MST dan selanjutnya akan dilakukan tergantung banyaknya populasi gulma per polybag. Hama yang menyerang tanaman sorgum umumnya adalah lalat bibit (*Atherigona exiqua* stein), ulat tanah (*Agrotis* sp.), kutu daun, kepik malai yang dapat diatasi dengan menggunakan insektisida berbahan aktif *Alfa Sipermetrin* dan *Fipronil*. Sedangkan untuk penyakit yang menyerang tanaman sorgum umumnya adalah hawar daun dan bercak daun yang dapat diatasi dengan fungisida berbahan aktif *Propineb*.

3.3.3.7 Pemanenan

Tanaman sorgum dapat dipanen ketika buah sudah berwarna kuning kecoklatan dan terdapat retakan, sebagian besar daun menguning, batang berwarna coklat. Proses pemanenan dilakukan pada tanggal 18 Mei 2025 dengan memisahkan tanaman dengan media tanam, kemudian dibersihkan bagian akar dari tanah yang menempel. Setelah itu, bagian akar segar tanaman akan didokumentasikan untuk melihat bagaimana persebaran akar tanaman. Kemudian dilakukan pemotongan batang tanaman dengan memisahkan bagian akar dan malai dengan menggunakan pisau atau gunting.

3.3.3.8 Pengeringan dan Pemipilan

Tanaman sorgum akan dijemur dibawah sinar matahari langsung selama 3-5 hari dengan dilakukan pembalikan berulang kali dan biji sorgum akan dijemur secara terpisah hingga mendapatkan kadar air 10%. Setelah kering, benih akan dipipil dan dibersihkan dari segala kotoran benih dengan menggunakan alat “*Seed blower*”. Benih yang sudah bersih akan dikemas kedalam plastik *ziplock* dan diberi label yang meliputi, tanggal panen, nama varietas, dan ulangan. Untuk menetapkan kadar air 10%, dapat digunakan cara konversi kadar air dengan rumus sebagai berikut:

$$KA_{10\%} = \frac{(100 - KA \text{ awal}) \times 10}{100 - 10}$$

Keterangan:

KA_{10%} : Kadar air 10%

KA awal : Kadar air awal

3.3.4 Variabel Pengamatan

3.3.4.1 Unsur Cuaca

Unsur cuaca yang diamati pada penelitian ini yaitu suhu dan kelembaban udara harian yang diukur setiap selang 1 jam dengan menggunakan alat pengukur suhu dan kelembaban yang disertai dengan Flash USB temperature & humidity data logger model GM1365.

3.3.4.2 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 setiap hari sebagai data deskriptif. Selain itu, terdapat juga variabel pengamatan budidaya yang diamati yaitu sebagai berikut:

3.3.4.2.1 Tinggi Tanaman

Tinggi tanaman diukur pada setiap minggu setelah tanam (MST) yang diukur dari pangkal batang hingga bagian tanaman tertinggi. Cara mengetahui bagian tanaman tertinggi adalah dengan cara menjepit atau mengapit bagian tanaman (daun tertinggi), lalu ditarik ke atas dan dilihat bagian tanaman mana yang paling tinggi (daun/malai).

3.3.4.2.2 Jumlah Daun

Jumlah daun dihitung pada setiap minggu setelah tanam (MST) dengan cara menghitung daun yang sudah terbuka sempurna dan tidak menggulung.

3.3.4.2.3 Bobot Basah Brangkasan

Bobot basah brangkasan diambil dari bobot batang dan bobot daun secara keseluruhan (tanpa akar dan malai). Bobot basah brangkasan di timbang langsung menggunakan timbangan analitik dengan kondisi tanaman baru selesai dipanen (dalam kondisi segar) dan sudah dipisahkan dari bagian akar dan malai.

3.3.4.2.4 Bobot Kering Brangkasan

Bobot kering brangkasan ditimbang setelah bagian batang dan daun dalam kondisi kering (dijemur selama 11 hari) dan sudah dioven pada suhu 80 °C selama 3 hari (72 jam). Sebelum ditimbang, brangkasan kering yang sudah dioven akan dimasukkan ke dalam desikator benih untuk mendinginkan benih dan wadah setelah proses pengeringan (oven) agar suhu dan kelembaban benih tetap kering dan terjaga kualitasnya setelah proses pengeringan.

3.3.4.2.5 Panjang dan Bobot Malai Segar

Panjang malai diukur dari pangkal malai hingga ujung malai, sedangkan bobot malai ditimbang menggunakan timbangan analitik. Panjang malai dan bobot malai diukur setelah tanaman baru selesai dipanen (dalam kondisi segar).

3.3.4.2.6 Bobot Biji permalai

Bobot biji permalai diperoleh dari rata-rata bobot biji tanaman sampel pada setiap varietas sorgum (kondisi biji sudah kering, sudah dipipil dari malai, serta sudah bersih dari kotoran). Biji pada setiap malai digabung dan dilakukan penimbangan menggunakan timbangan analitik. Bobot yang didapatkan tersebut dibagi dengan jumlah malai dari setiap tanaman sampel.

3.3.4.2.7 Bobot 1000 Butir

Bobot 1000 butir biji sorgum diperoleh dari bobot biji setiap sampel pada varietas sorgum (kondisi biji sudah kering, sudah dipipil dari malai, serta sudah bersih dari kotoran) yang dihitung menggunakan aplikasi *countcam* sampai mencapai 1000 biji yang kemudian ditimbang 1000 biji tersebut menggunakan timbangan analitik dan diberi label berdasarkan tanggal panen, varietas, dan bobot 1000 butir.

3.3.4.2.8 Kadar Air Benih

Pengukuran kadar air dilakukan setelah benih sorgum dijemur (di bawah sinar matahari langsung) dengan mengambil sampel pada setiap varietas benih tersebut. Pengukuran kadar air benih dilakukan pada tanggal 2 Juni 2025 dengan menggunakan oven, benih dioven pada suhu 105 °C selama 1 hari (24 jam). Sebelum ditimbang, benih yang sudah dioven akan dimasukkan ke dalam desikator benih untuk mendinginkan benih dan wadah setelah proses pengeringan (oven) sama seperti pada brangkasan kering.

3.3.4.3 Pengamatan Fenologi

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 biji.

3.3.5 Pengolahan Data

3.3.5.1 Perhitungan *Growing Degree Days*

Perkembangan fenologi tanaman sangat bergantung pada suhu 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.

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

Keterangan:

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

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

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

3.3.5.2 Analisis Data

Perlakuan dalam penelitian ini disusun secara faktorial 2x3 dalam Rancangan Acak Kelompok (RAK) *Strip-Plot*, kemudian data dikalkulasi menggunakan program microsoft exel, dan dilakukan analisis data menggunakan perangkat lunak R Studio dan dilakukan sidik ragam dengan homogenitas ragam (uji *Bartlett*) dan sifat aditif (uji *Tukey*). Namun jika terdapat perbedaan atau variasi pada nilai f maka dilakukan 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

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Terdapat perbedaan tahapan fenologi, laju pertumbuhan dan hasil produksi pada 3 varietas sorgum yang berbeda yang ditanam di dataran tinggi. Varietas Numbu menunjukkan tahapan fenologis dan laju pertumbuhan yang cepat selama fase vegetatif, namun saat memasuki fase generatif varietas Numbu memerlukan waktu yang lebih lama dibandingkan dua varietas lainnya. Varietas Super-2 menunjukkan hasil produksi terbaik dibandingkan dengan dua varietas lainnya pada tinggi tanaman, jumlah daun, bobot basah brangkasan, bobot kering brangkasan, panjang malai, bobot malai, dan bobot biji permalai.
2. Tanaman sorgum yang ditanam di dataran tinggi memerlukan waktu dan energi yang berbeda-beda untuk menyelesaikan fase pertumbuhannya, seperti varietas Mandau memerlukan rata-rata 113 hari dengan GDD sebesar 1609,65 DD, varietas Super-2 memerlukan rata-rata 114 hari dengan GDD sebesar 1624,40 DD, dan varietas Numbu memerlukan rata-rata 117 hari dengan GDD sebesar 1666,78 DD.
3. Penambahan bahan organik secara serempak meningkatkan nilai GDD dari ketiga varietas sorgum yang ditanam, artinya proses fenologi membutuhkan akumulasi panas dan waktu yang lebih panjang pada media dengan penambahan bahan organik. Namun pada varietas Mandau saat fase matang fisiologis penambahan bahan organik justru menurunkan nilai GDD. Sedangkan dalam hal laju pertumbuhan dan hasil produksi, penambahan

bahan organik pada media tanam tidak berpengaruh nyata pada 3 varietas sorgum yang ditanam di dataran tinggi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil yang didapat dari penelitian ini, maka penulis dapat memberikan saran sebagai berikut:

1. Penggunaan varietas Super-2 menjadi pilihan yang terbaik jika akan membudidayakan sorgum di dataran tinggi, karena varietas Super-2 tidak membutuhkan banyak waktu dan nilai GDD sebanyak varietas Numbu, meskipun tidak secepat varietas Mandau. Namun dalam hal laju pertumbuhan dan produksi, varietas Super-2 jauh lebih unggul dibandingkan dengan varietas Mandau dan Numbu.
2. Perlu diadakannya penelitian lanjutan di dataran rendah untuk mengetahui tahap fenologi, laju pertumbuhan dan hasil produksi yang berbeda sebagai data pembanding.
3. Perlu diadakannya penelitian lanjutan terkait dosis pupuk NPK dan bahan organik yang diberikan pada media tanam untuk melihat apakah tahap fenologi, laju pertumbuhan dan hasil produksi akan lebih unggul dibandingkan dengan media pupuk NPK saja.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, M., Akram, M. N., Asim, M., Aslam, M., Hassan, F.U. and Higgins, S. 2016. Calibration and validation of APSIM-Wheat and CERES-Wheat for spring wheat under rainfed conditions: models evaluation and application. *Comput. Electron. Agric.*, 123: 384–401.
- Andriani, A., dan Isnaini, M. 2013. *Morfologi dan Fase Pertumbuhan Sorgum*. IAARD Press. Jakarta.
- Ammayappan, 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.
- Artschwager, E. 1948. Anatomy and morphology of the vegetative organs of *Sorghum vulgare*. United States Department of Agriculture. *Thechnical Bulletin*, 975: 55.
- Aryani, N., Manik, T.K., Timotiwi, P.B., dan Agustiansyah. 2023. Laju pertumbuhan, fase fenologis dan produksi tanaman stroberi (*Fraga spp.*) di dataran rendah dengan perlakuan pupuk NPK: kajian tentang adaptasi tanaman terhadap perubahan iklim. *Jurnal Agrotek Tropika*, 11(3): 429-435.
- Bakeer, B., Taha, I., El-Mously, H., and Shehata, S.A. 2013. On The Characterisation of Structure and Properties of Sorghum Stalks. *Ain Shams Engineering Journal*, 4: 265-271
- Bejiga, T., Teressa, T., and Nadew, D. 2021. Molecular breeding approaches for drought and drought related traits in sorghum: a review article. *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences (IJRSAS)*, 7(7): 23-34.
- Bewley, J.D. and Black, M. 2013. *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy*. Springer.
- Borrell, A.K., Mullet, J., Jaeggli, B., Erik J., Hammer, G., Klein, P., and Jordan, D. 2014. Drought adaptation of stay-green sorghum is associated with canopy development, leaf anatomy, root growth, and water uptake. *Journal of Experimental Botany*, 1(1): 1-13.

- Bullard, R.W. and York, J.O. 1985. Breeding for bird resistance in sorghum and maize. *In Russell, G.E (Eds.). Plant breeding progress reviews. Butterworth, Surrey, (1): 193-222.*
- Chadalavada, K., Kumari, B.D.R., and Kumar, S. 2021. Sorghum mitigates climate variability and change on crop yield and quality.
- Copeland, L.O. and McDonald, M.B. 2012. *Principles of Seed Science and Technology*. Springer.
- Craufurd, P.Q. dan T. R. Wheeler. 2009. Climate change and the flowering time of annual crops. *J. Exp. Bot.*, 60: 2529-2539.
- Dicko, M.H., H. Gruppen, A.S. Traoré, W.J.H van Berkel, and A.G.J Voragen. 2006. Sorghum grain as human food in Africa: relevance of content of starch and amylase activities. *African Journal of Biotechnology*, 5(5): 384-395.
- Dinas Pertanian dan Pangan Kabupaten Demak. 2022. *Pengembangan Sorghum di Indonesia*. <https://dinpertanpangan.demakkab.go.id/?p=5365> [Diakses pada 16 Januari 2025, pukul 01.49 WIB].
- du Plessis, J. 2008. *Sorghum production*. Republic of South Africa Department of Agriculture.
- El-Batal, M. A., Abdo, F. A., and Abdel-Gawad, M. H. 2009. Phenological stages and growing degree days for different soybean cultivars. *Journal of Plant Production*, 34(4), 3639–3650.
- FAOSTAT. 2019. *FAO Statistics Data Base (FAOSTAT) for 2018*. <https://www.fao.org/faostat/en/> [Diakses pada 09 Januari 2025, pukul 14.16 WIB].
- Figueiredo, N., C. Carranca, H. Trindade, J. Pereira, P. Goufo and J.Coutinho. 2015. Elevated carbon dioxide and temperature effects on rice yield, leaf greenness, and phenological stages duration. *Padd.Wat. Environ.*, 13: 313-324.
- Febiani, E.C., Felisia, L., Wiguno, A., dan Kuswandi. 2024. Desain pabrik bioethanol dari batang sorgum dengan kapasitas 15.000 kL/Tahun. *Jurnal Teknik ITS*, 13(2): 2301-9271.
- Gerik, T., Bean, B. and Vanderlip, R.L. 2003. *Sorghum growth and development*. Texas Cooperative Extension Service.
- Gibson, L. R., and Paulsen, G. M. 1999. Yield components of wheat grown under high temperature stress during reproductive growth. *Crop Science*, 39: 1841-1846.

- Gunarsih, C., Nafisah, dan Sitaresmi, T. 2017. Pembentukan varietas padi sawah dataran tinggi toleran cekaman suhu rendah. *Iptek Tanaman Pangan*, 11(2): 107-118.
- Hossain, Md.S., Islam, Md.N., Rahman, Md.M., Mostofa, M.G., and Khan, Md.A.R. 2022. Sorghum: a prospective crop for climatic vulnerability, food and nutritional security. *Journal of Agriculture and Food Research*, 8: 1-9.
- House, L.R. 1985. *A guide to sorghum breeding*. 2ndEd. International Crops Research Institute for Semi-Arid Tropics (ICRISAT). India.
- Huang, R. 2018. Research progress on plant tolerance to soil salinity and alkalinity in sorghum. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(4): 739-746.
- IPCC. 2007. *The synthesis report of the Intergovernmental Panel on climate change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Johanna, S., Damianus, A., and Robinson, P.M. 2024. Factors driving productivity and profitability of sorghum development in east manggarai regency, Indonesia. *RKOAS: Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*, 2(146): 115-122.
- Khalifa, M., and Eltahir, E.A. 2023. Assessment of global sorghum production, tolerance, and climate risk. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7: 1-20.
- Klau, M.F., Tulung, S.M.T., dan Lengkong, E.F. 2023. Pengaruh pemberian pupuk NPK pada pertumbuhan dan produksi tanaman sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Jurnal Agroekoteknologi Terapan*, 4(1): 199-207.
- Li, R., Han, Y., Lv, P., Du, R., and Liu, G. 2014. Molecular mapping of the brace root traits in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Breeding Science*, 64: 193-198.
- Limanseto, H. 2022. *Dimulainya Pilot Project Pengembangan Sorgum Menandai Upaya Substitusi dan Diversifikasi dalam Penguatan Ketahanan Pangan*. Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian Republik Indonesia. <https://www.ekon.go.id/publikasi/detail/4419/dimulainya-pilot-project-pengembangan-sorgum-menandai-upaya-substitusi-dan-diversifikasi-dalam-penguatan-ketahanan-pangan> [Diakses pada 16 Januari 2025, pukul 01.39 WIB].
- Madan, P., S. Jagadish, P. Craufurd, M. Fitzgerald, T. Lafarge and T. Wheeler. 2012. Effect of elevated CO₂ and high temperature on seed-set and grain quality of rice. *J. Exp. Bot.*, 63: 3843-3852.
- Matsoukis, A. 2024. Phenology: a valuable tool in crop farming. *Current Agriculture Research Journal*, 12(2): 496-497.

- Miller, P., Lanier, W., Brandt, S., MSU Assistant professor, IPM Assistant, and Ag Canada Agronomist. 2018. *Using Growing Degree Days to Predict Plant Stage*. Montana State University.
- Murtini, E.S. dan Sabilla, N.F. 2021. *Sorgum dan Pemanfaatannya dalam Industri Pangan*. FTP-UB Press. Malang.
- Odoi, J.B., D. Mugeni, R. Kiiza, B. Apolot, and S. Gwali. 2019. Effect of soaking treatment on germination of hard coated tropical forest tree seed. *Uganda Journal of Agriculture Science*, 19(2): 1-9.
- Pedersen, J.F., H.F. Kaeppler, D.J. Andrews, and R.D. Lee. 1998. *Sorghum In Banga S.S and S.K Banga (Eds.) Hybrid cultivar development*. Springer-Verlag. India.
- Prajapati, H.A., Yadav, K., Hanamasagar, Y., Kumar, M.B., Khan, T., Belagalla, N., Thomas, V., Jabeen, A., Ghomadhi, G., and Malathi, G. 2024. Impact of climate change on global agriculture: challenges and adaption. *International Journal of Environment and Climate Change*, 14(4): 372-379.
- Rao, S.S., N. Seetharama, K. Kumar K., and R.L. Vanderlip. 2004. *Characterization of sorghum growth stages*. National Research Center for Sorghum. Rajendragar Hyderabad India (Describes Growth Stages and Management Guide at each Stages of Sorghum Development).
- Rao, S.S., Elangovan, M., Umakanth, AV., and Seetharama. 2007. Characterizing phenology of sorghum hybrids in relation to production management for high yields. *J. Research and Development*. NRCS-ICRISAT Learning Program on Sorghum Hybrids Parents and Hybrids. Hyderabad.
- Rayhan, A., Kinzler, R., and Rayhan, R. 2023. *Climate change and global warming: Studying impact, causes, mitigation, and adaption*. ResearchGate. Bangladesh.
- Rizwan, T.A., Prasetyanto, M., dan Ariffin. 2023. Meningkatnya ketersediaan air akibat perubahan iklim dan pengaruhnya terhadap produktivitas sorgum (*Sorghum bicolor* L.). *Jurnal Produksi Tanaman*, 11(10): 731-738.
- Rozci, F. 2023. Dampak perubahan iklim terhadap sektor pertanian padi. *Jurnal Ilmiah Sosio Agribis (JISA)*, 23(2): 108-116.
- Sari, M. dan Nursayuti. 2024. Pemberian pupuk kandang sapi dan NPK terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman sorgum (*Sorghum bicolor* L.). *Jurnal Pro-Stek*, 6(2): 117-130.
- Siantar, P.L., Pramono, E., Hadi, M.S., dan Agustiansyah. 2019. Pertumbuhan, produksi, dan vigor benih pada budidaya tumpangsari sorgum-kedelai. *Jurnal Galung Tropika*, 8(2): 91-102.

- Singh, F., K.N. Rai, B.V.S Reddy, and B. Diwakar. 1997. *Development of cultivars and seed production techniques in sorghum and pearl millet*. ICRISAT Asia Center. International Crops Research Institute for the Semi - Arid Tropics. India.
- Sitompul, P., Sihombing, W., Tinambunan, A. P., dan Purba, S. 2024. Pengaruh kepemimpinan, pelatihan dan kompensasi terhadap kinerja karyawan pada PT Tunas Cahaya Mandiri Widyatama Medan. *KUKIMA: Kumpulan Karya Ilmiah Manajemen*, 131–143.
- Slameto. 2022. Daya hasil sorgum dengan sistem tanam zigzag pada lahan kering masam di wilayah Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung. *Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian Agribisnis VI*, 6(1): 332-338.
- Sorghumcheckoff. 2025. *Growth and Development*. United Sorghum Checkoff Program. Growth and Development - Sorghum Checkoff [Diakses pada 16 Maret 2025, pukul 11.07 WIB].
- Stephens, J.C. 1934. Anthesis, pollination, and fertilization in sorghum. *Journal of Agricultural Research*, 49(2): 123-136.
- Sugianto dan Jayanti, K.D. 2021. Pengaruh komposisi media tanam terhadap pertumbuhan dan hasil bawang merah. *Agrotechnology Research Journal*, 5(1): 38–43.
- Sulaminingsih, Eddy S., Alexander R., Syaiful, M., Nilasari, A., dan Muchdir AR. 2024. Dampak perubahan iklim terhadap peningkatan dan penurunan produktivitas tanaman pangan. *Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran*, 7(3): 10189–10195.
- Sumarno, Damardjati, D.S., Syam, M., dan Hermanto. 2013. *Sorghum: Inovasi Teknologi dan Pengembangan*. IAARD Press. Jakarta.
- Sutopo, L. 2002. *Teknologi Benih*. Rajawali Pers. Jakarta.
- Sutrisna, N., Sunandar, N., dan Zubair, A. 2013. Uji adaptasi beberapa varietas sorgum (*Sorghum bicolor*) pada lahan kering. *J. Lahan Suboptimal*, 2(2): 137-143.
- Tabri, F. dan Zubachtirodin. 2013. *Budi Daya Tanaman Sorgum*. IAARD Press. Jakarta.

- Tao, F., Z. Zhang, W. Shi, Y. Liu, D. Xiao and S. Zhang. 2013. Single rice growth period was prolonged by cultivars shifts, but yield was damaged by climate change during 1981–2009 in China, and late rice was just opposite. *Glob. Chang. Biol.*, 19: 3200-3209.
- Tarigan, I., Harsono, S., Subiantoro, N., dan Sitompul, P. 2024. Ambidexterity capabilities and human capital in Indonesian Tourism MSMEs Performance. *Jurnal Darma Agung*, 32(2): 737–752.
- USDA. U.S. Departemen of Agriculture. 2025. *Plant Profile: Sorghum bicolor (L.) Moench*. Natural Resources Conservation Service.
<https://plants.usda.gov/plant-profile/SOBI2> [Diakses pada 06 Februari 2025, pukul 19.50 WIB]
- Valencia, R.C., and Rooney, W.L. 2009. *Genetic Control of Sorghum Grain Color*. International Sorghum and Millet Collaborative Research Support Program (INTSORMIL CRSP)
- Vanderlip, R.L. and Reeves, H.E. 1972. Growth stages of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Agr. J.*, 64(1): 13-16.
- Vanderlip, R.L. 1993. *How a grain sorghum plant develops*. Kansas State University.
- Vengadaramana, A. and Jashothan, P.T. 2012. Effect of organic fertilizers on the water holding capacity of soil in different terrains of Jaffna peninsula in Sri Lanka. *Journal of Natural Product and Plant Resource*, 2(4): 500–503.
- Wardhani, A.P. 2024. *Potensi Pengembangan Sorghum sebagai Alternatif Pangan*. Balai Besar Pelatihan Pertanian (BBPP) Binuang.
<https://bbppbinuang.bppsdp.pertanian.go.id/artikel/potensi-pengembangan-sorghum-sebagai-alternatif-pangan> [Diakses pada 15 Januari 2025, pukul 23.33 WIB].
- White, J.W., G. Alagarswamy, M.J. Ottman, C.H. Porter, U. Singh, and G. Hoogenboom. 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 Conversation* 13.
- Zhang, X., S.Wang, H. Sun, S.Chen, L. Shao dan X. Liu .2013. Contribution of cultivar, fertilizer and weather to yield variation of winter wheat over three decades: a case study in the North China Plain. *Eur. J. Agron.*, 50: 52-59.