

**PENGARUH PENINGKATAN KONSENTRASI CO₂ DI ATAS KANOPI
TANAMAN PADA PERTUMBUHAN, PRODUKSI, DAN FENOLOGI
TANAMAN KEDELAI (*Glycine max* L.) DI DATARAN RENDAH: STUDI
DAMPAK PERUBAHAN IKLIM PADA TANAMAN**

(Skripsi)

Oleh

**NOVA ROSITA ARYANTI
NPM 2114161043**



**UNIVERSITAS LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

PENGARUH PENINGKATAN KONSENTRASI CO₂ DI ATAS KANOPI TANAMAN PADA PERTUMBUHAN, PRODUKSI DAN FENOLOGI TANAMAN KEDELAI (*Glycine max* L.) DI DATARAN RENDAH: STUDI DAMPAK PERUBAHAN IKLIM PADA TANAMAN

Oleh

NOVA ROSITA ARYANTI

Peningkatan konsentrasi karbon dioksida (CO₂) di atmosfer merupakan salah satu pemicu utama perubahan iklim global yang memengaruhi respons fisiologis dan agronomis tanaman, terutama kedelai (*Glycine max* L.) sebagai tanaman C3. Penelitian ini bertujuan mengkaji pengaruh penambahan konsentrasi CO₂ (+CO₂ dan Kontrol/-CO₂) dan tiga varietas kedelai (Dena-1, Deja-2, Grobogan) terhadap fenologi, pertumbuhan, dan hasil produksi di dataran rendah. Penelitian dilakukan dengan *Strip plot* dalam RAK. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan CO₂ pada penanaman di dataran rendah tidak memberikan efek pemupukan (*CO₂ fertilization effect*), melainkan memberikan dampak negatif akibat adanya interaksi dengan suhu ekstrem (mencapai 41,1 °C). Perlakuan +CO₂ signifikan menurunkan variabel pertumbuhan (jumlah daun) dan produksi (bobot basah brangkasan, bobot basah akar, bobot 100 butir, dan bobot produksi tanaman), serta meningkatkan akumulasi unit panas atau *Growing Degree Days* (GDD) dan memperlambat pencapaian fase fenologi (R1-R8) dibandingkan -CO₂. Terdapat interaksi signifikan antara CO₂ dan varietas. Varietas Deja-2 menunjukkan respon paling adaptif/toleran (penurunan hasil minimal) dibandingkan dua varietas lainnya dibawah kondisi peningkatan konsentrasi CO₂. Disarankan pemilihan varietas toleran dan perbaikan metode aplikasi CO₂ yang seragam sebagai strategi adaptasi iklim.

Kata Kunci: Penambahan CO₂, fenologi, kedelai (*Glycine max* L.) , perubahan iklim, suhu ekstrem, varietas

ABSTRACT

THE EFFECT OF ELEVATED CO₂ CONCENTRATION ABOVE THE CANOPY ON THE GROWTH, PRODUCTION, AND PHENOLOGY OF SOYBEAN (*Glycine max* L.) IN LOWLAND: A STUDY OF THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON PLANTS

By

NOVA ROSITA ARYANTI

The increase in atmospheric carbon dioxide (CO₂) concentration is a primary driver of global climate change, affecting the physiological and agronomic responses of plants, particularly soybean (*Glycine max* L.) as a C3 plant. This study aims to examine the effect of elevated CO₂ concentration (+CO₂ and Control/-CO₂) and three soybean varieties (Dena-1, Deja-2, Grobogan) on the phenology, growth, and yield in the lowlands. The research was conducted using a Strip-Plot design within a Randomized Block Design (RBD). The results indicated that elevated CO₂ in lowland planting did not produce a CO₂ fertilization effect; instead, it had a negative impact due to the interaction with extreme temperatures (reaching 41.1 °C). The +CO₂ treatment significantly decreased growth variables (number of leaves) and yield components (fresh stover weight, fresh root weight, 1,00-grain weight, and total grain yield per plant). Furthermore, it increased heat unit accumulation (Growing Degree Days/GDD) and delayed the attainment of phenological phases (R1–R8) compared to the control (-CO₂). A significant interaction was observed between CO₂ and varieties. The Deja-2 variety showed the most adaptive and tolerant response, exhibiting minimal yield reduction compared to the other two varieties under elevated CO₂ conditions. This study suggests the selection of tolerant varieties and the improvement of uniform CO₂ application methods as crucial climate adaptation strategies.

Keywords: Elevated CO₂, phenology, soybean (*Glycine max* L.), climate change, extreme temperature, varieties

**PENGARUH PENINGKATAN KONSENTRASI CO₂ DI ATAS KANOPI
TANAMAN PADA PERTUMBUHAN, PRODUKSI, DAN FENOLOGI
TANAMAN KEDELAI (*Glycine max* L.) DI DATARAN RENDAH: STUDI
DAMPAK PERUBAHAN IKLIM PADA TANAMAN**

Oleh

NOVA ROSITA ARYANTI

Skripsi

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

Pada

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



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

Judul Skripsi

: PENGARUH PENINGKATAN
KONSENTRASI CO₂ DI ATAS KANOPI
TANAMAN PADA PERTUMBUHAN,
PRODUKSI DAN FENOLOGI
TANAMAN KEDELAI (*Glycine max* L.)
DI DATARAN RENDAH: STUDI
DAMPAK PERUBAHAN IKLIM PADA
TANAMAN

Nama Mahasiswa

: Nova Rosita Aryanti

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2114161043

Jurusan

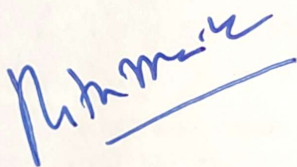
: Agronomi dan Hortikultura

Fakultas

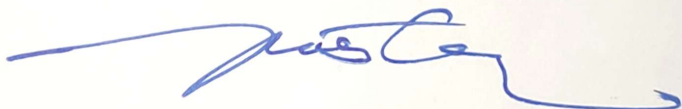
: Pertanian

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



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



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

2. Ketua Jurusan Agronomi dan Hortikultura

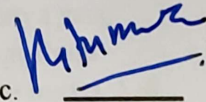


Prof. Ir. Maria Viva Rini, M.Agr.Sc., Ph.D.
NIP 196603041990122001

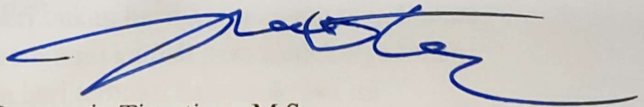
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

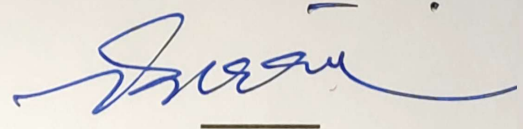
Ketua : Prof. Dr. Ir. Tumiar Katarina B. Manik, M.Sc.



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



Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Ir. Eko Pramono M.S.



2. Dekan Fakultas Pertanian

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



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 26 Januari 2026

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **“Pengaruh Peningkatan Konsentrasi CO₂ di Atas Kanopi Pada Pertumbuhan, Produksi, dan Fenologi Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.) di Dataran Rendah: Studi Dampak Perubahan Iklim pada Tanaman”** merupakan hasil karya yang saya tulis sendiri bukan hasil karya orang lain. Semua hasil yang tertung dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan hasil Salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 2 Maret 2026

Penulis,



Nova Rosita Aryanti
2114161043

RIWAYAT HIDUP

Penulis Bernama lengkap Nova Rosita Aryanti yang lahir pada tanggal 07 November 2003 di Kota Krui, Provinsi Lampung. Penulis merupakan anak terakhir dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Sumardi dan Ibu Zaurah. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SDN 111 Krui pada tahun 2015, Sekolah Menengah Pertama di SMPN 02 Krui pada tahun 2018, dan Sekolah Menengah Atas di SMAN 01 Krui pada tahun 2021. Pada tahun 2021 penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri).

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun non akademik. Penulis memiliki pengalaman menjadi Asisten Dosen pada mata kuliah Iklim Mikro Pada Tanaman semester ganjil 2024/2025. Penulis juga aktif dalam organisasi HIMAGRHO sebagai anggota Bidang Kaderisasi Kepengurusan 2023 dan sebagai Mentor Bidang Pengembangan Sumber Daya Manusia (PSDM) kepengurusan 2024.

Penulis memiliki kegiatan di luar kampus seperti melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Suka Bhakti 2, Kecamatan Gedung Aji Baru, Kabupaten Tulang Bawang pada bulan Januari hingga Februari tahun 2024. Kemudian, penulis juga melaksanakan Praktik Umum (PU) di PT. Perkebunan Nusantara 1 Regional 2 yang terletak di Desa Ciater, Kecamatan Subang, Kabupaten Bandung Barat pada bulan Juli hingga Agustus 2024.

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Tiada kata yang lebih indah selain mengucapkan Puji dan Syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat Nya yang telah diberikan selama ini.

Dengan penuh rasa syukur, Penulis mempersembahkan skripsi ini untuk:

Kedua Orangtua Penulis

Bapak Sumardi dan Ibu Zaurah yang selalu melangitkan doa-doa baik dan selalu mendukung penulis serta menjadikan motivasi untuk penulis menyelesaikan skripsi ini.

Kedua Kakak Penulis

Wo Eka Oktia Anggraeni dan Abang Zulvi Saputra

Keluarga besar penulis yang selalu memberikan dukungan dan motivasi.

Ibu dan Bapak Dosen Jurusan Agronomi yang telah memberikan ilmu dan mengarahkan penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.

Sahabat seperjuangan penulis yang memberikan semangat kepada penulis yang selalu menemani dalam suka maupun duka.

Almamater yang penulis banggakan
Jurusan Agronomi dan Hortikultura
Fakultas Pertanian
Universitas Lampung.

MOTTO

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

(Q.S. Al-Insyirah: 5-6)

“Bangun, sebab hari terlalu berharga untuk kita lalui dengan bersungut-sungut”

(Banda Neira)

“Untukmu, cintai diri sendiri hari ini”

(Hindia)

SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang selalu memberikan kelimpahan Rahmat, nikmat, dan karunianya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan masa studi dan penulisan skripsi ini yang berjudul “Pengaruh Peningkatan Konsentrasi CO₂ di Atas Kanopi Tanaman pada Pertumbuhan, Produksi, dan Fenologi Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.) di Dataran Rendah: Studi Dampak Perubahan Iklim pada Tanaman” dengan lancar. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pertanian di Fakultas Pertanian Universitas Lampung.

Penyelesaian skripsi ini dapat diselesaikan berkat bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak yang telah memberikan kontribusi selama proses penyusunan. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya 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 I atas kesabaran dan kesediaannya meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, ilmu, ide, saran, nasihat, serta motivasi dengan penuh kesabaran sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Paul Benyamin Timotiwu, M.S. selaku Dosen Pembimbing II sekaligus Dosen Pembimbing Akademik atas bimbingan, arahan, masukan, saran serta motivasi yang telah diberikan sejak awal masa studi hingga penyusunan skripsi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Ir. Eko Pramono, M.S. selaku Dosen Penguji atas segala saran, kritik, dan arahan yang membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

5. Ibu Prof. Ir. Maria Viva Rini, M.Agr.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
6. Cinta pertama dan sumber kehidupan penulis, Bapak Sumardi dan Ibu Zaurah atas segala bentuk pengorbanan, kasih sayang, serta doa dan dukungan yang tiada henti selalu diberikan kepada penulis. Terima kasih sudah banyak berjuang, membesarkan, mendidik, dan menjadi alasan penulis untuk tetap semangat dan berjuang untuk meraih gelar sarjana ini. Panjang umur dan sehat selalu karena ayah dan ibu harus selalu ada disetiap perjuangan penulis.
7. Kepada keluarga besar penulis, terima kasih atas motivasi dan semangat yang senantiasa diberikan. Keluarga adalah sumber inspirasi dan kekuatan yang mendampingi setiap langkah penulis hingga kini. Semoga karya sederhana ini dapat menjadi kebanggaan dan buah hasil kerja keras kita bersama.
8. Sahabat penulis selama perkuliahan, Fatima Salshabilla sekaligus teman penelitian dan pembimbing akademik yang sama, Dwi Cahyani, Ashabilla Wardatunnisa, Wafiqah Ambari dan Dyas Kinanti yang telah membersamai dan membantu penulis selama menempuh pendidikan di Jurusan Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
9. Seluruh pihak terkait yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah terlibat dalam menyelesaikan skripsi ini.

Semoga Allah SWT yang membalas kebbaikannya dan selalu diberikan kelimpahan rahmat, nikmat dan lindungan-Nya atas seluruh bantuan dan dukungan kepada penulis. Penulis juga menyadari bahwa skripsi masih jauh dari kesempurnaan. Namun, besar harapan penulis bahwa skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca secara umum, serta bagi penulis secara khusus. *Aamiin Ya Robbal Alamin.*

Bandar Lampung, 2 Maret 2026
Penulis,

Nova Rosita Aryanti

DAFTAR ISI

	Halaman
PERSEMBAHAN	i
SANWACANA	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
LAMPIRAN	xi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Landasan Teori	4
1.5 Kerangka Pemikiran	8
1.6 Hipotesis	10
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	11
2.1 Klasifikasi dan Morfologi Tanaman Kedelai (Glycine max L.)	11
2.1.1 Klasifikasi Tanaman Kedelai (Glycine max L.)	11
2.1.2 Morfologi Tanaman Kedelai (Glycine max L.)	12
2.1.2.1 Akar Tanaman Kedelai (Glycine max L.).....	12
2.1.2.2 Batang Tanaman Kedelai (Glycine max L.)	12
2.1.2.3 Daun Tanaman Kedelai (Glycine max L.).....	13
2.1.2.4 Bunga Tanaman Kedelai (Glycine max L.).....	13
2.1.2.5 Polong dan Biji Tanaman Kedelai (Glycine max L.).....	14
2.2 Fase Pertumbuhan Tanaman Kedelai (Glycine max L.).....	14
2.2.1 Stadium Pertumbuhan Vegetatif (V)	15
2.2.2 Stadium Pertumbuhan Reproduksi (R)	15

2.3 Perubahan Iklim dan Pemanasan Global.....	16
2.4 Perubahan Iklim dan Dampaknya Terhadap Tanaman	17
2.5 Peningkatan Karbon dioksida (CO ₂) Meningkatkan Fotosintesis Tanaman	18
2.6 Fenologi tanaman.....	19
III. BAHAN DAN METODE.....	20
3.1 Waktu dan Tempat.....	20
3.2 Alat dan Bahan	20
3.3 Metode Penelitian	20
3.4 Pembuatan petak perlakuan.....	21
3.5 Pelaksanaan Penelitian	21
3.5.1 Persiapan Media Tanam	21
3.5.2 Persiapan Benih	22
3.5.3 Pembuatan karbon dioksida (CO ₂)	22
3.5.4 Pengaplikasian karbon dioksida (CO ₂)	24
3.5.5 Penanaman	24
3.5.6 Pemeliharaan tanaman	25
3.5.7 Dosis Pemupukan	25
3.5.8 Pemanenan	26
3.6 Variabel Pengamatan	26
3.6.1 Fenologi Tanaman	26
3.6.2 Tinggi Tanaman (cm)	26
3.6.3 Jumlah Daun (helai)	27
3.6.4 Bobot Kering Brangkasan (gram)	27
3.6.5 Bobot Basah Brangkasan (gram).....	27
3.6.6 Jumlah 1000 Butir Benih (gram).....	28
3.6.7 Bobot Produksi Tanaman (gram).....	28
3.6.8 Kadar Air Benih (%)	28
3.7 Pengolahan data	28
3.7.1 Perhitungan Growing Degree Days (GDD) Tanaman.....	28

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	30
4.1 Hasil	30
4.1.1 Fenologi.....	30
4.1.2 Growing Degree Days (GDD)	31
4.1.3 Pertumbuhan dan Produksi Tanaman	34
4.1.3.1 Pertumbuhan Tanaman	35
4.1.3.1.1 Tinggi Tanaman	35
4.1.3.1.2 Jumlah Daun	35
4.1.3.2 Produksi Tanaman.....	36
4.1.3.2.1 Bobot Basah Brangkasan	36
4.1.3.2.2 Bobot Basah Akar.....	36
4.1.3.2.3 Bobot 100 Butir	37
4.1.3.2.4 Bobot Produksi Tanaman	37
4.2 Pembahasan.....	38
4.2.1 Fenologi dan Growing Degree Days (GDD)	38
4.2.2 Pertumbuhan dan Produksi	43
4.2.2.1 Pertumbuhan Tanaman	44
4.2.2.2 Produksi Tanaman.....	46
V. KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA.....	51
LAMPIRAN	55

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Karakteristik fase pertumbuhan vegetatif pada tanaman kedelai.....	15
2. Karakteristik fase pertumbuhan reproduktif pada tanaman kedelai.....	16
3. Fenologi 3 varietas tanaman kedelai yang ditanam di dataran rendah	30
4. Hasil pengamatan suhu maksimum dan minimum dalam Rumah Kaca di lokasi penelitian	31
5. Growing Degree Days (GDD) 3 varietas tanaman kedelai	33
6. Rekapitulasi analisis ragam setiap variabel pengamatan.....	34
7. Pengaruh media tanam dan varietas terhadap rata-rata tinggi tanaman (cm) kedelai berumur 4 MST	35
8. Pengaruh varietas terhadap rata-rata jumlah daun (helai) tanaman kedelai pada 4 Minggu Setelah Tanam (MST).....	35
9. Pengaruh penambahan CO ₂ dan varietas terhadap rata-rata bobot basah brangkasan (g) tanaman kedelai	36
10. Pengaruh CO ₂ dan varietas terhadap bobot basah akar (g) tanaman kedelai	36
11. Pengaruh penambahan CO ₂ dan varietas terhadap bobot 100 butir (g) tanaman kedelai.....	37
12. Pengaruh CO ₂ dan varietas terhadap bobot produksi tanaman kedelai	45
13. Deskripsi tanaman kedelai berkaitan dengan fenologi tanaman	39
14. Deskripsi tanaman kedelai berkaitan dengan tinggi tanaman	44
15. Deskripsi tanaman kedelai berkaitan dengan bobot 100 dan 1000 butir Benih	39
16. Nilai rata-rata tinggi tanaman dan jumlah daun	56
17. Nilai rata-rata bobot basah brangkasan dan bobot kering brangkasan	56
18. Nilai rata-rata bobot 100 butir dan Bobot benih pertanaman	57
19. Hasil uji Shapiro untuk kenormalan data antar perlakuan kombinasi pengaruh penambahan (CO ₂) dan varietas (V) pada variabel tinggi tanaman	58
20. Hasil uji Barlett untuk homogenitas data antarperlakuan kombinasi pengaruh penambahan CO ₂ (CO ₂) dan varietas (V) pada variabel tinggi tanaman	58
21. Hasil uji Tukey untuk aditivitas data antarperlakuan kombinasi pengaruh penambahan CO ₂ (CO ₂) dan varietas (V) pada variabel	

tinggi tanaman	58
22. Hasil analisis ragam antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam penambahan CO ₂ (CO ₂) dan varietas (V) pada variabel tinggi tanaman.....	58
23. Nilai koefisiensi keragaman antarperlakuan kombinasi pengaruh penambahan CO ₂ (CO ₂) dan varietas (V) pada variabel tinggi tanaman.....	58
24. Hasil uji Shapiro untuk kenormalan data antarperlakuan kombinasi pengaruh penambahan CO ₂ (CO ₂) dan varietas (V) pada bobot basah brangkasan	59
25. Hasil uji Barlett untuk homogenitas data antarperlakuan kombinasi pengaruh penambahan CO ₂ (CO ₂) dan varietas (V) pada bobot basah brangkasan	59
26. Hasil uji Tukey untuk aditivitas data antarperlakuan kombinasi pengaruh penambahan CO ₂ (CO ₂) dan varietas (V) pada bobot basah brangkasan	60
27. Hasil analisis ragam antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam penambahan CO ₂ (CO ₂) dan varietas (V) pada bobot basah brangkasan	59
28. Nilai koefisiensi keragaman antarperlakuan kombinasi pengaruh penambahan CO ₂ (CO ₂) dan varietas (V) pada bobot basah brangkasan	59
29. Hasil uji Shapiro untuk kenormalan data antar perlakuan kombinasi pengaruh penambahan CO ₂ (CO ₂) dan varietas (V) pada bobot basah akar.....	60
30. Hasil uji Barlett untuk homogenitas data antarperlakuan kombinasi pengaruh penambahan CO ₂ (CO ₂) dan varietas (V) pada bobot basah akar.....	60
31. Hasil uji Tukey untuk aditivitas data antarperlakuan kombinasi pengaruh penambahan CO ₂ (CO ₂) dan varietas (V) pada bobot basah akar.....	60
32. Hasil analisis ragam antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam penambahan CO ₂ (CO ₂) dan varietas (V) pada bobot basah akar.....	60
33. Nilai koefisiensi keragaman antarperlakuan kombinasi pengaruh penambahan CO ₂ (CO ₂) dan varietas (V) pada bobot basah akar.....	60
34. Hasil uji Shapiro untuk kenormalan data antar perlakuan kombinasi pengaruh penambahan CO ₂ (CO ₂) dan varietas (V) pada bobot 100 butir benih.....	61
35. Hasil uji Barlett untuk homogenitas data antarperlakuan kombinasi pengaruh penambahan CO ₂ (CO ₂) dan varietas (V) pada bobot 100 butir benih.....	61
36. Hasil uji Tukey untuk aditivitas data antarperlakuan kombinasi pengaruh penambahan CO ₂ (CO ₂) dan varietas (V) pada bobot 100 butir benih.....	61
37. Hasil analisis ragam antarperlakuan kombinasi pengaruh media tanam penambahan CO ₂ (CO ₂) dan varietas (V) pada bobot 100 butir benih.....	61
38. Nilai koefisiensi keragaman antarperlakuan kombinasi pengaruh penambahan CO ₂ (CO ₂) dan varietas (V) bobot 100 butir benih	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Skema kerangka pemikiran	8
2. Tahap pertumbuhan tanaman kedelai.....	14
3. Tata letak percobaan.....	21
4. (a) Polybag ukuran 30x30 cm, (b) Media Tanam.	22
5. (a) Gula, (b) Ragi, (c) Baking soda, (d) Botol CO ₂ yang siap digunakan.....	23
6. (a) Sungkup pelakuan +CO ₂ , (b) Peletakkan botol CO ₂ di dalam sungkup.....	24
7. Tahap pertumbuhan 3 varietas kedelai di dataran rendah perlakuan tanpa penambahan CO ₂ (-CO ₂) dan penambahan CO ₂ (+CO ₂).	38
8. Nilai <i>Growing Degree Days</i> (GDD) pada setiap tahap pertumbuhan 3 varietas tanaman kedelai.	41
9. Tinggi Tanaman Kedelai (a) Tanaman Kedelai Tanpa Perlakuan Penambahan CO ₂ , (b) Tanaman Kedelai Dengan Perlakuan CO ₂	44
10. Benih 3 Varietas Kedelai (varietas dena-1, deja-2, dan grobogan).	62
11. Pengamatan dan Perawatan tanaman kedelai	62
12. Fase vegetatif tanaman kedelai (a) perkecambahan kedelai, (b) daun pertama membuka penuh, (c) stadia buku ke-2, (d) stadia buku ke-3.	62
13. Fase genetatif tanaman kedelai (a) awal berbunga, (b) pembungaan penuh, (c) awal pembentukan polong, (d) pengisian polong.	63
14. Fase matang fisiologis dan kematangan panen tanaman kedelai (a) matang fisiologis, (b) kematangan panen.	63
15. Hama dan Penyakit tanaman kedelai.	63
16. Proses pemanenan tanaman kedelai (a) pengeringan brangkasan dan polong, (b) penimbangan brangkasan, (c) penimbangan polong, (d) pengovenan brangkasan dan polong.....	64

LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Rekapitulasi nilai rata-rata variabel pengamatan	56
2. Hasil uji statistik variabel pengamatan	58
3. Gambar kegiatan penelitian	62

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Karbon dioksida (CO₂) telah mengalami peningkatan yang sangat pesat di atmosfer akibat pembakaran bahan bakar fosil dan peningkatan pengendapan nitrogen (N) karena aktivitas manusia (Irma dan Eva, 2024). Peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer global dari 280 ppm menjadi lebih dari 400 ppm dengan laju peningkatan konsentrasi CO₂ sebesar ~1,0 ppm per tahunnya, bahkan mungkin lebih dari 1000 ppm pada akhir abad ini. Akibat dari peningkatan konsentrasi CO₂ ini tidak hanya pada pemanasan global melainkan juga berdampak pada lingkungan, ekosistem tanaman dan produktivitas tanaman (IPCC, 2013).

Di Indonesia konsentrasi CO₂ terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahunnya dan pada tahun 2021 konsentrasi rata-rata CO₂ di Indonesia mencapai level tertinggi yaitu 414,2 ppm. Emisi karbon dioksida selama 23 tahun terus mengalami peningkatan sebesar 235%. Sementara peningkatan emisi karbondioksida selama satu tahun terakhir di Indonesia mengalami peningkatan sebesar 13,14%. Peningkatan angka emisi karbon dioksida di atmosfer ini menjadi kekhawatiran bersama sehingga dunia mengubah status *global warming* menjadi *global boiling* hal ini menjadi permasalahan global karena salah satu dampak dari kenaikan suhu adalah perubahan iklim (Hidayah dan Rahayu, 2025).

Tetapi dari segi tanaman, peningkatan konsentrasi karbon dioksida (CO₂) di atmosfer dapat merangsang proses fotosintesis, biomassa tanaman, dan daya guna air tanaman pada berbagai jenis tanaman. Akan tetapi, banyak penelitian yang menemukan bahwa stimulasi laju fotosintesis pada tanaman karena peningkatan

CO₂ akan mengalami penurunan atau bahkan dapat hilang dengan berjalannya waktu dikarenakan tanaman menyesuaikan diri terhadap konsentrasi CO₂ yang tinggi dengan proses yang disebut sebagai *down-regulation photosynthesis*. Sehingga, efek dari peningkatan CO₂ dapat bersifat positif, negatif maupun netral tergantung pada spesies tanaman dan juga terdapat faktor lainnya seperti ketersediaan unsur lainnya pada tanaman seperti (N, P, K dan Mg) (Zheng *et al.*, 2011).

Kedelai (*Glycine max* L.) merupakan tanaman yang masuk kedalam tiga besar komoditas pangan utama di Indonesia selain padi dan jagung. Kedelai biasanya diolah oleh masyarakat Indonesia menjadi berbagai prodak pangan seperti tahu, tempe, kecap, susu, dan berbagai macam produk lainnya. Kedelai memiliki kandungan gizi yang tinggi dan kadar protein yang mencapai 34% dengan harga yang relatif murah. Kebutuhan terhadap kedelai di Indonesia dari tahun ke tahunnya terus mengalami peningkatan. Kebutuhan kedelai yang mampu dipenuhi dalam negeri adalah sebesar 25-30% sedangkan sisanya diperoleh negara melalui impor. berdasarkan data Badan Pusat Statistik(BPS) pada tahun 2011 produksi kedelai dalam negeri hanya mencapai 851.286 ton, yang merupakan 29% dari total kebutuhan. Akibatnya, Indonesia perlu mengimpor kedelai sebanyak 2.087.986 ton untuk memenuhi sisa kebutuhan sebesar 71% permintaan kedelai di dalam negeri (Saputra dkk., 2023).

Perubahan iklim dapat berdampak pada lingkungan, sosial dan ekonomi yang besar. Ketahanan pangan dan gizi global terancam karena adanya perubahan iklim dan produksi tanaman pangan. Viabilitas iklim berdampak negatif pada produksi tanaman pangan dan berdampak besar pada perancangan pertanian terutama dalam kondisi tadah hujan di seluruh dunia. Produktivitas tanaman sangat bergantung pada curah hujan dan suhu. Bahkan pada peningkatan suhu bumi yang paling rendah, hasil panen pada tanaman kemungkinan akan mengalami penurunan secara global dan diperkirakan akan mengalami kerugian yang cukup besar terutama di wilayah tropis yang dimana negara Indonesia merupakan salah satu negara dengan iklim tropis (Praveenkumar *et al.*, 2024). Peningkatan kadar CO₂ dipastikan akan diikuti oleh kenaikan suhu, yang dapat

berdampak negatif pada hasil panen dan pertumbuhan tanaman kedelai serta padi. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa peningkatan CO₂ dan suhu memiliki efek merugikan pada tanaman kedelai. Namun, ada juga penelitian yang menyatakan bahwa peningkatan CO₂ dapat memberikan manfaat, terutama bagi tanaman C3, karena dapat mengurangi aktivitas fotorespirasi (Soleh dan Kokobun, 2018). Sehingga perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut apakah peningkatan CO₂ di atmosfer berpengaruh atau tidak terhadap tanaman kedelai.

Fenologi adalah ilmu yang mempelajari waktu terjadinya fase-fase alami pada tanaman, seperti lamanya suatu jenis tanaman mencapai fase pembungaan. Fenologi tanaman menjadi indikator yang efektif untuk mengamati dampak perubahan iklim terhadap tanaman. Vegetasi merespon perubahan iklim dengan menyesuaikan pola fenologinya, misalnya melalui pergeseran waktu pencapaian fase pertumbuhan, perubahan struktur morfologi, cara reproduksi, hingga kehilangan keragaman genetik. Adaptasi pola fenologi ini menunjukkan bagaimana tanaman menyesuaikan diri terhadap perubahan lingkungan akibat perubahan iklim. (Workie dan Habte, 2018). Fenologi tanaman yang menggambarkan tahapan pertumbuhan tanaman dapat diukur secara kuantitatif melalui konsep *Growing Degree Days* (GDD). GDD merupakan hubungan antara suhu udara dan kecepatan pertumbuhan tanaman yang diasumsikan linier, di mana laju pertumbuhan sebanding dengan suhu udara selama berada di atas suhu dasar dan di bawah suhu maksimum yang dapat ditoleransi tanaman (McMaster dan Wilhelm, 1997).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apakah peningkatan karbon dioksida (CO₂) di atas kanopi dapat mempengaruhi pertumbuhan, produksi dan fenologi tanaman kedelai (*Glycine max* L.) yang ditanam di dataran rendah?
2. Bagaimana tanggapan varietas kedelai (*Glycine max* L.) yang berbeda terhadap peningkatan karbon dioksida (CO₂) di atas kanopi tanaman?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh peningkatan karbon dioksida (CO_2) di atas kanopi terhadap pertumbuhan, produksi dan fenologi tanaman kedelai (*Glycine max* L.) di dataran rendah.
2. Untuk mengetahui tanggapan tiga varietas kedelai (*Glycine max* L.) yang berbeda terhadap peningkatan konsentrasi karbon dioksida (CO_2) di atas kanopi.

1.4 Landasan Teori

Karbon dioksida (CO_2) adalah gas yang bersifat sebagai gas rumah kaca selain methane (CH_4), nitrogen monoksida dan nitrogen dioksida. Efek rumah kaca adalah kenaikan suhu akibat dari terhambatnya gelombang panjang bebas ke atmosfer yang dapat terjadi secara alami dan juga dapat terjadi karena kegiatan manusia. Daur aliran energi matahari merupakan proses yang berkaitan dengan terjadinya efek rumah kaca yaitu kurang lebihnya 30% radiasi matahari yang menjangkau tanah dipantulkan kembali dan diserap oleh uap air, gas karbon dioksida, nitrogen, oksigen, dan gas lainnya yang berada di atmosfer dan sisanya sebanyak 70% diserap oleh tanah, laut, dan awan. Sinar matahari yang dipantulkan kembali berubah menjadi gelombang panjang berupa energi panas dan lolos ke angkasa dikarenakan komposisi gas atmosfer telah terganggu. Hal ini mengakibatkan terpancarnya kembali ke permukaan bumi dan memicu kenaikan suhu dan mengakibatkan pemanasan global dan secara keseluruhan dan terjadi pemanasan yang cukup tinggi di bumi ini. Sehingga kondisi ini akan sangat berpengaruh pada sektor pertanian dan produktivitas tanaman terkait dengan masa tanam maupun pertumbuhan tanaman (Sutoyo, 2011).

Fotosintesis merupakan proses sintesis karbohidrat dari karbon dioksida (CO_2) dan hydrogen hidroksida (H_2O) pada tumbuhan berpigmen dengan adanya bantuan energi cahaya matahari dengan bantuan sinar matahari dan pigmen

fotosintesis maka dihasilkannya karbohidrat dan melepaskan oksigen. Sehingga, fotosintesis merupakan faktor yang sangat berperan dalam pertumbuhan tanaman. Proses fotosintesis tidak selalu memerlukan cahaya yang disebut dengan reaksi gelap. Didalam proses ini, CO_2 ditangkap dan kemudian dimodifikasi dengan menambahkan hydrogen dan kemudian membentuk karbohidrat. Fotosintesis dapat terjadi karena beberapa faktor yang dibagi 2 yaitu faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal antara lain umur daun, keadaan stomata, dan juga spesies tanaman. Sedangkan, faktor eksternalnya yaitu CO_2 dan O_2 , ketersediaan air pada tanaman, kelembaban dan suhu udara, dan kondisi cahaya (Habibillah, 2023).

Kedelai (*Glycine max* L.) termasuk tanaman C_3 yang melakukan fotosintesis melalui siklus Calvin, namun memiliki keterbatasan efisiensi pada suhu tinggi akibat tingginya laju fotorespirasi. Fotorespirasi menyebabkan kehilangan CO_2 yang signifikan sehingga menurunkan laju asimilasi karbon dan berdampak pada produktivitas tanaman (Sowjanya *et al.*, 2019). Sebagai salah satu sumber utama protein dan minyak nabati di dunia, kedelai memiliki peran penting dalam ketahanan pangan, tetapi produksinya di Indonesia masih belum mencukupi kebutuhan nasional. Saat ini, produksi dalam negeri hanya mampu memenuhi sekitar 40% kebutuhan, sedangkan sisanya sekitar 60% harus dipenuhi melalui impor. Ketidakstabilan produksi kedelai diperparah oleh penurunan luas lahan panen yang tidak seimbang dengan peningkatan produktivitas, serta pengaruh perubahan iklim yang sulit dikendalikan. Di kawasan Asia Tenggara, perubahan iklim diperkirakan dapat menurunkan produksi kedelai hingga 12,4%. Kedelai juga dikenal sangat sensitif terhadap fenomena iklim ekstrem, dengan penurunan produksi sebesar 10,7% pada kondisi El Niño dan 11,4% pada kondisi La Niña. Penurunan curah hujan sebesar 246 mm per tahun bahkan dapat mengurangi produksi hingga 65,2%, sementara peningkatan suhu udara sebesar 5°C dapat menyebabkan penurunan hasil antara 10% hingga 30% (Ruminta dkk., 2020).

Tanaman yang ditanam dalam rumah kaca dan ditambahkan CO_2 terbukti dapat meningkatkan hasil pada spesies tanaman tertentu khususnya tanaman pangan. Pengaruh biologis yang berkaitan dengan peningkatan CO_2 ini tentunya tidak

terlepas dari efisiensi fotosintesis dan efisiensi penggunaan air pada tanaman. Telah dilakukan riset oleh sebuah grup dalam Komisi Tanaman Terlindung pada *International Society for Horticultural Science* yang membuktikan bahwa penambahan CO₂ dapat menambahkan hasil pada tanaman sebesar 12-13% dibandingkan dengan kadar atmosfer biasanya dan pengaruhnya sangat terlihat dari efisiensi fotosintesis dan penggunaan air pada tanaman. Selain itu, hubungan antara CO₂ dengan proses fotosintesis baik ditingkatkan daun maupun ditingkatkan kanopi tanaman telah banyak diteliti dan berdampak positif pada pertumbuhan dan produksi tanaman melalui peningkatan fotosintesis daun dan kanopi (Sutoyo, 2011).

Karbon dioksida (CO₂) di atmosfer terus mengalami peningkatan. Peningkatan konsentrasi CO₂ ini memiliki dampak yang cukup serius pada tanaman yaitu fisiologi tanaman, pertumbuhan, produktivitas, hubungan tanaman dengan penyerapan air. Penambahan CO₂ secara langsung dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman, kepadatan tajuk tanaman, dan biomassa dengan meningkatkan fotosintesis dan dapat juga mengurangi transpirasi pada tanaman melalui penutupan pada sebagian stomata pada tanaman tertentu. Tanaman yang menyerap CO₂ yang tinggi tidak hanya meningkatkan pertumbuhan tunas dan biomasanya melainkan dapat juga kedalaman akar dan biomassa yang dapat mendorong penyerapan nutrisi air dan tanah sehingga secara tidak langsung dapat meningkatkan laju fotosintesis. Peningkatan laju fotosintesis dan berkurangnya transpirasi dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air pada tanaman sehingga dapat mengurangi stress yang pada tanaman yang sedang mengalami kekeringan. Hal ini terjadi apabila tanaman ini cocok dengan konsentrasi CO₂ yang tinggi sehingga tidak terjadi pada semua spesies melainkan hanya pada spesies tertentu. Respon tanaman terhadap CO₂ juga tidak hanya bergantung pada tinggi konsentrasinya, tetapi juga pada durasi atau lama tanaman dalam menyerap CO₂ (Mndela *et al.*, 2022).

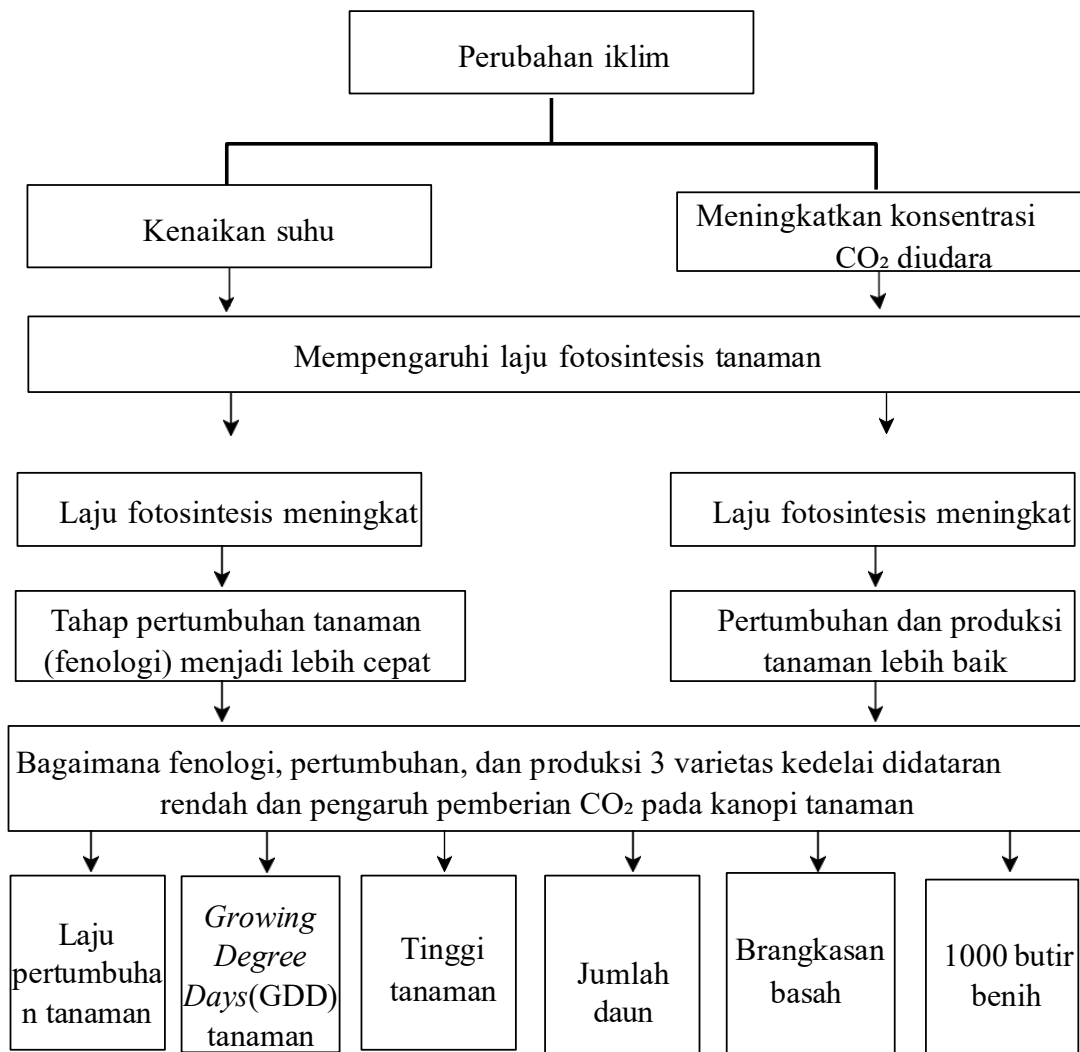
Fenomena pemanasan global yang ditandai dengan meningkatnya suhu bumi dan konsentrasi CO₂ di atmosfer telah menjadi ancaman bagi produksi kedelai di seluruh dunia. Sebagian besar produksi kedelai berada di daerah tropis yang

sangat dipengaruhi oleh suhu. Kenaikan suhu ini akan mempercepat proses evaporasi, yang pada gilirannya dapat menyebabkan kekeringan. Perubahan iklim terjadi akibat peningkatan gas rumah kaca (GRK) di atmosfer, terutama gas CO₂. Konsentrasi CO₂ telah meningkat secara signifikan dari 280 ppm pada masa praindustri menjadi 370 ppm saat ini, dan diperkirakan akan terus meningkat hingga mencapai 550 ppm pada pertengahan abad ini. Peningkatan konsentrasi CO₂ dipastikan akan diikuti oleh kenaikan suhu, yang dapat berdampak negatif pada hasil panen dan pertumbuhan kedelai. Terdapat penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa peningkatan CO₂ dan suhu memiliki efek merugikan pada tanaman kedelai, namun ada juga penelitian yang menyatakan bahwa peningkatan CO₂ dapat memberikan dampak positif, terutama pada tanaman C3, dengan mengurangi aktivitas fotorespirasi (Soleh dan Kokobun, 2018).

Analisis fenologi dapat membantu dalam memahami dampak perubahan iklim secara global terhadap proses vegetasi dan interaksi antara vegetasi dan lingkungan (Dang *et al.*, 2023). Suhu memiliki pengaruh besar terhadap fenologi, menjadikannya indikator yang sensitif dan akurat untuk mempelajari dampak perubahan iklim, terutama terkait dengan peningkatan suhu udara yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman, seperti pergeseran waktu berbunga. Di Indonesia, variasi suhu udara tidak terlalu signifikan, sehingga penelitian tentang fenologi vegetasi masih jarang dilakukan. Namun, penting untuk melakukan kajian fenologi di Indonesia untuk memperkirakan produksi tanaman di masa depan, mengingat suhu udara diperkirakan akan meningkat, meskipun penelitian di bidang ini masih terbatas (Servina, 2019). Fenologi dapat dihitung dengan menggunakan teori yang disebut dengan GDD (*Growing Degree Days*). GDD (*Growing Degree Days*) adalah parameter yang digunakan dalam membuat model tanaman sebagai penduga yang tepat untuk waktu perkembangan tanaman dan suhu udara yang merupakan faktor utama dari perkembangan tanaman (Putri, 2024).

1.5 Kerangka Pemikiran

Adapun kerangka pemikiran pada penelitian ini disajikan dalam bentuk diagram alir sebagai berikut:



Gambar 1. Skema kerangka pemikiran.

Perubahan iklim terjadi akibat dari aktivitas manusia seperti peningkatan penggunaan bahan bakar termasuk pembakaran hutan, penggundulan hutan, dan kegiatan pabrik. Perubahan iklim merupakan fenomena global yang diakibatkan

oleh kenaikan suhu dan meningkatnya gas CO₂ di atmosfer. Tanaman kedelai merupakan tanaman yang sangat sensitif terhadap perubahan iklim dan dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman kedelai. Kenaikan suhu dan meningkatnya konsentrasi CO₂ di atmosfer dapat mempengaruhi berbagai aspek fisiologis tanaman kedelai contohnya seperti laju fotosintesis. Akan tetapi, Kenaikan suhu global yang terlalu tinggi dapat menyebabkan stres termal pada tanaman, yang berdampak negatif terhadap pertumbuhan dan produktivitasnya.

Kenaikan suhu dan meningkatnya konsentrasi CO₂ di atmosfer dapat meningkatkan laju fotosintesis tanaman dan diharapkan tahap pertumbuhan tanaman (fenologi) menjadi lebih cepat karena laju fotosintesis dan fenologi memiliki hubungan erat ketika konsentrasi CO₂ meningkat, tanaman dapat menyerap lebih banyak karbon, yang dapat mempercepat pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Dengan laju fotosintesis yang meningkat, tanaman kedelai mungkin mengalami pergeseran dalam fase pertumbuhannya.

Fenologi tanaman adalah fase yang mencakup waktu dan tahapan pertumbuhan dari pembungaan sampai pematangan. Fase ini dapat dihitung menggunakan metode yang disebut dengan *Growing Degree Days* (GDD) yaitu dengan mengukur suhu harian dan membandingkannya dengan suhu dasar (base temperature) yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman sehingga, dapat memperkirakan waktu yang tepat untuk berbagai fase fenologis tanaman.

Maka dari itu penelitian ini penting untuk dilakukan guna menghadapi perubahan iklim terhadap pertumbuhan kedelai. Melalui penelitian ini, kita dapat mengetahui bagaimana pengaruh dari peningkatan CO₂ di atmosfer terhadap pertumbuhan tanaman dari fase perkecambahan hingga panen. Data yang diperoleh pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang berguna mengenai apakah peningkatan CO₂ berpengaruh positif, negatif, atau bahkan tidak berpengaruh sama sekali terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman kedelai.

1.6 Hipotesis

Berdasarkan kerangka pemikiran yang telah dipaparkan, hipotesis yang dapat diajukan adalah sebagai berikut:

1. Peningkatan konsentrasi CO₂ diatas tanaman akan mempengaruhi pertumbuhan, produksi dan fenologi 3 varietas kedelai (*Glycine max* L.).
2. Varietas yang berbeda akan memberikan tanggapan yang berbeda terhadap peningkatan konsentrasi CO₂ diatas kanopi tanaman.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Klasifikasi dan Morfologi Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.)

2.1.1 Klasifikasi Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.)

Menurut Pijoto (2003), berdasarkan taksonomi tanaman kedelai dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Spermatophyta
Subdivisi	: Angiospermae
Kelas	: Dicotyledonae
Ordo	: Polypetales
Famili	: Leguminosae
Sub Famili	: Papilionoidae
Genus	: <i>Glycine</i>
Spesies	: <i>Glycine max</i>

Di Asia Tenggara, terdapat sekitar 40 jenis kedelai yang tumbuh liar. Penyebaran geografis kedelai memengaruhi tipe-tipe yang ada, yang dapat dibedakan menjadi empat tipe utama yaitu Mansyuria, Jepang, India, dan Cina. Penentuan varietas kedelai didasarkan pada umur, warna biji, dan tipe batang. Varietas unggul kedelai dapat dikategorikan menjadi tiga kelompok berdasarkan umur tanaman, yaitu varietas genjah (kurang dari 75 hari), varietas sedang (75-90 hari), dan varietas tinggi (lebih dari 90 hari). Beberapa varietas unggul kedelai yang dikenal di masyarakat antara lain Anjasmoro, Kipas Merah, dan Grobogan. Varietas Anjasmoro memiliki potensi hasil 2,25 ton per hektar, tahan rebah, dan ukuran biji besar. Varietas Kipas Merah memiliki potensi hasil 3,5 ton per hektar, sedangkan

varietas Grobogan memiliki potensi hasil 2,77 ton per hektar dengan bobot biji yang cukup besar (Esther, 2017).

2.1.2 Morfologi Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.)

2.1.2.1 Akar Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.)

Akar kedelai mulai tumbuh dari belahan kulit biji di sekitar mesofil. Calon akar ini berkembang pesat ke dalam tanah, sementara kotiledon yang terdiri dari dua keping terangkat ke permukaan akibat pertumbuhan hipokotil. Sistem perakaran kedelai terdiri dari akar tunggang dan akar sekunder (serabut) yang tumbuh dari akar tunggang. Kedelai juga dapat membentuk akar adventif dari bagian bawah hipokotil, terutama dalam kondisi cekaman seperti kadar air tanah yang tinggi. Pertumbuhan akar sangat dipengaruhi oleh kondisi fisik dan kimia tanah, jenis tanah, cara pengolahan, kecukupan unsur hara, serta ketersediaan air. Dalam kondisi optimal, akar tunggang dapat mencapai panjang sekitar 2 meter atau lebih (Esther, 2017).

2.1.2.2 Batang Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.)

Hipokotil berfungsi sebagai bagian batang yang terletak antara pangkal akar dan kotiledon. Hipokotil dan kotiledon akan menerobos ke permukaan tanah, sedangkan bagian batang di atas kotiledon disebut epikotil. Kedelai memiliki batang semak dengan tinggi antara 30 hingga 100 cm, ditandai dengan banyak cabang dan batang yang lembut serta hijau. Setiap hipokotil dapat membentuk 3 hingga 6 cabang. Pertumbuhan batang dibedakan menjadi dua tipe: determinate, yang berhenti tumbuh saat berbunga, dan indeterminate, yang masih dapat tumbuh meskipun sudah berbunga. Jumlah buku pada batang dipengaruhi oleh tipe pertumbuhan dan durasi penyinaran, dengan jumlah buku normal berkisar antara 15 hingga 30. Jumlah cabang bervariasi tergantung pada varietas dan kondisi tanah, dan tidak ada hubungan signifikan antara jumlah batang dengan hasil biji (Esther, 2017).

2.1.2.3 Daun Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.)

Daun kedelai memiliki dua bentuk, yaitu bulat (oval) dan lancip (lanceolate), yang dipengaruhi oleh faktor genetik. Varietas dengan daun lebar lebih cocok untuk tanah subur. Daun memiliki stomata sebanyak 190 hingga 320 per meter persegi. Selain itu, daun kedelai juga memiliki bulu dengan warna cerah dan jumlah yang bervariasi, yang berkaitan dengan toleransi terhadap hama. Sebagai organ fotosintesis, daun berperan penting dalam produksi fotosintat berupa gula, yang menjadi sumber energi bagi tanaman dan diakumulasikan dalam buah, biji, atau organ penyimpanan lainnya (Esther, 2017).

Tanaman kedelai termasuk dalam famili *Leguminosae* dan tergolong sebagai tanaman C3. Pada kondisi intensitas cahaya yang rendah dan suhu yang panas, tanaman C3 memiliki laju fotosintesis yang lebih lambat serta menghasilkan biomassa yang lebih sedikit dibandingkan dengan tanaman C4. Perlambatan fotosintesis pada tanaman C3 ini disebabkan oleh kehilangan CO₂ selama proses fotorespirasi, yang dapat menurunkan laju asimilasi CO₂ hingga sekitar 25 hingga 50% (Saputro, 2011).

2.1.2.4 Bunga Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.)

Tanaman kedelai memiliki dua fase pertumbuhan: vegetatif dan reproduktif. Fase vegetatif berlangsung dari perkecambahan hingga berbunga, sedangkan fase reproduktif dimulai dari pembentukan bunga hingga pemasakan biji. Sebagian besar tanaman kedelai mulai berbunga pada usia 5 hingga 7 minggu. Bunga kedelai muncul di ketiak daun, dengan jumlah bunga per ketiak bervariasi antara 2 hingga 25, tergantung pada kondisi lingkungan dan varietas. Pembentukan bunga dipengaruhi oleh suhu dan kelembapan, dengan ketiak yang memiliki kuncup bunga disebut buku subur. Periode berbunga berlangsung antara 3 hingga 5 minggu di daerah subtropik dan 2 hingga 3 minggu di daerah tropik, dengan warna bunga umumnya putih atau ungu (Esther, 2017).

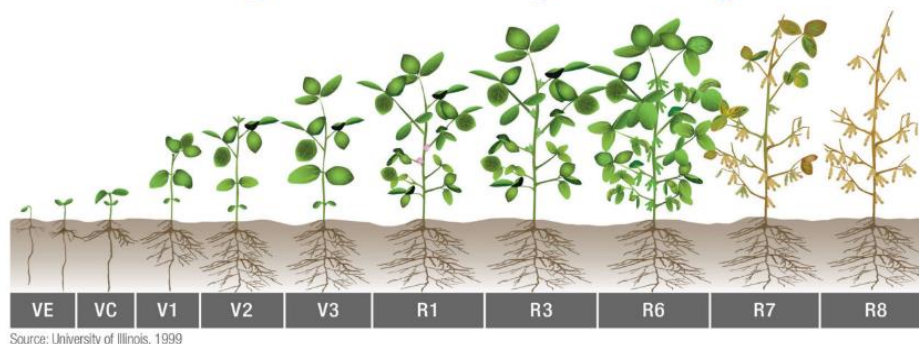
2.1.2.5 Polong dan Biji Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.)

Biji kedelai berbentuk polong, dengan setiap polong berisi 1 hingga 4 biji. Biji umumnya berbentuk bulat atau bulat pipih, dengan ukuran berkisar antara 6 hingga 30 gram per 100 biji, yang diklasifikasikan menjadi biji kecil, sedang, dan besar. Polong pertama kali muncul sekitar 10 hingga 14 hari setelah bunga pertama muncul, berwarna hijau saat tumbuh dan berubah menjadi kuning atau coklat saat dipanen. Jumlah polong yang terbentuk bervariasi antara 2 hingga 10 per kelompok bunga, dengan total polong yang dapat dipanen berkisar antara 20 hingga 200 per tanaman, tergantung pada varietas dan kondisi lingkungan. Kecepatan pembentukan polong dan pembesaran biji meningkat setelah pembentukan bunga berhenti, dengan ukuran dan bentuk polong mencapai maksimum pada awal periode pemasakan biji (Esther, 2017).

2.2 Fase Pertumbuhan Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.)

Tanaman kedelai mengalami dua fase pertumbuhan yaitu fase vegetatif dan fase reproduktif. Fase vegetatif pada tanaman kedelai dimulai pada saat tanaman berkecambah sampai dengan tanaman berbunga. Sedangkan, fase reproduktif tanaman kedelai dimulai pada saat munculnya bunga sampai dengan pemasakan pada biji kedelai (Manasikana, 2019).

Determining Growth Stages in Soybeans



Gambar 2. Tahap pertumbuhan tanaman kedelai
(Sumber: <https://cs-assets.bayer.com/is/image/bayer/2020090101>).

2.2.1 Stadium Pertumbuhan Vegetatif (V)

Pada fase vegetatif tanaman kedelai dihitung sejak tanaman mulai muncul kepermukaan tanah sampai pada saat tanaman mulai berbunga. Pada tahap perkecambahan, tanaman ditandai dengan adanya kotiledon (Manasikana, 2019).

Tabel 1. Karakteristik fase pertumbuhan vegetatif pada tanaman kedelai

Singkatan Stadium	Fase Pertumbuhan	Keterangan
Ve	Kecambah	Tanaman muncul ke permukaan tanah
Vc	Kotiledon	Kotiledon terbuka dan dua daun tunggal di atasnya juga mulai terbuka
V1	Buku pertama	Daun tunggal berkembang penuh pada buku pertama, begitu juga dua daun tunggal di atasnya ikut terbuka
V2	Buku kedua	Daun berangkai tiga pada buku kedua berkembang penuh, dan daun pada buku di atasnya telah terbuka
V3	Buku ketiga	Daun terbuka penuh pada buku ketiga
Vn	Buku ke n	Batang utama telah terdapat daun yang terbuka penuh pada buku ke-n

(Sumber: Manasikana, 2019).

2.2.2 Stadium Pertumbuhan Reproduksi (R)

Pada fase pertumbuhan reproduktif (generatif) dihitung pada saat tanaman kedelai mulai berbunga. Pada fase reproduktif dibagi menjadi tiga fase yaitu fase pembungaan, pembentukan polong, dan pemasakan biji. Fase R1 ditandai dengan bunga yang telah mekar lebih dari satu maka memasuki fase R2. Pada fase pembentukan polong (R3) ditandai dengan muncul polong berukuran 5 mm, sedangkan pematangan biji ditandai dengan batang utama berisi biji berukuran 2 mm x 1 mm (Manasikana, 2019).

Tabel 2. Karakteristik fase pertumbuhan reproduktif pada tanaman kedelai

Singkatan Stadium	Fase Pertumbuhan	Keterangan
R1	Mulai berbunga	Munculnya bunga pertama pada buku manapun pada batang utama
R2	Bunga penuh	Bunga terbuka penuh pada satu atau dua buku paling atas pada batang utama dengan daun yang telah terbuka penuh
R3	Mulai berpolong	Polong telah terbentuk dengan panjang 0,5 cm pada salah satu batang utama
R4	Berpolong penuh	Polong telah mempunyai panjang 2 cm pada salah satu buku teratas pada batang utama
R5	Mulai berbiji	Ukuran biji dalam polong mencapai 3 mm pada salah satu buku batang utama
R6	Berbiji penuh	Setiap polong pada batang utama telah berisi satu atau dua biji
R7	Mulai masak	Salah satu warna polong pada batang utama telah berubah menjadi cokelat kekuningan
R8	Matang penuh	95% jumlah polong telah mencapai warna polong masak

(Sumber: Manasikana, 2019)

2.3 Perubahan Iklim dan Pemanasan Global

Pemanasan global merupakan peningkatan suhu rata-rata bumi dalam jangka panjang yang mulai terlihat sejak pertengahan hingga akhir abad ke-20, seiring meningkatnya konsentrasi karbon dioksida (CO₂) di atmosfer akibat pembakaran bahan bakar fosil. Fenomena ini sering dipandang lebih negatif dibandingkan istilah perubahan iklim, meskipun keduanya saling berkaitan erat.

Pemanasan global ditandai oleh kenaikan suhu atmosfer di daratan maupun lautan, sedangkan perubahan iklim mencakup pergeseran pola cuaca global dalam jangka panjang. Aktivitas manusia dan industri dalam beberapa dekade terakhir telah mempercepat proses tersebut, ditandai dengan peningkatan suhu permukaan rata-rata setiap tahun. Dampak yang ditimbulkan sudah nyata, meliputi perubahan ekosistem, pengurangan, kenaikan permukaan laut, banjir, dan kekeringan (Ainurrohman dan Sudarti, 2022).

Suhu lingkungan yang tinggi juga menurunkan efisiensi fotosintesis tanaman C3, termasuk kedelai, karena pada suhu di atas 30°C terjadi peningkatan fotorespirasi yang menyebabkan kehilangan CO₂. Sebaliknya, tanaman C4 mampu mempertahankan efisiensi fotosintesis pada suhu tinggi, sehingga kedelai di daerah tropis menghadapi tantangan serius akibat pemanasan global yang berpotensi menurunkan hasil panen (Saputro, 2011).

Penyebab utama pemanasan global adalah aktivitas manusia, seperti penggunaan kendaraan bermotor, batu bara, minyak bumi, dan gas alam, yang menghasilkan emisi CO₂ serta gas rumah kaca lain seperti H₂O, CFC, N₂O, CH₄, dan O₃. Gas-gas ini menimbulkan efek rumah kaca, yaitu terperangkapnya panas di atmosfer sehingga suhu bumi meningkat. Selain itu, sebagian cahaya matahari yang dipantulkan kembali oleh awan turut memperkuat efek rumah kaca. Kondisi ini tidak hanya memicu pemanasan global, tetapi juga memperburuk perubahan iklim yang berdampak serius pada sektor pertanian, berpotensi menyebabkan gagal panen pada tanaman pangan seperti padi, tebu, dan sayuran, serta mengganggu pertumbuhan ekonomi. Lebih jauh, perubahan iklim juga mengganggu keseimbangan alam, terlihat dari meningkatnya frekuensi badai akibat perubahan pola curah hujan dan kekeringan yang disebabkan oleh suhu tinggi serta berkurangnya ketersediaan air (Ainurrohman dan Sudarti, 2022).

2.4 Perubahan Iklim dan Dampaknya Terhadap Tanaman

Perubahan iklim merupakan fenomena global yang semakin nyata dampaknya terhadap kehidupan, khususnya pada sektor pertanian. Kenaikan suhu atmosfer, perubahan pola hujan, serta munculnya cuaca ekstrem seperti kekeringan dan banjir berdampak langsung terhadap produktivitas tanaman pangan. Faktor fisiologi tanaman, termasuk fotosintesis dan respirasi, sangat dipengaruhi oleh pemanasan global karena setiap tanaman memiliki batas suhu tertentu untuk tumbuh optimal. Suhu yang terlalu tinggi dapat menghambat pertumbuhan dan menurunkan produktivitas, sementara perubahan pola hujan juga berpengaruh besar: kekeringan mengurangi penyerapan nutrisi oleh tanaman, sedangkan

kelebihan air menyebabkan banjir dan genangan yang merusak lahan serta hasil panen, sehingga menimbulkan kerugian besar bagi petani (Sulaminingsih dkk., 2024).

Salah satu kelemahan tanaman C3 adalah terjadinya fotorespirasi, yaitu proses oksidasi yang berlangsung saat ada cahaya dan dapat menurunkan efisiensi asimilasi karbon hingga 25–50%. Kondisi ini membuat tanaman C3 lebih rentan terhadap peningkatan suhu, sebab semakin tinggi suhu maka laju fotorespirasi juga meningkat. Hal ini menjelaskan mengapa kedelai sebagai tanaman C3 sering mengalami penurunan produktivitas ketika suhu lingkungan melebihi ambang toleransi (Saputro, 2011).

2.5 Peningkatan Karbon dioksida (CO₂) Meningkatkan Fotosintesis Tanaman

Efek peningkatan konsentrasi karbon dioksida (CO₂) dalam mengatur hubungan antara tanaman dan air sangat dipengaruhi oleh tingkat keparahan kekeringan serta kerentanan spesies tanaman. Tanaman yang mengalami stres akibat kekeringan dapat merasakan manfaat dari CO₂, seperti yang terlihat pada peningkatan akumulasi biomassa dan hasil panen yang lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi yang cukup air. Peningkatan kadar CO₂ ini diyakini dapat mengurangi dampak stres kekeringan yang sedang dengan meningkatkan efisiensi penggunaan air melalui penurunan konduktansi stomata dan mempertahankan laju fotosintesis.

Pada tanaman gandum, kondisi kekeringan yang disertai dengan CO₂ dapat meningkatkan fotosintesis serta mengatur aktivitas enzim antioksidan dan metabolisme karbohidrat, sehingga membantu mempertahankan hasil gabah. Namun, stres kekeringan dapat mengurangi efektivitas CO₂ terhadap fotosintesis, karena penurunan konduksi stomata dan laju transpirasi yang dapat mengakibatkan berkurangnya penyerapan nitrogen, yang diperlukan untuk aktivitas enzim *Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase—oxygenase*, yaitu enzim yang berperan penting dalam reaksi gelap fotosintesis. Selain itu, penelitian pada

kedelai menunjukkan bahwa CO₂ dapat meningkatkan fotosintesis pada kultivar yang mengalami stres kekeringan selama fase vegetatif, tetapi tidak berpengaruh pada hasil akhir. Sebaliknya, kultivar lain yang memiliki potensi hasil tinggi menunjukkan peningkatan biomassa dan hasil gabah. Dengan demikian, dampak mitigasi CO₂ terhadap hasil akhir di bawah kondisi kekeringan sangat bergantung pada potensi masing-masing kultivar (Abdelhakim *et al.*, 2022).

2.6 Fenologi tanaman

Pemanasan global telah menyebabkan perubahan fenologi tanaman di seluruh dunia, di mana suhu tinggi mempercepat pembungaan dan kematangan panen sehingga musim tanam menjadi lebih pendek, penuaan daun lebih cepat, serta biomassa dan hasil panen menurun. Dampak negatif suhu tinggi juga terlihat pada panjang bulir, hasil gabah, dan indeks panen. Untuk memprediksi perkembangan tanaman, digunakan metode *Growing Degree Days* (GDD) yang mengintegrasikan suhu harian, dan dengan meningkatnya suhu global akumulasi GDD berlangsung lebih cepat. Penelitian menunjukkan bahwa metode GDD mampu memberikan estimasi yang baik mengenai jumlah hari hingga anthesis maupun kematangan, serta dapat digunakan untuk memperkirakan efek pemanasan global terhadap fenologi gandum (Aslam *et al.*, 2017).

Selain suhu, intensitas cahaya juga berperan besar dalam menentukan laju fotosintesis. Pada tanaman C3 terdapat titik jenuh cahaya, yaitu kondisi ketika laju fotosintesis tidak lagi meningkat meskipun intensitas cahaya bertambah. Sebaliknya, tanaman C4 masih mampu meningkatkan fotosintesis pada intensitas cahaya tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa kedelai sebagai tanaman C3 memiliki keterbatasan dalam memanfaatkan cahaya berlebih, sehingga faktor cahaya menjadi salah satu penentu penting dalam fenologi dan produktivitasnya (Saputro, 2011).

III. BAHAN DAN METODE

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan mulai tanggal 27 Mei 2025 sampai 8 Agustus 2025 di Rumah Kaca, Laboratorium Lapang Terpadu, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain data logger thermometer tipe GM 1365(mengukur suhu udara), timbangan digital, meteran, botol aqua, polybag, dan sungkup. Sedangkan, bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah benih kedelai (*Glycine max* L.) dengan 3 varietas berbeda yaitu Dena 1, Deja 2, dan Grobogan, pupuk NPK 16-16-16, media tanam, furadan, dan dibutuhkan bahan untuk pembuatan gas CO₂ yaitu air hangat, gula, baking soda, ragi.

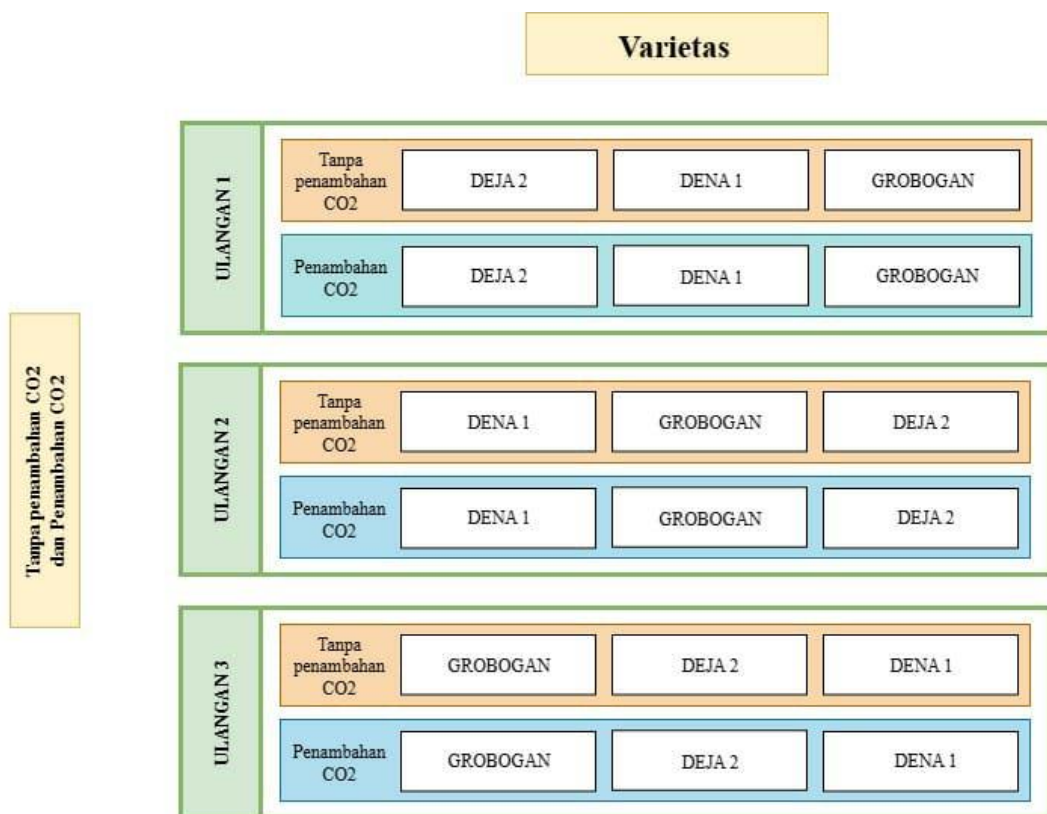
3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan *Strip Plot* dalam Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan dua perlakuan (dengan CO₂ dan tanpa CO₂) yang diulang sebanyak 3 kali pengulangan sehingga memiliki $((2 \times 3) \times 4) \times 3 = 72$ satuan percobaan. Varietas kedelai yang digunakan yaitu Dena 1, Deja 2, dan Grobogan. Analisis data yang digunakan adalah uji homogenitas dengan menggunakan Uji Barlett dan diuji keaditifitasannya dengan Uji Tukey, selanjutnya data dianalisis menggunakan

sidik ragam dan dilanjutkan dengan Uji Beda Nyata Terkecil (BNT) pada taraf 5%.

3.4 Pembuatan petak perlakuan

Berikut ini adalah letak percobaan pada tanaman kedelai.



Gambar 3. Tata letak percobaan.

3.5 Pelaksanaan Penelitian

3.5.1 Persiapan Media Tanam

Persiapan media tanam pada tanaman kedelai adalah dengan menggunakan polybag berukuran 30 cm x 30 cm untuk media tanam. Pastikan polybag

dilengkapi dengan lubang drainase di bagian bawah untuk mencegah terjadinya genangan air. Siapkan tanah yang telah digemburkan dan disaring menggunakan saringan agar tanah tidak menggumpal saat dimasukkan ke dalam polybag. Isi polybag dengan media tanam hingga penuh. Rata-rata berat media tanam yang diperlukan per polybag berkisar antara 5-7 kg dengan banyak polybag adalah 72 polybag.



Gambar 4. (a) Polybag ukuran 30x30 cm, (b) Media Tanam.

3.5.2 Persiapan Benih

Benih kedelai yang digunakan diperoleh dari Badan Standardisasi Instrumen Pertanian (BSIP) Kementerian Pertanian. Benih kedelai direndam pada tanggal 26 Mei 2025 selama 24 jam. Proses perendaman bertujuan untuk memecahkan masa dormansi benih, melunakkan kulit benih yang keras, dan mempercepat proses imbibisi (penyerapan air) sehingga benih dapat lebih cepat untuk berkecambah.

3.5.3 Pembuatan karbon dioksida (CO₂)

Pada pelaksanaan penelitian ini, produksi gas karbon dioksida (CO₂) dilakukan melalui proses fermentasi anaerob menggunakan ragi (*Saccharomyces cerevisiae*),

gula putih, dan baking soda. Proses ini dilakukan dalam kondisi tertutup untuk mengarahkan gas yang dihasilkan.

Adapun komposisi bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Ragi aktif kering: 0,8140 g
- Gula putih pasir: 1,3200 g
- Baking soda (sodium bikarbonat): 0,0080 g
- Air hangat : 0,8 L



Gambar 5. (a) Gula, (b) Ragi, (c) Baking soda, (d) Botol CO₂ yang siap digunakan.

Seluruh bahan dimasukkan ke dalam botol plastik bekas berukuran 1,5 liter yang dilarutkan dengan air hangat. Setelah itu, bahan-bahan diaduk ringan hingga tercampur merata. Botol diletakkan ke dalam sungkup untuk memberikan lingkungan tertutup serta memungkinkan gas CO₂ berakumulasi di sekitarnya. Fermentasi ini menghasilkan CO₂ sebagai hasil dari konversi gula oleh ragi. Baking soda berfungsi sebagai penyangga pH dan dapat mempercepat pelepasan gas dalam beberapa kondisi.

3.5.4 Pengaplikasian karbon dioksida (CO₂)

Pengaplikasian gas CO₂ dilakukan dengan cara meletakkan botol sumber gas CO₂ pada barisan tanaman kedelai yang ditanaman di dalam sungkup. Sungkup plastik berfungsi untuk memerangkap gas CO₂ agar tidak keluar ke udara bebas, sehingga kondisi peningkatan CO₂ di atas kanopi dapat terjaga selama masa pertumbuhan tanaman. Sebaliknya, tanaman tanpa perlakuan CO₂ ditempatkan dalam rumah kaca tanpa menggunakan sungkup, sehingga tanaman tersebut mendapatkan sirkulasi udara alami dengan konsentrasi CO₂ atmosfer normal.



Gambar 6. (a) Sungkup pelakuan +CO₂, (b) Peletakkan botol CO₂ di dalam sungkup.

3.5.5 Penanaman

Dilakukan pemilihan benih yang memiliki ukuran seragam, tidak cacat, dan bebas dari serangan hama atau penyakit, serta dihindari benih yang tampak busuk, berjamur, atau memiliki warna yang tidak normal. Setelah diseleksi benih dimasukkan ke dalam polybag yang sudah dilubangi (satu polybag terdiri dari 3 lubang) dengan setiap lubang diberi furadan untuk mencegah benih terserang hama.

3.5.6 Pemeliharaan tanaman

Adapun beberapa rangkaian pemeliharaan tanaman kedelai yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pemeliharaan tanaman kedelai yang ditanam dalam polybag meliputi beberapa langkah penting untuk memastikan pertumbuhan yang optimal. Pertama, penyiraman harus dilakukan secara rutin, terutama pada fase perkecambahan dan awal pertumbuhan, dengan menjaga agar media tanam tetap lembab namun tidak tergenang air, karena kelebihan air dapat menyebabkan akar membusuk. Selain itu, penyiangan perlu dilakukan secara berkala untuk menghilangkan gulma yang dapat bersaing dengan kedelai dalam mendapatkan nutrisi dan air.
2. Selain itu, penting untuk memantau kesehatan tanaman secara berkala. Jika ditemukan tanda-tanda serangan hama atau penyakit, segera dilakukan tindakan pengendalian yang sesuai, seperti penggunaan insektisida nabati atau fungisida.

3.5.7 Dosis Pemupukan

Dosis pupuk NPK Mutiara 16-16-16 = 4 kg per 200 L air

* Berdasarkan hasil penelitian (Yuriansyah, dkk. 2023) dosis optimal pupuk NPK untuk tanaman kedelai berkisar antara 200–300 kg/ha atau setara dengan 20–30 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)

Dosis per kg tanah (g/kg) = $300 \text{ kg} / 2.000.000 \text{ kg tanah} = 0,00015 \text{ kg/kg} = 0,15 \text{ g/kg}$

- Dosis pupuk per polybag (g) = $0,15 \text{ g/kg} \times 7 \text{ kg} = 1,05 \text{ g/polybag}$
- Dosis sekali pakai: $1,05 \text{ g} \times 72 \text{ polybag} = 75,6 \text{ gram}$
- Dengan dosis 75,6 gram dilarutkan untuk 200 L air, maka jumlah larutan yang diperlukan untuk mencapai 1,05 g/polybag
- Jumlah larutan yang diberikan per polybag = $75,6 \text{ liter} / 72 \text{ polybag} = 1,05$

Liter/polybag

- Sehingga aplikasi pemupukan untuk setiap tanaman kedelai dalam polybag ukuran 30x30 cm memerlukan sekitar 1,05 Liter larutan pupuk NPK Mutiara 16:16:16 untuk mencapai dosis yang optimal.

3.5.8 Pemanenan

Pemanenan tanaman kedelai dilakukan pada saat polong 95% telah berwarna coklat atau berwarna kehitaman dan sebagian besar daun kedelai sudah mengalami perontokan. Pemanenan tanaman kedelai dilakukan dengan cara memotong pangkal batang tanaman kedelai. Brangkasan hasil panen kemudian dikeringkan dibawah sinar matahari dan dilakukan pengeringan hingga kadar air mencapai 14%. Dilakukan perontokan setelah brangkasan kedelai kering dengan cara manual (gebok) dan dilakukan dengan hati-hati untuk menghindari pecah, retak dan rusaknya biji kedelai.

3.6 Variabel Pengamatan

3.6.1 Fenologi Tanaman

Pengamatan fenologi tanaman kedelai dilakukan dengan mencermati waktu perubahan pada berbagai fase pertumbuhan tanaman, baik fase vegetatif maupun generatif, mulai dari proses perkecambahan hingga pembentukan biji tanaman. Pengamatan fenologi sebagai indikator biologis yang sangat sensitif terhadap perubahan iklim mikro di sekitar kanopi.

3.6.2 Tinggi Tanaman (cm)

Pengukuran tinggi tanaman dilakukan pada 1 sampai 4 minggu setelah tanam (MST) dengan menggunakan meteran. Dilakukan dengan mengukur dari

permukaan tanah sampai dengan pucuk tanaman kedelai. Ukuran tinggi yang digunakan adalah centimeter (cm).

3.6.3 Jumlah Daun (helai)

Jumlah daun pada tanaman kedelai dihitung dengan cara menghitung total daun yang terbentuk pada setiap tanaman kedelai. Pengukuran ini dilakukan pada minggu 1 sampai minggu ke-4. Jumlah daun yang banyak menunjukkan kemampuan fotosintesis yang baik, yang berkontribusi pada pertumbuhan dan hasil tanaman. Data ini juga dapat digunakan untuk menilai kesehatan tanaman secara keseluruhan.

3.6.4 Bobot Kering Brangkasan (gram)

Bobot kering brangkasan diambil datanya dengan cara memanen seluruh bagian tanaman kedelai yang telah dikeringkan, termasuk batang, daun, dan polong, kemudian menimbang total beratnya setelah proses pengeringan dan sudah dioven pada suhu 80 °C selama 48 jam ditimbang dengan menggunakan timbangan analitik. Brangkasan kering memberikan informasi yang lebih akurat tentang produktivitas tanaman dan dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut mengenai efisiensi pemeliharaan serta dampak perlakuan yang diterapkan selama masa pertumbuhan.

3.6.5 Bobot Basah Brangkasan (gram)

Bobot basah brangkasan diukur dengan cara memanen seluruh bagian tanaman kedelai, termasuk batang, daun, dan polong, kemudian menimbang total beratnya ditimbang dengan menggunakan timbangan analitik dengan kondisi tanaman baru selesai dipanen (dalam kondisi segar) dan sudah dipisahkan dari akar tanaman.

3.6.6 Jumlah 100 Butir Benih (gram)

Jumlah 100 butir benih diukur dengan cara mengambil 100 biji kedelai secara acak dari hasil panen, kemudian menimbang beratnya. Pengukuran ini penting untuk menilai kualitas biji dan potensi hasil.

3.6.7 Bobot Produksi Tanaman (gram)

Pengamatan dilakukan dengan cara menimbang bobot biji kering dari setiap petak percobaan di dalam rumah kaca setelah dilakukan pemanenan. Data bobot biji ini kemudian dihitung rata-rata berdasarkan 4 satuan percobaan.

3.6.8 Kadar Air Benih (%)

Pengukuran kadar air benih dilakukan setelah benih kedelai dijemur dengan mengambil sampel pada setiap varietas benih kedelai. Pengukuran kadar air benih dilakukan dengan menggunakan oven, benih dioven pada suhu 80 °C selama 24 jam. Setelah itu benih ditimbang menggunakan timbangan analitik dan dicatat bobotnya.

3.7 Pengolahan data

3.7.1 Perhitungan *Growing Degree Days* (GDD) Tanaman

Growing Degree Days (GDD) adalah metode yang digunakan untuk menghitung akumulasi suhu yang diperlukan bagi pertumbuhan tanaman kedelai. GDD dihitung dengan menjumlahkan selisih antara suhu rata-rata harian dan suhu dasar selama periode pertumbuhan. Pengukuran GDD ini membantu dalam memprediksi fase pertumbuhan tanaman, seperti perkecambahan, pembungaan, dan pematangan, sehingga dapat menentukan waktu yang tepat untuk pemeliharaan dan panen.

Perhitungan GDD dihitung menggunakan rumus:

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

Keterangan:

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

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

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

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Peningkatan konsentrasi karbon dioksida (CO_2) di atas kanopi mempengaruhi parameter pertumbuhan, produksi, dan fenologi tanaman kedelai di dataran rendah, di mana perlakuan CO_2 secara konsisten menunjukkan efek yang negatif, yaitu menurunkan variabel pengamatan tinggi tanaman, jumlah daun, bobot basah brangkasan, bobot basah akar, dan bobot 100 butir benih, serta menyebabkan fenologi yang lebih lambat; hal ini mengindikasikan bahwa efek penambahan CO_2 gagal terwujud karena dominasi cekaman suhu ekstrem yang memicu penutupan stomata dan menghambat laju asimilasi karbon.
2. Terdapat tanggapan yang signifikan dan berbeda dari ketiga varietas kedelai terhadap peningkatan konsentrasi CO_2 ; varietas Deja-2 memberikan respon yang paling adaptif atau tidak terlalu buruk pada penelitian ini, menjadikannya varietas yang paling toleran, sedangkan varietas Dena-1 dan Grobogan memberikan respon yang buruk, di mana varietas Grobogan menunjukkan sensitivitas tertinggi (respon terburuk) terhadap CO_2 dan suhu tinggi.

5.2 Saran

Saran pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apabila dilakukan penelitian yang serupa disarankan untuk menggunakan alat untuk mengukur berapa nilai konsentrasi CO₂ dalam satuan ppm (parts per million) pada tanaman.
2. Sebaiknya sebelum melakukan penelitian perlu mengetahui kondisi lingkungan sekitar tanaman apakah suhu nya sudah sesuai untuk tanaman kedelai dan juga untuk lama tanaman akan mendapatkan sinar matahari perlu diperhatikan sebelum memulai penelitian.
3. Sebelum melakukan penelitian perlu diperhatikan cara pengaplikasian pada tanaman yang sesuai. Pengaplikasian yang tidak merata (botol) menyebabkan bias hasil dan tidak dapat memvalidasi efek CO₂ yang optimal.
4. Perlu dilakukan pengamatan lebar diameter daun untuk melihat apakah banyak jumlah daun sesuai dengan lebar diameter daun.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelhakim, L. O. A., Rong, Z., and Carl, O, O. 2022. Physiological responses of plants to combined drought and heat under elevated CO₂. *Agronomy*. 12(10): 2526.
- Abdullah, T dan Titik, S. 2012. Respons tanaman kedelai terhadap lingkungan tumbuh. *Buletin Palawija*. 23:13-26.
- Adie, M. M., & Krisnawati, A. 2014. Tanggapan genotipe kedelai terhadap lingkungan tropis di Indonesia. *Jurnal Biologi Indonesia*. 10(1), 11-20.
- Adisarwanto, 2013. *Kedelai tropika produktivitas 3 ton/ha*. Penebar Swadaya. Malang.
- Ainsworth, E. A., & Hoepfner, S. S. 2005. Impact of elevated [CO₂] on plant photosynthesis and stomatal conductance: a meta-analysis of reviews on tropical and temperate plant species. *Global Change Biology*. 11(3), 385-403.
- Ainsworth, E. A., and Long, S. P. 2021. The global challenges and opportunities for crop production in a high CO₂ world: The importance of CO₂ x environment interactions. *New Phytologist*. 229(2): 718-724.
- Ainurrohman, S., dan Sudarti. 2022. Analisis Perubahan Iklim dan *Global Warming* yang terjadi sebagai fase kritis. *Jurnal Phi: Jurnal Pendidikan Fisika dan Fisika Terapan*. 8(1): 1-10.
- Amanah, A., Chozin, M. A., & Guntoro, D. 2021. Respons morfologi dan fisiologi beberapa varietas kedelai terhadap berbagai tingkat naungan. *Jurnal Agronomi Indonesia*. 49(2), 143-150.
- Aslam, A.M., Mukhtar, A., Claudio O. Stöckle, Stewart S. Higgins , Fayyaz ul Hassan and Rifat Hayat. 2017. Can *Growing Degree Days* and Photoperiod Predict Spring Wheat Phenology?. *Frontiers in Environmental Science*. 5(7): 3389.
- Craufurd, P. Q., and Wheeler, T. R. 2009. Climate change and the flowering time of annual crops. *Journal of Experimental Botany*. 60(9): 2529–2539.

- Dang, C., Zhenfeng, S., Xiao, H., Qingwei, Z., Gui, C dan Jiabin, Q. 2023. Vegetation greenness and photosynthetic phenology in response to climatic determinants. *Frontiers in Forests and Global Change*. 6: 1172220.
- Dustin, K. R., Crous, K. Y., & Ellsworth, D. S. 2019. Is photosynthesis of C3 plants more sensitive to a change in CO₂ at warmer temperatures?. *Journal of Experimental Botany*. 70(18): 4843–4856.
- Esther, M, S. 2017. Analisis morfologi dan struktur anatomi tanaman kedelai (*Glycine max* L.) pada kondisi tergenang. *Skripsi*. Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institute Teknologi Sepuluh November.
- Guo, Z., Zhang, K., Lin, H., Majcher, B. M., Lee, C. K. F., Still, C. J., & Wu, J. 2023. Plant canopies exhibit stronger thermoregulation capability at the seasonal than diurnal timescales. *Agricultural and Forest Meteorology*. 339:109582.
- Habibillah, D. 2023. Hydrilla photosynthesis process as biochemical reducing agent. *JOANE*. 1(2): 33-36.
- Hampton, J. G., Boelt, B., Rolston, M. P., and Chastain, T. G. 2013. Effects of elevated CO₂ and temperature on seed quality. *Journal of Agricultural Science*. 151: 154–162.
- Hapsari, R. T., dan Adie, M. M. 2010. Peluang perakitan dan pengembangan kedelai toleran genangan. *Jurnal Litbang Pertanian*. 29(2): 50-57.
- Hidayah, N., dan Rahayu, S. A. Sosial, Economic, and Environmental impacts on the increase of Carbon Dioxide (CO₂) Emissions in Indonesia: A Case Study From 1990-2020. *Journal of Economic, Business and Accounting*. 8(1): 2597-5234.
- IPCC: Summary for Policy makers: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. In: Church J, Clark P, Cazenave A, Gregory J, Jevrejeva S, Levermann A, Merrifield M, Milne G, Nerem SR, Nunn P, Payne A, Pfeffer WT, Stammer D, Alakkat U, editors. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. UK: Cambridge University Press; 2013.
- Irma, M. F., dan Eva, G. 2024. Tingginya kenaikan suhu akibat peningkatan emisi gas rumah kaca di Indonesia. *Jurnal Sains dan Sains Terapan*. 2(1): 26-40.
- Jablonski, L. M., Wang, X., and Curtis, P. S. 2002. Plant responses to elevated CO₂ are modulated by CO₂ concentration and nutrient supply: a meta-analysis. *New Phytologist*. 153(2): 441–453.

- Kimball, B. A. 1983. Carbon dioxide and Agricultural yield: An overview. *HortScience*. 18(6): 779-781.
- Manasikana, A. 2019. Pengaruh dosis *Rhizobium* serta macam pupuk NPK terhadap pertumbuhan tanaman kedelai (*Glycine max* (L.) varietas anjasmoro. *Skripsi*. Universitas Islam Negri Walisongo.
- McMaster, S. G. dan W. W. Wilhelm .1997. Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agric. Forest Meteor.* 87, 291–300.
- Misal, V., and Sujeet, D. 2020. To study the phenological stages of soybean crop for crop weather calendar. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 11: 3324-3333.
- Mndela, M., Tjelele, T. J., Madakadze. I. C., Mangwane, M., and Samuels, MI., and Muller, F., and Pule, TH. 2022. A global meta-analysis of woody plant responses to elevated CO₂: implications on biomass, growth, leaf N content, photosynthesis and water relations. *Ecological Processes*. 11(1): 1-21.
- Mujahid, S., Iskandar, L., dan Ahmad, Z. 2023. Pertumbuhan dan produksi empat genotipe kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) dengan cara pemberian N yang berbeda. *Bul. Agrohoori*. 11(3): 424-434.
- P., Praveenkumar., N., K., Sathyamoorthy., Ga., Dheebakaran., and R., Karthikeyan. 2024. Assessment of climate change impact on sorghum (*Sorghum bicolor*) production and adaptation strategies in the western zone of Tamil Nadu. *Journal of Agrometeorology*. 26(2): 181-185.
- Pitojo, S. 2003. *Benih Kedelai*. Kanisius. Yogyakarta.
- Pratama, B. R. H., dan Sugiharto, E. 2021. Adaptasi genotipe tanaman pangan terhadap cekaman lingkungan: Kajian fenologi dan hasil. *Jurnal Agrotek*. 5(2): 112-120.
- Puteh, A. B., Saravia, M. M., Mansor, R., & Mohd-Noor, S. N. (2013). Phenology and GDD requirement of soybean (*Glycine max* L. Merrill) varieties in tropical environment. *Journal of Agricultural Science*. 5(6): 202-211.
- Putri, R. F. 2024. *Kajian awal fenologi dan pertumbuhan vegetatif tanaman sumber karbohidrat saat terjadi EL NINO moderat*. Doctoral dissertation, Universitas Nasional.
- Ruminta , A.W., Irwan, T., Nurmala, G dan Ramadayanty. Analisis dampak perubahan iklim terhadap produksi kedelai dan pilihan adaptasi strategisnya pada lahan tadah hujan di kabupaten Garut. *Jurnal Kultivasi*. 19(2): 1412-4718.

- Saputra, Y., Aliudin., dan Asih, M. 2023. Pengendalian impor Kedelai dalam upaya mewujudkan Ketahanan Pangan Nasional di Kabupaten Serang. *Jurnal Agribisnis Terpadu*. 16(2): 90-98.
- Saputro, A. S. H. 2011. Pengaruh aplikasi bakteri fotosintetik *Synechococcus* sp. terhadap laju fotosintesis tanaman kedelai. *Skripsi*. Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Jember.
- Servina, Y. .2019. Dampak perubahan iklim dan strategi adaptasi tanaman buah dan sayuran di daerah tropis. *Jurnal litbang pertanian*. 3(82): 65-76.
- Soleh, M. A., dan Kokubun, M. (2011). Pengaruh Konsentrasi CO₂ Terhadap Respon Fotosintesis Genotipe Kedelai yang Berbeda dalam Kapasitas Bintil Akar. *Zuriat*. 22(1): 1–10.
- Soleh, M. A., dan Kokubun, M. 2018. Peningkatan konsentrasi CO₂ dan Suhu menyebabkan penurunan laju pembukaan stomata serta hasil berat kering tanaman kedelai elevated [CO₂] dan temperature will reduce stomata conductance and dry matter production of soybean. *Jurnal Agrotek Indonesia*. 31: 34-38.
- Sowjanya, B.A., Narayana, B.D., and Shreyas, S. 2019. Enhancement of photosynthetic efficiency of C3 plants. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 8(3): 775–786.
- Sulaminasih., Eddy, S., Alexander, R., Muhammad, S., Anita, N., dan Muchdir, AR. 2024. Dampak perubahan iklim terhadap peningkatan dan penurunan produktivitas tanaman pangan. *Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran*. 7(3): 2655-6022.
- Sutoyo, 2011. Masalah dan peranan CO₂ pada produksi tanaman. *Buana Sains*. 11(1): 83-90.
- Walker, B. J., VanLoocke, A., Bernacchi, C. J., & Ort, D. R. (2016). The costs of photorespiration to food crop yields in the united states. *Annual Review of Plant Biology*. 67(1): 107-133.
- 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.
- Zheng, Y., Fei, L., Lihua, H., Jingjin, Y., Lili, G., Haoran, Z., Chao, M., Xixi, Z., and Ming, X. 2011. Effects of elevated CO₂ and N addition on growth and N₂ fixation of a legume subshrub (*Caragana microphylla* lam.) in temperate grassland in China. *PLoS One*. 6(11): 26842.