

**PERIODE KRITIS PERTUMBUHAN TANAMAN KACANG HIJAU
(*Vigna radiata*) PADA CEKAMAN AIR**

SKRIPSI



**A. MARWAH
1684205012**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN BIOLOGI
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS MUSLIM MAROS
TAHUN 2020**

**PERIODE KRITIS PERTUMBUHAN TANAMAN KACANG HIJAU
(*Vigna radiata*) PADA CEKAMAN AIR**

SKRIPSI

Diajukan pada Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Muslim Maros untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Pendidikan

**A. MARWAH
1684205012**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN BIOLOGI
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS MUSLIM MAROS
TAHUN 2020**

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

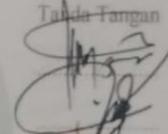
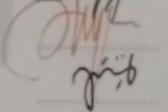
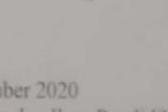
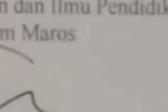
PERIODE KRISIS TANAMAN KACANG HIJAU
(VIGNA RADIATA) PADA CEKAMAN AIR

disusun oleh:

A. Marwah
1684205012

Telah diujikan dan diseminarkan
pada tanggal 05 Agustus 2020

TIM PENGUJI

Nama	Jabatan	Tanda Tangan
Hikmah Rusdi, S.Pd.,M.Pd	Ketua	
Sri Maya, S.Pd.,M.Pd	Anggota	
A.Muhajir Nasir, M.Pd.	Anggota	
Novalia Tanasy, S.Pd.,M.Pd	Anggota	

Maros, 26 September 2020
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Muslim Maros



Hikmah Rusdi, S. Pd. M. Pd.
NIDN. 0919128802

Abstrak

A. Marwah. 2020. Periode Kritis Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata*) pada Cekaman Air (Dibimbing oleh Hikmah Rusdi dan Sri Maya).

Kacang hijau (*Vigna radiata*) merupakan tanaman pangan semusim berupa semak yang tumbuh tegak. Periode kritis merupakan periode tanaman memerlukan sejumlah air tertentu pada fase pertumbuhannya. Kondisi cekaman air sangat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui periode krisis tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) pada cekaman air. Penelitian ini dilakukan secara eksperimen dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan satu faktor dan 7 kelompok perlakuan, masing-masing perlakuan terdiri dari 4 ulangan. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah perlakuan cekaman air pada tumbuhan kacang hijau (*Vigna radiata*) pada periode tertentu yaitu pada umur 8-21 HST, 15-28 HST, 43-56 HST, 36-49 HST, 29-42 HST, dan 22-35 HST. Data dianalisis menggunakan statistik ANOVA dan uji jarak Duncan dengan parameter tinggi batang, jumlah daun, luas daun, dan panjang akar. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa cekaman air pada umur 15-28 HST memperlihatkan pertumbuhan tanaman yang cenderung kecil dibandingkan yang lainnya dengan rata-rata tinggi batang (22.76 cm), jumlah helai daun (8.78), luas daun (10.88 cm²), dan panjang akar (11.37 cm) pada tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*).

Kata kunci: cekaman air, kacang hijau (*Vigna radiata*), periode kritis, pertumbuhan

Abstract

A. Marwah. 2020. Critical Period for Mung Bean (*Vigna radiata*) Plants in Water Stress (Supervised by Hikmah Rusdi and Sri Maya).

Green beans (*Vigna radiata*) are annual food crops in the form of shrubs that grow upright. The critical period is the period when plants need a certain amount of water in the growth phase. Water stress conditions greatly affect plant growth and development. This study aims to determine the crisis period of green bean plants (*Vigna radiata*) in water stress. This research was conducted experimentally using a completely randomized design (CRD) with one factor and 7 treatment groups, each treatment consisting of 4 replications. The independent variable in this study is the treatment of water stress on green bean plants (*Vigna radiata*) at certain periods, namely at the age of 8-21 HST, 15-28 HST, 43-56 HST, 36-49 HST, 29-42 HST, and 22 -35 HST. Data were analyzed using ANOVA statistics and Duncan's distance test with parameters of stem height, number of leaves, leaf area, and root length. The results of this study indicate that water stress at the age of 15-28 HST shows that plant growth tends to be small compared to others with an average stem height (22.76 cm), number of leaves (8.78), leaf area (10.88 cm²), and root length (11.37 cm) in green bean plants (*Vigna radiata*).

Keywords: water stress, green beans (*Vigna radiata*), crisis period, growth

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : A. Marwah
NIM : 1684205012
Tempat/Tanggal Lahir : Makassar, 20 Agustus 1998
Jurusan : Biologi
Program Studi : Pendidikan Biologi
Alamat : Jln. Arung Teko, Malewang

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi dengan judul “Periode Krisis Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata*) Pada Cekaman Air”, adalah benar asli karya saya dan bukan jiplakan ataupun plagiat dari karya orang lain. Jika kemudian hari terbukti bahwa pernyataan saya ini tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa batalnya gelar saya, maupun sanksi pidana atas perbuatan saya tersebut.

Demikian pernyataan ini saya buat atas kesadaran saya sebagai civitas akademik Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Muslim Maros.

Maros, Juli 2020

Yang membuat



A. Marwah

PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK

Sebagai civitas akademik FKIP UMMA, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : A. Marwah

Nim : 1684205012

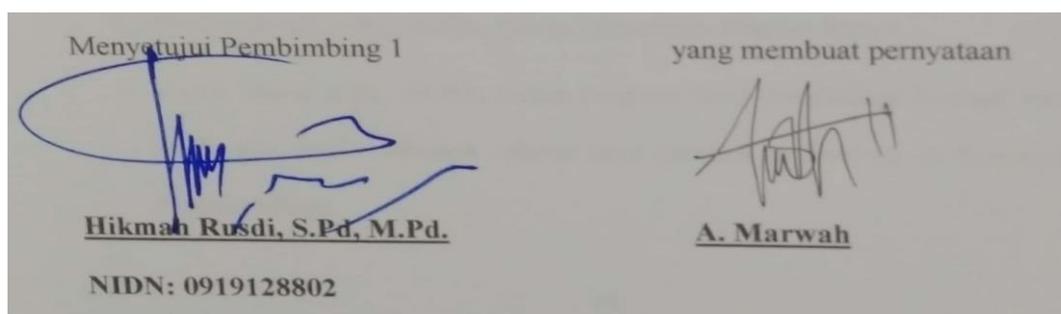
Program Studi : Pendidikan Biologi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada FKIP UMMA Maros Hak Bebas Royalti Noneklusif (*Non- exclusiv Royaly-Free Right*) atas skripsi yang berjudul “Periode krisis tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) pada cekaman air” Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas Royalti Noneksektif ini fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan UMMA Maros berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis pencipta dan sebagai Pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Maros

Pada tanggal : 20 juli 2020



KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil‘alamin segala puji hanya milik Allah swt, atas rahmat dan hidayahnya yang senantiasa dicurahkan kepada penulis dalam menyusun skripsi ini hingga selesai. Salam dan shalawat senantiasa penulis hanturkan kepada Rasulullah Sallallahu‘ Alaihi Wassalam sebagai satu-satunya uswatun hasanah, petunjuk jalan kebenaran dalam menjalankan aktivitas keseharian kita.

Selanjutnya, Penulis menyadari sepenuhnya akan kemampuan dan kekurangan dalam menyusun skripsi ini. Oleh karena itu, penulis tidak lepas dari Bimbingan, Bantuan, serta motivasi semua pihak baik secara langsung maupun tidak langsung dalam membantu penyusunan skripsi ini. Rasa terima kasih teristimewa kepada kedua orang tua penulis ibu ST. Sinar dan Ayahanda Muh. Jufri serta segenap keluarga besar yang telah mengasuh, membimbing, mengarahkan segala usaha dan membiayai ananda selama dalam pendidikan, sampai selesainya skripsi ini, kepada beliau penulis senantiasa memanjatkan doa semoga Allah swt, mengasihi, menyanyagi, merahmati, memberkati dan mengampuni dosanya.

Selanjutnya ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Nurul Ilmi Idrus, M.Sc., Ph.D., Rektor Universitas Muslim Maros
2. Hikmah Rusdi, S.Pd., M.Pd., Dekan Universitas Muslim Maros
3. Warda Murti, S.Pd., M.Pd., Ketua Program Studi Pendidikan Biologi terima kasih atas segala ilmunya selama saya menjadi mahasiswa di Universitas Muslim Maros.

4. Hikmah Rusdi, S.Pd, M.Pd., pembimbing I yang senantiasa meluangkan waktu, tenaga, pikiran, motivasi, dan arahnya terhadap penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.
5. Sri Maya, S.Pd., M.Pd., Pembimbing II yang senantiasa memberi semangat, meluangkan waktu, tenaga, pikiran, motivasi, dan juga arahnya terhadap penulis dalam menyusun skripsi ini baik melalui tatap muka dalam forum diskusi saat bimbingan maupun tidak tatap muka melalui percakapan media sosial.
6. Dosen Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Muslim Maros tanpa terkecuali terima kasih atas ilmu dan bimbingannya selama penulis menjadi mahasiswa Universitas Muslim Maros.
7. Keluarga HIMABIO 2016 serta adik-adik Pengurus HIMABIO 2019-2020 terima kasih atas kebersamaan dan semangat yang telah diberikan kepada penulis.
8. Keluarga Biologi 1 dan Biologi 2 terima kasih telah menemani penulis disaat suka maupun duka selama menempuh pendidikan di bangku Perkuliahan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Muslim Maros.

Melalui kesempatan ini penulis mengharapkan kritik dan saran yang mendidik dan berharap semoga karya sederhana ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca .

Maros, Juli 2020

A. Marwah

DAFTAR ISI

1. SAMPUL	i
2. HALAMAN JUDUL	ii
3. HALAMAN PERSETUJUAN	iii
4. ABSTRAK	iv
5. ABSTRACT	v
6. PERNYATAAN KEASLIAN	vi
7. PERSETUJUAN PUBLIKASI	vii
8. KATA PENGANTAR	viii
9. DAFTAR ISI	x
10. DAFTAR TABEL	xii
11. DAFTAR GAMBAR	xiii
12. BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah/ Pertanyaan Penelitian	4
C. Tujuan Penelitian	5
D. Manfaat Penelitian	5
E. Batasan Istilah	5
13. BAB II KAJIAN PUSTAKA	7
A. Deskripsi Teori	7
B. Kerangka Pikir	33
C. Hipotesis Penelitian	35
14. BAB III METODE PENELITIAN	37
A. Jenis dan Desain Penelitian	37
B. Waktu dan Tempat Penelitian	38
C. Variabel	38
D. Prosedur Pelaksanaan Penelitian	38
E. Teknik Pengumpulan Data	40
F. Teknik Analisis Data	41

15. HASIL PENELITIAN	42
A. Hasil Pengamatan	42
B. Pembahasan	52
16. SIMPULAN DAN SARAN	55
A. SIMPULAN	55
B. SARAN	55
17. DAFTAR PUSTAKA	57
18. LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

1. Tabel 3.1 Aturan Penyiraman	37
2. Tabel 4.1 Rata-rata tinggi batang	42
3. Tabel 4.2 uji jarak Duncan taraf 5 % pada Tinggi Batang	44
4. Tabel 4.3 Rata-rata jumlah daun	45
5. Tabel 4.4 Uji jarak Duncan taraf 5 % pada rata-rata jumlah daun	46
6. Tabel 4.5 Rata-rata Luas Daun	47
7. Tabel 4.6 Uji jarak Duncan taraf pada Luas Daun 5 %	49
8. Tabel 4.7 Rata-rata Panjang Akar setiap Ulangan	50
9. Tabel 4.8 jarak Duncan pada panjang akar taraf 5 %	51

DAFTAR GAMBAR

1. Gambar 2.1 kacang hijau	7
2. Gambar 2.2 akar kacang hijau	8
3. Gambar 2.3 Kerangka pikir	34
4. Gambar 4.1 Grafik Rata-rata Tinggi Batang	43
5. Gambar 4.2 Grafik Jumlah daun	45
6. Gambar 4.3 grafik rata-rata luas daun	48
7. Gambar 4.4 grafik rata-rata panjang akar	5

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pertumbuhan dan perkembangan merupakan salah satu ciri makhluk hidup. Pertumbuhan adalah perubahan ukuran yang terjadi pada makhluk hidup. Sedangkan perkembangan adalah proses terdiferensiasinya sel-sel menuju struktur dan fungsi tertentu yang mengakibatkan perubahan pada makhluk hidup. (Yusa, 2016)

Pertumbuhan dan perkembangan tanaman merupakan proses yang penting dalam kehidupan dan perkembangbiakan suatu spesies. Tersedianya meristem, hasil asimilasi, hormon dan substansi pertumbuhan, serta lingkungan yang mendukung mengakibatkan pertumbuhan dan perkembangan berlangsung secara terus-menerus sepanjang daur hidup tanaman. (Gardner, Pearce, & Mitchell, 2008)

Pertumbuhan dan perkembangan merupakan suatu proses hasil interaksi antara faktor dalam (*internal*) dan faktor luar (*eksternal*). (Yusa, 2016) Faktor dalam (*internal*) adalah faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan dari dalam tubuh tumbuhan. Adapun faktor luar (*eksternal*) adalah faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan dari luar tubuh tumbuhan. Air merupakan salah satu faktor luar (*eksternal*) yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Air dalam tanah mengandung garam-garam mineral. Air dan mineral ini berperan dalam pengaturan osmoregulasi sel dan membantu dalam

berbagai reaksi kimia dalam sel. Proses-proses yang dipengaruhi oleh kadar air yaitu fotosintesis, transpirasi, respirasi, dan reaksi metabolisme lainnya. (Yusa, 2016)

Air membantu berlangsungnya proses fotosintesis pada tumbuhan. Air dalam fotosintesis berperan penting sebagai penyedia ion H^+ melalui proses fotolisis air. Jika fotosintesis tidak berlangsung lancar, akan memengaruhi ketersediaan makanan. Ketersediaan makanan secara tidak langsung memengaruhi pembelahan sel yang berpengaruh juga terhadap pertumbuhan dan perkembangan. (Yusa, 2016)

Air merupakan substrat fotosintesis, tetapi hanya sekitar 0,1 % dari jumlah air total digunakan oleh tumbuhan untuk fotosintesis. Transpirasi meliputi 99 % dari seluruh air yang digunakan oleh tumbuhan, kira-kira 1 % digunakan untuk membasahi tumbuhan, mempertahankan tekanan turgor, dan memungkinkan terjadinya pertumbuhan. (Gardner et al., 2008)

Tanaman membutuhkan air berbeda-beda hal ini dipengaruhi oleh jenis tanaman. Tanaman yang tidak mendapatkan ketersediaan air yang cukup, akan mempengaruhi morfologi dan fisiologi pertumbuhan dan hasil tanaman tersebut. (Moctava, Koesriharti, & Dawam, 2013). Kekurangan air dapat mengakibatkan terhambatnya proses fotosintesis, hal ini diakibatkan karena mekanisme stomata maupun non stomata. Stomata merupakan salah satu respon awal dari tanaman dalam menghadapi cekaman air yang akhirnya menyebabkan laju fotosintesis mengalami penurunan. (Anggraini, Faridah, & Indrioko, 2016).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Aggraini, Faridah & Indrioko. (2016), menyatakan : (1) Semakin rendah volume penyiraman maka laju fotosintesis, laju transpirasi, konduktansi stomata, serta pertumbuhan (tinggi, diameter, berat kering tajuk, dan akar) akan semakin rendah. (2) Semakin lama interval penyiraman maka laju fotosintesis, laju transpirasi, konduktansi stomata, serta pertumbuhan (tinggi, diameter, berat kering tajuk, akar, rasio tajuk akar) akan semakin rendah.

Periode kritis merupakan periode tanaman memerlukan sejumlah air tertentu pada fase pertumbuhannya. Apabila pada periode tersebut kebutuhan air tidak terpenuhi maka tanaman akan mengalami tanggap morfologis. (Widiyono & Hidayati, 2005a, pp. 389–390). Setiap tanaman membutuhkan volume air yang berbeda tergantung pada jenis tanamannya. Ketika air pada tanaman tidak mencukupi maka akan mempengaruhi morfologi dan fisiologis sehingga pertumbuhan dan hasil tanaman akan mengalami penurunan. (Moctava et al., 2013, p. 91) Kondisi cekaman air sangat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Tanaman yang diberi perlakuan cekaman air menunjukkan respons yang berbeda-beda sesuai kemampuan tanaman dalam mengubah morfologi dan mengatur mekanisme fisiologi tubuhnya. (Moctava et al., 2013, p. 93).

Periode cekaman air berpengaruh terhadap kadar air tanah, jumlah daun, panjang akar, hasil dan komponen hasil kacang tanah. (Pratiwi & Rahmianna, 2010). Periode kritis kacang hijau (*Vigna radiata*) terhadap ketersediaan air adalah pada saat menjelang berbunga (umur 25 hari) dan

pengisian polong (45 - 50 hari), sehingga jika kekurangan air pada periode tersebut perlu dilakukan pengairan. (Anggraini et al., 2016)

Menurut (Ai & Torey, 2013) tanaman yang resisten terhadap kekurangan air akan menunjukkan karakter morfologi akar. Pada saat tanaman kekurangan air, tanaman akan mengalami pemanjangan akar ke lapisan tanah yang lebih dalam, penambahan luas dan kedalaman sistem perakaran, penambahan volume akar, peningkatan berat jenis akar dan resistensi longitudinal pada akar, lebih tingginya rasio akar dan tajuk serta rasio panjang akar dan tinggi tanaman, perluasan distribusi akar secara horizontal dan vertikal, lebih besarnya berat kering akar pada genotipe tanaman yang lebih tahan kering, daya tembus akar yang tinggi, penambahan volume akar, peningkatan berat jenis akar dan resistensi longitudinal pada akar, daya tembus akar yang tinggi, lebih tingginya rasio akar dan tajuk serta rasio panjang akar dan tinggi tanaman.

Cekaman air berpengaruh pada penyusutan luas daun tanaman. Semakin besar cekaman air yang diberikan maka semakin besar pula penyusutan luas daun tanaman. Peningkatan cekaman air akan menurunkan kandungan klorofil daun, sehingga dapat menghambat proses fotosintesis tanaman. (Rahardjo & Darwati, 2000)

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka rumusan masalah dari penelitian ini yaitu bagaimana periode kritis pertumbuhan tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) pada cekaman air.

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui periode kritis pertumbuhan tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) pada cekaman air.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu diperoleh pengetahuan mengenai periode kritis tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) pada cekaman air.

E. Batasan Istilah

Agar tidak bias dalam memahami permasalahan, maka peneliti membuat batasan istilah dengan bahan acuan dalam melakukan penelitian, yaitu sebagai berikut:

1. Periode Kritis

Periode kritis merupakan periode tanaman memerlukan sejumlah air tertentu pada fase pertumbuhannya, dimana fase pertumbuhan pada kacang hijau (*Vigna radiata*) yaitu fase pertumbuhan vegetatif sekitar umur 15-28 hari setelah tanam, fase pembentukan dan pemasakan biji sekitar umur 29 – 42 hari setelah tanam. Apabila pada periode tersebut kebutuhan air tidak terpenuhi maka tanaman akan mengalami tanggap morfologis. (Widiyono & Hidayati, 2005a, pp. 389–390).

2. Kacang Hijau (*Vigna radiata*)

Kacang hijau (*Vigna radiata*) merupakan tanaman pangan semusim berupa semak yang tumbuh tegak. Tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) ini diduga berasal dari India. Di awal abad ke-17, kacang hijau (*Vigna radiata*) mulai menyebar ke berbagai negara Asia tropis termasuk

Indonesia. Tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) adalah tanaman semusim berumur pendek (60 hari). Panen kacang hijau (*Vigna radiata*) dilakukan beberapa kali dan berakhir pada hari ke-60 setelah tanam. (Purwono & Hartono, 2005)

3. Cekaman air

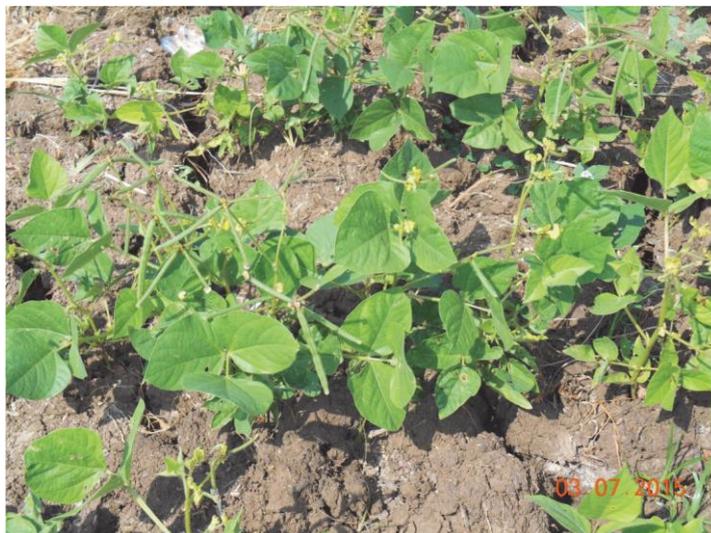
Cekaman air pada penelitian ini yaitu perlakuan penyiraman diatur seperti tertera pada tabel 3.1 Tanaman tercekam (tanda -) diberi perlakuan cekaman air yaitu tanpa penyiraman dan tidak tercekam (tanda x) mendapat penyiraman sesuai dengan volume air 500 ml selama 2 hari sekali.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

A. Deskripsi Teori

1. Kacang Hijau (*Vigna radiata*)

Kacang hijau (*Vigna radiata*) merupakan tanaman pangan semusim berupa semak yang tumbuh tegak. Tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) ini diduga berasal dari India. Di awal abad ke-17, kacang hijau (*Vigna radiata*) mulai menyebar ke berbagai negara Asia tropis termasuk Indonesia. Tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) adalah tanaman semusim berumur pendek (60 hari). (Purwono & Hartono, 2005, p. 12)



Gambar 2.1 kacang hijau
Sumber : (Brondong, 2015)

Tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) termasuk suku (*famili*) *Leguminosae* yang banyak varietasnya. Kedudukan tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) dalam taksonomi tumbuhan diklasifikasikan sebagai berikut :

Kingdom : *Plantae*

Divisi : *Spermatophyta*

Subdivisi : *Angiospermae*

Kelas : *Dicotyledonae*

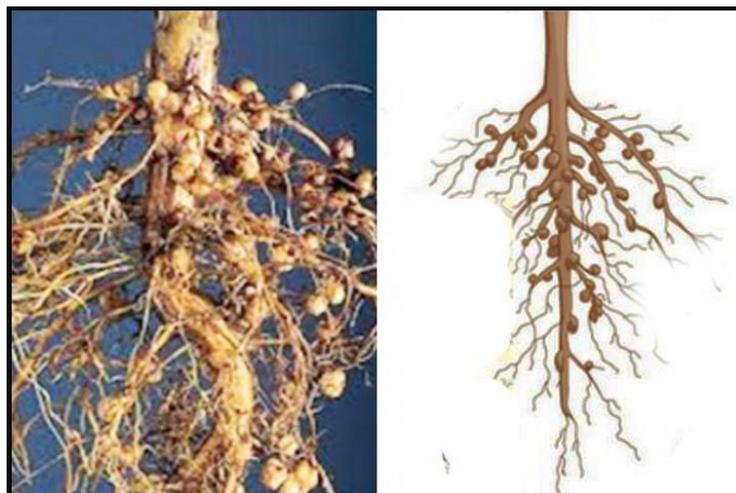
Ordo : *Rosales*

Famili : *Leguminosae*

Genus : *Vigna*

Spesies : *Vigna radiata*

Kacang hijau (*Vigna radiata*) memiliki morfologi yang terdiri atas akar, batang, daun, bunga, buah, dan biji. Tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) memiliki akar yang bercabang banyak dan membentuk bintil-bintil (*nodula*) akar. Makin banyak nodula akar, makin tinggi kandungan nitrogen (N) sehingga menyuburkan tanah. (Rukmana, 1997, pp. 16–17)



Gambar 2.2 akar kacang hijau
Sumber: (Azzamy, 2016)

Batang tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) berukuran kecil, berbulu, berwarna hijau kecoklat-cokelatan, atau kemerah-merahan, tumbuh tegak mencapai ketinggian 30 cm – 110 cm dan bercabang menyebar ke semua arah. Daun tumbuh majemuk, tiga helai anak daun per tangkai. Helai daun berbentuk oval dengan ujung lancip dan berwarna hijau. (Rukmana, 1997, pp. 16–17)

Kacang hijau (*Vigna radiata*) memiliki bunga berkelamin sempurna (*Hermaphrodite*), berwarna kuning, dan berbentuk kupu-kupu. Sedangkan Buah berpolong, panjangnya antara 6 cm – 15 cm. tiap polong, berisi 6 – 16 butir biji serta berwarna hijau sampai hitam keunguan. Biji tersebut berbentuk bulat kecil dengan bobot (berat) tiap butir 0,5 mg – 0,8 mg atau berat per 1000 butir antara 36 g – 78 g, berwarna hijau sampai hijau mengilap. (Rukmana, 1997, pp. 16–17)

Kacang hijau (*Vigna radiata*) termasuk jenis tanaman yang tahan kekeringan dan dapat tumbuh pada tanah yang kurang subur, meskipun demikian tetap menjadi faktor pembatas pertumbuhan dan perkembangan kacang hijau (*Vigna radiata*). (Purwaningrahayu, Trustinah, Anwari, & Radjit, 2015)

2. Air

a. Karakteristik Molekul Air

Berbentuk cair pada suhu ruang. Suatu senyawa akan cenderung berbentuk cair atau padat apabila ukuran molekul suatu

senyawa besar, sedangkan senyawa yang cenderung berbentuk cair atau gas memiliki ukuran molekul kecil. (Lakitan, 1993)

Hidrokarbon bermolekul kecil (*methana, ethana, propana, dan butana*) semua berbentuk gas pada suhu kamar. Berat molekul dari senyawa-senyawa hidrokarbon ini berturut-turut adalah 16, 30, 44, dan 58 g/mol. Karbondioksida dengan berat molekul 44 g/mol juga berbentuk gas pada suhu ruang. Tetapi, air dengan berat molekul hanya 18 g/mol, berbentuk cair pada suhu ruang. (Lakitan, 1993)

Ikatan hidrogen antara molekul-molekul air akan menyebabkan molekul air yang berbentuk cair pada suhu ruang, karena ikatan hidrogen tersebut tiap molekul air tidak mudah terlepas dan berubah bentuk menjadi gas. Antara molekul hidrokarbon cair hanya terdapat ikatan waals yang lemah, sehingga mudah putus dan berubah menjadi gas. (Lakitan, 1993)

Panas spesifik yang tinggi. Panas spesifik molekul air merupakan jumlah energi yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu 1 g air murni setinggi 1^o C. Besarnya energi tersebut adalah 1 cal (1000 cal = 1 kcal = 1 Cal). Satuan SI untuk energi panas adalah Joule (J), dimana 1 cal = 4,184 J. Tumbuhan banyak mengandung air di dalam sel-selnya. Hal ini menyebabkan suhu tumbuhan relative stabil walaupun menerima atau kehilangan energi. (Lakitan, 1993)

Panas laten vaporisasi dan fusi tinggi. Energi yang dibutuhkan untuk menguapkan 1 g air pada suhu 20^o C disebut Panas

laten vaporisasi, besarnya energi panas laten vaporisasi air adalah 586 cal, sedangkan energi yang dibutuhkan untuk mencairkan 1 g es pada suhu 0^o C disebut panas laten fusi, besarnya energi untuk panas laten fusi adalah 80 cal. (Lakitan, 1993)

Tingginya energi yang dibutuhkan untuk menguapkan air ini sekali lagi disebabkan oleh adanya ikatan hidrogen. Bagi tumbuhan, tingginya panas laten vaporisasi ini penting artinya dalam upaya untuk menjaga stabilitas suhu daun melalui proses transpirasi. (Lakitan, 1993)

Viskositas rendah. Air dapat mengalir dengan mudah dalam jaringan tumbuhan karena pada air dalam keadaan cair, setiap ikatan hidrogen dimiliki bersama-sama oleh 2 molekul air lainnya, sehingga ikatan hidrogen tersebut menjadi lemah dan mudah putus. Pada kondisi padat, setiap atom O memiliki lebih sedikit ikatan hidrogen, sehingga masing-masing ikatan akan lebih kuat. Viskositas air akan menurun jika suhunya meningkat. (Lakitan, 1993)

Adanya gaya kohesi dan adhesi. Kohesi adalah Daya tarik menarik antara molekul yang sejenis (misalnya antara sesama molekul air). Molekul air, tarik menarik ini melibatkan ikatan hidrogen Adanya gaya kohesi ini yang memungkinkan air diangkut dalam pembuluh xylem dari akar ke daun. Sedangkan adhesi adalah daya tarik menarik antara molekul yang tak sejenis. Karena air bersifat polar, maka akan mudah terjadi tarik menarik antara molekul

air dengan berbagai molekul lainnya, misalnya dengan protein dan polisakarida penyusun dinding sel. (Lakitan, 1993)

b. Fungsi Air bagi Tumbuhan dan Ketersediaan Air Tanah

Suatu tumbuhan yang tumbuh dengan cepat terutama terdiri dari air. Kandungan air bervariasi antara 70 dan 90 %, tergantung pada umur, spesies, jaringan tertentu dan lingkungan. Air dibutuhkan untuk bermacam-macam fungsi tanaman :

- 1) Pelarut dan medium untuk reaksi kimia.
- 2) Medium untuk transport, zat pelarut organik dan anorganik.
- 3) Medium yang memberikan turgor pada sel tanaman. Turgor menggalakkan pembesaran sel, struktur tanaman dan penempatan daun.
- 4) Hidrasi dan netralisasi muatan pada molekul-molekul koloid. Untuk enzim, air hidrasi membantu memelihara struktur dan memudahkan fungsi katalisis.
- 5) Bahan baku untuk fotosintesis, proses hidrolisis dan reaksi-reaksi kimia lainnya dalam tumbuhan.
- 6) Evaporasi air (*transpirasi*) untuk mendinginkan permukaan tanaman. (Gardner et al., 2008)

Karena adanya kebutuhan air yang tinggi dan pentingnya air, tumbuhan memerlukan sumber air yang tetap untuk tumbuh dan berkembang. Setiap kali air menjadi terbatas, pertumbuhan berkurang. (Gardner et al., 2008)

Perakaran tanaman tumbuh ke dalam tanah yang lembab dan menarik air sampai tercapai potensial air kritis dalam tanah. Air yang dapat diserap dari tanah oleh akar tanaman, disebut air yang tersedia, merupakan perbedaan antara jumlah air dalam tanah pada *kapasitas lapang* (air yang tetap tersimpan dalam tanah yang tidak mengalir ke bawah karena gaya gravitasi) dan jumlah air dalam tanah pada *persentase pelayuan permanen* (pada persentase kelembapan tanah ini tanaman akan layu dan tidak akan segar kembali dalam atmosfer dengan kelembapan relative 100 %). (Gardner et al., 2008)

Ketersediaan kelembapan tanah dipengaruhi oleh *sifat koloidal* (yaitu luas permukaan partikel-partikel tanah). Pada tanah liat, sekitar 20 % dari beratnya merupakan kelembapan yang tersedia, berdasarkan volume tanah, pada kapasitas lapang tanah liat mengandung sekitar 17 cm air yang tersedia per meter kedalaman tanah, tanah liat yang bertekstur lebih halus pada kapasitas lapang dapat memasok air sekitar 25 cm (10 inci) air ke tanaman yang mempunyai perakaran yang masuk sedalam 1,5 m (5 kaki) ke dalam tanah. Sedangkan tanah yang bertekstur lebih kasar, seperti misalnya pasir halus, hanya 7 % dari beratnya merupakan kelembapan yang tersedia, dan berdasarkan volume tanah, pada kapasitas lapang pasir halus kurang dari 8 cm. (Gardner et al., 2008)

3. Evapotranspirasi

Evapotranspirasi (ET) adalah jumlah total air yang hilang dari lapangan karena evaporasi tanah dan transpirasi tanaman secara bersama-sama. (Gardner et al., 2008)

Evaporasi merupakan suatu proses yang tergantung energi yang meliputi perubahan sifat dari fase cairan ke fase gas.

1) Faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi evapotranspirasi

Faktor-faktor lingkungan dan faktor dalam tanaman akan mempengaruhi Kehilangan air ke atmosfer. Pengaruh lingkungan terhadap ET disebut tuntutan atmosfer atau tuntutan evaporasi. Makin besar tuntutan atmosfer, makin cepat dapat dievaporasikan air dari permukaan air yang bebas. Faktor-faktor berikut mempengaruhi tuntutan atmosfer (Gardner et al., 2008):

Radiasi matahari. radiasi matahari yang diserap oleh daun 75 sampai 85 % digunakan untuk memanaskan daun dan untuk transpirasi. Peningkatan radiasi meningkatkan tuntutan atmosfer, sedangkan sisanya yaitu 1 sampai 5 % digunakan untuk fotosintesis.

Temperatur. Peningkatan temperatur meningkatkan kapasitas udara untuk menyimpan air. *Kelembapan relatif.* Makin besar kandungan air di udara, makin tinggi Ψ_{udara} , yang berarti tuntutan atmosfer menurun dengan meningkatnya kelembapan relative.

Angin. Transpirasi terjadi apabila air berdifusi melalui stomata. Terbentuk penghambat landaian difusi di sekitar stomata dalam udara

yang sangat tenang. Hal ini berarti bahwa air yang sedang berdifusi dari bagian dalam daun yang basah hampir menyamai air yang terbentuk di luar daun, yang mengurangi landaian difusi dan karenanya mengurangi transpirasi. Apabila aliran udara (angin) menghembus udara lembap di permukaan daun, perbedaan potensial air di dalam dan tepat di luar lubang stomata akan meningkat dan difusi bersih air dari daun juga meningkat.

2) Faktor-faktor tanaman yang mempengaruhi evapotranspirasi

Penutupan stomata. Sebagian besar transpirasi terjadi melalui stomata karena kutikula secara relative tidak tembus air, dan hanya sedikit transpirasi yang terjadi apabila stomata tertutup. Dengan terbuka stomata lebih lebar, lebih banyak pula kehilangan air. (Gardner et al., 2008)

Jumlah dan ukuran stomata. Jumlah dan ukuran stomata, yang dipengaruhi oleh genotipe dan lingkungan, mempunyai pengaruh yang lebih sedikit terhadap terhadap transpirasi total daripada pembukaan dan penutupan stomata. (Gardner et al., 2008)

Jumlah daun. Makin luas daerah permukaan daun, makin besar ET. *Penggulungan dan pelipatan daun.* Beberapa spesies rumput-rumputan seperti jagung, mengurangi daerah daun yang terbuka dengan cara menggulungan daun, sedangkan banyak yang lain, seperti rumput biru, mengurangi daerah daun yang terbuka dengan cara pelipatan daun. Tumbuhan berdaun lebar mempunyai mekanisme

yang lain untuk mengurangi kehilangan air. Misalnya kedelai mempunyai kecenderungan untuk menggulung daunnya ke atas sehingga bulu-bulu keperakan (rambut) di atas permukaan bawah daun yang terbuka dapat merefleksikan lebih banyak cahaya. (Gardner et al., 2008)

Kedalaman dan proliferasi akar. Ketersediaan dan pengambilan kelembapan tanah oleh tanaman budidaya sangat bergantung pada kedalaman dan proliferasi akar. Perakaran yang lebih dalam meningkatkan ketersediaan air, dan proliferasi akar (akar persatuan volume tanah) meningkatkan pengambilan air dari suatu satuan volume tanah sebelum terjadi pelayuan permanen. (Gardner et al., 2008)

4. Kekurangan Kelembapan

Air seringkali membatasi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Respons tanaman terhadap kekurangan air itu relatif terhadap aktivitas metaboliknya, morfologinya, dan tingkat pertumbuhannya. Pengaruh kekurangan air selama tingkat vegetative ialah berkembangnya daun-daun yang lebih kecil, yang dapat mengurangi harga LAI pada saat dewasa dan berakibat kurangnya penyerapan cahaya oleh tanaman. Sintesis klorofil dibatasi pada kekurangan air yang lebih besar. (Gardner et al., 2008)

Dengan berkurangnya potensial air, hormon tanaman juga berubah konsentrasinya. Misalnya, asam absisat (*abscisic acid* = ABA)

meningkat dalam daun dan buah. Penimbunan ABA merangsang penutupan stomata, yang mengakibatkan berkurangnya asimilasi CO₂ daun yang lebih tua dan buah seringkali gugur bila akumulasinya tinggi. Tidak seluruh tanaman menunjukkan peningkatan ABA dengan berkurangnya kelembapan. Sitokinin dan etilen dapat meniadakan pengaruh ABA dan sering meningkat apabila ABA meningkat. Hal ini mungkin dapat menjelaskan terjadinya pemasakan buah yang lebih cepat dalam kondisi kekurangan air. (Gardner et al., 2008)

Dalam kondisi kekurangan air yang sedang hingga parah, asam amino *prolin* konsentrasinya meningkat lebih daripada asam amino lainnya. Prolin membantu toleransi terhadap kekeringan. Pada tingkat kekurangan air yang ekstrim, respirasi, asimilasi CO₂, translokasi hasil asimilasi, dan transport xylem secara cepat berkurang sampai ke tingkat lebih rendah sedangkan aktifitas enzim hidrolisis meningkat. (Gardner et al., 2008)

Tanaman yang kekurangan air yang tumbuh di tanah dengan tingkatan air pada pelayuan permanen biasanya akan segar kembali setelah dialiri bila pelayuannya hanya sebentar. Namun daun yang tua mungkin gugur, daun yang baru mungkin ukurannya lebih kecil, dan dibutuhkan beberapa hari untuk mencapai fotosintesis daun tingkat sebelum kekurangan air. (Gardner et al., 2008)

5. Cekaman Air

Cekaman Air telah memberikan pengaruh yang buruk bagi produktivitas dan produksi pangan dunia. Sesuai perkiraan WHO, kekeringan telah menyebabkan kematian dari separuh penduduk dunia yang mati akibat bencana alam. Sejalan dengan adanya perubahan iklim, telah diprediksi bahwa pola curah hujan di dunia diperkirakan akan mengalami perubahan, yaitu akan menjadi curah hujan yang lebat secara eratik atau malah kekeringan yang panjang akan terjadi (Rogers et al., 2004). Oleh karena itu, cekaman air akan berlanjut sebagai ancaman terhadap produksi pangan dunia karena air yang terbatas akan menyebabkan cekaman air yang membatasi produksi pangan penting di dunia. (Rogers et al., 2004)

Kebutuhan terhadap suatu alternatif yang baru untuk sistem pertanian yang berkelanjutan, seperti tanaman yang toleran kekeringan, akan menyediakan solusi praktikal yang penting untuk menanggulangi ketersediaan air yang terbatas.

a. Respons Fisiologi terhadap Cekaman Air

Cekaman air akan menurunkan pertumbuhan dan fotosintesis (Taíz & Zeiger, 2010). Penurunan fotosintesis pada kondisi kekeringan disebabkan oleh penutupan stomata dan pengaruh metabolis. Defisit air akan menyebabkan penutupan stomata yang akan menurunkan konsentrasi CO_2 seluler, sedangkan dehidrasi pada sel mesofil daun dapat menyebabkan kerusakan organ-organ

fotosintesis. Efek buruk cekaman kekeringan terhadap fotosintesis akan dimediasi dengan tanggap terhadap: (1) sistem respirasi, transpor elektron, sintesis ATP pada mitokondria (Atkin & Macherel, 2009); (2) akumulasi metabolit yang diinduksi cekaman (Zhang, Huang, Liu, & Pan, 2005); dan (3) ekspresi gen dan sintesis protein (Lawlor & Tezara, 2009).

Adaptasi secara langsung yang utama terhadap cekaman air adalah mengakumulasi air untuk menunda atau terhindar (*escape*) dari cekaman. Berbeda halnya pada tanaman yang toleran, umumnya mampu menghadapi cekaman air dengan mengurangi fungsi metabolis yang dilanjutkan berfungsi kembali setelah terjadi peningkatan potensial airnya pada sel (Bartels & Sunkar, 2005). Tanaman lain mampu mempertahankan fungsi biologinya pada kondisi potensial air yang rendah, walaupun dengan pertumbuhan yang terbatas (Ramanjulu & Bartels, 2002). Strategi lain untuk mengurangi kehilangan air adalah penutupan stomata yang dimediasi oleh sintesis ABA. Adaptasi ini berimplikasi terhadap menumpuknya gas CO² yang akan menurunkan laju fotosintesis (Bohnert & Sheveleva, 1998) yang akan menyebabkan ketidakseimbangan energi, di mana aliran elektron neto terjadi terhadap oksigen menyebabkan kenaikan konsentrasi ROS (*Reactive Oxygen Species*) dan proses-proses oksidatif (Levine 1999 dalam Sopandie, 2013).

Tanaman C₄ dan CAM telah mengembangkan strategi dalam penangkapan CO₂ untuk pembentukan gula pada kondisi ketersediaan air yang terbatas. Metabolisme ini melibatkan asimilasi CO₂ nokturnal pada CAM serta tanaman C₄ telah mengembangkan mekanisme yang efisien dalam pengikatan CO₂ oleh Rubisco. Tanaman C₄ telah mengembangkan anatomi daun khusus, di mana sel seludang pembuluhnya (*bundle sheat cells*) memiliki kloroplas, di samping sel mesofilnya seperti tanaman C₃. Sebagai pengganti fiksasi CO₂ pada siklus Calvin, CO₂ dikonversi ke dalam bentuk 4-karbon asam organik dengan kemampuan meregenerasi ulang CO₂ dalam kloroplas pada sel seludang pembuluhnya. Sel ini akan menggunakan CO₂ untuk pembentukan karbohidrat melalui lintasan konvensional C₃. Untuk proses ini stomata buka malam hari pada CAM yang memungkinkan tanaman CAM berlindung dari lingkungan panas, seperti ditunjukkan dengan tingkat konsumsi air yang sangat rendah dibandingkan dengan tanaman lain (Zhu, Long, & Ort, 2008). Adaptasi anatomi pada tanaman toleran kekeringan terdiri atas jaringan spons, yang berperan sebagai reservoir air, pertumbuhan juga terhambat dan tanaman mengurangi luas daun untuk membatasi evaporasi (Passioura, 1996). Strategi yang sama ditunjukkan dengan penggulungan daun, absisi bunga, perubahan permeabilitas kutikula (Taiz & Zeiger, 2010). Respons fisiologi yang lain di antaranya

induksi pembungaan yang dihubungkan dengan pergerakan jarak jauh protein FT (Lin et al., 2007).

b. Mekanisme Adaptasi terhadap Cekaman Air

Terdapat empat mekanisme umum agar tanaman dapat beradaptasi pada cekaman air, yaitu *drought escape*, *dehydration avoidance*, *dehydration tolerance*, dan *drought recovery* (Fukai & Cooper, 1995). Walaupun demikian sering kali tanaman menggunakan lebih dari satu mekanisme untuk tahan kekeringan (Mitra, 2001).

Drought escape (melarikan diri dari kekeringan) merupakan kemampuan tanaman untuk menyelesaikan siklus hidupnya sebelum adanya kekeringan yang cukup serius. Mekanisme ini meliputi perkembangan fenologi yang cepat (umur berbunga dan umur panen lebih awal), perkembangan plastisitas (variasi dalam periode pertumbuhan bergantung defisit air), dan remobilisasi asimilat pre-anthesis ke biji (Fukai & Cooper, 1995).

Dehydration avoidance (menghindari dehidrasi) merupakan kemampuan tanaman untuk memelihara potensial air jaringan tetap tinggi meskipun pada kondisi kurang air, dengan cara memperbaiki serapan air, menyimpannya dalam sel tanaman, dan mengurangi hilangnya air. *Drought avoidance* (penghindaran kekeringan) terjadi melalui pemeliharaan turgor sel dengan cara meningkatkan kedalaman akar, sistem perakaran yang efisien, serta meningkatkan

laju dan jumlah pengangkutan air ke tajuk dan dengan mengurangi kehilangan air melalui lapisan epidermis (seperti stomata dan lentikular), mengurangi jerapan panas radiasi melalui penggulungan atau pelipatan daun (*leaf rolling* atau *folding*) dan mengurangi penguapan melalui permukaan daun (*leaf area*). Tanaman pada kondisi kekeringan akan bertahan hidup dengan cara menjaga sel tetap turgor dan mengurangi kehilangan air. Sebagian besar galur padi yang mempunyai kemampuan untuk tumbuh dan berkembang relatif baik selama kekeringan adalah dengan memelihara potensial air daun tetap tinggi (Fukai & Cooper, 1995).

Dehydration tolerance (Toleransi dehidrasi) merupakan kemampuan tanaman menjaga proses metabolisme tetap berlangsung normal meskipun pada kondisi kurang air dan potensial air jaringan rendah. Respons tanaman terhadap rendahnya potensial air jaringan menentukan tingkat toleransi tanaman terhadap kekeringan. Mekanisme ini menjaga turgor melalui pengaturan osmotik (*osmotic adjustment*, proses induksi akumulasi solute dalam sel), meningkatkan elastisitas sel, dan mengurangi ukuran sel, serta resistensi protoplasma (Fukai & Cooper, 1995).

Drought recovery (Pemulihan kekeringan) merupakan mekanisme penyembuhan di mana proses metabolisme berjalan normal kembali setelah mengalami stres kekeringan. Mekanisme ini penting manakala stres kekeringan terjadi pada awal perkembangan

tanaman. Beberapa genotipe padi mampu menghasilkan beberapa anakan meskipun dalam kondisi kekeringan, anakan tersebut masih tetap produktif. *Recovery genotype* (Pemulihan genotip) dari stres kekeringan terkait dengan kemampuannya mempertahankan daun tetap hijau selama periode kering (Fukai & Cooper, 1995).

Akan tetapi, mekanisme adaptasi tersebut memiliki beberapa kelemahan. Genotipe genjah dengan umur pendek umumnya berdaya hasil rendah dibandingkan dengan yang berumur panjang. Mekanisme yang menyebabkan ketahanan terhadap kekeringan melalui pengurangan kehilangan air umumnya berimplikasi pada menurunnya fiksasi karbon dioksida (CO₂). *Osmotic Adjustment* (OA) meningkatkan ketahanan terhadap kekeringan dengan pemeliharaan turgor tanaman, tetapi peningkatan konsentrasi solut dalam sel tanaman membutuhkan energi yang cukup banyak dikeluarkan tanaman. Konsekuensinya, adaptasi tanaman harus menunjukkan keseimbangan antara *escape*, *avoidance*, dan *tolerance* dengan menjaga produktivitas yang memadai (Mitra, 2001).

Ada dua pendekatan utama yang sering digunakan untuk melihat kemampuan tanaman dalam menghadapi cekaman kekeringan. Pendekatan pertama adalah dengan melihat kemampuan pengambilan air secara maksimal dengan perluasan dan kedalaman sistem perakaran. Pendekatan kedua dengan melihat kemampuan tanaman mempertahankan turgor melalui penurunan potensial

osmotik, mengingat tekanan turgor mutlak diperlukan bagi jaringan untuk menjaga tingkat aktivitas fisiologi (Tardieu, 1996).

6. Periode Kritis Tanaman

Periode kritis merupakan periode tanaman memerlukan sejumlah air tertentu pada fase pertumbuhannya. Dimana fase pertumbuhan pada tanaman yaitu:

a. Fase Pertumbuhan Vegetatif

Pada fase vegetatif merupakan fase dimana bagian-bagian vegetatif pada tanaman seperti daun dan tunas atau anakan aktif berkembang. Fase ini sangat penting bagi tanaman karena pada fase ini seluruh daun terbentuk sempurna berfungsi memproduksi fotosintat untuk pertumbuhan dan pembentukan biji. Fase vegetatif berlangsung pada saat tanaman berumur antara 1-30 hari. Tahap-tahap pertumbuhan pada fase vegetatif meliputi 3 tahap, yaitu:

1) Tahap 0, saat kecambah muncul di atas permukaan tanah

Tahap ini dimulai saat umur tanaman 0 hari setelah berkecambah (HSB). Munculnya kecambah dipengaruhi oleh suhu, kelembaban, kedalaman posisi benih, dan vigor benih. Pada kondisi yang optimum, tahap ini terjadi antara 3 sampai 10 hari setelah tanam (HST). Setelah 3 sampai 4 hari setelah tanam, tumbuhan membutuhkan suhu tanah 20°C atau lebih untuk memunculkan tunas pucuk (*coleoptile*) di atas tanah, apabila suhu tanah rendah pada umur tersebut maka tunas tidak akan

muncul lebih cepat. Pada 3 sampai 7 hari setelah tanam akar sekunder akan mulai berkembang. Selama tahap ini, pertumbuhan bergantung pada nutrisi dan cadangan makanan dari benih (Vanderlip, 1993). Suhu dingin dengan kelembaban yang tinggi mendukung pertumbuhan organisme penyakit. Benih harus mendapatkan perlakuan dengan fungisida sebelum tanam. Penggunaan herbisida pra-tumbuh membantu menekan pertumbuhan gulma pada awal pertumbuhan.

2) Tahap 1, saat pelepah daun ke-3 terlihat

Pada umur sekitar 10 hari setelah tanam pelepah daun mulai terlihat atau tidak lagi tertutup oleh pelepah daun sebelumnya, namun titik tumbuh masih berada di tanah. Laju pertumbuhan relatif lambat.

3) Tahap 2, saat daun ke-5 terlihat

Pada tahap ini tanaman memasuki fase pertumbuhan cepat yang berlangsung pada umur sekitar 20 hari setelah tanam. Titik tumbuh masih berada di bawah permukaan tanah. Pada fase ini, batang belum memanjang, yang terlihat di permukaan tanah adalah lapisan pelepah daun, namun vigor tanaman lebih tinggi dibanding pada tahap 1. Daun dan sistem perakaran berkembang dengan cepat.

4) Tahap 3, tahap deferensiasi titik tumbuh

Deferensiasi titik tumbuh berlangsung pada saat tanaman berumur sekitar 30 Hari setelah berkecambah. Pada fase ini titik tumbuh mulai membentuk primordial bunga. Setidaknya sepertiga jumlah daun sudah benar-benar berkembang, dan total jumlah daun optimal sudah terdeferensiasi. Batang tumbuh dengan cepat mengikuti pertumbuhan titik tumbuh. Penyerapan unsur hara secepat pertumbuhan tanaman, sehingga kebutuhan hara dan air juga cukup tinggi, penambahan pupuk sangat membantu tanaman untuk tumbuh optimal. Waktu yang diperlukan dari penanaman hingga deferensiasi titik tumbuh umumnya menghabiskan sepertiga dari umur tanaman.

b. Fase Pertumbuhan Generatif

Fase generatif umumnya berlangsung pada saat tanaman berumur 30 – 60 HST. Inisiasi bunga menandai akhir fase vegetatif dan dimulainya fase reproduktif/generatif. Pada fase ini terbentuk struktur malai (*panicle*) dan jumlah biji yang bisa 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 periode ini. Jika pertumbuhan malai terganggu akan menurunkan jumlah biji yang akan terbentuk. Tahap-tahap pertumbuhan fase generatif meliputi:

1) Tahap 4, saat munculnya daun bendera

Daun bendera muncul pada saat tanaman berumur sekitar 40 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). Pada tahap ini semua daun sudah terbuka sempurna, kecuali 3-4 daun terakhir. Intersepsi cahaya mendekati maksimal.

Memasuki umur 40-45 HST, malai mulai memanjang dalam daun bendera dimana ukuran malai ditentukan pada saat ini. Pertumbuhan dan serapan hara jauh lebih besar dan lebih 40% kalium sudah diserap. Laju pertumbuhan dan penyerapan hara cepat, sehingga kecukupan pasokan nutrisi dan air diperlukan untuk pertumbuhan maksimal. Tanaman sorgum pada fase ini cukup kompetitif dengan gulma, namun pengendalian gulma tetap harus diperhatikan. Sekitar seperlima dari total pertumbuhan telah tercapai.

2) Tahap 5, menggelembungnya pelepah daun bendera

Pada 6 – 10 HSB, pelepah daun bendera menggelembung, atau terjadi pada saat tanaman berumur sekitar 50 HSB. Pada fase ini seluruh daun telah berkembang sempurna, sehingga luas daun dan intersepsi cahaya mencapai maksimal. Malai berkembang hampir mencapai ukuran maksimum dan

tertutup dalam pelepah daun bendera, sehingga pelepah daun bendera menggelembung. Pertumbuhan batang sudah selesai, kecuali tangkai bunga (*peduncle*). Tangkai bunga mulai memanjang dan mendorong malai (*panicle*) untuk keluar dari pelepah daun bendera. Ukuran malai telah terdeferensiasi. Stres kelembaban tinggi dan kerusakan akibat herbisida selama fase pembentukan malai dapat mencegah malai keluar dari selubung daun bendera. Hal ini dapat mencegah penyerbukan saat berbunga.

3) Tahap 6, tanaman 50% berbunga

Pada tahap pertumbuhan 6, tangkai malai tumbuh cepat dan muncul dari pelepah daun bendera. Tangkai malai ada yang memajang dan ada yang tidak memanjang dari sebelum malai keluar dari pelepah daun bendera, bergantung varietas. Pada saat keluar dari daun bendera, malai segera mekar. Fase pembungaan 50% biasanya pada saat tanaman berumur sekitar 60 HSB, ditandai oleh sebagian malai sudah mekar, yaitu pada saat kotak sari (*anther*) keluar dari lemma dan palea (Vanderlip 1993).

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 sorgum masih dapat ditingkatkan dengan meningkatnya bobot biji. Kekeringan pada tahap ini dapat mengakibatkan menurunnya pengisian biji.

c. Fase pembentukan dan pemasakan biji

Fase pembentukan dan pemasakan biji merupakan tahap akhir pertumbuhan tanaman sorgum, yang berlangsung pada saat tanaman mencapai umur 70 – 95 HSB (Vanderlip 1993). Fase ini diawali dengan proses pembuahan, hingga akumulasi bahan kering pada biji terhenti yang ditandai oleh munculnya lapisan hitam (*black layer*) pada bagian bawah biji yang menempel di tangkai. Fase pembentukan dan pemasakan biji berlangsung dalam tiga tahap pertumbuhan.

1) Tahap 7, biji masak susu

Fase masak susu terjadi pada saat akumulasi pati mulai terbentuk dalam biji, semula pati berbentuk cairan, kemudian berubah seperti susu, sehingga sering disebut sebagai masak susu, dan dapat dengan mudah dipencet dengan jari. Fase ini terjadi pada saat tanaman berumur sekitar 70 HSB. Pengisian biji terjadi dengan cepat, hampir setengah dari bobot kering terakumulasi dalam periode ini. Bobot batang mengalami penurunan seiring dengan pengisian biji, sekitar 10% dari bobot biji berasal dari pengurangan bobot batang.

Serapan hara nitrogen dan fosfor masih cepat dan serapan kalium mulai menurun. Daun terbawah mulai mengering dengan meninggalkan 8 – 12 daun fungsional selama tahap 7 berlangsung. Hasil biji bergantung pada laju akumulasi bahan kering pada biji dan lamanya fase akumulasi. Laju akumulasi bahan kering antarvarietas tidak terlalu beragam.

2) Tahap 8, pengerasan biji

Tahap pengerasan biji berlangsung pada saat tanaman berumur sekitar 85 HSB. Umumnya biji pada tahap ini sudah tidak dapat ditekan dengan jari karena sekitar tiga-perempat dari bobot kering biji telah terakumulasi. Bobot batang menurun hingga 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. Kelembaban yang tinggi menurunkan bobot biji atau biji hampa.

3) Tahap 9, biji matang fisiologis

Tahap pematangan biji berlangsung pada saat tanaman berumur sekitar 95 HSB atau bergantung varietasnya. Pada tahap ini tanaman telah mencapai bobot kering maksimum, begitu pula biji pada malai dengan kadar air 25-30%. Dalam proses menuju matang fisiologis, kadar air biji turun antara 10 – 15% selama 20-25 hari, yang mengakibatkan biji kehilangan 10% dari bobot

keringnya. Biji yang matang fisiologis ditandai oleh lapisan pati yang keras pada biji berkembang sempurna dan telah terbentuk lapisan absisi berwarna gelap, yang disebut dengan *black layer*, pada sisi sebelah luar embrio.

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. Bobot batang akan sedikit naik pada saat mendekati matang fisiologis. Serapan hara NPK oleh tanaman telah mencapai masing-masing 100%.

Biji yang telah matang fisiologis dapat dipanen, namun untuk mendapatkan hasil biji yang maksimum, sebaiknya tanaman dipanen setelah masak fisiologis. Kadar air saat panen sangat bergantung pada cuaca saat panen. 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.

Apabila pada periode tersebut kebutuhan air tidak terpenuhi maka tanaman akan mengalami tanggap morfologis. (Widiyono & Hidayati, 2005a, pp. 389–390). Kebutuhan air tanaman berbeda-beda tergantung pada jenis tanamannya. Ketersediaan air bagi tanaman yang tidak mencukupi akan mempengaruhi morfologi dan fisiologis sehingga

pertumbuhan dan hasil tanaman. (Moctava et al., 2013, p. 91) Kondisi cekaman air sangat mempengaruhi performa tanaman. Tanaman yang diberi perlakuan cekaman air menunjukkan respons yang berbeda-beda sesuai kemampuan tanaman dalam mengubah morfologi dan mengatur mekanisme fisiologi tubuhnya. (Moctava et al., 2013, p. 93).

Periode kritis juga dapat diartikan sebagai periode maksimum dimana periode tersebut dilalui maka cekaman air selanjutnya tidak lagi berpengaruh terhadap hasil akhir atau produksi. Periode kritis terjadi ketika adanya periode dimana tanaman pokok/utama sangat peka atau sensitive terhadap cekaman air. Jika dalam periode kritis ini tidak dikendalikan dengan baik maka tanaman pokok akan menurunkan proses pertumbuhan dan perkembangan. (Ora, 2019)

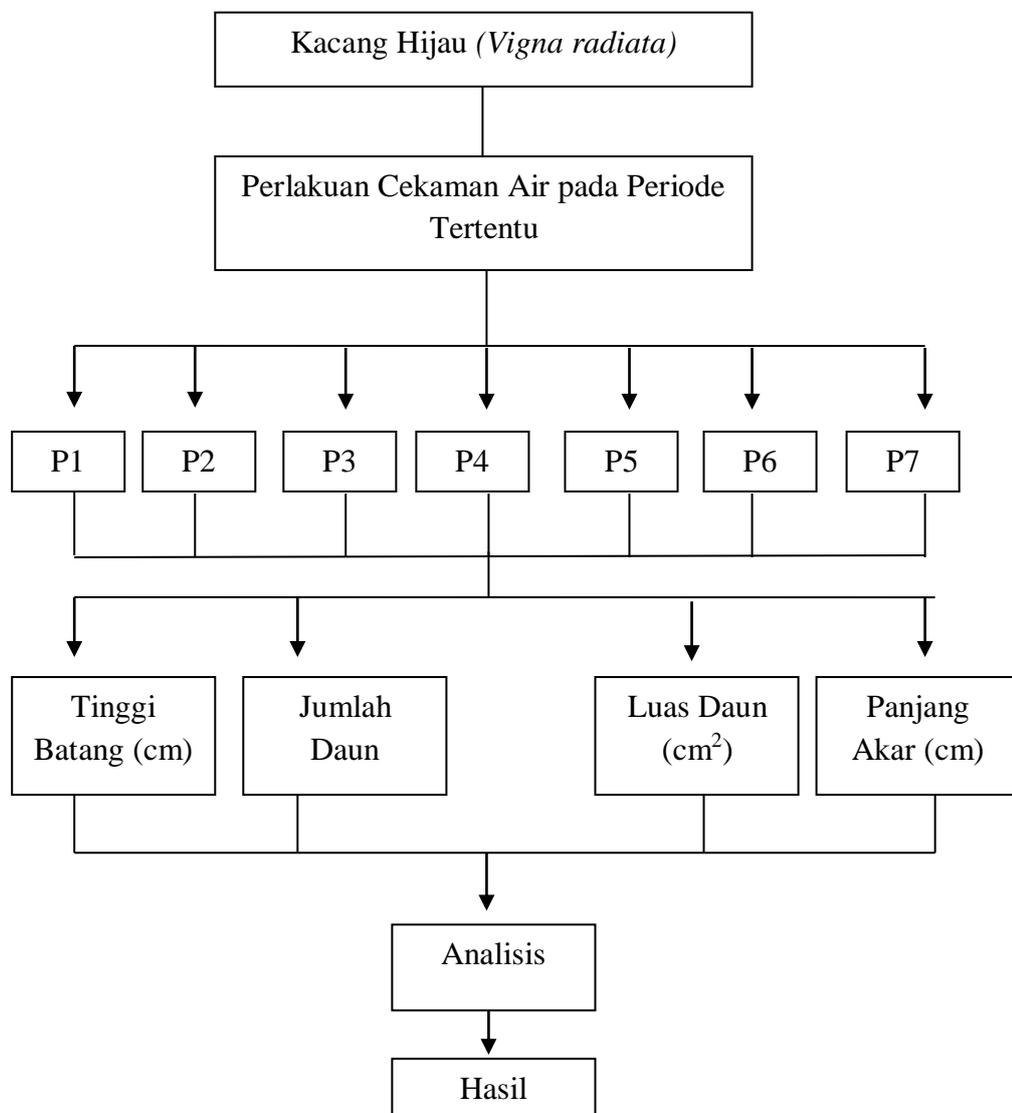
B. Kerangka Pikir

Kacang hijau (*Vigna radiata*) merupakan tanaman pangan semusim berupa semak yang tumbuh tegak. Susunan tubuh tanaman (morfologi) kacang hijau (*Vigna radiata*) terdiri atas akar, batang, daun, bunga, buah, dan biji. Perakaran tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) bercabang banyak dan membentuk bintil-bintil (*nodula*) akar. Makin banyak nodula akar, makin tinggi kandungan nitrogen (N) sehingga menyuburkan tanah. Kacang hijau (*Vigna radiata*) termasuk jenis tanaman yang tahan kekeringan dan dapat tumbuh pada tanah yang kurang subur, meskipun demikian tetap menjadi faktor pembatas pertumbuhan dan perkembangan kacang hijau (*Vigna radiata*).

Suatu tumbuhan yang tumbuh dengan cepat terutama terdiri dari air. Kandungan air bervariasi antara 70 dan 90 %, tergantung pada umur, spesies, jaringan tertentu dan lingkungan. Air dibutuhkan untuk bermacam-macam fungsi tanaman. Periode kritis merupakan periode tanaman memerlukan sejumlah air tertentu pada fase pertumbuhannya. Apabila pada periode tersebut kebutuhan air tidak terpenuhi maka tanaman akan mengalami tanggap morfologis.

Menurut Widiyono dan Hidayati (2005) tanaman pada fase vegetatif terbukti lebih resisten mendapat cekaman air dibandingkan pada fase reproduksi. Tanaman sayur penghasil buah lainnya sensitive terhadap kondisi kelembapan tanah rendah, sejak awal pembentukan dan perkembangan bunga hingga panen. Pertumbuhan akar terganggu atau terhenti, pada periode

pembentukan bunga sedangkan menurut Arsyadmunir (2016) waktu tercekam tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) terjadi pada fase vegetatif akhir dan fase pembentukan polong. dimana pada fase vegetatif akhir, tinggi tanaman dan jumlah daun mengalami penurunan. Sedangkan pada fase pembentukan polong bobot biji pertanaman dan jumlah polong cenderung lebih sedikit. Berdasarkan pembahasan tersebut maka dapat dirumuskan pada gambar 2.3 berikut:



Gambar 2.3 Kerangka pikir

C. Hipotesis Penelitian

Sesuai dengan identifikasi masalah dan tujuan penelitian maka dapat dirumuskan hipotesis komparatif penelitian sebagai berikut :

1. Tinggi Batang (cm)

H_0 = Tidak ada perbedaan signifikan cekaman air pada periode tertentu terhadap tinggi batang, jumlah daun, luas daun dan panjang akar tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*)

H_1 = Ada perbedaan signifikan cekaman air pada periode tertentu terhadap tinggi batang, jumlah daun, luas daun dan panjang akar tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*)

2. Jumlah Daun

H_0 = Tidak ada perbedaan signifikan cekaman air pada periode tertentu terhadap tinggi batang, jumlah daun, luas daun dan panjang akar tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*)

H_1 = Ada perbedaan signifikan cekaman air pada periode tertentu terhadap tinggi batang, jumlah daun, luas daun dan panjang akar tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*)

3. Luas Daun

H_0 = Tidak ada perbedaan signifikan cekaman air pada periode tertentu terhadap tinggi batang, jumlah daun, luas daun dan panjang akar tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*)

H_1 = Ada perbedaan signifikan cekaman air pada periode tertentu terhadap tinggi batang, jumlah daun, luas daun dan panjang akar tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*)

4. Panjang Akar

H_0 = Tidak ada perbedaan signifikan cekaman air pada periode tertentu terhadap tinggi batang, jumlah daun, luas daun dan panjang akar tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*)

H_1 = Ada perbedaan signifikan cekaman air pada periode tertentu terhadap tinggi batang, jumlah daun, luas daun dan panjang akar tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*)

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis dan Desain Penelitian

1. Jenis penelitian

Jenis penelitian yang digunakan yaitu penelitian kuantitatif, Eksperimental suguhan yang bertujuan untuk menyelidiki kemungkinan hubungan sebab akibat dengan melakukan kontrol/kendali.

2. Desain Penelitian

Desain penelitian yang digunakan yaitu penelitian Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 7 perlakuan cekaman air dengan 4 ulangan yang penyiraman diatur seperti tertera pada tabel 3.1 Tanaman tercekam (tanda -) diberi perlakuan cekaman air yaitu tanpa penyiraman dan tidak tercekam (tanda x) mendapat penyiraman 500 ml selama 2 hari sekali.

Tabel 3.1 Aturan Penyiraman

Perlakuan	Umur Tanaman (Hari Setelah Tanam)							
	1-7	8-14	15-21	22-28	29-35	36-42	43-49	50-56
1	x	x	x	x	x	x	x	x
2	x	-	-	x	x	x	x	x
3	x	x	-	-	x	x	x	x
4	x	x	x	x	x	x	-	-
5	x	x	x	x	x	-	-	x
6	x	x	x	x	-	-	x	x
7	x	x	x	-	-	x	x	x

Keterangan Perlakuan :

1. P1 = Tanaman mendapatkan penyiraman penuh dengan volume air 500 ml, sebagai kontrol.
2. P2 = Tanaman diberi perlakuan cekaman pada umur 8-21 HST

3. P3 = Tanaman diberi perlakuan cekaman air pada umur 15-28 HST
4. P4 = Tanaman diberi perlakuan cekaman air pada umur 43-56 HST
5. P5 = Tanaman diberi perlakuan cekaman air pada umur 36-49 HST
6. P6 = Tanaman diberi perlakuan cekaman air pada umur 29-42 HST
7. P7 = Tanaman diberi perlakuan cekaman air pada umur 22-35 HST

B. Waktu dan Tempat Penelitian

1. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret 2020 sampai dengan bulan Mei 2020.

2. Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Kelurahan Sudiang RT 003 RW 003 Kecamatan Biringkanaya Kota Makassar, Sulawesi Selatan.

C. Variabel

1. Variabel independen pada penelitian ini adalah perlakuan cekaman air pada tumbuhan kacang hijau (*Vigna radiata*) pada periode tertentu.
2. Variabel terikat pada penelitian ini yaitu pertumbuhan kacang hijau (*Vigna radiata*)

D. Prosedur Pelaksanaan Penelitian

1. Alat dan bahan

a. Alat

Alat yang digunakan dalam praktikum ini yaitu 28 buah polibag ukuran 30 cm x 40 cm, gelas ukur/takar plastik 1 liter, alat ukur

berupa penggaris, kertas millimeter untuk menghitung luas daun, kamera dan alat tulis.

b. Bahan

Bahan yang digunakan yaitu benih kacang hijau (*Vigna radiata*), media tanam berupa campuran tanah dan pupuk kandang, dan air.

2. Prosedur penelitian

a. Tahap Persiapan

Tahap ini diawali dengan pengumpulan, pendataan (alat dan bahan) yang akan digunakan selama dalam pra-penelitian.

b. Tahap Pra-penelitian

Tahap ini diawali dengan persiapan benih yaitu dengan cara melakukan seleksi biji. Seleksi biji kacang hijau dilakukan dengan merendam biji tersebut dalam air selama 10 menit. Biji yang digunakan adalah biji yang tenggelam karena biji tersebut baik untuk dkecambahkan, sedangkan biji yang terapung dibuang. Selanjutnya persiapan media tanam. Media tanam yang dipakai adalah campuran tanah, dan pupuk kandang. Media tanam dengan volume yang sama dimasukkan ke masing – masing polybag. Selanjutnya benih hasil seleksi ditanam dalam media yang telah disiapkan, baik kelompok perlakuan maupun kontrol. Tiap polybag ditanam 3 benih. Setelah tanaman berumur 7 HST (Hari Setelah Tanam), dipilih 1 tanaman yang tumbuh optimal pada tiap-tiap polybag dengan tinggi sama.

c. Penelitian

Tumbuhan kacang hijau (*Vigna radiata*) diberi perlakuan yang sesuai dengan tabel 3.1 Selanjutnya mengumpulkan data dengan cara mengamati morfologi akar, batang, dan daun tumbuhan kacang hijau (*Vigna radiata*).

E. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan cara mengamati panjang akar (cm), bobot akar (g), tinggi batang (cm), jumlah daun (helai), bobot daun (g) luas daun (cm²), umur berbunga dan jumlah polong.

1. Panjang akar diukur mulai dari pangkal akar sampai ujung akar terpanjang (Widiyono & Hidayati, 2005b)
2. Jumlah daun, dihitung setiap minggu mulai dari umur tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) 14 HST (Arsyadmunir, 2016). Sedangkan luas daun diukur setelah tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) berumur 56 HST. Jumlah daun dihitung keseluruhan daun yang terbentuk pada setiap tanaman (Widiyono & Hidayati, 2005). Luas daun diukur menggunakan kertas millimeter dengan cara memplot daun kacang hijau (*Vigna radiata*) ke kertas milimeter blok. Luasan yang ditutupi oleh daun tersebut kemudian dihitung sehingga diperoleh luasan daun dalam satuan cm². (Ichniarsyah & Agustin, n.d.)
3. Tinggi Batang (cm), diukur setiap minggu setelah umur tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) 14 HST, diukur dari pangkal batang hingga titik tumbuh (Arsyadmunir, 2016).

F. Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan setelah mendapatkan data dari parameter pengukuran panjang akar (cm), tinggi batang (cm), luas daun (cm²) dan jumlah daun. Data yang diperoleh kemudian dianalisis dengan menggunakan program SPSS Versi 18.0 dengan uji *One Way Anova* dengan taraf signifikan 5% untuk menguji ada tidaknya perbedaan masing-masing kelompok Perlakuan yaitu P1, P2, P3, P4, P5, P6 dan P7. Penarikan kesimpulan dilakukan dengan bagaimana cara melihat nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima berarti signifikan dan tidak ada perbedaan yang bermakna sehingga tidak perlu lagi di uji lanjut dengan *Post Hoc*. Analisis bertujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan dan apabila ada perbedaan maka dilanjutkan dengan uji jarak Duncan 5 %.

1. Bila nilai signifikan $t < 0.05$, maka H_0 ditolak, ada pengaruh signifikan antara satu variabel independen terhadap variabel dependen.
2. Bila nilai signifikan $t > 0.05$, maka H_1 ditolak, tidak ada pengaruh signifikan antara satu variabel independen terhadap variabel dependen.

BAB IV HASIL PENGAMATAN

A. HASIL PENGAMATAN

1. Tinggi Batang Kacang Hijau (*Vigna radiata*)

Pengukuran tinggi batang mulai dilakukan pada saat tanaman berumur 14 hari setelah tanam hingga tanaman berumur 56 hari setelah tanam. Pengukuran tinggi batang dilakukan dengan cara mengukur panjang batang utama dengan menggunakan alat ukur penggaris setiap 1 kali seminggu yaitu pada hari selasa.

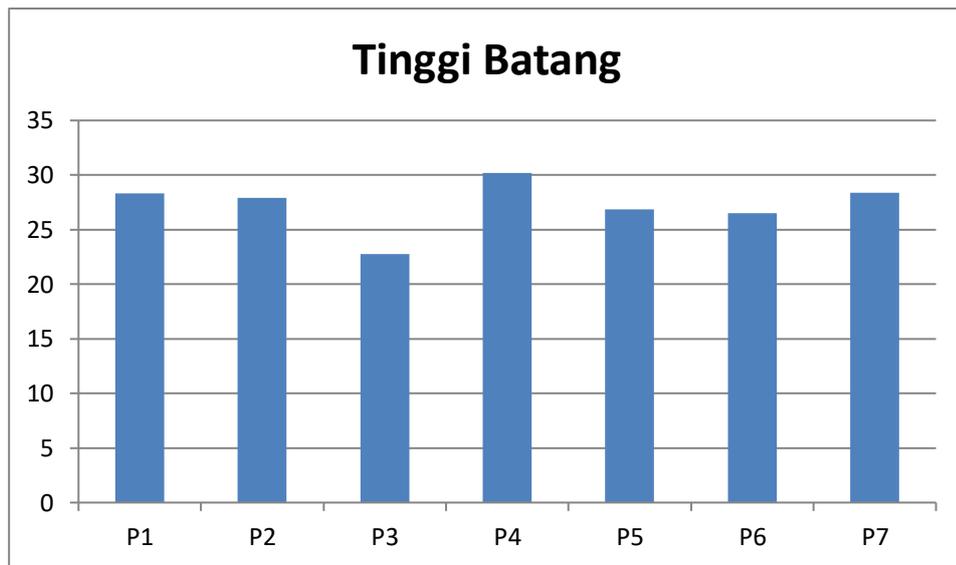
Berdasarkan hasil pengukuran tinggi batang tanaman kacang hijau pada setiap perlakuan cekaman air ada umur tertentu, maka rata-rata tinggi batang yang diperoleh dari penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut ini:

Tabel 4.1 Rata-rata tinggi batang

Perlakuan	Rata-rata Tinggi Batang pada Umur (HST)							Rata-rata
	14	21	28	35	42	49	56	
1(Kontrol)	17	22	26.12	29.5	31.25	34.75	37.75	28.33
2 (8-14)	17.75	22.37	23.12	30.25	30.75	33	38	27.89
3 (15-28)	15.75	20.62	23.37	24.25	24.37	25.25	25.75	22.76
4 (43-56)	17	22.87	27.75	33.75	35	37.25	37.75	30.19
5 (36-49)	18	22.12	27.12	27.5	28.12	29.5	35.5	26.83
6 (29-42)	16.87	22.12	25.37	27.25	29	31.12	33.75	26.5
7 (22-35)	19.25	23.62	25.5	29.62	31.37	33.37	36	28.39

Berdasarkan Tabel 4.1 Tinggi batang paling optimal terdapat pada P4 (43-56 HST) dengan rata-rata tinggi batang 30.19 cm, diikuti P7 (22-35 HST) dengan rata-rata tinggi 28.39 cm, kemudian P1 (Kontrol) dengan rata-rata 28.33 cm, P2 (8-14 HST) dengan rata-rata 27.89 cm, P5

(36-49 HST) dengan rata-rata 26.83 cm, P6 (29-42 HST) dengan rata-rata 26.5 cm, kemudian terakhir P3 (15-28 HST) dengan rata-rata tinggi batang 22.76 cm untuk lebih jelasnya perhatikan Gambar 4.1 berikut:



Gambar 4.1 Grafik Rata-rata Tinggi Batang

Berdasarkan Gambar 4.1 diatas dapat dilihat perbedaan tinggi batang yang signifikan terdapat pada P3 yang memiliki rata-rata tinggi batang terendah, sedangkan perlakuan P4 memiliki tinggi batang yang tertinggi dari semua perlakuan.

a. Analisis Tinggi Batang Kacang Hijau (*Vigna radiata*)

Hasil uji homogenitas variabel untuk tinggi batang tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) menunjukkan bahwa $F_{hitung} = 1.732$ dengan $sig = 0.163$ oleh karena nilai $sig > (0.05)$ maka dapat disimpulkan bahwa ketiga perlakuan memiliki nilai variabel yang sama atau dengan kata lain variabel antar perlakuan bersifat homogen. Dengan demikian prasyarat untuk menggunakan ANOVA terpenuhi.

Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa P value (sig) = 0.030 < 0.05 maka H_0 ditolak terdapat perbedaan yang signifikan pada pertumbuhan tinggi batang tanaman kacang hijau terhadap setiap perlakuan cekaman air pada usia tertentu. Karena terdapat perbedaan berdasarkan uji ANOVA maka dilanjutkan dengan uji jarak Duncan taraf 5% pada Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 uji jarak Duncan taraf 5 % pada Tinggi Batang

Perlakuan cekaman air (HST)	Rata-rata Tinggi Batang
P1 Kontrol	28.3393b
P2 8-21 HST	27.8929b
P3 15-28 HST	22.7679a
P4 43-56 HST	30.1964b
P5 36-49 HST	26.8393ab
P6 29-42 HST	26.5000ab
P7 22-35 HST	28.3929b

Angka yang diikuti huruf sama dalam satu kolom, menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan pada taraf nyata 5 %

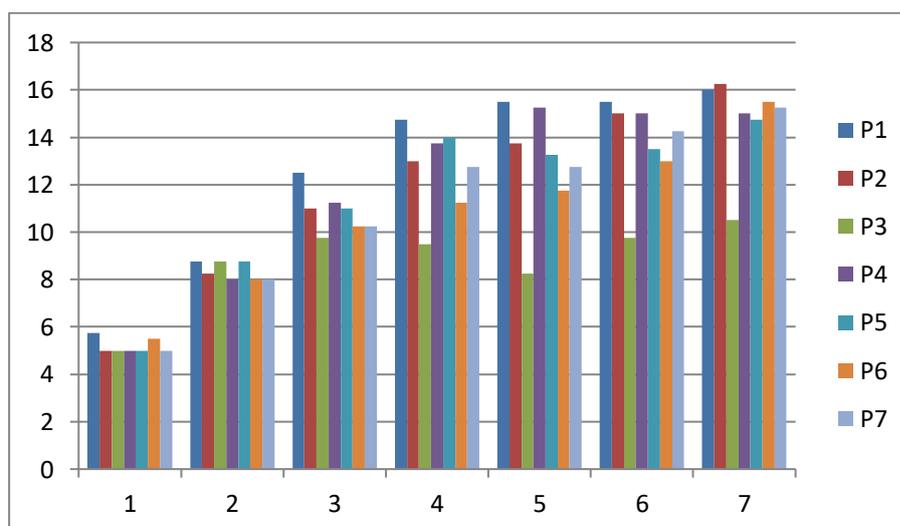
2. Jumlah daun

Daun pada tumbuhan Kacang Hijau (*Vigna radiata*) mulai muncul saat Kacang Hijau (*Vigna radiata*) berumur 7 hari setelah tanam berjumlah 2 helai yang disebut juga dengan daun tunas. Jumlah daun pada tumbuhan Kacang Hijau (*Vigna radiata*) mulai dihitung saat tumbuhan berumur 14 hari setelah tanam. Rata-rata jumlah daun pada setiap perlakuan dapat dilihat pada Tabel 4.3 dibawah:

Tabel 4.3 Rata-rata jumlah daun

Perlakuan	Rata-rata Jumlah Daun Perminggu							Rata-rata
	14 HST	21 HST	28 HST	35 HST	42 HST	49 HST	56 HST	
P1	5.75	8.75	12.5	14.75	15.5	15.5	16	12.67
P2	5	8.25	11	13	13.75	15	15.25	11.60
P3	5	8.75	9.75	9.5	8.25	9.75	10.5	8.78
P4	5	8	11.25	13.75	15.25	15	15	11.89
P5	5	8.75	11	14	13.25	13.5	14.75	11.46
P6	5.5	8	10.25	11.25	11.75	13	15.5	10.75
P7	5	8	10.25	12.75	12.75	14.25	15.25	11.17

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat diketahui P3 (15-21 HST) dengan rata-rata jumlah daun 8.78 dan P6 (29-42 HST) dengan rata-rata jumlah daun 10.75 cenderung memiliki jumlah daun yang sedikit pada setiap perlakuan dan P1 (kontrol) dengan rata-rata 12.67 memiliki jumlah daun yang paling banyak pada setiap perlakuan, sedangkan P7 (22-35 HST), P5 (36-49 HST), P2 (8-21 HST) dan P4 (43-56 HST) tidak berbeda nyata terhadap jumlah daun pada setiap pengamatan untuk lebih jelasnya perhatikan Gambar 4.2 berikut:



Gambar 4.2 Grafik Jumlah daun

Pada dasarnya Gambar 4.2 menunjukkan adanya pengaruh cekaman air pada periode tertentu terhadap jumlah daun tanaman kacang hijau. Dapat dilihat bahwa adanya perbedaan helain daun tanaman kacang hijau pada setiap perlakuan cekaman air.

a. Analisis Jumlah Daun Kacang Hijau (*Vigna radiata*)

Hasil uji homogenitas varian untuk helai daun tanaman kacang hijau menunjukkan bahwa $F_{hitung} = 4.976$ Dengan $sig = 0.366$ oleh karena nilai $sig > 0.05$ maka dapat disimpulkan bahwa ketujuh perlakuan memiliki nilai variabel yang sama atau dengan kata lain variabel antar perlakuan bersifat homogen. Dengan demikian prasyarat untuk menggunakan ANOVA terpenuhi.

Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa P Value (sig) = $0.003 < 0.05$ maka H_0 ditolak yang artinya terdapat perbedaan yang signifikan pada pertumbuhan jumlah helai daun tanaman kacang hijau terhadap setiap perlakuan cekaman air pada periode tertentu. Berikut ini Tabel 4.4 yang menunjukkan uji jarak Duncan taraf 5 %

Tabel 4.4 Uji jarak Duncan taraf 5 % pada rata-rata jumlah daun

Perlakuan cekaman air (HST)	Rata-rata jumlah daun
P1 Kontrol	12.6786c
P2 8-21 HST	11.6071bc
P3 15-28 HST	8.7857a
P4 43-56 HST	11.8929bc
P5 36-49 HST	11.4643bc
P6 29-42 HST	10.7500ab
P7 22-35 HST	11.1786bc

Angka yang diikuti huruf sama dalam satu kolom, menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan pada taraf nyata 5%

3. Luas Daun

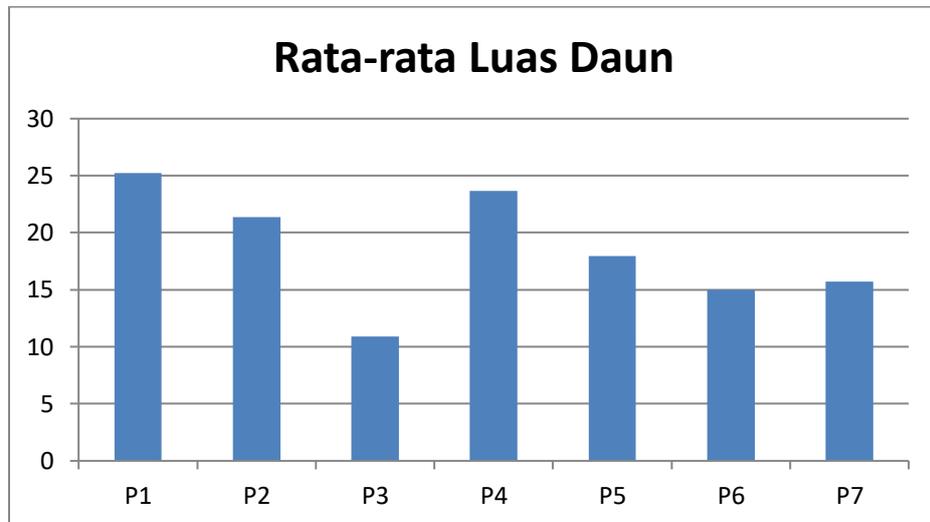
Tanaman dengan jumlah daun lebih banyak mempunyai luas daun per individu tanaman lebih besar pula. Perhitungan luas daun dilakukan saat tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) berumur 56 hari setelah tanam, luas daun dihitung menggunakan kertas millimeter.

Berdasarkan hasil pengukuran luas daun pada setiap perlakuan cekaman air dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut:

Tabel 4.5 Rata-rata Luas Daun

Perlakuan	Rata-Rata Luas Daun Setiap Ulangan				Total	Rata-Rata
	U1	U2	U3	U4		
P1	15.81	27.33	27.53	30.22	100.89	25.22
P2	15.82	30.66	23.14	15.93	85.55	21.38
P3	10.22	12.4	12.4	8.5	43.52	10.88
P4	20.53	27.81	18.64	27.71	94.69	23.67
P5	17.76	17.88	23.8	12.44	71.88	17.97
P6	12.5	15.63	23.3	8.55	59.98	14.99
P7	19.58	20.33	13.64	9.27	62.82	15.70

Berdasarkan Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa rata-rata luas daun tanaman kacang hijau pada setiap perlakuan memiliki perbedaan. Luas daun paling optimal terdapat pada perlakuan P1 (kontrol) yang mendapat penyiraman penuh dengan rata-rata 25.22 cm², diikuti dengan P4 (43-56 HST) dengan rata-rata 23.67 cm², kemudian P2 (8-21 HST) dengan rata-rata 21.38 cm², P5 (36-49 HST) dengan rata-rata 17.97 cm², P7 (22-35 HST) dengan rata-rata 15.70 cm², P6 (29-42 HST) dengan rata-rata 14.99 cm², dan terakhir P3 (15-28 HST) dengan rata-rata 10.88 cm², untuk lebih jelasnya perhatikan gambar 4.3 berikut:



Gambar 4.3 grafik rata-rata luas daun

Pada dasarnya Gambar 4.3 menunjukkan adanya pengaruh cekaman air pada periode tertentu terhadap luas daun tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*). Dapat dilihat bahwa luas daun tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) menunjukkan adanya perbedaan luas daun tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) yang diberi perlakuan cekaman air pada periode tertentu.

a. Analisis Luas Daun Kacang Hijau (*Vigna radiata*)

Hasil uji homogenitas varian untuk helai daun kacang hijau menunjukkan bahwa $F_{hitung} = 3.605$. dengan $sig = 0.447$. oleh karena nilai $sig > 0.05$ maka dapat disimpulkan bahwa ketiga perlakuan memiliki nilai varian yang sama atau dengan kata lain varian antar perlakuan bersifat homogen. Dengan demikian prasyarat untuk menggunakan ANOVA terpenuhi.

Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa P value (sig) = 0.013 < 0.05 maka H_1 diterima dan H_0 ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa

terdapat perbedaan signifikan pada luas daun tanaman kacang hijau terhadap setiap perlakuan cekaman air pada umur tertentu. Berikut ini Tabel 4.6 yang menunjukkan hasil uji jarak Duncan taraf 5 % pada luas daun.

Tabel 4.6 Uji jarak Duncan taraf pada Luas Daun 5 %

Perlakuan cekaman air (HST)	Rata-rata Luas Daun
P1 Kontrol	25.2225c
P2 8-21 HST	21.3875bc
P3 15-28 HST	10.8800a
P4 43-56 HST	23.6725bc
P5 36-49 HST	17.9700abc
P6 29-42 HST	14.9950ab
P7 22-35 HST	15.7050ab

Angka yang diikuti huruf sama dalam satu kolom, menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan pada taraf nyata 5 %

4. Panjang Akar

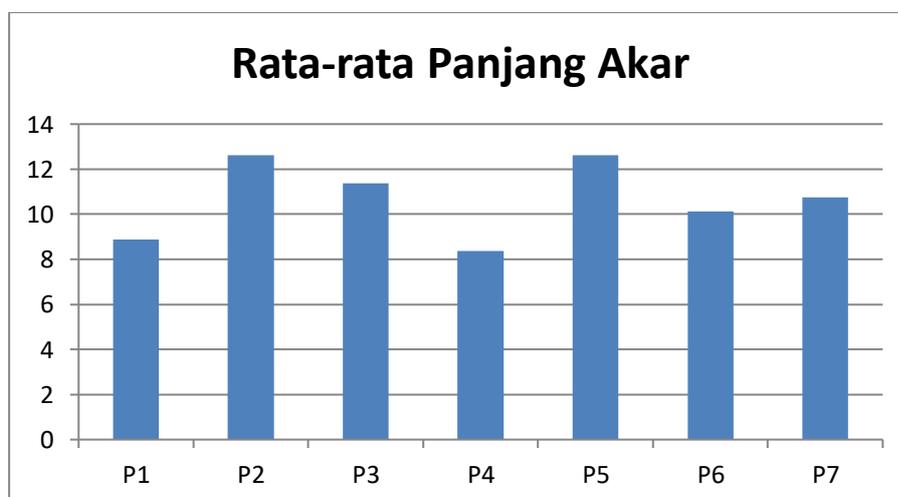
Panjang akar berpengaruh terhadap kekeringan semakin sedikit tumbuhan mendapatkan penyiraman, maka akan semakin besar panjang akar. Panjang akar dihitung saat tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) berumur 56 hari setelah tanam. Pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur berupa penggaris, diukur dari pangkal akar hingga ujung akar.

Berdasarkan hasil pengukuran panjang akar tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) pada setiap perlakuan cekaman air pada periode tertentu, maka rata-rata panjang akar setiap tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut:

Tabel 4.7 Rata-rata Panjang Akar setiap Ulangan

Perlakuan	Rata-Rata Panjang Akar Setiap Ulangan				Total	Rata-Rata
	U1	U2	U3	U4		
P1	9.5	8.5	10.5	7	35.5	8.87
P2	13	13	12.5	12	50.5	12.62
P3	12	13	8.5	12	45.5	11.37
P4	9.5	7	9.5	7.5	33.5	8.37
P5	11	13	13	12.5	49.5	12.37
P6	12.5	11	8.5	8.5	40.5	10.125
P7	12	10.5	10	10.5	43	10.75

Berdasarkan tabel 4.6 dapat dilihat bahwa Panjang akar tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) pada setiap perlakuan memiliki perbedaan. Panjang akar yang paling optimal terdapat pada kelompok tanaman kacang hijau yang diberikan perlakuan pada P2 (8-21 HST) dengan rata-rata 12.62 cm, diikuti P5 (36-49 HST) dengan rata-rata 12.37 cm, kemudian P3 (15-28 HST) dengan rata-rata 11.37 cm, P7 (22-35 HST) dengan rata-rata 10.75 cm, P6 (29-42 HST) dengan rata-rata 10.12 cm, P1 (kontrol) dengan rata-rata 8.87 cm dan terakhir P4 (43-56 HST) dengan rata-rata 8.37 cm untuk lebih jelasnya perhatikan Gambar 4.4 berikut:



Gambar 4.4 grafik rata-rata panjang akar

Pada dasarnya Gambar 4.4 menunjukkan adanya perbedaan panjang akar terhadap perlakuan cekaman air pada umur tertentu.

a. Analisis Panjang Akar Kacang Hijau (*Vigna radiata*)

Hasil uji homogenitas variabel untuk panjang akar tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) menunjukkan bahwa $F_{hitung} = 5.485$ Dengan $sig = 0.084 > 0.05$ maka dapat disimpulkan bahwa ketujuh perlakuan memiliki nilai variabel yang sama atau dengan kata lain variabel antar perlakuan bersifat homogen. Dengan demikian prasyarat untuk menggunakan ANOVA terpenuhi.

Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa P Value (sig) = 0.002 < 0.05 maka H_0 ditolak yang artinya terdapat perbedaan signifikan pada panjang akar tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) terhadap setiap perlakuan cekaman air pada periode tertentu. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.8 berikut:

Tabel 4.8 jarak Duncan pada panjang akar taraf 5 %

Perlakuan cekaman air (HST)	Rata-rata panjang akar
P1 Kontrol	8.8750ab
P2 8-21 HST	12.6250d
P3 15-28 HST	11.3750cd
P4 43-56 HST	8.3750a
P5 36-49 HST	12.3750d
P6 29-42 HST	10.1250abc
P7 22-35 HST	10.7500bcd

Angka yang diikuti huruf sama dalam satu kolom, menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan pada taraf nyata 5 %

B. Pembahasan

1. Pengaruh Cekaman Air pada Tinggi Batang Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata*)

Berdasarkan hasil uji ANOVA diketahui bahwa cekaman air pada periode tertentu memiliki perbedaan pengaruh yang signifikan terhadap tinggi batang tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*). Tinggi batang paling rendah terdapat pada perlakuan P3 dengan rata-rata (22.76 cm) semakin besar volume air yang diterima akan meningkatkan tinggi batang, sebaliknya semakin lama periode cekaman akan mengurangi dan menghambat penambahan tinggi batang. Dari hasil pengamatan yang dilakukan selama penelitian diketahui beberapa kelompok tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) khususnya pada perlakuan P3 merupakan tanaman yang tinggi batangnya kurang optimal diakibatkan tidak diberi penyiraman pada umur 15-28 HST. Periode krisis terjadi dimulai sejak tanaman berumur 15 HST, puncak periode krisis terjadi pada umur 29 HST.

Pada periode ini penambahan tinggi batang kacang hijau terhambat, Penurunan aktifitas fotosintesis dan respirasi menyebabkan energi yang dibutuhkan pertumbuhan menurun sehingga pembelahan ataupun pembentangan sel untuk memperbesar organ juga menurun. Akibatnya organ tumbuhan atau morfologi yang terbentuk yaitu daun, batang dan biji menjadi lebih kecil (Mohammadkhani & Heidari, 2008)

Pertumbuhan sel merupakan fungsi tumbuhan yang paling

sensitive terhadap kekurangan air. Nilai kandungan air jaringan meristem yang rendah, seringkali menyebabkan penurunan kandungan air yang dibutuhkan untuk pengembangan sel. Hal ini menyebabkan pengurangan dalam hal sintesis protein, sintesis dinding sel, dan pengembangan sel (Sharma & Fletcher, 2002)

2. Pengaruh Cekaman Air pada Jumlah dan Luas Daun Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata*)

Hasil pengamatan yang dilakukan selama penelitian diketahui bahwa pada perlakuan P3 yang mendapatkan cekaman air pada umur 15-28 hari setelah tanam memiliki jumlah dan luas daun yang cenderung lebih sedikit. Perlakuan cekaman air pada umur 2 minggu masih dapat ditoleransi tanaman untuk pembentukan jumlah daun dan luas daun . akan tetapi pada perlakuan cekaman air umur 3 hingga 5 minggu terjadi penurunan pembentukan jumlah daun dan luas daun secara tajam.

Berkurangnya jumlah dan luas daun pada tanaman yang mengalami cekaman kekeringan disebabkan karena usaha adaptasi tanaman untuk mengurangi kehilangan air melalui proses transpirasi. Turunnya luas daun pada tanaman yang mengalami cekaman kekeringan disebabkan karena keterbatasan air yang dapat mengakibatkan turunnya tekanan turgor sel.

Selama tanaman mengalami cekaman kekeringan pertumbuhan dan perkembangan daun muda terhambat. Terjadi pengkerutan sel dan proses penuaan daun yang diikuti pengguguran daun tua, sehingga

menyebabkan reduksi area fotosintesis. Pada tanaman, daun berfungsi untuk absorpsi cahaya yang digunakan dalam fotosintesis. Dengan berkurangnya luas daun, akan berkurang pula absorpsi cahaya yang diterima tanaman. Keadaan tersebut akan menyebabkan turunnya laju fotosintesis sehingga produktivitas juga mengalami penurunan. Penurunan transpirasi dengan mengurangi jumlah stomata dan meningkatkan fotosintesis dengan cara meningkatkan kandungan klorofil merupakan salah satu karakter fisiologis yang berhubungan dengan ketahanan tanaman terhadap kekeringan. (Oukarroum, Madidi, Schansker, & Strasser, 2007)

3. Pengaruh Cekaman Air pada Panjang Akar Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata*)

Perlakuan cekaman air berpengaruh nyata terhadap penambahan panjang akar, seperti yang ditunjukkan pada P2, P5, dan P3. Akar merupakan organ penting pada tanaman yang berfungsi menyerap air dan unsur hara dari dalam tanah. Tanaman yang mengalami kekeringan, dapat terjadi perubahan anatomi dan fisiologi pada akar (Fenta et al., 2014).

Penelitian tersebut diatas dapat memberikan gambaran, bahwa tanaman yang ditanam di daerah kering cenderung menunjukkan perakaran yang lebih panjang, dibandingkan yang ditanam di daerah basah. Hal ini disebabkan karena akar secara alamiah akan mencari air yang pada umumnya berada pada lapisan tanah yang lebih dalam.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa periode krisis tanaman kacang hijau (*Vigna radiata*) pada perlakuan cekaman air terjadi pada fase pertumbuhan vegetatif tahap 2 saat daun ke-5 terlihat pada umur 15-28 hari setelah tanam, kemudian berlanjut pada tahap 3 atau dikenal dengan tahap deferensiasi titik tumbuh pada umur 29-42 hari setelah tanam. Pada periode tersebut pertumbuhan tinggi batang terhambat dan cenderung menurun, jumlah daun menurun diakibatkan daun mengalami kekeringan dan berguguran serta luas daun yang cenderung kecil. Sedangkan panjang akar mengalami peningkatan, hal ini disebabkan tanaman memperluas area pengambilan air pada saat keberadaan air terbatas di tempat tumbuh.

B. Saran

Saran yang diperoleh dari proses dan hasil penelitian yaitu sebagai berikut:

1. Penelitian dapat dilakukan dengan menggunakan tanaman berumur pendek selain kacang hijau (*Vigna radiata*).
2. Penelitian dapat dilakukan dengan menggunakan pengamatan morfologis tanaman yang lebih luas, serta struktur anatomi tanaman.
3. Penanaman sebaiknya disarankan dilakukan di lahan dan dilaksanakan pada musim yang berbeda.

4. Penelitian sebaiknya dilakukan ditempat yang dapat dikontrol dengan dengan baik oleh peneliti contohnya di *Green house*

DAFTAR PUSTAKA

- Ai, N. S., & Torey, P. (2013). *Karakter morfologi akar sebagai indikator kekurangan air pada tanaman (Root morphological characters as water-deficit indicators in plants)*. Online. *Jurnal Bios Logos*, 3(1). <https://doi.org/10.35799/jbl.3.1.2013.3466>. Diakses pada tanggal 9 Desember 2019
- Anggraini, N., Faridah, E., & Indrioko, S. (2016). *Pengaruh Cekaman Kekeringan terhadap Perilaku Fisiologis dan Pertumbuhan Bibit Black Locust (Robinia pseudoacacia)*. Online. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 9(1), 40. <https://doi.org/10.22146/jik.10183>. Diakses pada tanggal 9 Desember 2019
- Arsyadmunir, A. (2016). *Periode Kritis Kekeringan pada Pertumbuhan dan Produksi Kacang Hijau (Vigna radiata L.)*. Online. *Agrovigor*, 9(2), 132–140. Retrieved from <http://journal.trunojoyo.ac.id/agrovigor/article/view/2319>. Diakses pada tanggal 9 Desember 2019
- Atkin, O. K., & Macherel, D. (2009). *The crucial role of plant mitochondria in orchestrating drought tolerance*. Online. *Annals of Botany*. <https://doi.org/10.1093/aob/mcn094>. Diakses pada tanggal 29 November 2019
- Azzamy. (2016). *16 Tahap Mudah Cara Inokulasi Bakteri Rhizobium Dan Manfaatnya*. Retrieved July 25, 2020, from 3 September website: <https://mitalom.com/teknik-inokulasi-serta-fungsi-dan-peran-bakteri-rhizobium-bagi-tanaman/>
- Bartels, D., & Sunkar, R. (2005). *Drought and salt tolerance in plants*. Online. *Critical Reviews in Plant Sciences*. <https://doi.org/10.1080/07352680590910410>. Diakses pada tanggal 29 November 2019
- Bohnert, H. J., & Sheveleva, E. (1998). *Plant stress adaptations--making metabolism move*. Online. *Current Opinion in Plant Biology*. [https://doi.org/10.1016/S1369-5266\(98\)80115-5](https://doi.org/10.1016/S1369-5266(98)80115-5). Diakses pada tanggal 28 November 2019
- Brondong, K. (2015). *Laporan Tahun 2015 Hasil Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi*. 36–40.
- Fenta, B., Beebe, S., Kunert, K., Burrige, J., Barlow, K., Lynch, J., & Foyer, C. (2014). *Field Phenotyping of Soybean Roots for Drought Stress Tolerance*. Online. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy4030418>. Diakses pada

tanggal 29 November 2019

- Fukai, S., & Cooper, M. (1995). *Development of drought-resistant cultivars using physiomorphological traits in rice*. Online. Field Crops Research. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(94\)00096-U](https://doi.org/10.1016/0378-4290(94)00096-U). Diakses pada tanggal 28 November 2019
- Gardner, F. P., Pearce, R. B., & Mitchell, R. L. (2008). *Fisiologi Tanaman Budidaya* (Terjemahan). Jakarta: UI-Press.
- Ichniarsyah, A. N., & Agustin, H. (n.d.). *Pengolahan Citra untuk Luas Daun Kale*. Agroekoteknologi.
- Lakitan, B. (1993). *Dasar-Dasar Fisiologi Tumbuhan*. Padang: PT Raja Grafindo Persada.
- Lawlor, D. W., & Tezara, W. (2009). *Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: A critical evaluation of mechanisms and integration of processes*. Online. Annals of Botany. <https://doi.org/10.1093/aob/mcn244>. Diakses pada tanggal 28 November 2019
- Lin, M. K., Belanger, H., Lee, Y. J., Varkonyi-Gasic, E., Taoka, K. I., Miura, E., ... Lucas, W. J. (2007). *FLOWERING LOCUS T protein may act as the long-distance florigenic signal in the cucurbits*. Online. Plant Cell. <https://doi.org/10.1105/tpc.107.051920>. Diakses pada tanggal 27 November 2019
- Mitra, J. (2001). *Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants*. Online. Current Science. Diakses pada tanggal 27 November 2019
- Moctava, M. A., Koesriharti, & Dawam, M. . (2013). *Respon Tiga Varietas Sawi (Brassica rapa L .) Terhadap Cekaman Air Responses of Three Mustard Varieties (Brassica rapa L .) Towards Water Stress Environment*. Online. Jurnal Produksi Tanaman, 1(2), 90–98. Diakses pada tanggal 27 November 2019
- Mohammadkhani, N., & Heidari, R. (2008). *Drought-induced Accumulation of Soluble Sugars and Proline in Two Maize Varieties*. World Applied Sciences Journal.
- Ora, F. H. (2019). *Padang Pengembalaan Daerah Tropis*. Yogyakarta: DEE PUBLISH.
- Oukarroum, A., Madidi, S. El, Schansker, G., & Strasser, R. J. (2007). *Probing the responses of barley cultivars (Hordeum vulgare L.) by chlorophyll a*

- fluorescence OLKJIP under drought stress and re-watering*. Online Environmental and Experimental Botany. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.01.002>. Diakses pada tanggal 27 Juli 2020
- Passioura, J. B. (1996). *Drought and drought tolerance*. Online. Plant Growth Regulation. <https://doi.org/10.1007/BF00024003>. Diakses pada tanggal 27 November 2019
- Pratiwi, H., & Rahmianna, A. A. (2010). *Pengaruh Periode Cekaman Air terhadap Pertumbuhan dan Hasil Genotipe Kacang Tanah*. Online. Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang Dan Umbi, (1), 429–438. Diakses pada tanggal 27 November 2019
- Purwaningrahayu, R. D., Trustinah, Anwari, M., & Radjit, B. . (2015). *Tanggap Galur-galur Kacang Hijau Terhadap Cekaman Kekeringan*. Online. Balai Penelitian Tanaman Kacang-Kacangan Dan Umbi-Umbian, 15(16), 61–68. Diakses pada tanggal 27 November 2019
- Purwono, & Hartono, R. (2005). *Kacang Hijau*. Bogor: Penebar Swadaya.
- Rahardjo, M., & Darwati, I. (2000). *Pengaruh Cekaman Air Terhadap Produksi dan Mutu Simplisia Tempuyung (Sonchus arvensis L.)*. Online. Jurnal Penelitian Tanaman Industri (Industrial Crops Research Journal), Vol. 6, pp. 73–79. <https://doi.org/10.21082/litri.v6n3.2000.73-79>. Diakses pada tanggal 28 November 2019
- Ramanjulu, S., & Bartels, D. (2002). *Drought- and desiccation-induced modulation of gene expression in plants*. Online. Plant, Cell and Environment. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00764.x>. Diakses pada tanggal 27 November 2019
- Rogers, A., Allen, D. J., Davey, P. A., Morgan, P. B., Ainsworth, E. A., Bernacchi, C. J., ... Long, S. P. (2004). *Leaf photosynthesis and carbohydrate dynamics of soybeans grown throughout their life-cycle under Free-Air Carbon dioxide Enrichment*. Online. Plant, Cell and Environment. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2004.01163.x>. Diakses pada tanggal 27 November 2019
- Rukmana, R. (1997). *Kacang Hijau Budi Daya dan Pascapanen*. Yogyakarta: KANISIUS.
- Sharma, V. K., & Fletcher, J. C. (2002). *Maintenance of shoot and floral meristem cell proliferation and fate*. Online. Plant Physiology. <https://doi.org/10.1104/pp.010987>. Diakses pada tanggal 27 November 2019

- Sopandie, D. (2013). Fisiologi Adaptasi Tanaman terhadap Cekaman Abiotik pada Ekosistem Tropika.
- Taíz, E., & Zeiger, L. (2010). Plant Physiology 5th ed. *Sinauer Associates Inc.*
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). Plant Physiology, Fifth Edition. *Cell*.
- Tardieu, F. (1996). *Drought perception by plants: Do cells of draughted plants experience water stress?*. Online. Plant Growth Regulation. <https://doi.org/10.1007/BF00024005>. Diakses pada tanggal 27 November 2019
- Vanderlip, R. (1993). *How a sorghum plant develops*. Bull. KS-3. Kansas State Univ. Coop. Ext. Serv., Manhattan.
- Widiyono, & Hidayati, N. (2005). *Periode Kritis tanaman Cabai Merah Besar (Capsicum annum L. var. long chilli) pada Perlakuan Cekaman Air*. Biol. Indon, III(Botani).
- Yusa, M. B. S. M. (2016). *Buku Siswa Aktif dan Kreatif Belajar Biologi untuk Sekolah Menengah Atas/Madrasah Aliyah Kelas XII Peminatan Matematika dan Ilmu-ilmu Alam* (Rivisi; F. Alwhinanto & E. Suryani, Eds.). Bandung: Grafindo Media Pratama.
- Zhang, J. H., Huang, W. D., Liu, Y. P., & Pan, Q. H. (2005). *Effects of temperature acclimation pretreatment on the ultrastructure of mesophyll cells in young grape plants (Vitis vinifera L. cv. Jingxiu) under cross-temperature stresses*. Online. Journal of Integrative Plant Biology. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2005.00109.x>. Diakses pada tanggal 27 November 2019
- Zhu, X. G., Long, S. P., & Ort, D. R. (2008). *What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass?*. Online. Current Opinion in Biotechnology. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2008.02.004>. Diakses pada tanggal 27 November 2019