

1. MUNG  
2. ARID

BEAN  
REGION

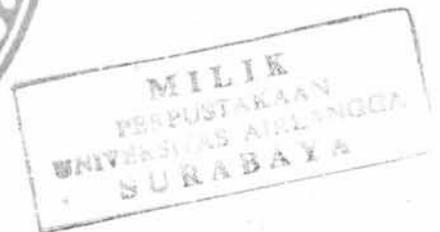
IR-PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

# DISERTASI

## RESPON TANAMAN KACANG HIJAU (*Vigna radiata* L.) TERHADAP KEKURANGAN AIR DAN UPAYA MENINGKATKAN KETAHANAN TANAMAN PADA KONDISI KEKERINGAN

### PENELITIAN EKSPERIMENTAL

KK  
Dis M 18/02  
Arif  
r



**ARIFFIN**

**PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS AIRLANGGA  
SURABAYA  
2001**

**RESPON TANAMAN KACANG HIJAU (*Vigna radiata* L.)  
TERHADAP KEKURANGAN AIR DAN UPAYA  
MENINGKATKAN KETAHANAN TANAMAN  
PADA KONDISI KEKERINGAN  
PENELITIAN EKSPERIMENTAL**

**DISERTASI**

Untuk memperoleh Gelar Doktor  
dalam Ilmu Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
pada Program Pascasarjana Universitas Airlangga  
Telah dipertahankan di hadapan Dewan Ujian Doktor Terbuka  
dengan Predikat CUMLAUDE

Pada Hari : Kamis

Tanggal : 22 Maret 2001

Pukul 10.00 WIB.



Oleh :

**ARIFFIN**  
**NIM. 099612347/D**

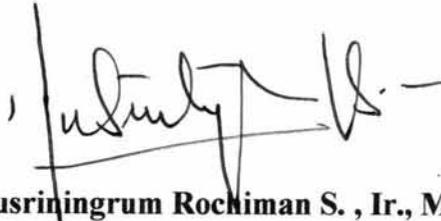
**HALAMAN PENGESAHAN**

**DISERTASI INI TELAH DISETUJUI**

TANGGAL, 24 APRIL 2001

**Oleh**

**Promotor**

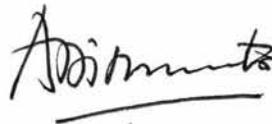


**Prof. Dr. Hj. Kusrieningrum Rochiman S., Ir., MS.  
NIP. 130 355 375**

**Kopromotor**



**Prof. Dr. H. Bambang Guritno, Ir.  
NIP. 130 518 962**



**Dr. H. Titis Adisarwanto, Ir. APU  
NIP. 080 033 633**

## **HALAMAN PENETAPAN PANITIA PENGUJI**

Telah diuji pada ujian Tahap I

Tanggal 31 Januari 2001

---

### **PANITIA PENGUJI DISERTASI**

Ketua : Prof. Dr. H. Rochiman Sasmita, Drh, MS.  
Anggota : Prof. H.A. Soeparmo, Drs, MSc.  
Prof. Dr. Hj. Kusriningrum Rochiman, Ir, MS.  
Prof. Dr. H. Bambang Guritno, Ir.  
Prof. Soemadi, Drs. Apt  
Prof. Dr. H. Yogi Sugito, Ir.  
Dr. H. Titis Adisarwanto, Ir, APU.

Ditetapkan dengan Surat Keputusan  
Rektor Universitas Airlangga  
Nomor : 565/J03/PP/2001  
Tanggal : 8 Februari 2001

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur selalu saya panjatkan ke hadirat Allah SWT, atas segala bimbingan, petunjuk serta ridla dan hidayah NYA, sehingga saya diberi kekuatan dan kemampuan dalam menyusun disertasi ini.

Terselesaikannya penyusunan disertasi ini berkat bimbingan dan petunjuk dari Prof. Dr. Hj. Kusriningrum Rochiman, Ir. MS, selaku Promotor, yang telah dengan sabar dan tulus dalam memberikan arahan dan koreksi, sehingga menambah luas wawasan penulis dalam memantapkan diri dalam menyempurnakan karya ilmiah ini. Untuk itu saya mengucapkan terima kasih, semoga Allah SWT mencatatnya sebagai amal ibadah.

Kepada Prof. Dr. Bambang Guritno, Ir. selaku Kopromotor I saya mengucapkan terima kasih yang setulus hati, karena berkat ketulusan beliau untuk meluangkan waktu di tengah kesibukan tugasnya yang demikian padat dalam memberikan bimbingan, dorongan semangat serta petunjuk yang sangat berharga dalam pelaksanaan penelitian dan penyusunan disertasi ini.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Dr. H. Titis Adisarwanto, Ir. APU selaku Kopromotor II, yang telah banyak memberikan bimbingan dalam pelaksanaan penelitian di lapang maupun petunjuk dan saran-saran yang telah diberikan dengan penuh kesabaran dan keikhlasan dalam penyusunan disertasi ini, sehingga menambah wawasan dan kematangan diri saya.

Kepada seluruh tim promotor, saya hanya mampu mengucapkan terima kasih dan bersyukur kepada Allah, semoga Allah SWT menerima amalan beliau sebagai amal jariyah.

Saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pemerintah Republik Indonesia cq. Menteri Pendidikan Nasional yang telah memberikan kesempatan dan bantuan finansial berupa beasiswa TMPD, sehingga saya dapat mengikuti dan menyelesaikan pendidikan doktor di Program Pascasarjana Universitas Airlangga Surabaya.

Pada kesempatan ini saya mengucapkan terima kasih yang tulus kepada semua pihak yang telah berperan dalam mewujudkan disertasi ini secara langsung maupun tidak langsung terutama kepada :

Rektor Universitas Airlangga, Prof. H. Soedarto, dr., DTM&H., Ph.D atas kesempatan dan fasilitas yang diberikan kepada saya untuk mengikuti dan menyelesaikan pendidikan doktor di program Pascasarjana Universitas Airlangga.

Direktur Pascasarjana Universitas Airlangga, Prof. Dr. H. Muhammad Amin, dr., SpP atas kesempatan yang diberikan untuk menjadi mahasiswa dan menyelesaikan pendidikan doktor. Dan kepada Mantan Direktur Program Pascasarjana Universitas Airlangga Prof. Dr. H. Soediyono, dr., SpTHT yang telah memberikan kesempatan dan memperjuangkan saya untuk memperoleh bantuan dana TMPD dalam mengikuti pendidikan doktor di Program Pascasarjana Universitas Airlangga, untuk itu diucapkan terima kasih.

Kepada seluruh staf dosen Pascasarjana Universitas Airlangga Prof. H.A. Soeparmo, Drs., MSc., Prof. Soemadi, Drs. Apt, Prof. almarhum H. Abdulbasyir, Drs, Prof. H. Soetandyo Wignjosoebroto, MPA, Prof. Dr. H. Koento Wibisono, Prof. Dr. Sarmanu, drh, Prof. Dr.H.M. Zainuddin, Apt, Prof. Dr. Susanti Linuwih, Prof. Dr. Hj. Kusningrum Rochiman, Ir., MS., Prof. Dr. Bambang Guritno, Ir., Prof. Dr. Syekhfani, Ir., MS., Dr. Ami Soewandi J.S., Dr.H. Titis Adisarwanto, Ir., APU dan Dr. Widodo, dr. yang telah memberikan bekal teori dalam ilmu Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam dengan tulus ikhlas. Kepada seluruh guru saya di atas, semoga jasa-jasanya dan amal baktinya yang dicurahkan kepada saya dalam mengantarkan meraih gelar Doktor di Universitas Airlangga diterima Allah SWT sebagai amalan sholeh.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Prof. Dr. Hj. Kusningrum Rochiman, Ir., MS., Prof. H.A. Soeparmo, Drs, MSc., Prof. Dr. H. Rochiman Sasmita, drh, MS, Prof. Dr. Bambang Guritno, Ir. ; Dr. H. Titis Adisarwanto, Ir. APU, Prof. Dr. H. Redjani, Drs dan Prof. almarhum Dr. H. Soewarno Notodimedjo, Ir., Prof. Dr. H. Yogi Sugito, Ir. dan Prof. Soemadi, Drs.Apt, saya mengucapkan terima kasih atas kesediaan beliau yang telah berkenan memberikan masukan penyempurnaan mulai dari rencana penelitian hingga dalam penilaian naskah disertasi ini.

Kepada Rektor Universitas Brawijaya Prof. Dr. H. Afnan Eka Truna, SE, serta Prof. HM. Hasyim Baisoeni, Drs. mantan Rektor Universitas Brawijaya, diucapkan terima kasih atas ijin yang telah diberikan, sehingga

saya dapat mengikuti Pendidikan Doktor di Program Pascasarjana di Universitas Airlangga.

Kepada Prof. Dr. Syehfani, Ir., MS Dekan Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang, dan Prof. Dr. H. Yogi Sugito, Ir mantan Dekan Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya saya mengucapkan terima kasih atas ijin dan bantuan moril maupun materiel yang diberikan, sehingga saya dapat menyelesaikan pendidikan Doktor ini dengan lancar.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Ketua Laboratorium Sentral Fakultas pertanian Universitas Brawijaya serta Ketua beserta Staf Laboratorium Biologi dan Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya, yang telah memberikan bantuan fasilitas peralatan dan konsultasi untuk mendukung analisis penelitian saya.

Pada kesempatan ini saya mengucapkan terima kasih yang setulus hati kepada seluruh keluarga besar H. Mukti khususnya kepada pamanda H. Arifin Rochman dan Almarhum Achlan Mochammad Erfan beserta keluarga yang telah mendidik dan membentuk pribadi saya sejak kecil hingga dewasa, semoga seluruh jerih payah beliau diterima Allah sebagai amalan jariyah.

Khususnya ke dua orang tua saya Hj. Rukmini dan H. Mustamir dan mertua saya Hj. Umi Khalsum yang tiada henti-hentinya memanjatkan do'a kepada Allah SWT dengan penuh pengorbanan demi kesuksesan putra-putrinya. Untuk itulah kepada beliau dihaturkan ucapan terima kasih yang tak terhingga atas doa, restu dan dorongan moral. Semoga dengan keberhasilan perjuangan saya ini dapat membahagiakan beliau berdua.

Khususnya kepada istri tercinta Hj. Sulistria Dewi beserta anak-anak saya tercinta Chandra, Henky, Novita dan Faradilla disampaikan terima kasih atas doa restu, dorongan moral, semangat serta kesabaran dan ketabahan hati dalam mendampingi saya selama penyelesaian studi.

Saya menyadari bahwa tulisan disertasi ini masih belum sempurna, dan saya sadar bahwa kesempurnaan hanya ada pada Allah SWT, sehingga atas segala saran, petunjuk serta bimbingan yang diberikan kepada saya disampaikan terima kasih. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan ridla, bimbingan, berkah dan karuniaNya kepada seluruh umatNya yang sedang mencari kesempurnaan dalam kehidupan di dunia dan akherat.

Akhirnya saya selalu mohon perlindungan kepada Allah SWT, semoga dengan keberhasilan saya dalam meraih gelar Doktor ini dijauhkan dari sifat sombong serta congkak, dan selalu diberikan kekuatan untuk mengamalkan dan mengembangkan ilmu sesuai dengan yang dikehendaki Allah SWT. Semoga saya beserta keluarga selalu dibimbing Allah SWT untuk menjadi mahlukNYA yang selalu mendapatkan berkahNYA dan pandai mensyukuri segala nikmat yang dilimpahkan. Amien ya robbal alamien.

## RINGKASAN

Kacang hijau merupakan kelompok tanaman kacang-kacangan yang mempunyai nilai gizi cukup tinggi. Permintaan setiap tahun terus meningkat rata-rata 6.37%, sedangkan laju pertumbuhan produksi rata-rata hanya 5.17%. Pada akhir Pelita VI produksi kacang hijau sebanyak 401.000 ton, dan total kebutuhan nasional sebesar 720.000 ton/tahun, berarti kekurangannya sebesar 44%.

Penyebab rendahnya produksi kacang hijau antara lain 65% luas areal tanaman kacang hijau diusahakan pada lahan kering dan 35% diusahakan pada lahan sawah yang beririgasi pada musim kemarau. Kendala yang dihadapi di lahan kering antara lain persediaan air terbatas sangat bergantung pada curah hujan, dan produktivitas lahannya relatif rendah. Akibat terbatasnya ketersediaan air di dalam tanah, maka umumnya produksi tanaman relatif rendah. Untuk itu upaya untuk meningkatkan produktivitas maupun produksi terus diperjuangkan melalui rekayasa agronomis dan fisiologis tanaman pada lahan kering yang kekurangan air.

Tujuan penelitian adalah untuk 1) memilih kultivar kacang hijau yang memiliki potensi hasil tinggi, 2) mendapatkan metoda peningkatan daya tahan dan metode penekanan penurunan hasil tanaman kacang hijau yang dibudidayakan pada lahan kering yang kekurangan air. Adapun tujuan khususnya adalah mempelajari respon kultivar kacang hijau terhadap kekurangan air, menemukan stadia pertumbuhan yang paling kritis terhadap kekeringan dan menganalisis dan mengevaluasi peranan osmolit sorbitol dalam meningkatkan ketahanan tanaman kacang hijau yang dibudidayakan pada lahan kering yang kekurangan air. Oleh sebab itu hipotesis yang diuji adalah : [1]. tiga kultivar tanaman kacang hijau yang dibudidayakan, mempunyai respon dan ketahanan yang berbeda terhadap kondisi media tumbuh yang tercekam kekurangan air, [2]. tanaman kacang hijau yang mengalami cekaman kekurangan air pada stadia tertentu berakibat merosotnya pertumbuhan dan hasil tanaman, [3]. penyemprotan osmolit sorbitol pada saat tanaman kacang hijau mengalami kekurangan air selama stadia kritis, mampu meningkatkan ketahanan tanaman, sehingga tanaman yang dibudidayakan pada lahan kering yang kekurangan air mampu tumbuh dan memproduksi secara normal.

Penelitian dilakukan dalam tiga tahap yaitu **tahap I** menyelidiki respon beberapa kultivar kacang hijau terhadap tingkat kekurangan air, **tahap II** menganalisis peranan osmolit sorbitol pada tanaman kacang hijau yang tercekam kekurangan air pada stadia tumbuh yang berbeda-beda dalam upaya menekan penurunan hasil akibat kekeringan. Penelitian tahap I dan II dilaksanakan di rumah kaca Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya pada bulan Juli 1998 sampai Akhir Mei 1999. **Tahap III**, menguji kemampuan osmolit sorbitol dalam meningkatkan daya tahan dan memperkecil penurunan hasil tanaman kacang hijau di lahan kering yang kekurangan air. Penelitian ini merupakan penelitian lapang yang dilaksanakan di lahan kering yang kurang air di Kebun Balai Benih Induk Bedali Malang pada bulan Juli sampai akhir September 1999, bertujuan untuk melakukan uji verifikasi terhadap hasil penelitian rumah kaca yang telah didapat pada penelitian tahap II.

Seluruh penelitian merupakan penelitian eksperimental, meliputi penelitian di rumah kaca dilaksanakan menggunakan rancangan acak kelompok yang disusun secara faktorial dan penelitian verifikasi di lapang menggunakan rancangan acak kelompok. Variabel pengamatan di antaranya (1) **aspek morfologi tanaman** (tinggi tanaman, bulu daun, jumlah daun, luas daun, perkembangan perakaran, produksi bahan kering, Indeks luas daun), (2) **aspek fisiologis**, meliputi, kandungan klorofil, kerapatan stomata, kandungan asam absisat, kandungan air daun, laju pertumbuhan, luas daun spesifik, harga satuan daun, (3) **aspek komponen hasil** meliputi kualitas polong (jumlah, bobot polong, jumlah biji per polong) dan komponen produksi biji meliputi: hasil biji per tanaman, hasil per ha, indeks panen, bobot 100 biji.

Hasil penelitian menemukan bahwa tiga kultivar tanaman kacang hijau yang tercekam kekurangan air ternyata mempunyai respon yang berbeda. Kultivar Walet merupakan salah satu kultivar kacang hijau yang mempunyai ketahanan terhadap cekaman kekurangan air paling rendah dibanding Sriti maupun lokal, yaitu pada kondisi ketersediaan air hanya 100 mm/musim ketahanan hasil kultivar Walet hanya 17%, Sriti = 21% dan lokal = 33%. Tetapi kultivar ini mempunyai potensi hasil biji paling tinggi dibanding tiga kultivar yang lain, yaitu 17.5% lebih tinggi dari kultivar Sriti dan 44.9% lebih tinggi dibanding kultivar lokal.

Tanaman yang mengalami cekaman kekurangan air mengalami perubahan terhadap karakteristik morfologi maupun fisiologinya, antara lain ukuran daun, tinggi tanaman, kandungan air daun, ukuran akar, bulu daun, laju pertumbuhan, laju asimilasi bersih, kandungan klorofil, stomata, asam absisat maupun hasil biji dan komponen hasil. Tanaman kacang hijau yang tercekam kekurangan air mengalami perubahan morfologi maupun fisiologi, yaitu ukuran daun, tinggi tanaman, bulu daun, kandungan air relatif daun, laju pertumbuhan relatif, kandungan klorofil, kerapatan stomata semakin berkurang, kecuali kandungan asam absisat terlihat semakin meningkat.

Stadia pertumbuhan yang paling peka atau kritis terhadap cekaman kekurangan air dalam pertumbuhan kacang hijau kultivar Walet adalah stadia vegetatif dan pada stadia menjelang berbunga sampai pengisian biji (umur 21-45 hari), karena kekurangan air pada stadia tersebut terjadi penurunan hasil paling tinggi, yaitu sekitar 49-51%,

Pada tanaman kacang hijau yang hanya memperoleh pengairan 50 mm/musim kandungan asam absisat tiga sampai lima kali lebih tinggi dibanding tanaman kacang hijau yang memperoleh pengairan dalam jumlah normal (300 mm/musim).

Penyemprotan osmolit sorbitol dengan konsentrasi 15-20 ml/l sebanyak lima kali pada tanaman kacang hijau kultivar Walet di lahan kering yang mengalami cekaman kekurangan air pada stadia generatif mampu meningkatkan ketahanan tanaman dalam mempertahankan hasil biji paling tinggi, yaitu sebesar 94-98%, diikuti oleh stadia vegetatif sebesar 88-95% dan yang tercekam pada umur 21-45 hari sebesar 90-94% dari hasil biji tanaman yang memperoleh pengairan yang normal.

Penyemprotan osmolit sorbitol pada tanaman dengan merata, diperlukan larutan 400 l/ha, sehingga bila penyemprotan dengan konsentrasi 15 dan 20 ml/l sebanyak lima kali, untuk setiap hektar diperlukan sorbitol sebanyak 30 dan 40 liter dan secara ekonomis mampu memberikan keuntungan yang cukup besar dan hampir sama dengan yang memperoleh pengairan normal.

## Abstract

The general objectives of this study were (1) to evaluate the highest yield potential of three mungbean cultivars, (2) to determine physiological aspect of the crop to increase drought tolerance and to reduce yield loss by osmolyte application.

The sequential types of experiment was conducted in two types, the first type in green house (two phase) and second type in field experiment (one phase) from July 1998 up to September 1999. Hypothesis are formulated in the context of the objectives were: (1) three cultivars of mungbean have different respond due to drought, (2) water limitation at any stages of crop growth are primarily affected crop yield of mungbean, (3) application sorbitol osmolyte through the mungbean leaves under critical water stress condition will eliminate yield reduction. The first and second hypothesis were tested in green house, by randomized block factorial design with three replication in Faculty of Agriculture, Brawijaya University from July 1998 to May 1999. The last hypothesis was verified in the field station, center seed production, Malang from July to September 1999. The experiment were laid out in a randomized block design with three replications. The observation of growth variables included : plant height, root and biomass dry weight, growth rate, leaf area index. Crop physiology (chlorophyll content and stomata density, abscisic acid content, leaf water content, specific leaf area, net assimilation rate) and grain yield (grain yield per plant, grain yield per hectare, harvest index, grain weight in 100 grain).

Mungbean cv Walet gave the highest yield at 17,55 and 44,9% compared to Sriti and local cultivar respectively, but cv Walet showed the lowest tolerance to drought conditions. There is two critical stages of mungbean crop growth affected by drought : vegetative and mid vegetative up to grain filling stages (21-45 day after sowing). The drought stress could be reduce mungbean yield up to 49-51% compared to yield under normal irrigation condition. Drought stress is significantly increased abscisic acid content 3-5 times higher than to normal conditions, but drought stress decreased several phenological and physiological aspects, e.i. the size of leaf, plant height, size of leaf hair, leaf area index, relative water content,

relative crop growth rate, specific leaf area, unit leaf area, chlorophyll content, and stomata density.

Applications sorbitol osmolyte at 15 to 20 mm l<sup>-1</sup> consentred with 5 times to spraying on the leaf surface of mungbean cv. Walet in dryland under water stress at generative, vegetative and mid-vegetative up to grain filling (21-45 days after sowing) stages, able to increased plant resistance in water stress condition and to reduce of yield loss. Sprayed *sorbitol* osmolyte on these conditions can be maintained the grain yield 94-98 %, 88-95 % and 90-94 % of grain yield at normal condition, respectively. When the 15 to 20 ml sorbitol l<sup>-1</sup> were sprayed five times on the leaf surface uniformly, we need 400 l solution ha<sup>-1</sup> for each application and for total consume of these osmolyte 30 to 40 liter sorbitol ha<sup>-1</sup>.

Key words : mungbean, water stress, dry land, drought resistance, osmolyte

## DAFTAR ISI

	Halaman
Sampul Dalam .....	i
Prasyarat Gelar .....	ii
Persetujuan .....	iii
Penetapan Panitia .....	iv
Ucapan Terima kasih .....	vi
Ringkasan .....	xi
Abstract .....	xiv
DAFTAR ISI .....	xvi
DAFTAR TABEL .....	xx
DAFTAR GAMBAR .....	xxiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxv
DAFTAR DEFINISI ISTILAH .....	xxviii
DAFTAR SINGKATAN .....	xxix
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang Permasalahan .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	6
1.3. Tujuan Penelitian .....	7
1.4. Manfaat Penelitian .....	8
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	10
2.1. Landasan Teoritis .....	10
2.1.1 Pertumbuhan dan pembudidayaan tanaman kacang hijau .....	10
2.1.2 Peranan air dan dampak cekaman kekurangan air bagi aktifitas kehidupan tanaman .....	16
2.1.3 Peranan osmolit dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman kekurangan air .....	29
2.2 Landasan Empiris .....	33
2.2.1 Potensi dan kendala pengembangan kacang hijau di Jawa Timur .....	33
2.2.2 Ketahanan tanaman terhadap cekaman kekurangan air .....	37
2.2.3 Respon tanaman kacang hijau terhadap kekurangan air .....	42
2.2.4 Upaya peningkatan ketahanan tanaman terhadap kekurangan air .....	46

<b>BAB 3 KERANGKA KONSEPTUAL, KERANGKA OPERASIONAL DAN HIPOTESIS PENELITIAN .....</b>	<b>56</b>
3.1 Kerangka Konseptual Penelitian .....	56
3.2 Kerangka Operasional Penelitian .....	60
3.3 Hipotesis Penelitian .....	66
<b>BAB 4 METODE PENELITIAN .....</b>	<b>67</b>
4.1 Penelitian I. Respon Beberapa Kultivar Tanaman Kacang Hijau terhadap Tingkat Kekurangan Air ....	67
4.1.1 Tujuan penelitian .....	67
4.1.2 Rancangan penelitian .....	67
4.1.3 Variabel pengamatan penelitian .....	70
4.1.4 Bahan penelitian .....	70
4.1.5 Alat-alat .....	71
4.1.6 Waktu dan lokasi penelitian .....	72
4.1.7 Pelaksanaan penelitian .....	72
4.1.8 Prosedur pengumpulan data .....	75
4.1.9 Analisis data .....	79
4.2. Penelitian II. Peranan Penyemprotan Osmolit Sorbitol dalam Meningkatkan Ketahanan Tanaman Kacang Hijau pada Berbagai Waktu Pencekaman Kekurangan Air	80
4.2.1 Tujuan penelitian .....	80
4.2.2 Rancangan penelitian .....	80
4.2.3 Variabel pengamatan penelitian .....	83
4.2.4 Bahan penelitian .....	83
4.2.5 Peralatan penelitian .....	84
4.2.6 Lokasi dan waktu penelitian .....	85
4.2.7 Cara pelaksanaan penelitian .....	85
4.2.8 Prosedur pengumpulan data .....	87
4.2.9 Analisis data .....	89

4.3	Penelitian III. Pengujian Kemampuan Osmolit Sorbitol dalam Meningkatkan Ketahanan Tanaman Kacang Hijau di Lahan Kering yang Kekurangan Air .....	89
4.3.1	Tujuan penelitian .....	89
4.3.2	Rancangan penelitian .....	90
4.3.3	Variabel pengamatan penelitian .....	92
4.3.4	Bahan penelitian .....	92
4.3.5	Alat penelitian .....	93
4.3.6	Waktu dan tempat penelitian .....	93
4.3.7	Pelaksanaan penelitian .....	94
4.3.8	Prosedur pengumpulan data .....	95
4.3.9	Analisis data .....	97
<b>BAB 5</b>	<b>HASIL PENELITIAN .....</b>	<b>98</b>
5.1	Respon Kultivar Kacang Hijau terhadap Cekaman Kekurangan Air .....	98
5.1.1	Respon pertumbuhan tanaman terhadap kekurangan air .....	98
5.1.2	Respon komponen produksi tanaman kacang hijau terhadap kekurangan air .....	130
5.2	Peranan Osmolit Sorbitol dalam Peningkatan Ketahanan Tanaman Kacang Hijau pada Kondisi Kekeringan .....	141
5.2.1	Peranan osmolit sorbitol pada pertumbuhan tanaman kacang hijau dalam kondisi kekurangan air .....	141
5.2.2	Peranan osmolit sorbitol pada komponen hasil tanaman kacang hijau dalam kondisi kekurangan air .....	179
5.3	Peranan Penyemprotan Osmolit Sorbitol dalam Upaya Meningkatkan Ketahanan Tanaman Kacang Hijau Kultivar Walet di Lahan Kering yang Kekurangan Air .....	196
5.3.1	Peranan osmolit sorbitol dalam meningkatkan ketahanan komponen pertumbuhan tanaman kacang hijau di lahan kering yang kekurangan air .....	197
5.3.2	Peranan osmolit sorbitol dalam meningkatkan ketahanan komponen hasil tanaman kacang hijau di lahan kering yang kekurangan air .....	203

<b>BAB 6 PEMBAHASAN</b> .....	211
6.1 Respon Kultivar Tanaman Kacang Hijau terhadap Kondisi Kekurangan Air	211
6.1.1 Dampak cekaman kekurangan air terhadap pertumbuhan tanaman kacang hijau	211
6.1.2 Dampak cekaman kekurangan air terhadap produksi tanaman kacang hijau	220
6.2 Peranan Osmolit Sorbitol dalam Meningkatkan Daya Tahan Tanaman Kacang Hijau pada Kondisi Kekurangan Air	225
6.2.1 Peranan osmolit sorbitol dalam meningkatkan ketahanan pertumbuhan tanaman kacang hijau pada kondisi kekurangan air	226
6.2.2 Peranan osmolit sorbitol dalam meningkatkan ketahanan hasil biji kacang hijau pada kondisi kekurangan air	231
6.3 Pemanfaatan Osmolit Sorbitol dalam Meningkatkan Ketahanan Tanaman Kacang Hijau di Lahan Kering yang Kekurangan Air	237
<b>BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	241
7.1 Kesimpulan	241
7.2 Saran	242
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	243
<b>LAMPIRAN – LAMPIRAN</b> .....	250

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Stadia Pertumbuhan beberapa Kultivar Kacang Hijau (Anonimus, 1985 ; Trustinah, 1992) .....	14
Tabel 2.2 Efek Penggunaan ABA terhadap Respon Tanaman yang keke- ringan (Davies, et. al. 1986). .....	25
Tabel 2.3 Pengaruh Cekaman Lengas Tanah pada Tiga Stadia Perkem- Bangan terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kacang hijau (Sadasivam, et. al 1988). .....	44
Tabel 2.4 Pengaruh Pengaturan Waktu Irigasi yang Berbeda-beda terhadap Komponen Hasil Kacang Hijau (Pannu dan Singh, 1988) .....	45
Tabel 2.5 Pertumbuhan dan Hasil Biji Kedelai Akibat Penyemprotan Beberapa Jenis osmolit (Triandini, 1993) .....	52
Tabel 2.6 Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kacang hijau pada Beberapa Tingkatan Konsentrasi Penyemprotan Sorbitol (Ariffin, 1997) .....	53
Tabel 4.1 Distribusi Jumlah Pemberian Air pada Masing-masing Stadia Pertumbuhan Tanaman .....	74
Tabel 4.2 Waktu Pelaksanaan PENCEKAMAN Air Tanaman Kacang Hijau	86
Tabel 4.3 Distribusi Jumlah Pemberian Air dan Waktu Pelaksanaan PENCEKAMAN Air pada Tanaman Kacang Hijau Kultivar Walet	95
Tabel 5.1 Tinggi Tanaman Kacang Hijau pada Beberapa Tingkat Cekaman Kekurangan Air .....	99
Tabel 5.2 Jumlah Daun Tanaman Kacang hijau pada Beberapa Tingkat Cekaman Kekurangan Air .....	101
Tabel 5.3 Luas Daun Tanaman Kacang hijau pada Beberapa Tingkat Cekaman Air .....	102
Tabel 5.4 Panjang Akar Tanaman Kacang hijau pada Beberapa Tingkat Cekaman Kekurangan Air .....	105
Tabel 5.5 Bobot Kering Akar Tanaman Kacang hijau pada Beberapa Tingkat Cekaman Kekurangan Air .....	107
Tabel 5.6 Bobot Kering Tanaman Kacang hijau pada Beberapa Tingkat Cekaman Air .....	109
Tabel 5.7 Laju Pertumbuhan Relatif Tiga Kultivar Kacang hijau pada Be- berapa Tingkat Cekaman Air .....	111
Tabel 5.8 Indeks Luas Daun Tiga Kultivar Tanaman Kacang Hijau pada Beberapa Tingkat Cekaman Kekurangan Air .....	115
Tabel 5.9 Kandungan Air Relatif Daun dari Tiga Kultivar Tanaman Kacang Hijau pada Beberapa Tingkat Pemberian Air .....	117
Tabel 5.10 Luas Daun Spesifik beberapa Kultivar Kacang Hijau dan Jumlah Pemberian Air yang Berbeda .....	119
Tabel 5.11 Laju Asimilasi Bersih pada Tanaman Kacang Hijau yang Tercekam Kekurangan Air yang berbeda-beda .....	121

Tabel 5.12	Kandungan Klorofil Tiga Kultivar Tanaman Kacang Hijau dalam Kondisi Tercekam Kekurangan Air .....	122
Tabel 5.13	Kerapatan Stomata Tanaman Kacang Hijau pada Tingkat Pemberian Air yang berbeda .....	124
Tabel 5.14	Kandungan Asam Absisat Tanaman Kacang Hijau pada Kondisi kekurangan Air .....	127
Tabel 5.15	Panjang Bulu Daun Tiga Kultivar Kacang hijau .....	128
Tabel 5.16	Hasil Biji Tanaman Kacang Hijau Akibat Pengaruh Interaksi Kultivar dengan Tingkat Cekaman Kekurangan Air .....	130
Tabel 5.17	Produksi Polong dan Kualitas Biji dari Tiga Kultivar kacang Hijau dan Tingkat Pemberian Air Berbeda-beda .....	134
Tabel 5.18	Tinggi Tanaman Kacang Hijau pada beberapa Stadia Pencekaman Kekurangan Air dan Tingkat Konsentrasi Penyemprotan Osmolit Sorbitol .....	142
Tabel 5.19	Luas Daun Tanaman Kacang Hijau Akibat Pengaruh Interaksi antara Waktu Pencekaman Air dan Konsentrasi Penyemprotan Osmolit Sorbitol .....	144
Tabel 5.20	Jumlah Daun Tanaman Kacang Tercekam Kekurangan Air pada beberapa Stadia dan Konsentrasi Penyemprotan Osmolit Sorbitol yang berbeda-beda ... ..	148
Tabel 5.21	Panjang Akar Tanaman Kacang Hijau pada Waktu Pencekaman Kekurangan Air dan Konsentrasi Penyemprotan Osmolit Sorbitol yang berbeda-beda.....	149
Tabel 5.22	Bobot Kering Akat Tanaman Kacang Hijau pada Waktu Pencekaman Kekurangan Air yang berbeda-beda .....	151
Tabel 5.23	Bobot Kering Tanaman Kacang Hijau Akibat Interaksi antara Konsentrasi Penyemprotan Osmolit Sorbitol dan Waktu Pencekaman Kekurangan Air yang berbeda-beda .....	154
Tabel 5.24	Indeks Luas Daun Tanaman Kacang Hijau Akibat Pengaruh Interaksi antara Waktu Pencekaman Air dan Konsentrasi Penyemprotan Osmolit Sorbitol .....	157
Tabel 5.25	Laju Pertumbuhan Relatif Tanaman Kacang Hijau Akibat Pengaruh Interaksi antara Waktu Pencekaman Air dan Konsentrasi Penyemprotan Osmolit Sorbitol .....	161
Tabel 5.26	Kandungan Air Relatif Daun Tanaman Kacang Hijau Walet pada Waktu Pencekaman Air yang berbeda .....	164
Tabel 5.27	Luas Daun Spesifik Tanaman Kacang Hijau Walet pada Waktu Pencekaman dan Konsentrasi Penyemprotan Osmolit Sorbitol .....	167
Tabel 5.28	Laju Asimilasi Bersih Tanaman Kacang Hijau Akibat Pengaruh Interaksi antara Waktu Pencekaman Air dan Konsentrasi Penyemprotan Osmolit Sorbitol .....	170
Tabel 5.29	Kandungan Klorofil pada Tanaman Kacang Hijau Tercekam Kekurangan Air yang Disemprot Sorbitol .....	172
Tabel 5.30	Kandungan Asam Absisat pada Tanaman Kacang Hijau yang Tercekam Kekurangan Air .....	174

Tabel 5.31	Kerapatan Stomata Akibat Penyemprotan Osmolit pada Tanaman Kacang Hijau Kultivar Walet yang Tercekam Kekurangan Air .....	176
Tabel 5.32	Bobot Biji per Tanaman Kacang Hijau Akibat Pengaruh Interaksi antara Waktu PENCEKAMAN Air dan Konsentrasi Penyemprotan Osmolit Sorbitol .....	180
Tabel 5.33	Jumlah Polong per Tanaman pada Waktu PENCEKAMAN Kekurangan Air dan Konsentrasi Penyemprotan Osmolit Sorbitol yang berbeda .....	185
Tabel 5.34	Bobot Polong per Tanaman Kacang Hijau Walet Akibat Pengaruh Interaksi antara Waktu PENCEKAMAN air dan Konsentrasi Osmoli Sorbitol .....	187
Tabel 5.35	Panjang Polong Kacang Hijau Walet Akibat Pengaruh Interaksi antara Waktu PENCEKAMAN Air dan Konsentrasi Penyemprotan Osmolit Sorbitol .....	188
Tabel 5.36	Jumlah Biji per Polong Tanaman Kacang Hijau Walet Akibat Pengaruh Interaksi antara Waktu PENCEKAMAN Air dan Konsentrasi Penyemprotan Osmolit Sorbitol .....	190
Tabel 5.37	Bobot 100 Biji dan IndeksPanen Tanaman Kacang Hijau yang Tercekam Kekurangan Air dan Konsentrasi Penyemprotan Sorbitol .....	193
Tabel 5.38	Tinggi Tanaman Kacang Hijau yang Tercekam Kekurangan Air di Lahan Kering Setelah Disemprot Osmolit Sorbitol .....	198
Tabel 5.39	Laju Pertumbuhan Tanaman Kacang Hijau di Lahan Kering Setelah Disemprot Osmolit Sorbitol .....	199
Tabel 5.40	Indeks Luas Daun Tanaman Kacang Hijau di Lahan Kering Akibat Penyemprotan Osmolit Sorbitol .....	202
Tabel 5.41	Hasil Biji dan Komponen Hasil Tanaman Kacang Hijau Walet di Lahan Kering yang Kekurangan Air Akibat Penyemprotan Osmolit Sorbitol .....	204

## DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1	Proses Biogenesis Asam Absisat (Moore, 1979; Salisbury dan Ross, 1995) ..... 24
Gambar 2.2	Struktur ABA dan Derivat-derivatnya yang bersifat Tidak Aktif lagi (Moore, 1979; Salisbury dan Ross, 1995) ..... 32
Gambar 2.3	Distribusi Areal Tanam dan Panen Kacang hijau di Jawa Timur dan Nasional (Anonimus, 1995) ..... 34
Gambar 2.4	Konsentrasi ABA pada Daun Tanaman Kapas yang Kekurangan P dan Kelebihan P pada Kondisi Kering (Radin, 1984) ..... 39
Gambar 3.1	Bagan Kerangka Konseptual Penelitian ..... 59
Gambar 3.2	Alur Pelaksanaan Rangkaian Tahapan Penelitian ..... 62
Gambar 3.3	Bagan Kerangka Operasional Penelitian tahap I ..... 63
Gambar 3.4	Bagan Kerangka Operasional Penelitian tahap II ..... 64
Gambar 3.5	Bagan Kerangka Operasional Penelitian tahap III ..... 65
Gambar 5.1	Luas Daun Kultivar Kacang hijau (a) Sriti dan (b) Walet dalam Kondisi Tercekam Air ..... 103
Gambar 5.2	Perkembangan Bobot Kering Akar tanaman Kacang hijau ..... 108
Gambar 5.3	Laju Pertumbuhan Relatif Tiga Kultivar Kacang Hijau ..... 113
Gambar 5.4	Kandungan Air Relatif Daun Tiga Kultivar Kacang hijau ..... 118
Gambar 5.5	Kondisi Stomata pada Tanaman Kacang Hijau, [A] pada Saat Terckam dan [B] pada Tanaman yang Mendapat Irigasi Normal ..... 125
Gambar 5.6	Kandungan ABA pada Tiga Kultivar Kacang Hijau ..... 126
Gambar 5.7	Hasil Biji Tiga Kultivar Tanaman Kacang Hijau pada Tingkat Cekaman Kekurangan Air yang berbeda ..... 132
Gambar 5.8	Hubungan antara Jumlah Pemberian Air dan Hasil Biji Tiga Kultivar Kacang hijau ..... 140
Gambar 5.9	Kandungan Air Relatif Daun Kacang hijau Kultivar Walet pada Tingkat Penyemprotan Osmolit Sorbitol yang Berbeda ..... 165
Gambar 5.10	Hubungan antara Konsentrasi Penyemprotan Sorbitol dan Kandungan Air Relatif Daun ..... 166
Gambar 5.11	Kondisi Stomata Akibat Penyemprotan Osmolit Sorbitol pada Konsentrasi yang berbeda ..... 177
Gambar 6.1	Hubungan Laju Pertumbuhan Relatif dengan Luas Daun Kultivar Sriti dan Walet ..... 213

Gambar 6.2	Hubungan antara Jumlah Pemberian Air dan Kandungan Air Relatif Daun pada Umur 25 dan 45 hari .....	217
Gambar 6.3	Hubungan antara Kandungan Air relatif di dalam daun dan Kandungan Klorofil pada Stadia Vegetatif dan Generatif .....	218
Gambar 6.4	Hubungan antara Kandungan Air Relatif daun dan Kandungan ABA di dalam Daun .....	219
Gambar 6.5	Hubungan antara Hasil Biji per Tanaman dan Indeks Luas Daun Maksimum Kultivar Walet .....	221
Gambar 6.6	Hubungan antara Jumlah Persediaan Air di dalam tanah dan Hasil Biji Tiga Kultivar Kacang hijau	223
Gambar 6.7	Respon Tanaman Kacang hijau yang Tercekam Kekurangan Air terhadap Penyemprotan Osmolit Sorbitol .....	235
Gambar 6.8	Hubungan antara Hasil Biji dan Indeks Luas Daun ....	238

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Tabel 1	Sidik Ragam Tinggi Tanaman Beberapa Kultivar Tanaman Kacang Hijau pada Tingkat Cekaman air yang berbeda ..... 251
Tabel 2	Sidik Ragam Jumlah daun Beberapa Kultivar Tanaman Kacang Hijau pada Tingkat Cekaman air yang berbeda ..... 252
Tabel 3	Sidik Ragam Luas Daun Beberapa Kultivar Tanaman Kacang Hijau pada Tingkat Cekaman air yang berbeda ..... 253
Tabel 4	Sidik Ragam Panjang Akar Beberapa Kultivar Tanaman Kacang Hijau pada Tingkat Cekaman air yang berbeda ..... 254
Tabel 5	Sidik Ragam Bobot Kering Akar Kultivar Tanaman Kacang Hijau pada Tingkat Cekaman air yang berbeda ..... 255
Tabel 6	Sidik Ragam Bobot Kering Tanaman Beberapa Kultivar Tanaman Kacang Hijau pada Tingkat Cekaman air yang berbeda ..... 256
Tabel 7	Sidik Ragam Laju Pertumbuhan Tanaman Beberapa Kultivar Tanaman Kacang Hijau pada Tingkat Cekaman air yang berbeda ..... 257
Tabel 8	Sidik Ragam Indeks Luas Daun Beberapa Kultivar Tanaman Kacang Hijau pada Tingkat Cekaman air yang berbeda ..... 258
Tabel 9	Sidik Ragam Kandungan Air Relatif Daun Beberapa Kultivar Tanaman Kacang Hijau pada Tingkat Cekaman air yang berbeda ..... 259
Tabel 10	Sidik Ragam Luas Daun Spesifik Beberapa Kultivar Tanaman Kacang Hijau pada Tingkat Cekaman air yang berbeda ..... 260
Tabel 11	Sidik Ragam Kandungan Klorofil Beberapa Kultivar Tanaman Kacang Hijau pada Tingkat Cekaman air yang berbeda ..... 261
Tabel 12	Sidik Ragam Kerapatan Stomata Beberapa Kultivar Tanaman Kacang Hijau pada Tingkat Cekaman air yang berbeda ..... 262
Tabel 13	Sidik Ragam Kandungan Asam Absisat Beberapa Kultivar Tanaman Kacang Hijau pada Tingkat Cekaman air yang berbeda ..... 262
Tabel 14	Sidik Ragam Panjang Bulu Daun Beberapa Kultivar Tanaman Kacang Hijau pada Tingkat Cekaman air yang berbeda ..... 263
Tabel 15	Sidik Ragam Kualitas PolongTinggi Tanaman Beberapa Kultivar Tanaman Kacang Hijau ..... 263
Tabel 16	Sidik Ragam Komponen Produksi Tanaman Beberapa Kultivar Tanaman Kacang Hijau ..... 264
Tabel 17	Sidik Ragam Efisiensi Penggunaan Air Beberapa Kultivar Tanaman Kacang Hijau ..... 264
Tabel 18	Sidik Ragam Tinggi Tanaman Akibat Penyemprotan Osmoli pada Tanaman yang Tercekam Kekurangan Air ..... 265
Tabel 19	Sidik Ragam Jumlah Daun Tanaman kacang hijau yang tercekam dan penyemprotan Osmolit Sorbitol ..... 266

Tabel 20	Sidik Ragam Luas Daun Tanaman kacang hijau yang tercekam dan penyemprotan Osmolit Sorbitol .....	267
Tabel 21	Sidik Ragam Panjang akar Tanaman kacang hijau yang tercekam dan penyemprotan Osmolit Sorbitol .....	268
Tabel 22	Sidik Ragam Bobot Kering Akar Tanaman kacang hijau yang tercekam dan penyemprotan Osmolit Sorbitol .....	269
Tabel 23	Sidik Ragam Bobot Kering Total Tanaman kacang hijau yang tercekam dan penyemprotan Osmolit Sorbitol .....	270
Tabel 24	Sidik Ragam Indeks Luas Daun Tanaman kacang hijau yang tercekam dan penyemprotan Osmolit Sorbitol .....	271
Tabel 25	Sidik Ragam Laju Pertumbuhan Tanaman kacang hijau yang tercekam dan penyemprotan Osmolit Sorbitol .....	272
Tabel 26	Sidik Ragam Kandungan Air Relatif Daun Tanaman kacang hijau yang tercekam dan penyemprotan Osmolit Sorbitol .....	273
Tabel 27	Sidik Ragam Luas Daun Spesifik Tanaman kacang hijau yang tercekam dan penyemprotan Osmolit Sorbitol .....	274
Tabel 28	Sidik Ragam Kandungan Klorofil pada Daun Tanaman kacang hijau yang tercekam dan penyemprotan Osmolit Sorbitol .....	275
Tabel 29	Sidik Ragam Kandungan Asam Absisat pada Daun Tanaman kacang hijau yang tercekam dan penyemprotan Osmolit Sorbitol .....	276
Tabel 30	Sidik Ragam Kerapatan Stomats pada Daun Tanaman kacang hijau yang tercekam Air dan penyemprotan Osmolit Sorbitol ....	276
Tabel 31	Sidik Ragam Kualitas Polong Tanaman kacang hijau Kultivar Walet yang tercekam Air dan penyemprotan Osmolit Sorbitol .	277
Tabel 32	Sidik Ragam Komponen Produksi Tanaman kacang hijau Kultivar Walet yang tercekam Air dan penyemprotan Osmolit Sorbitol .....	278
Tabel 33	Sidik Ragam Tinggi Tanaman Kacang hijau yang Tercekam Air di lahan Kering yang di Semprot Osmolit Sorbitol .....	279
Tabel 34	Sidik Ragam Laju Pertumbuhan Tanaman Kacang hijau yang Tercekam Air di lahan Kering yang di Semprot Osmolit Sorbitol	280
Tabel 35	Sidik Ragam Indeks Luas Daun Tanaman Kacang hijau yang Tercekam Air di lahan Kering yang di Semprot Osmolit Sorbitol	281
Tabel 36	Sidik Ragam Bobot Kering Kacang hijau yang Tercekam Air di lahan Kering yang di Semprot Osmolit Sorbitol .....	282
Tabel 37	Sidik Ragam Komponen Produksi Tanaman Kacang hijau yang Tercekam Air di lahan Kering yang di Semprot Osmolit Sorbitol .....	283
Tabel 38	Sidik Ragam Harga Satuan Daun Beberapa Kultivar Kacang Hijau .....	284
Tabel 39	Sidik Ragam Harga Satuan Daun Tanaman Kacang hijau yang Tercekam Air yang di Semprot Osmolit Sorbitol .....	285
Lampiran 1	Metode Pengamatan Klorofil (Marrison, et al, 1999) .....	286
Lampiran 1	Metode Pengamatan Stomata (Meidner, 1981) .....	287
Lampiran 2	Alur Pelaksanaan Analisis Asam Absisat (Monteiro et al, 1987)	288
Lampiran 3	Proses Pemeriksaan dengan Gas Kromatografi .....	289

Lampiran 4	Diskripsi Tanaman Kacang Hijau Kultivar Walet .....	290
Lampiran 5	Diskripsi Tanaman Kacang Hijau Kultivar Sriti .....	291
Lampiran 6	Diskripsi Tanaman Kacang Hijau Kultivar Lokal .....	292
Lampiran 7	Metode Perhitungan Jumlah Pemberian Air .....	293
Lampiran 8	Karakteristik Lahan Lokasi Penelitian .....	294
Lampiran 9	Analisis Usahatani Tanaman Kacang Hijau .....	295

### DAFTAR DEFINISI ISTILAH

ISTILAH	PENGERTIAN
Cekaman kekurangan air	: Gangguan yang terjadi pada tanaman akibat jumlah persediaan air dari tanah maupun hujan lebih sedikit daripada jumlah air yang diperlukan oleh tanaman
Destruktif	: Sistem pengamatan variabel tanaman dengan cara melakukan panen secara berkala terhadap sebagian atau seluruh bagian tanaman pada tahap pertumbuhan,
Evaporasi	: Proses perubahan air menjadi uap (penguapan) yang terjadi pada suatu permukaan
Evapotranspirasi	: Proses penguapan air dari dalam jaringan tanaman dan dari permukaan tanah tempat tanaman tumbuh
Generatif	: Stadia pertumbuhan setelah tanaman mulai berbunga sampai Tanaman dapat dipanen,
Kultivar	: Varietas tanaman yang dibudidayakan
Ketahanan	: Kemampuan tanaman untuk tumbuh dan berproduksi secara normal dalam kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan (kekurangan air),
Lahan kering	: Lahan yang ketersediaan airnya hanya tergantung pada air hujan dan kondisi tanahnya tidak pernah jenuh/tergenang air
Non destruktif	: Sistem pengamatan variabel tanaman dengan cara <b>tanpa</b> melakukan panen secara berkala dalam pertumbuhan tanaman,
Oksidasi	: Proses penambahan Oksigen atau pelepasan H pada suatu senyawa
Osmolit	: Larutan senyawa yang digunakan untuk pengaturan proses osmosis di dalam sel
Respirasi	: Proses pembongkaran bahan organik tanaman, sehingga diperoleh energi kimia yang sangat berguna dalam proses kehidupan tanaman
Stadia tumbuh	: Tingkatan perkembangan pertumbuhan tanaman
Toleran	: Derajat ketahanan suatu tanaman terhadap kondisi lingkungan yang tidak baik
Transpirasi	: Proses perubahan bentuk cair menjadi uap dari dalam jaringan tanaman ke udara
Vegetatif	: Stadia pertumbuhan tanaman sebelum tanaman berbunga
Verifikasi	: Kegiatan penelitian lapang untuk memantapkan hasil penelitian yang telah dihasilkan dari penelitian rumah kaca

## DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Kepanjangannya
A	Area
ABA	Abscisic Acid
ATP	Adenosine Tri Phosphate
BK	Bobot Kering Oven
BKD	Bobot Kering Daun
BJ	Bobot Jenuh
BNT	Beda Nyata Terkecil
BS	Bobot Segar
CO <sub>2</sub>	Carbon dioksida
ΔT	Delta Time (Selisih umur)
ΔW	Delta Weight (Selisih bobot kering)
ET	Evapotranspirasi
et al.	et alibi
Eto	Evapotranspirasi potensial
GA	Giberellic Acid
HI	Harvest Index
Ho	Hipotesis nol
HSD	Harga Satuan Daun
IAA	Indole Asam Asetat
ILD	Indeks Luas Daun
IP	Indeks Panen
K	Kalium
KARD	Kadar Air Relatif Daun
KCl	Kalium Clorida
kc	Koefisien crop
KNO <sub>3</sub>	Kalium Nitrat
LAB	Laju Asimilasi Bersih
LD	Luas Daun
LDS	Luas Daun Spesifik
ln	Logaritma natural
LPR	Laju Pertumbuhan Relatif
MH	Musim Hujan
MJ	Mega Joule
MK	Musim Kemarau
Mpa	Mega Pascal
N	Nitrogen
NADP	Nicotinamide adenine dinucleotide
P	Phospor
R <sup>2</sup>	Simbul koefisien diterminasi
r	Simbul koefisien korelasi
RWC	Relative Water Content
SP-36	Super Phospat 36%

T1 dan T2	Time 1 dan 2 (waktu pengamatan ke 1 dan ke 2)
$\mu\text{g}$	Mikro gram
ANOVA	Analysis of Variance
W1 dan W2	Weight 1 dan Weight 2 (Bobot kering tanaman umur ke 1 dan 2)
WUE	Water Used Efficiency
Y	Yield = Hasil bobot biji
ZK	Zwavelzuur Kalium

# BAB 1

## PENDAHULUAN



### 1.1. Latar Belakang Permasalahan

Tanaman kacang hijau termasuk salah satu jenis komoditas utama tanaman pangan di Indonesia yang meliputi tanaman padi, jagung, kedelai, kacang tanah, kacang hijau, ubi kayu dan ubi jalar.

Pengembangan kacang hijau mempunyai arti strategis dalam meningkatkan kualitas hidup masyarakat, karena tanaman ini mempunyai kandungan protein, vitamin, mineral dan karbohidrat serta nilai ekonomisnya cukup tinggi. Semakin banyak kacang hijau dikonsumsi oleh masyarakat mutu makanan masyarakat semakin tinggi, selain itu karena harganya relatif stabil dan cukup tinggi sehingga dampaknya akan memberi kontribusi yang besar dalam meningkatkan pendapatan petani.

Permintaan pasar kacang hijau oleh masyarakat sangat besar dan terus bertambah, sejalan dengan perkembangan jumlah penduduk dan pendapatan masyarakat. Sampai akhir Pelita VI, permintaan kacang hijau rata-rata per tahun meningkat 6,37%, pada hal laju pertambahan produksi rata-rata hanya 5,17%. Selama Pelita VI (1993 s/d 1998) produksi kacang hijau sebanyak 401.000 ton, sedangkan total kebutuhan nasional sebesar 720.000 ton/tahun, berarti kekurangan produksi sebesar 44% (Anonimus 1996). Berdasarkan hasil survei pertanian, ternyata produksi kacang hijau pada saat ini baru mencapai 325.000 ton biji kering. Menurut perhitungan produksi kacang hijau pada tahun

itu seharusnya sudah mencapai 351.984,6 ton. Belum tercapainya target tersebut dikarenakan masih rendahnya produktivitas tanaman serta sempitnya areal tanam.

Produktivitas kacang hijau pada saat ini relatif masih rendah yaitu baru berkisar 0,84 - 0,90 ton/ha, bila dibandingkan dengan potensi produksinya, yaitu sebesar 1,3 - 1,6 ton/ha (Anonimus, 1996). Untuk memenuhi produksi sebesar 401.400 ton dapat ditempuh melalui penggunaan kultivar unggul, perbaikan cara pengelolaan tanaman serta peningkatan areal tanam (Anonimus, 1989).

Kultivar unggul baru umumnya mempunyai potensi hasil tinggi, namun ketahanan terhadap cekaman lingkungan fisik, misalnya kekurangan air maupun kelebihan air dan pencahayaan serta cekaman lingkungan hayati, misalnya gangguan hama dan penyakit serta persaingan dengan gulma relatif rendah. Kultivar lokal umumnya mempunyai daya tahan cukup baik terhadap cekaman lingkungan, tetapi potensi produksinya relatif rendah. Dalam usaha meningkatkan produksi kacang hijau perlu dilakukan upaya-upaya untuk mendapatkan teknologi pengelolaan tanaman kacang hijau yang mampu memecahkan permasalahan cekaman lingkungan tersebut.

Areal pengusahaan tanaman kacang hijau di Jawa Timur sebanyak 65% ditanam di lahan kering dan 35% di lahan sawah pada musim kemarau. Penanaman di lahan kering tadah hujan umumnya dilakukan pada **musim hujan** (MH), yaitu pada MH I (Oktober-Desember) seluas 15.2% dan MH II (Januari-Maret) sekitar 45.8%. Pengusahaan tanaman kacang hijau pada

**musim kemarau (MK I)** dilakukan pada bulan April sampai Juni sebanyak 4% dari total areal tanaman kacang hijau di Jawa Timur. Penanaman kacang hijau di lahan sawah umumnya dilakukan pada musim kemarau yaitu MK I sebanyak 20.5% dan 14.5% pada MK II (Juli-September) (Anonimus, 1995).

Untuk meningkatkan hasil biji tanaman kacang hijau di lahan kering pada MH II maupun MK perlu dikembangkan kultivar unggul dengan pengelolaan sistem budidaya secara intensif, terutama ke arah peningkatan daya tahannya terhadap kekurangan air, pembudidayaan tanaman kacang hijau di lahan kering yang kurang air dapat memberikan hasil yang tetap tinggi.

Upaya peningkatan produksi kacang hijau secara intensif, dilakukan melalui intensifikasi maupun ekstensifikasi. Peningkatan produksi melalui *intensifikasi* yaitu meningkatkan hasil biji per hektar, antara lain dengan memperbaiki sistem budidaya tanaman, misalnya penggunaan kultivar unggul yang mempunyai daya tahan terhadap kekeringan, pengaturan pola pergiliran tanam, pengaturan penggunaan persediaan air, perbaikan sistem pemeliharaan tanaman (pemupukan, perlindungan terhadap gangguan hama, penyakit dan gulma serta penggunaan zat pengatur tumbuh). Peningkatan produksi kacang hijau secara *ekstensifikasi* adalah melalui penambahan luasan areal tanam dengan memanfaatkan lahan kering.

Kekeringan merupakan permasalahan utama terjadinya kegagalan produksi suatu tanaman. Kondisi lingkungan pada lahan kering memiliki ciri : [a]. intensitas radiasi matahari tinggi, [b]. suhu udara tinggi, [c]. kelembapan

udara rendah, [d]. evaporasi dan transpirasi tinggi, sehingga kehilangan air cukup besar, [e]. persediaan air di dalam tanah terbatas.

Terbatasnya air di lingkungan tumbuh berdampak negatif bagi produksi tanaman, terutama berkaitan erat dengan jumlah ketersediaan air, waktu terjadinya kekurangan air pada stadia pertumbuhan tanaman dan lamanya proses kekurangan air terjadi pada setiap stadia tumbuh.

Selama pertumbuhannya, tanaman kacang hijau terdapat beberapa stadia tumbuh dan masing-masing membutuhkan air dalam jumlah tertentu untuk mencapai produktivitas yang optimal. Di antara stadia tersebut terdapat periode paling peka terhadap kekurangan air yang dapat menurunkan produksi. Pertumbuhan tanaman pada kondisi kekurangan air secara fisiologis salah satu mekanisme mempertahankan diri melalui penutupan stomata. Stomata mempunyai peranan penting sebagai pintu keluar masuknya uap air, gas oksigen,  $\text{CO}_2$ , gas-gas polutan maupun suatu senyawa dari dan ke dalam daun untuk menjaga agar aktivitas metabolisme tanaman tetap dapat berlangsung meskipun kondisi lingkungannya kurang normal. Proses penutupan stomata dapat menimbulkan dampak positif karena dapat menekan kehilangan air dari dalam tubuh tanaman, tetapi dari aspek pertumbuhan berdampak negatif, karena proses difusi  $\text{CO}_2$  ke dalam jaringan daun terhambat akibatnya proses fotosintesis terganggu.

Beberapa aspek yang perlu diperhatikan dalam budidaya kacang hijau di lahan kering adalah :

1. *aspek genetik*, meliputi pemilihan kultivar yang mempunyai potensi produksi tinggi, tahan terhadap kekeringan, umur pendek, memiliki bulu-bulu daun yang lebih panjang,
2. *aspek agronomi* : pengaturan pola tanam, pengaturan kerapatan tanam, pengendalian laju evapotranspirasi, penggunaan mulsa,
3. *aspek fisiologis dan biokimia* : aktivitas membuka dan menutupnya stomata, efisiensi fotosintesis, situasi penimbunan asam absisat.

Dalam kehidupan tanaman, proses membuka dan menutupnya stomata mempunyai arti sangat penting pada proses fotosintesis, respirasi, transpirasi, maupun evaporasi. Pada kondisi kekeringan penutupan stomata mempunyai peranan penting dalam mengurangi kehilangan air akibat evapotranspirasi, tetapi apabila stomata menutup dalam periode waktu yang lama mempunyai dampak kurang menguntungkan bagi tanaman, karena proses fotosintesis menjadi terganggu.

Bray (1988) mengungkapkan bahwa pada tanaman yang mengalami cekaman kekurangan air terjadi pemicuan proses biosintesis asam absisat. Proses tersebut terjadi karena pada suasana kekurangan air proses oksidasi di dalam protoplas berlangsung secara terus menerus. Adanya proses oksidasi pada karotinoid yang terdapat di dalam protoplas inilah yang dapat mempercepat peningkatan jumlah asam absisat di dalam sel. Akibatnya

semakin tinggi tingkat intensitas kekeringan dan bertambah lama tanaman mengalami kekeringan, peningkatan penimbunan asam absisat dalam organ tubuh tanaman juga semakin tinggi. Tingginya kandungan asam absisat pada tanaman yang mampu bertahan hidup pada kondisi tercekam kekurangan air menggambarkan tingkat kemampuan adaptasi tanaman terhadap kondisi kekurangan air.

Peningkatan penimbunan asam absisat selama tanaman mengalami kekurangan air mempunyai peranan dalam mengatur penutupan stomata (Zeevaart dan Creelmand, 1988). Agar tanaman kacang hijau yang diusahakan pada lahan kering dengan jumlah persediaan airnya terbatas dapat menghemat penggunaan air dan tetap mampu berproduksi tinggi, perlu dilakukan pengaturan terhadap waktu membuka dan menutupnya stomata. Untuk mempertahankan proses membukanya stomata dapat ditempuh dengan beberapa cara, antara lain menjaga kelembapan pada sel penjaga stomata, sehingga tekanan turgornya meningkat. Selain itu dapat dilakukan melalui pengendalian konsentrasi asam absisat di dalam daun dengan menggunakan senyawa osmolit. Salah satu senyawa osmolit yang dapat digunakan untuk mengatur turgor sel adalah sorbitol. Sorbitol merupakan kelompok senyawa gula alkohol yang mampu menghambat kerja asam absisat, berperan sebagai pelembab, dapat mengatur tekanan turgor pada stomata (Bohnert dan Jensen, 1996).

## 1.2. Rumusan Masalah

Kekurangan air bagi tanaman pada suatu stadia tumbuh dan selama waktu tertentu menimbulkan dampak negatif terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman kacang hijau. Upaya mempertahankan produksi maupun meningkatkan produktivitas tanaman kacang hijau pada kondisi kekurangan air, terdapat beberapa masalah yang perlu mendapat perhatian dan dicari pemecahannya.

Berdasarkan uraian di atas dapat dirumuskan beberapa permasalahan Masalah sebagai berikut

- a. apakah kultivar-kultivar tanaman kacang hijau mempunyai ketahanan yang berbeda terhadap kondisi tercekam kekurangan air ?
- b. apakah tanaman kacang hijau yang tercekam kekurangan air selama stadia tertentu berpengaruh terhadap pertumbuhan dan produktivitas hasilnya ?
- c. apakah penyemprotan osmolit sorbitol pada tanaman kacang hijau yang mengalami cekaman kekurangan air selama stadia kritis mampu meningkatkan ketahanan tanaman untuk dapat berproduksi secara normal ?.

### **1.3. Tujuan Penelitian**

#### **1.3.1 Tujuan umum**

- a. Mendapatkan metoda peningkatan ketahanan tanaman kacang hijau yang dibudidayakan pada lahan kering dalam kondisi kekurangan air,
- b. Memperkecil penurunan hasil biji kacang hijau di kondisi kekurangan air.

#### **1.3.2. Tujuan khusus**

- a. Mempelajari respon beberapa kultivar tanaman kacang hijau terhadap cekaman kekurangan air,
- b. Menemukan stadia pertumbuhan tanaman kacang hijau yang paling kritis terhadap cekaman kekurangan air,
- c. Menganalisis dan mengevaluasi peranan osmolit sorbitol dalam mempertahankan pertumbuhan dan hasil tanaman kacang hijau yang dibudidayakan pada kondisi tercekam kekurangan air selama stadia pertumbuhan tertentu.

### **1.4. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat :

- a. menemukan dan mengembangkan alternatif tehnik peningkatan ketahanan hasil tanaman kacang hijau pada kondisi kekeringan, dalam upaya meningkatkan optimalisasi pendayagunaan lahan kering, sehingga dapat menunjang peningkatan produksi kacang hijau,

- b. membantu memecahkan masalah peningkatan produksi kacang hijau dengan memperluas areal tanam melalui pemanfaatan lahan kering.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Landasan Teoritis

##### 2.1.1. Pertumbuhan dan pembudidayaan tanaman kacang hijau

###### 2.1.1. a. Peranan dan keunggulan tanaman kacang hijau

Tanaman kacang hijau merupakan tanaman pangan yang sangat potensial dalam menunjang pemenuhan gizi masyarakat. Dibandingkan tanaman kacang-kacangan yang lain, kacang hijau memiliki banyak kelebihan baik dari segi agronomi maupun ekonomi. Kelebihan tersebut antara lain : [1] umur relatif pendek, [2] dapat ditanam di lahan kurang subur, [3] cara budidayanya mudah, [4] resiko kegagalan secara total kecil, [5] harga relatif tinggi dan stabil dan [6] biaya produksi rendah sehingga nilai pendapatan pengusahanya cukup tinggi (Sumarno, 1991). Di samping itu tanaman kacang hijau juga mempunyai kekurangan atau kelemahan, terutama dalam hal kemantapan hasilnya relatif rendah. Menurut Astanto dan Sutarman (1992) beberapa penyebab kurang stabilnya hasil biji tanaman kacang hijau di antaranya adalah kurangnya kemampuan tanaman untuk : [1] mengatasi cekaman lingkungan fisik terutama terhadap cekaman air dan naungan, [2] mengatasi cekaman lingkungan hayati terutama terhadap kompetisi dengan gulma, serangan hama dan penyakit.

Berdasarkan sifat-sifat tersebut maka dalam upaya untuk meningkatkan produksi tanaman kacang hijau perlu mempertimbangkan beberapa permasalahan, misalnya pengembangan kacang hijau di lahan

sawah setelah padi, prioritas pengembangannya lebih banyak di tanah aluvial, andosol, latosol dan grumosol. Pertimbangan yang perlu dilakukan dalam budidaya kacang hijau di lahan sawah adalah pemilihan waktu yang tepat serta teknologi budidaya yang sesuai kondisi lingkungan, sehingga tanaman tidak mengalami cekaman kebanyakan air. Pertimbangan yang perlu difahami dalam pengembangan kacang hijau pada lahan kering, adalah terjadinya cekaman kekurangan air. Pengembangan kacang hijau di lahan kering merupakan alternatif sangat potensial, mengingat potensi areal lahan kering di Indonesia cukup luas mencapai 60% dari seluruh lahan pertanian yang sebagian besar pada tanah alvisol (mediteran merah) (Radjit dan Adisarwanto, 1992). Dalam pengusahaan budidaya kacang hijau di lahan kering perlu dicari sistem budidaya kacang hijau di lahan kering atau tadah hujan yang kurang air yang tepat, sehingga produksi dapat dipertahankan tetap tinggi walupun air terbatas.

#### **2.1.1.b. Karakteristik tanaman kacang hijau**

Tanaman kacang hijau merupakan golongan leguminosae yang mempunyai dua kelompok tipe pertumbuhan, yaitu

[1] *tipe determinit*, yaitu tipe pertumbuhan tanaman yang pada ujung batangnya tidak melilit dan pertumbuhan vegetatifnya diakhiri setelah tanaman berbunga, pembungaan berlangsung singkat dan relatif bersamaan.

[2] *tipe in-determinit*, ditandai ujung batang melilit, pembungaan berlangsung secara tidak bersamaan, dari pangkal ke bagian pucuk dan pertumbuhan vegetatif terus berlangsung walaupun bunga telah terbentuk.

Sistem perakaran tanaman kacang hijau adalah akar tunggang dengan struktur akar-akar lateralnya tegak lurus pada akar tunggang. Sistem perakaran kacang hijau dibedakan menjadi dua macam, yaitu *mesofit* dan *xerofit*.

*Tipe Mesofit* mempunyai banyak akar cabang dekat permukaan tanah, biasanya tipe pertumbuhannya menyebar. Tipe ini lebih banyak diperlihatkan pada kultivar lokal. *Tipe xerofit*, akar cabangnya lebih sedikit, memanjang ke arah bawah dan akar tunggangnya lebih panjang, tipe ini diperlihatkan pada kultivar kacang hijau unggul (Walet dan Sriti) (Trustinah, 1992).

Posisi daun pada batang tersusun berselang-seling yang dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu daun *pertama* dan daun *terminal*.

Daun *pertama* merupakan daun tunggal, terletak pada batang utama dan berhadap-hadapan, daunnya berbentuk oval dengan bagian ujungnya agak runcing (*lanceolate*).

Daun *terminal*, yaitu daun-daun yang tumbuh di atas daun pertama, terdiri dari tiga helaian daun (*trifoliate*). Daun ini mempunyai ukuran lebih besar daripada daun pertama. Tangkai daun (*petiole*) lebih panjang daripada helaian daun dan memiliki *stipula* (daun penumpu). Pada permukaan daun terdapat bulu-bulu daun (*pubescent*), ukuran dan kerapatannya sangat bervariasi.



Kacang hijau tergolong jenis tanaman menyerbuk sendiri, bunga pertama muncul mulai minggu ke lima sampai ke enam setelah tanam. Bunga tersusun dalam bentuk tandan, setiap tandan terdiri dari 1 - 20 bunga. Bunga kacang hijau bersifat *cleistogamy*, yaitu bunga mekar setelah terjadi penyerbukan dan penyerbukannya terjadi pada malam hari. Berdasarkan periode pembungaannya tanaman kacang hijau dibedakan menjadi dua yaitu [1] berbunga tidak serempak (*ansynchronous*) dan [2] berbunga serempak (*synchronous*).

Polong kacang hijau berbentuk silindris, ukurannya berkisar 10-20 cm, kulit polong berbulu, pada saat masih muda berwarna hijau dan setelah tua polong berwarna hitam atau coklat.

#### **2.1.1.c. Pembudidayaan tanaman kacang hijau**

Tanaman kacang hijau, dalam pertumbuhannya terdapat beberapa tahap yaitu mulai dari proses perkembangan embrio untuk berkecambah, pertumbuhan vegetatif, reproduktif dan penuaan. Secara garis besar periode pertumbuhan tanaman dikelompokkan dalam dua tingkatan, yaitu stadia vegetatif dan generatif. Pada stadia vegetatif terdapat tiga tahapan yaitu perkecambahan, pembentukan *kotiledon* dan pembentukan daun *trifoliolate*. Pengelompokkan stadia pertumbuhan tanaman kacang hijau, tertera dalam tabel 2.1.

Tabel 2.1. Stadia Pertumbuhan beberapa Kultivar Kacang hijau (Anonimus, 1985 dan Trustinah, 1992)

Kode	Stadia Pertumbuhan	Umur (hst)		
		Merak	Bhakti	Walet
V-E	Biji berkecambah muncul kotiledon	5	5	5
V-K	Kotiledon membuka	6	6	6
V-1	Daun trifoliolate pertama	11	11	10
V-2	Daun trifoliolate ke dua	17	19	17
V-3	Daun trifoliolate ke empat	23	23	23
V-4	Daun trifoliolate ke enam	35	35	35
G-1	Tanaman mulai berbunga	35-37	41-43	35-37
G-2	Pembentukan polong	37	43	37
G-3	Pengisian biji	43-46	51-58	42-46
G-4	Pemasakan polong	52	60	52
G-5	Panen	60	65	58

Keterangan : V = vegetatif, G = generatif, E = perkecambahan K = kotiledon

Pembentukan kotiledon berlangsung hingga hari ke enam, dan daun-daun trifoliet terbentuk mulai umur 10 hari setelah tanam. Sedangkan stadia generatif diawali dengan munculnya bunga, pada umumnya terjadi berkisar pada umur 35 hari setelah tanam. Stadia ini dibedakan dalam empat peristiwa yaitu pembungaan, pembentukan polong, pembentukan dan pengisian biji dan penuaan.

Berdasarkan karakternya pembudidayaan tanaman kacang hijau di Indonesia relatif cukup prospektif, karena tanaman ini dapat diusahakan di lahan sawah musim kemarau maupun di lahan kering, sehingga pengembangan areal panen relatif mudah dipenuhi. Menurut Radjit dan Adisarwanto (1992) dalam melakukan budidaya tanaman kacang hijau beberapa hal yang perlu mendapat perhatian adalah : musim tanam, penyiapan lahan, populasi tanaman dan jarak tanam, ketersediaan air,

pemupukan, pengendalian hama, penyakit dan gulma. Musim tanam merupakan salah satu faktor penting yang sangat menentukan keberhasilan proses produksi tanaman kacang hijau. Pengusahaan tanaman kacang hijau pada lahan sawah yang mempunyai pola tanam padi - palawija I - palawija II, kacang hijau lebih sesuai diusahakan setelah padi sebagai palawija I yaitu pada bulan Maret atau April, sedangkan bila diusahakan pada musim kemarau II, umumnya dimulai pada bulan Juli sampai Oktober. Pengusahaan di lahan tegalan atau lahan kering tadah hujan umumnya dilakukan pada musim penghujan.

Populasi tanam optimal untuk tanaman kacang hijau merupakan jumlah tanaman per hektar dapat memperoleh hasil tinggi, untuk penanaman pada musim kemarau populasi optimalnya adalah 500.000 tanaman/ha, jarak tanam 20x20 cm atau 40 x 10 cm dengan dua tanaman per lubang. Sedangkan pada musim penghujan populasi optimumnya 400.000 tanaman per hektar.

Upaya untuk menunjang peningkatan produksi diperlukan beberapa teknologi untuk menyiasatinya, di antaranya berupaya untuk mendapatkan kultivar unggul tahan kekurangan air, serta melakukan rekayasa dalam pembudidayaan tanaman, misalkan, mengatur pola tanam, memperkecil kehilangan air dengan memanipulasi aktifitas fisiologi tanaman, misalnya yang telah banyak dilakukan adalah mengatur pola tanam. Sedangkan untuk meningkatkan produksi melalui peningkatan populasi tanaman kontribusinya relatif rendah.

## **2.1.2. Peranan air dan dampak cekaman kekurangan air bagi aktifitas kehidupan tanaman**

### **2.1.2.a. Peranan air dalam kehidupan tanaman**

Air merupakan komponen penting dalam tubuh tanaman, karena di dalam tubuh tanaman air berperan sebagai : pengangkut, pelarut serta reaktan. Pada kehidupan tanaman, air diserap oleh tanaman melalui proses difusi dan osmosis. Pengaliran air akan terjadi jika perbedaan konsentrasi air di dalam tanah dan di dalam jaringan tanaman semakin besar. Apabila jumlah air di sekitar perakaran cukup banyak, sedangkan di dalam jaringan sedikit, maka terjadilah aliran air dari tanah menuju ke jaringan tanaman.

Bagi tanaman, air mempunyai fungsi penting di antaranya adalah : [1] merupakan senyawa utama pembentuk protoplasma, [2] sebagai pelarut, [3] pengangkut nutrisi dari dalam tanah maupun mengangkut fotosintat dari daun ke organ tubuh yang lain, [4] merupakan medium untuk reaksi kimia dan aktifitas metabolisme, [5] sebagai medium untuk transfer zat pelarut organik maupun an-organik, [6]. pengendali tekanan turgor sel, [7] bahan baku untuk fotosintesis, [8] sebagai penyerap panas, sehingga air dapat menjaga stabilitas suhu tanaman.

Kebutuhan air tanaman merupakan cerminan besarnya air yang dilepas tanaman tersebut melalui proses evapotranspirasi. Proses tersebut merupakan peristiwa berubahnya air menjadi uap dari jaringan tanaman maupun media tumbuh yang ditempati tanaman tersebut. Sehingga apabila proses tersebut berlangsung cepat, maka jumlah air yang hilang dari tubuh

dan media tumbuh tanaman menjadi berkurang. Untuk menjaga agar jaringan tanaman tetap sehat, maka kehilangan air akibat evapotranspirasi harus diganti, jika persediaan air tidak cukup untuk mengganti kehilangan air tersebut maka aktifitas tanaman akan terganggu. Dengan demikian dapat diketahui bahwa besarnya jumlah air yang diperlukan tanaman setara dengan nilai evapotranspirasi tanaman. Menurut Passioura (1986) hasil biji merupakan fungsi dari besarnya air yang ditranspirasikan dan efisiensi penggunaan air, digambarkan dalam model biologi sebagai berikut :

$$\text{Hasil biji} = T \times \text{WUE} \times \text{HI},$$

T = jumlah air yang ditranspirasikan, WUE = *water used efficiency* (efisiensi penggunaan air) dan HI = harvest index (indeks panen).

Jumlah kebutuhan air untuk kehidupan tanaman sangat bervariasi, tergantung dari jenis tanaman, umur tanaman, faktor lingkungan, antara lain radiasi matahari, kelembapan udara, suhu, angin dan sebagainya. Untuk menentukan besarnya kebutuhan air bagi tanaman, Doorenbos dan Pruitt (1979) menetapkan bahwa jumlah kebutuhan air tanaman dilakukan pendekatan melalui evapotranspirasi tanaman ( $ET_{\text{tanaman}}$ ) yang dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$ET_{\text{tanaman}} = kc \times ETo$$

di mana ETo adalah evapotranspirasi potensial, dan kc adalah koefisien tanaman. Nilai koefisien tanaman sangat ditentukan oleh jenis tanaman, kerapatan daun, umur (stadia pertumbuhan) tanaman, serta faktor lingkungan di sekitar tanaman. Sedangkan nilai ETo dapat ditentukan dengan

menggunakan beberapa metode empirik antara lain : [1] *metode Blaney Cridle*, yaitu penghitungan evapotranspirasi (Eto) dilakukan dengan menggunakan informasi suhu rata-rata harian, [2] *metode Penmann*, perhitungan dilakukan dengan menggunakan informasi data suhu, kelembapan udara, dan kecepatan angin, [3] *metode Pan*, yaitu menghitung evapotranspirasi potensial dengan menggunakan data evaporasi dan koefisien panci evaporimeter dan [4] *metode Radiasi*, menggunakan data panjang hari, suhu rata-rata harian, kelembapan udara serta kecepatan angin (Doorenbos dan Pruitt, 1979 : Rosenberg, 1980).

Potensi lahan kering di Jawa Timur mempunyai daya dukung cukup besar dalam melaksanakan program ekstensifikasi tanaman kacang hijau. Lahan kering dicirikan rendahnya persediaan air di dalam tanah dan kebutuhan airnya sebagian besar dicukupi dari curah hujan, jenis tanah mempunyai produktivitas lahan rendah sehingga kehidupan tanaman di lahan kering sering mengalami hambatan ataupun gangguan. Lahan kering memiliki kondisi biofisik dan sosial sangat bervariasi, demikian juga macam usahatani yang diusahakan di atasnya juga bervariasi. Permasalahan dalam berusahatani pada lahan kering sangat kompleks, meliputi : [a] persediaan air terbatas, [b] evaporasi dan evapotranspirasi tinggi, [c] topografinya sebagian besar miring, sehingga rawan erosi, [d] produktivitas lahan rendah, [e] intensitas radiasi matahari tinggi, [f] kelembapan rendah. Karena besarnya variasi lingkungan maka teknik pengelolaan lahan kering perlu disesuaikan dengan kondisi setempat. Untuk itu dalam budidaya tanaman di lahan kering

seyogyanya dilengkapi dengan paket teknologi yang tepat dan sesuai dengan agroekosistem spesifik lahan kering (Guritno, 1988). Menurut data Bappeda Jawa Timur luas lahan tadah hujan dan tegalan seluas 8.6 juta hektar (Bappeda, 1995)

#### **2.1.2.b. Dampak cekaman kekurangan air bagi aktifitas tanaman**

Keberhasilan tanaman untuk mempertahankan kehidupannya pada suatu lingkungan, sangat ditentukan oleh kemampuan tanaman untuk menyesuaikan diri terhadap perubahan kondisi lingkungan di sekitarnya.

Air merupakan komponen lingkungan yang sangat penting peranannya dalam kehidupan tanaman, sehingga apabila situasi ketersediaan air berubah maka aktifitas kehidupan tanaman dapat terpengaruh. Menurut Abe, *et al.* (1997) cekaman kekeringan merupakan suatu kondisi yang dapat berpengaruh hampir pada semua fungsi tanaman, mencakup pertumbuhan dan produksi tanaman.

Pengaruh cekaman kekurangan air pada tanaman mencakup pengaruhnya pada aspek agronomis, fisiologis maupun biokimia.

Pengaruh terhadap aspek agronomis, antara lain pada perubahan penampilan ukuran tanaman, daun, perakaran, pembungaan, serta hasil biji.

Pengaruh terhadap aktifitas fisiologi, meliputi : laju fotosintesis, laju pertumbuhan, akumulasi bahan kering, transpirasi, aktifitas stomata dan sebagainya.

Pengaruh cekaman kekurangan air terhadap aktifitas biokimia tanaman adalah mencakup perubahan konsentrasi hormon, misalnya kandungan asam absisat.

Pada kondisi kekeringan, sel-sel tanaman mengalami kehilangan air, sehingga berpengaruh terhadap metabolisme di dalam sel. Levitt (1980) menyatakan bahwa sintesis protein menurun, sejalan dengan berkurangnya kandungan air. Terjadinya proses dehidrasi pada tanaman yang kekurangan air akan memacu pembentukan asam absisat (Abe, *et al.* 1997).

Keberhasilan suatu tanaman untuk hidup dan berkembang pada situasi kekurangan air, merupakan prestasi bagi tanaman tersebut, karena tanaman tersebut mampu mempertahankan diri melalui penyesuaian proses-proses metabolismenya. Menurut Turner (1986) ketahanan kekeringan suatu tanaman adalah kemampuan tanaman untuk tumbuh normal pada kondisi kekurangan air. Cekaman air merupakan suatu peristiwa alami dari seluruh bentuk cekaman lingkungan a-biotik suatu tanaman. Peristiwa ini dapat terjadi pada kondisi kekurangan air maupun tergenang, suhu rendah, tanah yang asam maupun tanah yang berkadar garam tinggi. Menurut Abe, *et al.* (1997) respon tanaman terhadap cekaman lingkungan ditandai adanya sejumlah perubahan fisiologis dan perkembangan tanaman. Kekurangan air pada suatu tanaman mempengaruhi seluruh fungsi tanaman termasuk pertumbuhan dan perkembangan sel. Pada kondisi tersebut laju transpirasi meningkat sehingga kehilangan air semakin banyak dan pada saat itu stomata membuka penuh. Dalam kondisi normal persediaan air cukup,

kehilangan air melalui proses transpirasi akan diganti air dari tanah, sehingga tanaman tumbuh baik.

Secara fisiologi tanaman yang mengalami kekurangan air secara berlebihan pada suatu saat terjadi proses penutupan stomata, akibat turunnya tekanan turgor sel penjaga stomata. Proses penutupan stomata ini dikendalikan oleh asam absisat (ABA) pada sel penjaga. Asam absisat merupakan hormon tumbuh yang tersebar di seluruh bagian tubuh tanaman terutama di daun dan akar, jumlahnya semakin meningkat bila tanaman mengalami kekurangan air (Turner, 1986; Kende dan Zeevaart, 1997). Asam absisat banyak dihasilkan tanaman pada kondisi kekurangan air, dan keberadaan hormon tersebut merupakan instrumen dalam perkembangan ketahanan terhadap kekeringan (Abe, *et al.* 1997).

Dalam proses kehidupan tanaman, cekaman lingkungan sangat mempengaruhi aktifitas metabolisme. Cekaman air berpengaruh terhadap perilaku aktifitas reaksi biokimia di dalam tubuh tanaman. Tanaman mengalami cekaman kekurangan air apabila laju evapotranspirasinya lebih besar daripada laju pengambilan air dari dalam tanah. Yoshida, *et al.* (1997) menyatakan bahwa tanaman yang mengalami cekaman osmotik akibat kekeringan ataupun salinitas air tinggi akan merupakan problem yang menghambat pertumbuhan tanaman dan peningkatan produktivitas.

Respon tanaman untuk mempertahankan diri terhadap kekurangan air adalah berbeda-beda, tergantung spesies maupun stadia pertumbuhan tanaman. Reaksi yang ditimbulkan tanaman sebagai upaya untuk

mempertahankan diri agar kehilangan air dapat diperkecil, diwujudkan dalam bentuk mekanisme membuka dan menutupnya stomata, lapisan kutikula, keberadaan bulu-bulu pada permukaan daun dan lain-lain, kesemuanya berperan sebagai faktor penghambat (*resistance*) terhadap laju kehilangan air dari jaringan tanaman. Proses penutupan stomata merupakan kunci utama penentu sedikit atau banyaknya air yang hilang, lancar atau lambatnya proses fotosintesis, respirasi, aktifitas biokimia sel, sintesis protein, sistem konversi energi dan sebagainya (Davies, *et al.* 1981). Turunnya laju transpirasi dan fotosintesis pada tanaman yang tercekam kekurangan air adalah akibat menutupnya stomata. Stomata menutup bila air yang ada di dalam jaringan tanaman banyak dihabiskan untuk transpirasi (Schulz, 1986). Menutupnya stomata berakibat transpor CO<sub>2</sub> ke dalam jaringan mesofil dan organ fotosintesis berkurang, sehingga produk fotosintesis menurun. Rendahnya produk fotosintesis tersebut berakibat sintesis protein menurun (Shimshi, Mayoral dan Atsmon, 1982).

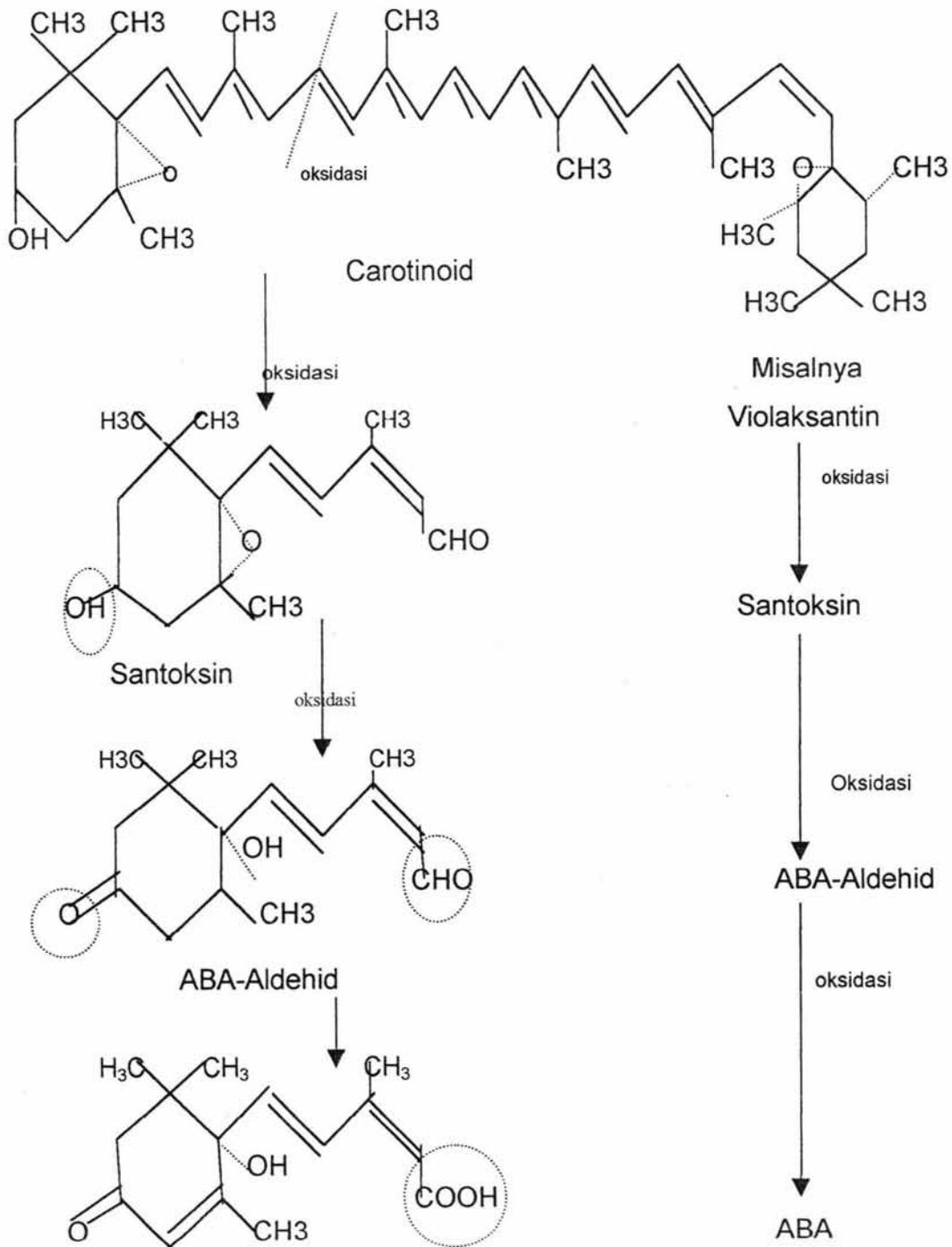
Dampak kekurangan air berpengaruh terhadap peningkatan konsentrasi asam absisat, turunnya turgor, peningkatan prolin, aktifitas oksidasi IAA (auksin) serta menurunnya transpor auksin, aktifitas giberalin menurun (Davies, *et al.* 1986). Yoshiba, *et al.* (1997) mengemukakan bahwa beberapa tanaman yang termasuk *halofit*, apabila berada pada kondisi kekeringan atau tercekam air garam, pada tubuh tanaman akan terjadi akumulasi senyawa: prolin, glisin, betain dan gula alkohol. Penimbunan beberapa metabolit dapat memberikan kemampuan tanaman untuk

menyembuhkan diri dari akibat cekaman air yang dialaminya. Penimbunan senyawa-senyawa di atas menyebabkan munculnya kemampuan tanaman untuk mengadakan penyesuaian osmotik di dalam sel). Pengaturan osmotik pada tanaman dapat dilakukan dengan memelihara turgor pada daun (Barlow, 1986 ; Taiz dan Zeiger, 1991).

Asam absisat merupakan kelompok hormon penghambat yang mempunyai peranan penting dalam pengaturan penutupan stomata. Proses membuka dan menutupnya stomata mempunyai peranan penting terhadap kelangsungan proses fotosintesis maupun transpirasi. Milborrow (1981) mengemukakan bahwa asam absisat mempunyai peranan penting dalam menekan laju transpirasi. Dalam hubungannya dengan toleransi tanaman terhadap kekeringan, penutupan stomata merupakan mekanisme yang mempunyai arti sangat penting, karena kehilangan air dapat diperkecil, tapi bagi fotosintesis penutupan stomata sangat mengganggu, karena proses difusi CO<sub>2</sub> terganggu. Menurut Losch dan Tenhunen (1981) turunnya turgor sel pada daun, mempengaruhi aktifitas sel penjaga, situasi ini dikontrol oleh hormon penghambat asam absisat. Pada tubuh tanaman asam absisat disintesis di dalam kloroplas daun dan plastid lain. Kloroplas daun mengandung karotinoid yang merupakan bahan dasar pembentukan asam absisat (Moore,1979). Pada kondisi kekurangan air pembentukan asam absisat semakin terpacu. Hal ini disebabkan pada kondisi kekeringan terjadinya proses oksidasi karotinoid di dalam kloroplas daun. Melalui proses oksidasi karotinoid dihasilkan xantoksin dan selanjutnya xantoksin dioksidasi



oleh  $\text{NADP}^+$  menjadi ABA-aldehid, dan ABA-aldehid ini dioksidasi menjadi asam absisat (ABA) (Moore, 1979 ; Salisbury dan Ross, 1995) (gambar 2.1.).



Gambar 2.1. Proses biogenesis Asam Absisat (Moore, 1979 ; Salisbury dan Ross, 1995)

Bertitik tolak dari dua kenyataan tersebut, dirasa perlu mengadakan upaya untuk merangsang agar pada waktu tertentu stomata membuka untuk memberikan kesempatan fotosintesis. Lebar atau sempitnya pembukaan stomata sangat menentukan besarnya kehilangan air dari jaringan tanaman. Kehilangan air di dalam sel penjaga akan mempengaruhi perubahan turgor dan pola membuka dan menutupnya stomata (Taiz dan Zeiger, 1991). Mekanisme penutupan stomata merupakan penutupan hidroaktif, yaitu terjadi bila seluruh daun mengalami dehidrasi dan sangat ditentukan oleh proses metabolisme di dalam sel penjaga. Pergerakan sel penjaga stomata pada proses membuka dan menutupnya stomata berlangsung akibat adanya perubahan tekanan turgor pada jaringan epidermis.

Tabel 2.2. Efek Penggunaan Asam Absisat terhadap Respon Tanaman yang Kekeringan (Davies, *et al.* 1986)

Respon	Akibatnya
Fungsi sebagai konduktan bagi stomata berkurang	- Kehilangan air berkurang - Meningkatkan efisiensi penggunaan air - membantu mengoptimalkan penggunaan air
Hambatan proses fotosintesis	- menurunkan pertumbuhan dan hasil tanaman
Aliran air melalui akar	- meningkatkan pengambilan air, - mempengaruhi konsentrasi ion pada membran
Distribusi asimilat terhambat	- perbandingan akar dan bagian tanaman di atas tanah meningkat dan morfologi akar berubah
Laju pertumbuhan daun turun	- luas permukaan transpirasi berkurang - sel-sel yang dibentuk lebih kecil
Perubahan morfologi daun : kutikula tebal, bulu daun lebih banyak dan tebal, Stomata berkurang	- kehilangan air berkurang
Pembungaan lebih awal (pada tanaman serealia)	- batang pendek, masa pengisian biji lebih awal
Sterilitas pollen	- jumlah biji berkurang dan hasil berkurang

Menurut Pearce dan Michell (1991) selama tanaman mengalami kekeringan, asam absisat dibebaskan dari kloroplas ke dalam sel epidermis. Asam absisat secara terus menerus disintesis pada sel-sel mesofil dan sebagian besar berakumulasi pada kloroplas. Apabila mesofil mengalami dehidrasi terjadi dua peristiwa yaitu

- (1) Asam absisat yang tersimpan di dalam sel-sel mesofil dilepas dan masuk ke apoplas (dinding sel bagian luar ke membran plasma),
- (2) Laju sintesis asam absisat meningkat.

Peningkatan sintesis asam absisat tersebut diikuti menutupnya stomata yang diawali oleh redistribusi simpanan asam absisat dari mesofil ke dalam apoplas.

Proses redistribusi asam absisat tergantung pada perbedaan pH di dalam daun, permeabilitas membran sel dan asam lemah dari molekul asam absisat (Moore, 1979 ; Salisbury dan Ross, 1995).

Davies, *et al.* (1986) mengemukakan bahwa keberadaan asam absisat di dalam jaringan tanaman berpengaruh terhadap perubahan morfologi tanaman, di antaranya kutikula lebih tebal, bulu-bulu daun lebih banyak dan tebal, jumlah stomata berkurang, bunga dan biji berkurang, serta laju fotosintesis turun.

Dalam kondisi tercekam air, di dalam tubuh tanaman proses penimbunan prolin dan sintesis asam amino terus berlangsung, tetapi sintesis protein terhambat. Akumulasi prolin tersebut mulai terjadi jika potensial air daun turun dan sangat tergantung pada kandungan kloroplas serta

ketersediaan karbohidrat, di mana karbohidrat akan mencegah hilangnya prolin melalui oksidasi (Stewart, 1972). Turunnya potensial air tersebut ditentukan oleh kurangnya air di lingkungan tumbuh tanaman. Potensial air daun yang rendah berakibat stomata menutup, sehingga proses fotosintesis terganggu, akibatnya produksi karbohidrat dan pembentukan kloroplas berkurang. Padahal laju penimbunan prolin sangat dipengaruhi oleh keberadaan kloroplas dan karbohidrat tersebut. Munns, *et al.* (1979) menyatakan bahwa peningkatan konsentrasi karbohidrat dan asam amino merupakan kontribusi utama terhadap tingginya tingkat kadar prolin di dalam daun gandum.

Kondisi tercekam air berdampak pada turunnya potensial air daun, dan kadar prolin di dalam daun dapat meningkat sampai 10 hingga 100 kali lipat, dibandingkan dengan tanaman yang tumbuh dalam kondisi cukup air. Gambaran ini dapat digunakan sebagai indikator, bahwa tanaman yang mempunyai kandungan prolin tinggi, menandakan tanaman tersebut mempunyai ketahanan terhadap kekeringan cukup besar (Waldren dan Teare, 1974). Prolin pada daun yang tidak tercekam air mengalami perubahan selama siang hari. Prolin meningkat dengan meningkatnya intensitas cahaya dan variasinya cukup besar pada daun-daun di bagian tengah tajuk yang ternaung atau cahaya matahari yang diterima relatif berkurang (Waldren, Teare dan Ehler, 1974). Tanaman yang resisten terhadap kekeringan mempunyai kemampuan mensintesis prolin lebih banyak daripada kultivar yang kurang tahan terhadap kekurangan air (Palfi

dan Juhasz, 1971). Perbedaan laju akumulasi prolin ini dapat diperlihatkan pada perbedaan laju penurunan potensial air daun. Ambang batas potensial air daun untuk menimbun prolin berkisar -15 sampai -17 bar (Michael dan Elmore, 1977 ; Kramer, 1980). Diduga prolin dapat bertindak sebagai senyawa penyimpan cadangan untuk mereduksi karbon dan nitrogen selama tanaman tercekam air. Senyawa ini dapat digunakan bila tanaman mendapat air lagi. Selain itu ditemukan pula bahwa prolin merupakan sumber respiratori CO<sub>2</sub> pada tanaman yang dalam keadaan kekurangan air. Pada lamina yang mempunyai kandungan kloroplas tinggi ditemukan prolin dalam jumlah yang banyak pula (Singh, *et al*, 1975). Akumulasi prolin ini tampaknya dikontrol oleh potensial osmotik jaringan dan kapasitas akumulasinya berhubungan dengan toleransinya terhadap kondisi kekeringan. Pada daun yang mengalami kelayuan laju penggunaan prolin meningkat, tetapi kandungan prolinnya lebih tinggi dibandingkan pada daun segar. Hal ini disebabkan prolin lebih banyak digunakan untuk proses oksidasi. Efek utama dari kelayuan terhadap akumulasi prolin adalah menurunkan sintesis protein (Stewart, 1972). Penimbunan prolin selama tanaman mengalami kekurangan air akan cepat turun oleh adanya oksidasi glutamat dan penambahan air. Konsentrasi prolin akan turun 3-4 jam setelah tanaman diairi (Aspinal dan Paleg, 1981).

### **2.1.3. Peranan osmolit dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman kekurangan air**

Osmolit adalah suatu senyawa yang mempunyai peranan dalam mengatur dan mengendalikan proses osmosis di dalam sel. Sorbitol adalah merupakan salah satu senyawa organik yang dapat digunakan sebagai osmolit. Sorbitol termasuk golongan alkohol dengan rantai lurus dan sering pula disebut sebagai gula alkohol, memiliki rumus kimia  $\text{HOCH}_2\text{-(CHOH)}_4\text{-CH}_2\text{OH}$  yang cukup higroskopis. Sorbitol (D-glucitol) ditemukan pertama kali pada tahun 1872, yang banyak terkandung pada buah apel, pear, cherri, kurma, aprikot (Grant dan Rees, 1981). Bahan dasar untuk pembuatan sorbitol adalah bahan-bahan penghasil glukose, yaitu dekstrose yang diperoleh dari tapioka yang cukup berlimpah di kalangan petani. Pembuatan sorbitol dilakukan melalui proses dehidrogenase katalitik glukosa bertekanan tinggi (Djunaedi dan Alkatiri, 1990). Sorbitol mempunyai sifat higroskopis, larut dalam air, berwarna putih, tidak berbau serta tidak larut pada pelarut organik dan rasanya manis (60% dari manisnya gula) Budimulyo dan Tjahyono (1993).

Pada saat sekarang sorbitol dan manitol banyak digunakan di bidang industri makanan, kosmetik, farmasi, tekstil dan polimer yang telah banyak diproduksi secara komersiel. Di bidang industri pangan, farmasi maupun kosmetik sorbitol relatif cukup aman karena bahan bakunya adalah bahan nabati. Pada industri kosmetik banyak digunakan sebagai pelembab untuk mencegah penguapan air, sedangkan di Industri polimer, sorbitol dapat

digunakan sebagai stabilizer untuk mengatasi panas. Di dalam sintesis, bahan ini banyak digunakan untuk pengendali kelembapan. Di negara barat sekitar 1/3 dari jumlah produksi sorbitol digunakan sebagai bahan baku pembuatan vitamin dan selebihnya (2/3) dipakai sebagai bahan campuran pada produk yang memerlukan kestabilan kelembapan, dan kondisioner. Bahan ini banyak dihasilkan oleh tanaman namun di bidang pertanian belum banyak difungsikan, padahal bahan ini dapat dimanfaatkan untuk pengatur osmotik sel tanaman. Bohnert dan Jensen, (1996) mengemukakan bahwa salah satu upaya untuk mengurangi pengaruh asam absisat di dalam jaringan tanaman dapat dilakukan penyemprotan atau penambahan beberapa jenis osmolit seperti, sorbitol, mannitol. Taiz dan Zeiger (1991) menyatakan bahwa senyawa organik seperti sorbitol, sukrose dapat digunakan sebagai pengatur osmotik sel untuk mempertahankan keseimbangan air di dalam tubuh tanaman. Pengaturan osmotik mempunyai hubungan erat dengan situasi potensial air di dalam sel, dan proses ini berlangsung apabila terjadi kehilangan air di dalam tubuh tanaman (Bohnert dan Jensen, 1996).

Sebagai kelompok glukose, sorbitol dapat digunakan untuk menghambat aktifitas asam absisat. Asam absisat merupakan hormon penghambat pertumbuhan tanaman, khususnya terhadap stomata, dan sangat menentukan dalam proses penutupan stomata. Menutupnya stomata mempunyai arti penting dalam penghematan air, tetapi bagi pertumbuhan tanaman kurang menguntungkan karena proses fotosintesis menjadi terganggu.

Selain dapat digunakan untuk menghentikan aktifitas asam absisat, sorbitol di dalam tubuh tanaman dapat difungsikan sebagai stabilitas kelembapan sel. Sebagai pengendali kelembapan dalam sel, sorbitol berperan dalam meningkatkan tekanan turgor pada sel penjaga stomata, sehingga dengan meningkatnya tekanan turgor sel penjaga, stomata akan membuka dan fotosintesis akan berlangsung normal. Menurut Turner (1986) pengendalian dampak kekurangan air pada tanaman dapat dilakukan melalui menjaga serapan air dan tekanan turgor. Sedangkan untuk mempertahankan tekanan turgor dapat dilakukan dengan mengurangi kehilangan air dari proses transpirasi serta menjaga stabilitas osmotik. Taiz dan Zeiger (1991) mengemukakan bahwa pengaturan osmotik sel membantu menjaga keseimbangan air pada tanaman. Dalam hal ini adanya penimbunan larutan-larutan seperti gula alkohol, sorbitol, glisin betain di dalam sitoplasma berperan untuk menjaga keseimbangan potensial air di dalam sel.

Umumnya semua tanaman yang berada pada kondisi kekurangan air produksinya sangat rendah. Hal ini disebabkan karena selain air yang diperlukan untuk aktifitas metabolisme kurang, juga turunnya turgor sel penjaga stomata yang berakibat menutupnya stomata. Proses menutupnya stomata pada tanaman yang kekurangan air dikendalikan oleh meningkatnya konsentrasi asam absisat. Stomata yang menutup dalam kurun waktu lama, berdampak terganggunya proses fotosintesis. Untuk itu agar tanaman yang tumbuh pada kondisi kekurangan air dapat memproduksi secara normal maka pada waktu-waktu tertentu perlu dilakukan upaya untuk membuka stomata.



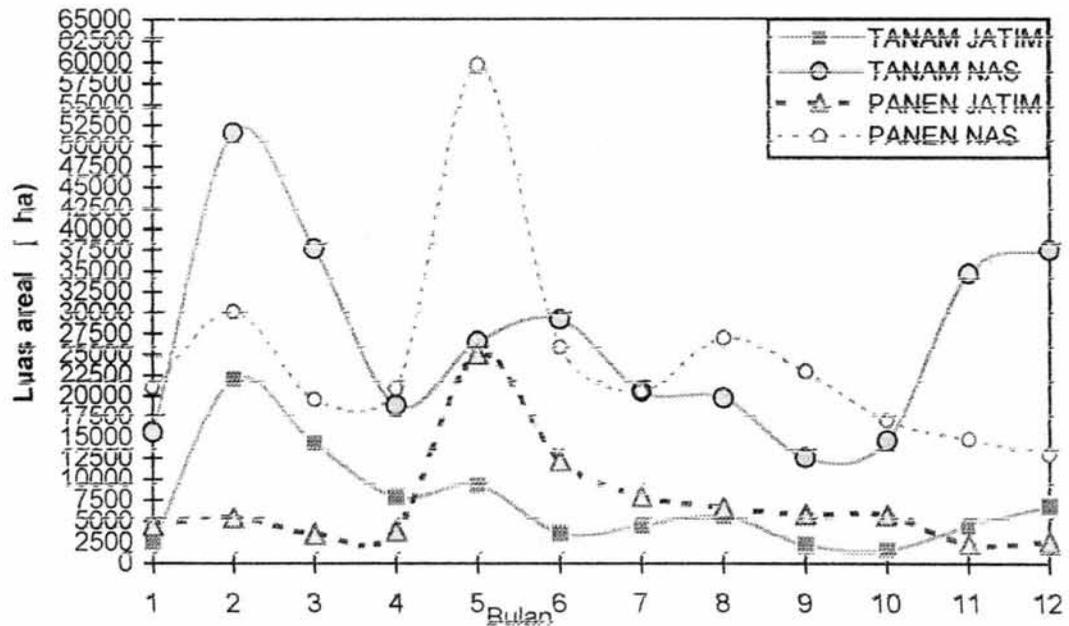
## **2.2. Landasan Empiris**

### **2.2.1. Potensi dan kendala pengembangan kacang hijau di Jawa Timur**

Tanaman kacang hijau merupakan salah satu tanaman kacang-kacangan yang mempunyai nilai ekonomis relatif stabil. Areal tanaman kacang hijau di Jawa Timur pada musim tanam 1999/2000 totalnya 84.028 ha yang terdiri dari lahan sawah 28.675 ha dan di lahan kering areal tanam 55.353 ha. Dalam upaya untuk memenuhi kebutuhan kacang hijau pemerintah propinsi Jawa Timur pada tahun 2000/2001 menargetkan produksi kacang hijau sebanyak 75.915 ton ose kering (Anonimus, 1999). Untuk mewujudkan target tersebut ditempuh melalui berbagai upaya di antaranya meningkatkan program intensifikasi dan ekstensifikasi.

Permintaan kacang hijau di Indonesia relatif cukup pesat, menuntut untuk terus berupaya mencari alternatif teknik peningkatan produksi. Program peningkatan produksi kacang hijau melalui ekstensifikasi yaitu program peningkatan produksi melalui perluasan areal tanam, mempunyai peluang yang cukup besar, karena tanaman kacang hijau mempunyai kemampuan untuk dikembangkan di lahan sawah ataupun lahan kering. Menurut Radjit dan Adisarwanto (1992) pada lahan sawah yang mempunyai pola tanam padi - palawija I - palawija II, kacang hijau lebih sesuai diusahakan setelah padi sebagai palawija I yaitu pada bulan Maret atau April, sedangkan bila diusahakan pada musim kemarau II, dimulai pada bulan Juli sampai Oktober. Apabila memperhatikan potensi lahan dan pola tanam yang ada, sebenarnya peningkatan produksi kacang hijau di Jawa Timur masih

cukup baik apabila disertai dengan teknologi pengelolaan tanaman kacang hijau di lahan sawah atau musim hujan dan di lahan kering yang memadai. Potensi tersebut tergambar pada data hasil sensus pertanian seperti yang tersaji pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Distribusi Areal Tanam dan Panen Kacang Hijau di Jawa Timur dan Nasional (Anonimus, 1995).

Berdasarkan hasil pengolahan data hasil sensus pertanian tentang situasi pertanaman dan panen tanaman kacang hijau di Jawa Timur dan tingkat nasional, terlihat bahwa pada umumnya tanaman kacang hijau di Indonesia maupun di Jawa Timur khususnya banyak ditanam pada bulan November dan menjelang akhir musim penghujan yaitu pada bulan Februari. Penanaman yang dilakukan pada awal musim hujan (bulan Oktober - November) merupakan pertanaman kacang hijau yang diusahakan di lahan kering, sedang penanaman pada bulan Februari-Maret menggambarkan

pertanaman kacang hijau di lahan sawah setelah tanaman padi. Penanaman kacang hijau pada musim kemarau banyak ditemukan pada Mei-Juni, khusus di Jawa Timur areal tanam kacang hijau di musim kemarau banyak diusahakan pada bulan Mei dan Agustus.

Beberapa kendala yang dihadapi dalam peningkatan produksi kacang hijau antara lain adalah

- [1] rendahnya stabilitas produksi kacang hijau banyak dipengaruhi oleh potensi hasil biji jenis kultivar yang dibudidayakan serta ketahanan tanaman untuk mempertahankan hasil bijinya pada kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan.
- [2] pengusahaan kacang hijau di Indonesia maupun di Jawa Timur sebagian besar ditanam pada musim hujan, sehingga persoalan yang dihadapi adalah ancaman terhadap kerusakan ataupun kegagalan tanaman akibat tergenang air hujan. Demikian pula sebaliknya pada pertanaman yang dilakukan di musim kemarau maka permasalahan utamanya adalah tanaman akan menderita tercekam akibat kekurangan air. Untuk itu perlu dicari upaya meningkatkan ketahanan produksi tanaman kacang hijau yang diusahakan pada kondisi tercekam kekurangan air.
- [3] kultivar kacang hijau yang mempunyai kemampuan untuk mengatasi cekaman lingkungan fisik dan hayati masih belum banyak dipunyai. Untuk itu perlu dilakukan suatu rekayasa dalam pengelolaan tanaman, sehingga didapatkan kultivar baru atau tehnik pengendalian ketahanan hasil biji kacang hijau pada kondisi tercekam air.

- [4] lahan yang digunakan petani untuk penanaman kacang hijau pada umumnya masih terpusat pada lahan sawah bekas padi, sehingga pengembangannya relatif terbatas. Untuk menunjang program peningkatan produksi kacang hijau, pengembangan tanaman kacang hijau di lahan kering tadah hujan perlu digalakkan dengan disertai paket budidaya kacang hijau yang disesuaikan dengan agroekologi wilayah.
- [5] perilaku petani dalam budidaya kacang hijau, umumnya petani dalam mengusahakan tanaman kacang hijau masih memperlakukannya sebagai tanaman sampingan, sehingga pengusahaannya masih belum optimal. Akibatnya produksi kacang hijau yang dihasilkan relatif masih rendah.

Untuk memperoleh produksi kacang hijau yang optimal, program intensifikasi maupun ekstensifikasi mempunyai peranan sangat penting. Program peningkatan kualitas intensifikasi tanaman kacang hijau dapat dilakukan melalui beberapa kegiatan misalnya : penetapan teknologi budidaya yang disesuaikan dengan agroekologi setempat, penggunaan kultivar unggul serta teknologi pengelolaan tanaman yang tepat merupakan tuntutan yang harus diperhatikan.

Upaya lain untuk meningkatkan produksi biji tanaman kacang hijau adalah meningkatkan efisiensi penggunaan air oleh tanaman dengan jalan memperkecil kehilangan air ataupun menghemat penggunaan persediaan air yang terbatas. Salah satu tindakan yang mungkin dapat ditempuh adalah melakukan manipulasi aktivitas fisiologi tanaman, misalnya melalui pengaturan proses membuka dan menutupnya stomata. Tindakan ini belum

banyak mendapat perhatian sebagai salah satu alternatif untuk mengatasi masalah rendahnya hasil biji tanaman yang dibudidayakan pada kondisi tercekam air.

### **2.2.2. Ketahanan tanaman terhadap cekaman kekurangan air**

Kemampuan tanaman untuk mempertahankan diri agar dapat tumbuh dan berproduksi pada kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan merupakan salah satu sifat keunggulan suatu tanaman yang diinginkan. Berdasarkan hasil pengamatan secara morfologis ternyata tanaman yang mempunyai kemampuan bertahan hidup pada kondisi kekurangan air mempunyai ciri : perakaran relatif lebih dalam, daun kecil-kecil, lebih tebal serta bulu-bulu daunnya tebal (Monteith, 1982 ; Sadasivam, *et al*, 1988). Davies, *et al*, (1986) menyatakan bahwa terjadinya perubahan sifat morfologi tanaman, di antaranya kutikula lebih tebal, bulu-bulu daun lebih banyak dan tebal, jumlah stomata berkurang, bunga dan biji berkurang, laju fotosintesis turun dan sterilitas polen meningkat, berhubungan erat dengan kandungan asam absisat di dalam jaringan tanaman.

Tanaman yang berada pada kondisi kekurangan air ternyata terjadi perubahan aktifitas fisika yang terjadi di dalam sel tanaman, terutama yang berhubungan dengan tegangan air. Aspinal dan Paleg, (1981) melaporkan hasil penelitiannya pada tanaman lobak bahwa potensial air mulai turun setelah tanaman mengalami cekaman air selama 24 jam yaitu sebesar -0,7 MPa dan penurunan terlihat semakin tajam setelah tanaman dicekam selama

48 jam, yaitu sebesar -1,0 MPa bahkan setelah 72 jam potensial air turun menjadi -3,2 MPa. Kriedemann (1986) melaporkan bahwa pada tanaman bunga matahari perkembangan pemanjangan daun berlangsung dengan baik pada potensial air daun  $-0.3$  MPa dan akan terhenti bila potensial air daun sebesar  $-0.4$  MPa dan stomata menutup bila potensial air mencapai  $-1.8$  MPa. Turunnya tekanan turgor pada daun kedelai dari  $0.6$  MPa menjadi  $0.3$  MPa berakibat laju perkembangan panjang daun turun sekitar  $1.5$  mm/jam (Turner, 1986).

Berdasarkan hasil analisis laboratorium ternyata tanaman yang berada pada kondisi tercekam kekurangan air terdapat perbedaan dalam aktifitas metabolisme di dalam sel. Hasil analisis senyawa kimia yang ada di dalam tubuh tanaman ternyata tanaman yang mampu bertahan pada kondisi kekeringan mempunyai senyawa asam absisat lebih tinggi.

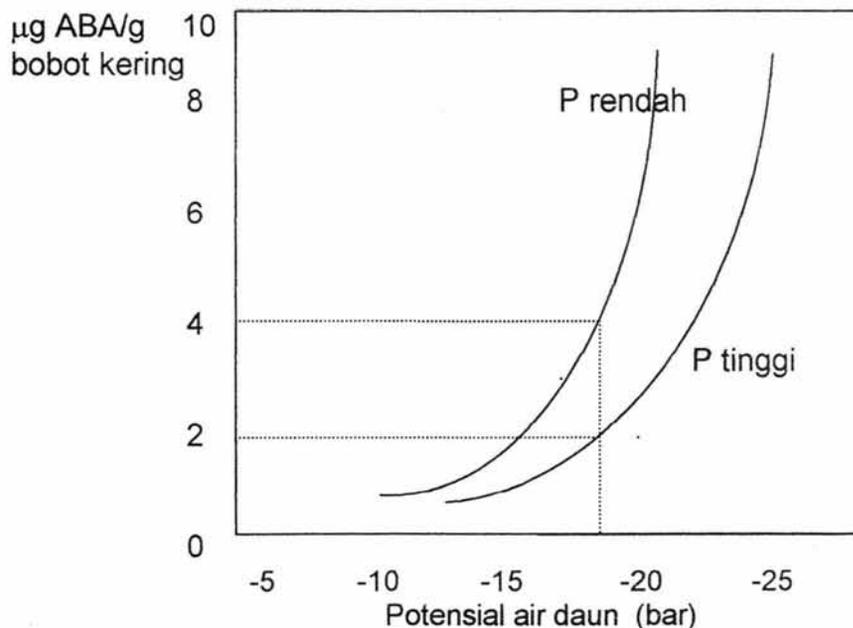
Hasil penelitian Davies, *et al*, (1986) pada tanaman padi yang ditanam pada kondisi kekeringan didapatkan bahwa tekanan turgor pada sel daun mempunyai hubungan linier negatif dengan kandungan asam absisat, semakin tinggi tekanan turgor kandungan asam absisat semakin rendah. Hubungan tersebut digambarkan dalam persamaan sebagai berikut :

$$Y = 1,13 - 1,08 X,$$

di mana  $y$  = kandungan asam absisat pada daun dan  $X$  adalah tekanan turgor. Berdasarkan persamaan tersebut terlihat bahwa kandungan asam absisat di dalam tubuh tanaman berbanding terbalik dengan tekanan turgor, pada tekanan turgor sekitar  $0,9$  MPa kandungan asam absisat pada daun

relatif sangat sedikit yaitu sekitar  $0,16 \text{ mmol/m}^3$ . Sedangkan pada tekanan turgor  $0 \text{ MPa}$ , kandungan asam absisat pada daun sebesar  $1,13 \text{ mmol/m}^3$ .

Radin (1984) melaporkan hasil penelitiannya bahwa pada tanaman kapas, ternyata pemupukan P dengan konsentrasi yang tinggi, stomata mulai menutup 50% pada potensial air  $-16 \text{ bar}$ , sedangkan bila tanaman kekurangan P maka stomata mulai menutup pada  $-12 \text{ bar}$ . Pada tingkat potensial air yang sama, ternyata tanaman yang dipupuk P rendah memperlihatkan kandungan asam absisat lebih tinggi dibanding dengan tanaman yang dipupuk P tinggi. Hubungan antara kandungan asam absisat dan potensial air daun sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.4. Konsentrasi asam absisat pada daun tanaman Kapas yang kekurangan P dan Kelebihan P pada kondisi kering (Radin, 1984)

Pada Gambar 2.4 terlihat bahwa potensial air daun  $-17 \text{ bar}$  kandungan ABA pada daun kapas yang kekurangan P berkisar  $4,2 \text{ µg ABA/g}$  bahan kering,

sedang yang kecukupan P kandungan asam absisat nya berkisar 1,9  $\mu\text{g}$  ABA/g bahan kering. Berdasarkan gambar tersebut terbukti bahwa ketersediaan unsur P yang cukup pada tanaman dapat memperkecil produksi asam absisat.

Situasi turunnya potensial air daun selain berpengaruh terhadap peningkatan kandungan asam absisat juga berpengaruh terhadap akumulasi prolin. Aspinal, *et al.* (1973) melaporkan bahwa penyemprotan larutan asam absisat sebanyak 0,5  $\mu\text{g}/\text{ml}$  ke daun barley mengakibatkan terjadinya akumulasi prolin. Peningkatan kandungan prolin di dalam tubuh tanaman mulai terlihat setelah tanaman mengalami cekaman air selama 24 jam dan peningkatan tampak semakin tinggi setelah mengalami cekaman air selama 48 jam. Apabila cekaman air berlangsung selama 72 jam kandungan prolin meningkat hingga mencapai 22 mg/g bahan kering.

Kondisi tercekam air berdampak pada turunnya potensial air daun, dan kadar prolin di dalam daun dapat meningkat sampai 10 hingga 100 kali lipat, dibandingkan dengan tanaman yang tumbuh dalam kondisi cukup air. Penelitian yang dilaporkan oleh Waldren dan Teare (1974) tentang efek kelayuan terhadap perilaku prolin dan laju pembentukan prolin pada tanaman kacang-kacangan yang mengalami kelayuan memperlihatkan pembentukan prolin semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena pada daun yang mengalami kelayuan secara berlarut larut menyebabkan turunnya penggunaan prolin pada daun sehat, akibat dari berkurangnya sintesis

protein. Gambaran ini dapat digunakan sebagai indikator, bahwa tanaman yang mempunyai kandungan prolin tinggi, menandakan tanaman tersebut mempunyai ketahanan terhadap kekeringan cukup besar (Waldren dan Teare, 1974). Kandungan prolin pada daun yang tidak tercekam air ternyata pada siang hari tampak lebih tinggi. Bertambahnya intensitas cahaya kandungan prolin meningkat pula dan variasinya cukup besar pada daun-daun di bagian tengah tajuk yang ternaung atau cahaya matahari yang diterima relatif berkurang (Waldren, Teare dan Ehler, 1974). Tanaman yang resisten terhadap kekeringan mempunyai kemampuan mensintesis prolin lebih banyak daripada kultivar yang kurang tahan terhadap kekurangan air (Palfi dan Juhasz, 1971). Perbedaan laju akumulasi prolin ini dapat diperlihatkan pada perbedaan laju penurunan potensial air daun. Ambang batas potensial air daun untuk menimbun prolin berkisar -15 sampai -17 bar (Michael dan Elmore, 1977).

Diduga prolin dapat bertindak sebagai senyawa penyimpan cadangan untuk mereduksi karbon dan nitrogen selama tanaman tercekam air. Senyawa ini dapat digunakan bila tanaman mendapat air yang cukup. Prolin merupakan sumber respiratori  $\text{CO}_2$  pada tanaman yang dalam keadaan kekurangan air. Pada lamina yang mempunyai kandungan kloroplas tinggi, prolin ditemukan dalam jumlah yang cukup banyak pula (Singh, *et al.* 1975). Akumulasi prolin ini tampaknya dikontrol oleh potensial osmotik jaringan dan kapasitas akumulasinya berhubungan dengan toleransinya terhadap kondisi kekeringan.

Penelitian tentang efek kelayuan terhadap perilaku prolin dan laju pembentukan prolin pada tanaman kacang-kacangan, ternyata kelayuan memperlihatkan meningkatnya pembentukan prolin. Kelayuan yang berlarut larut menyebabkan turunnya penggunaan prolin pada daun sehat, akibat berkurangnya sintesis protein. Pada daun yang mengalami kelayuan, laju penggunaan prolin meningkat, tetapi kandungan prolinnya lebih tinggi dibandingkan pada daun segar. Hal ini disebabkan prolin lebih banyak digunakan untuk proses oksidasi. Efek utama dari kelayuan terhadap akumulasi prolin adalah menurunkan sintesis protein (Stewart, 1972). Penimbunan prolin selama tanaman mengalami kekurangan air akan cepat turun oleh adanya oksidasi glutamat dan penambahan air. Konsentrasi prolin akan turun 3-4 jam setelah tanaman diairi (Aspinal dan Paleg, 1981).

### **2. 2.3. Respon tanaman kacang hijau terhadap kekurangan air**

Air bagi tanaman kacang hijau merupakan salah satu faktor utama penentu keberhasilan dalam pertumbuhan dan produksi. Selama hidupnya tanaman kacang hijau membutuhkan air dalam jumlah bervariasi tergantung kondisi musim, jenis tanah, jenis varietas serta stadia pertumbuhan tanaman. Hasil penelitian pendahuluan, ternyata jumlah pemberian air yang optimal bagi tanaman kacang hijau kultivar Walet untuk mampu memproduksi tinggi adalah 300-400 mm selama periode pertumbuhannya, hasil biji per tanaman berkisar 6,15 - 7,05 gram, jika air dikurangi sampai 200 mm/musim, hasil biji turun sampai 23% (Ariffin, 1997).

Dalam pertumbuhan tanaman kacang-kacangan secara umum terdapat dua stadia, yaitu vegetatif dan generatif ke duanya terdapat periode kritis. Periode tersebut sangat peka terhadap perubahan kondisi lingkungan sekitarnya. Apabila kondisi lingkungan tidak menguntungkan tanaman, pertumbuhan dan hasil biji tanaman akan mengalami kegagalan (Sinoit dan Kramer, 1977). Pada stadia generatif, periode yang peka terhadap kekeringan terjadi selama periode pembungaan, pembentukan dan perkembangan polong hingga pengisian biji. Sedangkan stadia vegetatif yang peka terjadi pada saat pertumbuhan vegetatif aktif. Tanaman kacang hijau yang mengalami kekurangan air selama stadia vegetatif berakibat terjadinya penurunan seluruh variabel pertumbuhan, antara lain tinggi tanaman, luas daun, bobot kering (Miah, Hirota dan Chikushi, 1996 ; Sadasivam, *et al.* 1988). Bila dibandingkan dengan tanaman yang kekurangan air pada stadia pembungaan dan perkembangan polong, kekurangan air pada stadia vegetatif adalah paling kritis (Aspinal, 1986). Sadasivam, *et al.* (1988) dalam penelitiannya melaporkan bahwa tinggi tanaman yang tercekam kekurangan air pada stadia vegetatif relatif lebih pendek dibanding yang kekurangan air pada stadia lain. Pada tanaman yang tercekam lengas tanah pada stadia pembentukan polong ternyata tidak berdampak pada tinggi tanaman, terbukti bahwa tanaman yang tercekam pada stadia pembentukan polong relatif lebih tinggi dibanding dengan tanaman yang memperoleh pengairan normal (Tabel 2.3).

Tabel 2.3. Pengaruh Cekaman Lengas Tanah pada Tiga Stadia Perkembangan terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kacang Hijau (Sadasivam, *et al.* 1988)

Karakteristik Tanaman	Irigasi Normal	Cekaman Lengas tanah Pada fase		
		Vegetatif	Pembungaan	Polong
Tinggi tanaman (cm)	36,9	34,4	35,7	37,5
Panjang akar (cm)	12,6	11,3	12,9	12,7
Luas daun (cm <sup>2</sup> )	8.750,0	6.750,0	7.500,0	1.306,0
Total bahan kering (g/cm <sup>2</sup> )	192,0	159,0	202,0	164,0
Jumlah polong/m <sup>2</sup> (buah)	278,0	213,0	255,0	220,0
Hasil polong (t/ha)	1,192	0,967	1,197	0,981
Hasil biji (t/ha)	0,792	0,621	0,782	0,653
Indeks Panen (%)	41,1	38,6	38,7	39,6

Tabel 2.3. memperlihatkan bahwa tanaman kacang hijau yang mengalami kekurangan air berakibat luas daun dan hasil biji semakin berkurang. Bila dibandingkan tanaman yang diiri secara teratur, terjadinya cekaman air selama stadia vegetatif berakibat turunnya hasil biji sebesar 21,6%, sedangkan kekurangan air pada stadia perkembangan polong, penurunan hasilnya relatif kecil yaitu 17,5%. Hasil yang sama juga dilaporkan oleh Pandey, Harera dan Villeges (1988) bahwa kekurangan air pada tanaman kacang hijau menurunkan jumlah polong dan hasil biji per m<sup>2</sup>. Haqqani dan Pandey (1994) melaporkan bahwa jumlah polong dan jumlah biji per polong sangat peka terhadap kekurangan air, cekaman air mengakibatkan penurunan jumlah polong berkisar 23 –32%.

Pengembangan tanaman kacang hijau di lahan kering utamanya daerah tadah hujan selalu dihadapkan pada permasalahan persediaan air yang tidak menentu, sehingga sering terjadi kegagalan akibat kurangnya air, karena tanaman yang telah ditanam sering mengalami kekurangan air pada saat

tanaman mencapai stadia tertentu. Pannu dan Singh (1988) melaporkan bahwa pengairan tanaman kacang hijau pada stadia tertentu berpengaruh terhadap komponen hasil. Secara keseluruhan tanaman kacang hijau yang diairi secara kontinyu memperlihatkan hasil paling baik. Sedangkan yang tidak diairi menunjukkan hasil paling rendah. Secara lengkap disajikan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Pengaruh Pengaturan Waktu Irigasi yang Berbeda-beda terhadap Komponen Hasil Kacang Hijau (Pannu dan Singh, 1988)

Perlakuan	Jumlah polong ( <i>polong/tan</i> )	Hasil biji ( <i>g/tan</i> )	Indeks panen (%)
Diairi kontinyu	32,75 c	6,79 d	35,31 c
Dicekam air setelah tanaman berbunga penuh (umur 42 hst)	24,19 b	5,23 c	34,18 c
Dicekam sejak tanam sampai pembentukan polong (1-52 hst)	21,50 b	3,83 b	30,32 b
Dicekam sejak awal sampai panen	11,44 a	2,30 a	27,64 a
BNT 5%	5,35	0,87	2,08

Dalam tabel 2.4 terlihat bahwa tanaman kacang hijau yang dicekam air sejak awal pertumbuhan sampai pembentukan polong (umur 1 sampai 52 hst) memperoleh hasil biji lebih rendah dibanding dengan yang dicekam mulai umur 42 sampai panen. Perbedaan hasil biji antara ke dua waktu stadia pencekaman tersebut sebesar 43,6%. Hasil di atas menunjukkan bahwa masa kritis bagi tanaman kacang hijau terhadap persediaan air adalah pada stadia vegetatif. Oleh karenanya perlu diketahui pada stadia pertumbuhan mana saja, tanaman kacang hijau sangat dipengaruhi oleh situasi kekeringan.

#### **2.2.4. Upaya peningkatan ketahanan tanaman terhadap kekurangan air**

Upaya peningkatan kemampuan tanaman pada kondisi kekurangan air dapat ditempuh melalui beberapa tindakan, antara lain melalui perbaikan sifat genetik yaitu menggunakan kultivar yang mempunyai daya tahan tinggi terhadap kekeringan. Upaya ini memerlukan waktu lama dan sampai saat ini belum banyak kultivar tahan kekeringan. Untuk itu upaya memanipulasi aktivitas fisiologis tanaman, misalnya melalui pengendalian aktifitas membuka dan menutupnya stomata, penggunaan hormon tumbuh, pengelolaan kultur teknis, yang lebih diarahkan pada penghematan penggunaan air misalnya pengaturan turgor sel, penggunaan mulsa, pengaturan pola pergiliran tanam yang tepat sesuai dengan kondisi agroekosistemnya.

##### ***Aspek fisiologis***

Tanaman yang mengalami cekaman kekurangan air akan mengalami perubahan aktifitas fisiologis. Reaksi yang tampak pada tanaman yang kekurangan air adalah terjadinya penutupan stomata. Stomata merupakan bagian dari jaringan tanaman yang berperan sebagai pintu keluar masuknya air serta gas dari dan ke dalam jaringan tanaman. Dalam kondisi air yang sangat terbatas (kering), yaitu dicirikan oleh besarnya laju evapotranspirasi, yang berlanjut pada menutupnya stomata merupakan reaksi penting bagi tanaman dalam menghemat air. Proses menutupnya stomata dikendalikan oleh hormon tumbuh yang ada di dalam kloroplas, yaitu asam absisat. Asam absisat akan meningkat konsentrasinya pada saat mengalami kekurangan

air, sehingga dapat dikatakan bahwa tanaman yang mempunyai ketahanan terhadap kekeringan adalah mempunyai kandungan asam absisat yang tinggi. Permasalahan yang dihadapi akibat menutupnya stomata, adalah : [1] bila dipandang dari aspek kehilangan air dari daun menguntungkan, karena kehilangan dari proses transpirasi terhambat dan [2] bila dipandang dari proses fotosintesis, proses penutupan stomata merugikan, karena difusi gas karbon dioksida dari atmosfer ke dalam jaringan tanaman terhambat. Akibatnya fotosintesis dan aktivitas metabolisme dalam tubuh tanaman terganggu, sehingga pertumbuhan dan hasil tanaman rendah. Berdasarkan hasil penelitian Shimshi *et al*, (1982) fiksasi CO<sub>2</sub> pada daun gandum turun bila potensial air rendah, karena potensial air relatif pada daun rendah, kandungan asam absisatnya meningkat. Tanaman yang tumbuh pada kondisi kekurangan air potensial air daun rendah.

Menurut Salisbury dan Ross (1995) stomata mulai menutup bila kandungan asam absisat di dalam tanaman mencapai konsentrasi  $10^{-6}$  MJ dan pada kondisi rawan air konsentrasi asam absisat terus meningkat. Diketahui pula pada akar tanaman yang mengalami kekeringan membentuk asam absisat cukup banyak juga, dan asam absisat yang terbentuk itu diangkut ke daun melalui *xylem* untuk menutup stomata. Peranan asam absisat dalam proses menutupnya stomata berlangsung dengan cara menghambat pompa proton, yang kerjanya tergantung pada konsentrasi ATP di membran plasma sel penjaga. Pompa proton ini biasanya mengangkut proton ke luar sel penjaga, sehingga menyebabkan terjadinya aliran masuk yang cepat dan penimbunan

$K^+$ , kemudian terjadi penyerapan air secara osmotik dan stomata membuka. Tetapi apabila asam absisat bekerja pada ruang bebas di permukaan luar membran plasma sel penjaga, akan mengganggu masuknya  $K^+$ , sehingga  $K^+$  dan air merembes ke luar, akibatnya turgor sel penjaga berkurang dan akhirnya stomata menutup. Dengan demikian pemupukan K dapat dimanfaatkan untuk memperbaiki ketahanan tanaman terhadap kekeringan. Sehubungan hal tersebut Herlina (1996) melaporkan bahwa pada tanaman kedelai yang ditanam pada lahan dengan kondisi lengas tanah 75 % dari air tersedia, pemupukan 300 kg KCl, hasil biji per tanaman mencapai 40% lebih tinggi, bila dibanding yang tidak dipupuk KCl.

Stomata yang menutup dalam kurun waktu lama, berakibat rendahnya hasil biji karena proses fotosintesis sangat terganggu. Untuk itu agar tanaman yang tumbuh pada kondisi kekurangan air dapat berproduksi secara normal maka pada waktu-waktu tertentu perlu dilakukan upaya untuk membuka stomata. Salah satu tindakan yang dapat dilakukan adalah dengan mengusahakan agar asam absisat yang tertimbun di dalam sel tanaman tidak aktif. Menurut Moore (1979); Salisbury dan Ross (1995) untuk menjadikan asam absisat tidak aktif salah satunya dapat ditempuh dengan penempelan glukose pada gugus hidroksilnya sehingga terbentuk senyawa ester-ABA-Glukosa, yang prosesnya seperti disajikan pada Gambar 2.2.

### ***Aspek agronomis***

Berdasarkan hasil penelitian Radjit dan Adisarwanto (1992) upaya meningkatkan produksi kacang hijau di lahan sawah sebesar 1,5 ton biji/ha perlu diterapkan paket teknologi berupa : [1] penggunaan konsentrasi pemupukan urea = 50 kg/ha, 75 kg SP-36/ha, dan KCl = 50 kg/ha, [2] penggunaan mulsa untuk mempertahankan kelengasan tanah, [3] pengendalian hama, penyakit dan jasat pengganggu (gulma), [4] populasi tanam optimal untuk tanaman kacang hijau agar dapat memperoleh hasil tinggi, untuk penanaman pada musim kemarau populasi optimalnya adalah 500.000 tanaman/ha, jarak tanam 20x20 cm atau 40 x 10 cm dengan dua tanaman per lubang. Sedangkan pada musim penghujan populasi optimumnya 400.000 tanaman per hektar.

Upaya untuk menunjang peningkatan produksi diperlukan beberapa teknologi untuk menyaingi, di antaranya berupaya untuk mendapatkan kultivar unggul tahan kekurangan air, serta melakukan rekayasa dalam pembudidayaan tanaman, misalkan, mengatur pola tanam, memperkecil kehilangan air dengan memanipulasi aktivitas fisiologi tanaman, misalnya yang telah banyak dilakukan adalah mengatur pola tanam. Untuk meningkatkan produksi melalui peningkatan populasi tanaman kontribusinya relatif rendah. Berdasarkan hasil penelitian Haqqani dan Pandey (1994) ternyata peningkatan populasi tanaman kacang hijau dari 330.000 tanaman/ha menjadi 660.000 tanaman/ha pada kondisi kurang air hanya mampu meningkatkan hasil biji 8%, sedangkan pada sistem budidaya

dengan kondisi cukup air peningkatan populasi tersebut dapat meningkatkan produksi 12.2%. Penggunaan kultivar kacang hijau untuk meningkatkan hasil biji pada kondisi kurang air ternyata juga tidak banyak berpengaruh. Sadasivam, et al (1988) mencoba menggunakan 27 kultivar kacang hijau pada kondisi tercekam air ternyata tidak memperlihatkan perbedaan dan rata-rata hasil biji turun 21.6% dibanding pertanaman di media yang cukup air. Singh, et. al. (1987) juga melaporkan bahwa lima kultivar yang diuji yaitu, T-36, T-16, T-18, T-22 dan K-581, ternyata juga tidak menunjukkan respon terhadap kondisi kekurangan air yang berbeda.

Upaya manipulasi aktivitas fisiologis tanaman, misalnya melalui pengaturan aktivitas membuka dan menutupnya stomata merupakan salah satu alternatif yang dapat dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air pada lahan kering, namun usaha ini relatif masih belum banyak dilakukan.

Pengaturan membuka dan menutupnya stomata dapat dilakukan dengan mengatur osmotik sel stomata. Kecambah tanaman kacang hijau yang mengalami kekurangan air melakukan penyesuaian osmotik dengan mengakumulasi  $K^+$ ,  $Cl^-$ , asam amino bebas dan gula bebas (glukosa, fruktosa dan sukrosa). Penyesuaian osmotik pada tanaman merupakan suatu mekanisme yang penting dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kekeringan. Peningkatan konsentrasi  $K^+$ , gula dan asam amino berperan dalam penyesuaian osmotik pada sel-sel daun-daun yang telah membuka sempurna (Turner, 1986). Hasil penelitian Ariffin (1999)

dilaporkan bahwa pemupukan ZK 160 kg/ha pada tanaman kacang hijau yang hanya memperoleh pengairan 50% dari kebutuhan normalnya ternyata mampu meningkatkan hasil biji 39.3% lebih tinggi dibanding tanaman yang mendapat pengairan sama tetapi tidak dipupuk ZK.

Menurut Turner (1985) mekanisme penyesuaian osmotik mempunyai keuntungan sebagai berikut

- a. mempertahankan perpanjangan sel
- b. mempertahankan terbukanya stomata
- c. mempertahankan laju fotosintesis
- d. mampu bertahan hidup pada kondisi dehidrasi

Bohnert dan Jensen (1996) juga telah mengemukakan salah satu strategi untuk meningkatkan daya tahan tanaman terhadap kekurangan air adalah melakukan pengaturan osmotik pada daun. Di antara satu osmolit yang potensial untuk penyesuaian osmotik tanaman yang tumbuh pada kondisi kekeringan adalah kelompok gula alkohol, dan salah satu dari kelompok gula tersebut adalah sorbitol. Berkaitan dengan pemanfaatan osmolit untuk meningkatkan daya tahan tanaman terhadap kekurangan air, Triandini (1993) telah mencoba beberapa macam osmolit terhadap pertumbuhan dan hasil biji tanaman kedelai. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa penggunaan glukose sebagai osmolit mampu menghasilkan ukuran daun paling luas dibandingkan jenis osmolit yang lain. Terhadap hasil biji per tanaman juga memperlihatkan hasil paling tinggi dan tidak berbeda dengan KNO<sub>3</sub>, terlihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Pertumbuhan dan Hasil Biji Kedelai Akibat penyemprotan beberapa jenis osmolit (Triandini, 1993)

Sumber Osmolit	Luas daun (cm <sup>2</sup> )	Bobot kering daun (g/tan)	Hasil biji (g/tan)
KNO <sub>3</sub>	107.52 cd	3.18 ab	3.93 c
KCl	96.74 ab	3.30 ab	3.24 ab
Glukose	109.66 d	3.45 ab	3.80 c
Sukrose	99.93 bc	3.71 b	3.39 b
GA	87.54 a	2.89 a	3.19 a

Berdasarkan Tabel 2.5. terlihat bahwa penggunaan osmolit kelompok gula mampu memberikan hasil yang relatif lebih baik. Sedangkan penggunaan GA (giberalic acid) umumnya mengakibatkan pertumbuhan dan hasil yang relatif lebih rendah dibandingkan menggunakan sumber osmolit dari kelompok gula. Penggunaan KNO<sub>3</sub> sebagai osmolit mempunyai peranan yang sama dengan glukose, namun karena harganya relatif cukup mahal, maka dalam percobaan ini dipilih kelompok glukose.

Hasil kajian Grant dan Rees (1981) tentang efek pertumbuhan di tempat yang gelap terhadap metabolisme sorbitol pada daun bibit apel diperoleh hasil bahwa bibit yang ditumbuhkan dengan mendapatkan pencahayaan cukup dengan penyemprotan sorbitol mampu menyerap C hingga 65%, sedangkan yang ditempatkan pada tempat yang gelap selama lima hari hanya mampu menyerap C sebesar 36%. Penambahan sukrose hanya mampu menyerap C masing-masing sebesar tiga dan empat persen. Penyemprotan osmolit sorbitol mampu meningkatkan pengikatan karbon melalui proses fotosintesis. Besarnya pengikatan tersebut menyebabkan stomata dapat membuka secara sempurna, sebagai akibat dari

meningkatnya turgor pada sel penjaga di stomata. Sehubungan dengan pemakaian sorbitol sebagai senyawa untuk mempertahankan tanaman yang ditanam pada kondisi kekurangan air, Ariffin (1997) telah melakukan penelitian tentang pengaruh sorbitol pada produksi tanaman kacang hijau pada musim kemarau 1997. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penyemprotan sorbitol berpengaruh terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kacang hijau. Penyemprotan sorbitol sebanyak 5 ml/l dapat meningkatkan hasil biji sebesar 21,4% dibanding tanaman kacang hijau yang tercekam air tetapi tidak disemprot sorbitol. Peningkatan konsentrasi sorbitol dari 5 ml/l menjadi 10 atau 12,5 ml/l hasil biji dapat ditingkatkan sampai 15,9 sampai 30,4%. Tanaman kacang hijau yang kekurangan air, penyemprotan sorbitol hingga konsentrasi 12,5 ml/l. masih menunjukkan peningkatan luas daun secara linier, pada penyemprotan sebanyak 12,5 ml/l dapat meningkatkan luas daun 32% lebih tinggi daripada yang tidak disemprot.

Tabel 2. 6. Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kacang hijau pada beberapa Tingkatan Konsentrasi Penyemprotan Sorbitol (Ariffin, 1997)

Konsentrasi (ml/l)	Luas daun (cm <sup>2</sup> )	Jumlah polong	Bobot polong (g/tan)	Bobot Biji/tan (g/tan)
0	509,11 a	6,58 a	5,29 a	4,39 a
5	538,42 ab	6,92 a	6,33 ab	5,33 b
7,5	571,34 bc	8,17 ab	6,94 ab	5,41 b
10	615,22 c	8,58 ab	8,46 b	6,18 c
12,5	672,90 d	9,50 b	8,79 b	6,95 d
BNT 5%	54,48	2,03	2,57	0,69

Keterangan : angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada setiap variabel pengamatan adalah tidak berbeda.

Berdasarkan Tabel 2.6 terlihat bahwa bobot polong tanaman kacang hijau yang tercekam air penyemprotan sorbitol sampai 7.5 ml/l belum menunjukkan perbedaan bila dibandingkan dengan yang tidak disemprot. Namun apabila konsentrasi penyemprotan sorbitol ditingkatkan sampai 12.5 ml/l, maka jumlah polong yang dibentuk meningkat sampai 44.4%.

Bohnert dan Jensen (1996) mengajukan konsep untuk menganalisis kemampuan tanaman dalam mengatasi dampak cekaman air berupa dua strategi untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman air di antaranya adalah sebagai berikut

1. pengaturan atau penyesuaian osmotik sel, bertujuan untuk meningkatkan penimbunan kandungan osmolit (misalnya dengan menggunakan senyawa sorbitol, mannitol, fruktan, proliri, glisin betain serta ion  $K^+$ ). Untuk meningkatkan kandungan osmolit tersebut dapat dilakukan dengan penyemprotan senyawa-senyawa yang mampu berperan mengendalikan osmotik sel, salah satu di antaranya adalah sorbitol. Penyesuaian osmotik sebenarnya merupakan fungsi penimbunan metabolit dan peningkatan konsentrasi metabolit di dalam jaringan tanaman, sehingga dapat berperan dalam meningkatkan toleransi terhadap cekaman air.
2. mengadakan pembersihan atau penyerapan radikal hidroksil yang ada di dalam sel.

Keberadaan radikal hidroksil pada sel tanaman mempunyai dampak yang merugikan, karena dapat merusak sel. Penyerapan radikal hidroksil

dimaksudkan untuk meniadakan radikal tersebut dari sel.

Sistem transpor elektron fotosintetik merupakan sumber utama oksigen aktif pada jaringan tanaman. Kandungan oksigen aktif di dalam jaringan tanaman meningkat apabila tanaman berada dalam kondisi tercekam kekeringan. Super oksida dan  $H_2O_2$  akan bereaksi dengan oksigen bebas tersebut dan menghasilkan radikal hidroksil. Radikal hidroksil tersebut merupakan oksidan yang sangat kuat, yang mampu menyerang makromolekul seluler, sehingga dapat mengakibatkan kerusakan DNA dan mempengaruhi kerusakan sintesis dan stabilitas protein. Akibatnya metabolisme sel tidak berfungsi dan sel menjadi rusak.

Upaya penyerapan atau pembersihan radikal hidroksil dapat dilakukan dengan menggunakan bahan-bahan penyerap dan yang efektif di antaranya adalah sorbitol serta mannitol (Bohnert dan Jensen, 1996).

## BAB 3

### KERANGKA KONSEPTUAL, KERANGKA OPERASIONAL DAN HIPOTESIS PENELITIAN

#### 3.1. Kerangka Konseptual Penelitian

Kemampuan tumbuh dan berproduksi suatu tanaman pada dasarnya merupakan hasil proses penyesuaian diri antara faktor genetik dan lingkungan. Lingkungan fisik di sekitar tanaman yang mempunyai pengaruh sangat besar dalam kehidupan tanaman meliputi lingkungan tanah, air dan udara. Komponen lingkungan yang sangat menentukan kelangsungan hidup tanaman adalah air, karena lebih dari 90% bobot sel terdiri dari cairan.

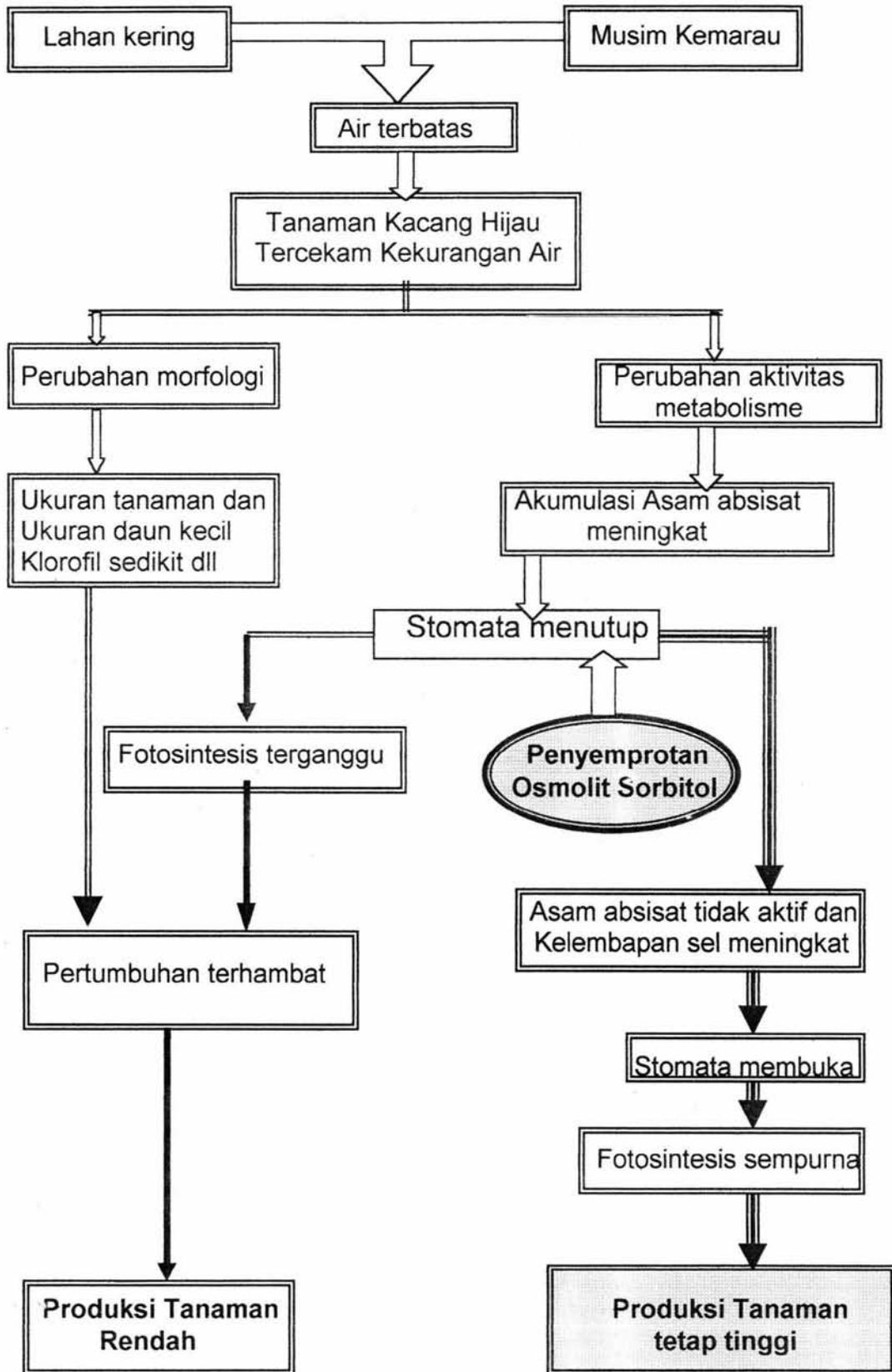
Produktivitas tanaman akan menurun bila mengalami kekurangan air pada waktu yang lama dan pada periode kritis tanaman, karena di dalam selnya terjadi perubahan aktivitas metabolisme, sebagai contoh terjadi perubahan terhadap sintesis protein, terjadi penimbunan asam absisat. Asam absisat (ABA) merupakan hormon tumbuh yang tersebar di seluruh bagian tanaman, jumlahnya semakin meningkat bila tanaman mengalami kekurangan air. Asam absisat berperan melindungi tanaman terhadap kekurangan air melalui proses penutupan stomata. Proses menutupnya stomata pada kondisi kekeringan tersebut merupakan respon tanaman untuk penghambatan kehilangan air dari dalam sel. Proses membuka dan menutupnya stomata ditentukan oleh tekanan turgor dari sel penjaga, yang dikendalikan oleh keberadaan asam absisat pada sel penjaga. Pada

kondisi kekurangan air konsentrasi asam absisat meningkat, akibatnya terjadi transpor elektron dari dalam sel, sehingga tekanan turgornya rendah, akhirnya stomata menutup, akibatnya proses fotosintesis terhambat. Jika peristiwa penutupan stomata berlangsung terlalu lama dampaknya akan menghambat pertumbuhan tanaman dan produksi tanaman menjadi rendah. Proses fotosintesis dapat berlangsung secara normal bila stomata membuka, karena proses difusi CO<sub>2</sub> dapat terjadi. Sebaliknya bila tekanan turgor tinggi sel penjaga mengembang dan stomata akan membuka. Tingginya tekanan turgor pada sel penjaga sangat ditentukan oleh banyaknya air di dalam sel dan kelembapan di sekitar sel tersebut. Kandungan air di dalam sel yang tinggi, berakibat tekanan turgor semakin tinggi dan stomata akan membuka, dengan demikian proses fotosintesis dapat tetap berlangsung, namun kondisi ini akan berakibat kehilangan air menjadi semakin besar. Sehubungan situasi di atas maka perlu dicari teknologi yang dapat mengatur membuka dan menutupnya stomata pada tanaman yang tumbuh dalam kondisi kekurangan air.

Salah satu rekayasa yang perlu dilakukan adalah tindakan untuk mempengaruhi proses pembukaan stomata pada waktu-waktu tertentu dan selebihnya dibiarkan menutup. Karena penutupan stomata dipengaruhi oleh kandungan asam absisat, semakin tinggi kandungan asam absisat semakin cepat pula menutupnya stomata. Oleh karenanya agar stomata membuka harus diupayakan untuk menurunkan kandungan asam absisat.

Upaya tersebut dapat dilakukan dengan menambahkan senyawa glukose pada gugus karboksilnya.

Tindakan rekayasa agronomi dimaksudkan untuk mengelola sistem budidaya tanaman kacang hijau agar mampu berproduksi dengan baik walaupun pada kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan. Salah satunya adalah dengan memanfaatkan hormon ataupun senyawa tertentu yang mampu membantu tanaman agar dapat tetap tumbuh dan mampu berproduksi secara normal pada kondisi kekeringan. Di antara bahan osmolit yang dapat digunakan untuk maksud tersebut antara lain sorbitol. Senyawa ini merupakan golongan gula alkohol yang mempunyai peranan sebagai osmolit dan dapat berfungsi sebagai stabilisator kelembapan sel. Penyemprotan sorbitol pada bagian tanaman (terutama pada daun) dapat membantu meningkatkan kemampuan sel tanaman dalam menjaga stabilitas kelembabannya. Jika kelembapan sel tetap dipertahankan tinggi maka tekanan turgor dari sel penjaga juga tinggi sehingga stomata mampu membuka. Berdasarkan hasil pengamatan pada tanaman yang kekeringan stomatanya menutup dan dua jam setelah disemprot sorbitol ternyata stomata telah membuka dengan sempurna. Apabila stomata dapat membuka maka proses fotosintesis dapat berjalan normal, sehingga diharapkan produksi kacang hijau tetap dapat dipertahankan dengan baik. Bagan kerangka konseptualnya dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Bagan Kerangka Konseptual Penelitian

### 3.2. Kerangka Operasional Penelitian

Penelitian ini dimaksudkan untuk menemukan komponen teknologi produksi kacang hijau pada lahan kekurangan air. Untuk mewujudkan harapan tersebut dilakukan penelitian meliputi kegiatan sebagai berikut

#### **Penelitian tahap I. Respon Beberapa Kultivar Kacang Hijau terhadap Tingkat Cekaman Kekurangan Air**

Tujuan penelitian tahap ini adalah untuk [1] meneliti perbedaan respon tiga kultivar kacang hijau yang digunakan terhadap kekurangan air, [2] menetapkan pada tingkat pemberian air berapa masing-masing kultivar masih mampu memberikan hasil tinggi serta [3] memilih kultivar yang mempunyai potensi hasil tinggi tetapi stabilitas hasil biji rendah. Berdasarkan sistem perakaran maka kultivar lokal termasuk tipe mesofit dan untuk ke dua kultivar baru tergolong kultivar xerofit. Untuk menetapkan potensi hasil tanaman dilihat dari kemampuan berproduksi, masing-masing kultivar yang diairi normal selama hidupnya. Sedangkan untuk menilai stabilitas hasil dianalisis dari besarnya penurunan hasil akibat perubahan jumlah air yang diberikan pada tanaman. Kultivar yang terpilih tersebut selanjutnya digunakan untuk bahan penelitian tahap II.

#### **Penelitian tahap II. Peranan Penyemprotan Osmolit Sorbitol dalam Pengendalian Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kacang Hijau pada Berbagai Waktu PENCEKAMAN AIR**

Tujuannya untuk [1] menetapkan stadia tumbuh yang paling kritis terhadap pengaruh cekaman air, [2] meneliti perbedaan sifat morfologis

maupun fisiologis tanaman kacang hijau akibat cekaman air pada berbagai stadia pertumbuhannya, [3] mengetahui kemampuan osmolit sorbitol dalam mempertahankan hasil tanaman kacang hijau yang tumbuh pada kondisi kekurangan air, dan [4] memilih tingkat konsentrasi osmolit sorbitol yang mampu meningkatkan ketahanan tanaman dan memperkecil penurunan hasil dan selanjutnya dipilih enam perlakuan terbaik dari kombinasi konsentrasi penyemprotan osmolit pada tanaman kacang hijau yang tercekam pada stadia tertentu dan satu perlakuan yang diairi normal selama hidupnya untuk diuji dan diverifikasikan di lapang.

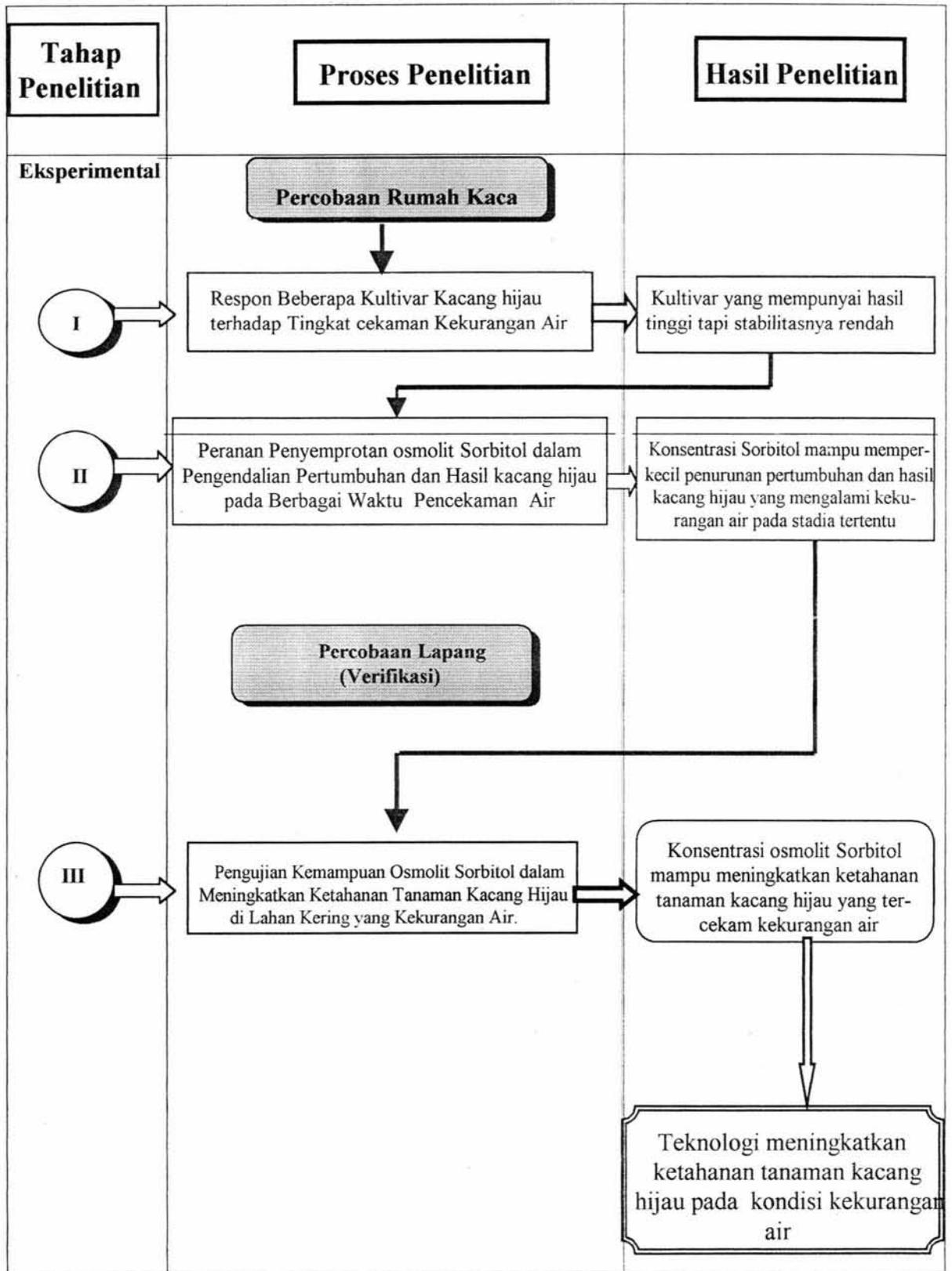
Pada penelitian tahap ke dua ini, tingkat konsentrasi osmolit sorbitol yang disemprotkan pada saat tanaman mengalami cekaman air diharapkan mampu mempertahankan, menekan kehilangan hasil ataupun meningkatkan produksi tanaman kacang hijau yang ditanam di lahan kurang air.

### **Penelitian tahap III : Pengujian Kemampuan Osmolit Sorbitol dalam Meningkatkan Ketahanan Tanaman Kacang Hijau di Lahan Kering yang Kekurangan Air.**

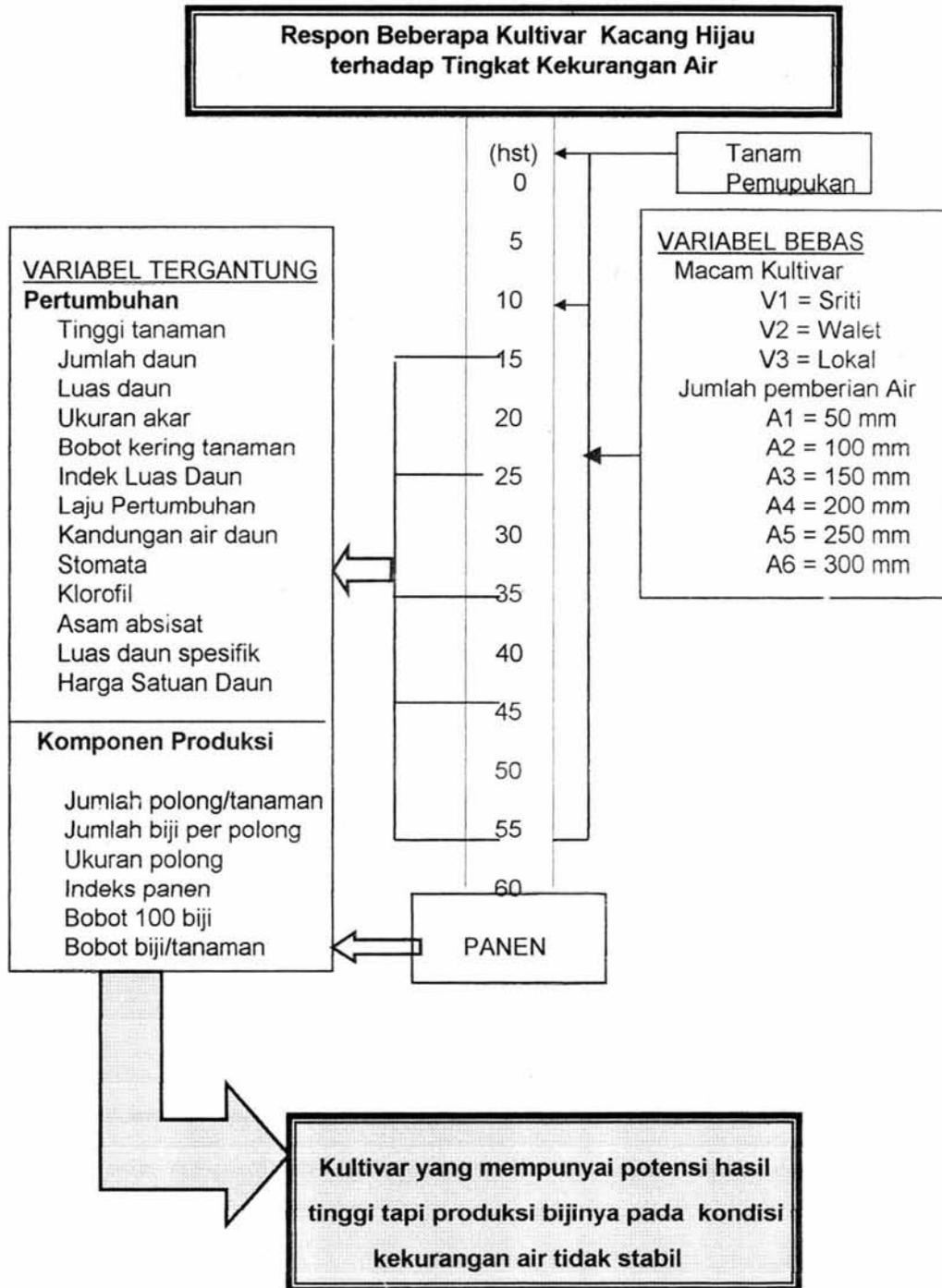
Penelitian ini merupakan penelitian lapang yang bertujuan untuk melakukan verifikasi atau memantapkan hasil penelitian yang telah diperoleh dari tahap ke dua yang dilakukan di dalam rumah kaca.

Secara skematis alur rangkaian pelaksanaan tahapan penelitian digambarkan dalam Gambar 3.2, 3.3, 3.4 dan 3.5.

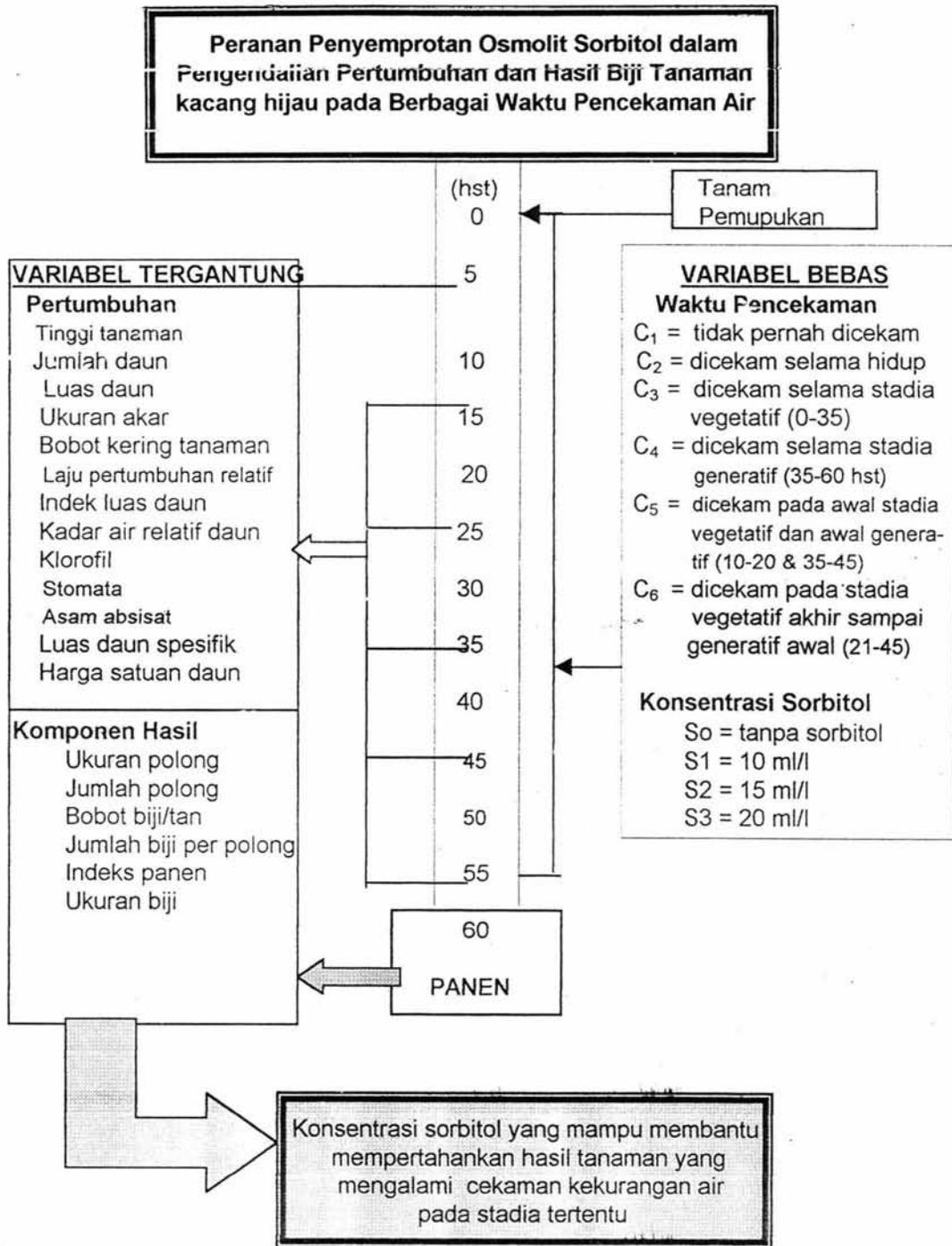




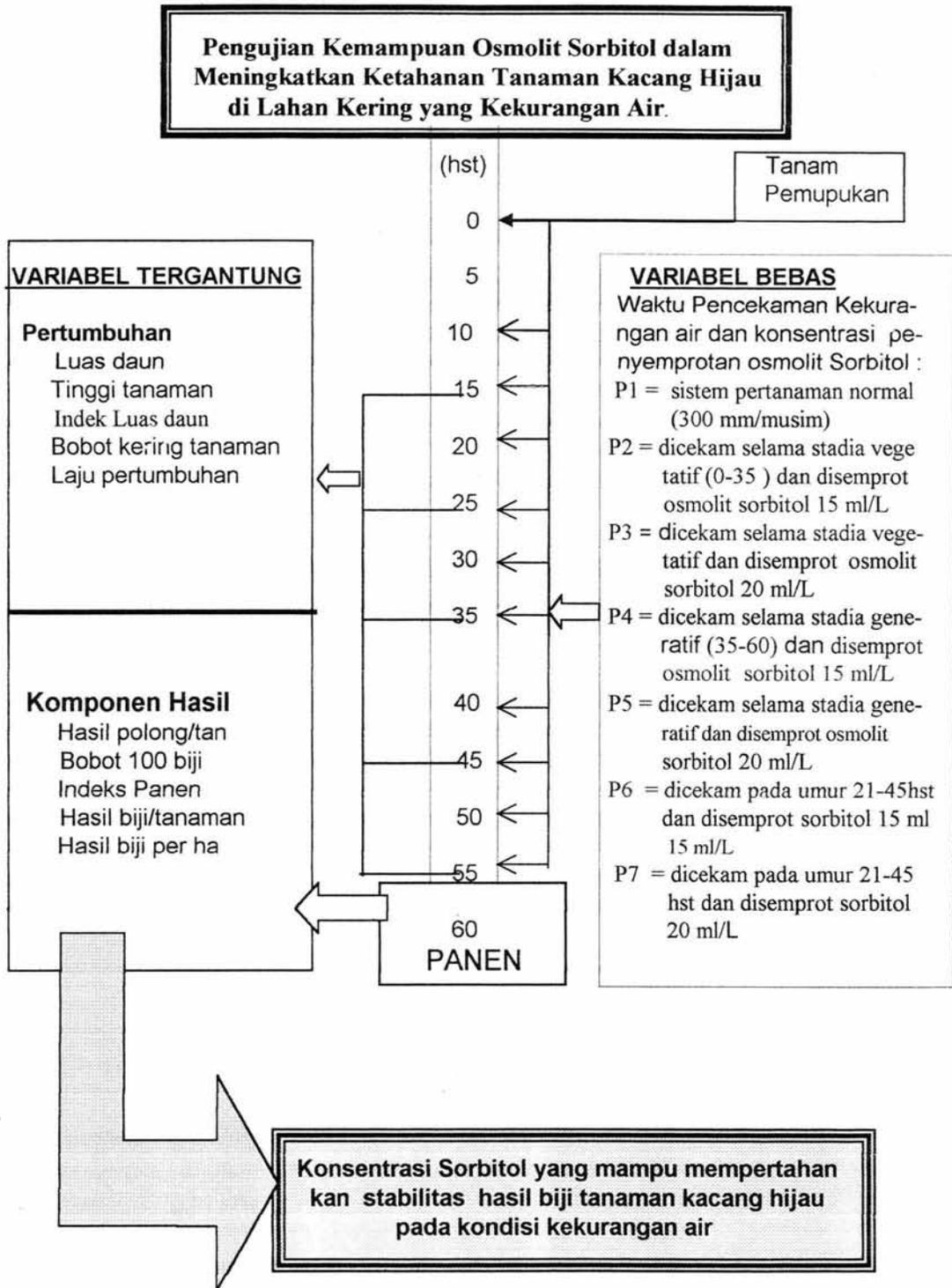
Gambar 3.2. Alur Pelaksanaan Rangkaian Tahapan Penelitian



Gambar 3.3. Bagan Kerangka Operasional Penelitian Tahap I



Gambar 3.4. Bagan Kerangka Operasional Penelitian Tahap II



Gambar 3.5. Bagan Kerangka Operasional Penelitian Tahap III

### 3.3. Hipotesis Penelitian

Bertitik tolak pada latar belakang permasalahan dan kerangka konseptual penelitian, maka dirumuskan hipotesis sebagai berikut

- [1] tiga kultivar tanaman kacang hijau yang dibudidayakan, mempunyai respon dan ketahanan yang berbeda terhadap kondisi media tumbuh yang tercekam kekurangan air,
- [2] tanaman kacang hijau yang mengalami cekaman kekurangan air pada stadia tertentu berakibat merosotnya pertumbuhan dan hasil tanaman,
- [3]. penyemprotan osmolit sorbitol pada saat tanaman kacang hijau mengalami kekurangan air selama stadia kritis, mampu meningkatkan ketahanan tanaman, sehingga tanaman yang dibudidayakan pada lahan kering yang kekurangan air mampu tumbuh dan berproduksi secara normal.

## **BAB 4**

### **METODE PENELITIAN**

Penelitian tentang upaya meningkatkan daya tahan tanaman kacang hijau terhadap kekeringan, dilakukan pendekatan secara eksperimental di rumah kaca dan di lapang dalam tiga tahapan.

Penelitian tahap pertama tentang Respon Beberapa Kultivar Tanaman Kacang Hijau terhadap Tingkat Kekurangan Air.

Penelitian tahap ke dua, adalah Peranan Penyemprotan Osmolit Sorbitol dalam Pengendalian Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kacang Hijau pada Berbagai Waktu PENCEKAMAN AIR.

Penelitian tahap tiga adalah Pengujian Kemampuan Osmolit Sorbitol dalam Meningkatkan Ketahanan Tanaman Kacang Hijau di Lahan Kering yang Kekurangan air.

#### **4.1. Penelitian I. Respon Beberapa Kultivar Tanaman Kacang Hijau terhadap Tingkat Kekurangan Air.**

##### **4.1.1 Tujuan penelitian**

Penelitian ini dimaksudkan untuk [1]. mengidentifikasi perbedaan penampakan sifat morfologi tiga kultivar kacang hijau yang tumbuh pada lahan kekurangan air, [2]. mengevaluasi tingkat toleransi masing-masing kultivar terhadap kekeringan, [3]. memilih kultivar kacang hijau yang memiliki potensi produksi tinggi tetapi sangat peka terhadap cekaman kekurangan air, sebagai bahan untuk percobaan tahap ke dua.

##### **4.1. 2. Rancangan penelitian**

Penelitian dilaksanakan di dalam rumah kaca, diselenggarakan secara faktorial (3x6) menggunakan rancangan acak kelompok, terdiri dua faktor,

- faktor pertama, **Kultivar**, yang terdiri dari tiga taraf :

$V_1 = \text{Sriti}$ ,

$V_2 = \text{Walet}$ ,

$V_3 = \text{Ickal}$

- faktor ke dua, **jumlah pemberian air**, terdiri dari enam taraf :

$A_1 = 50 \text{ mm /musim tanam}$

$A_2 = 100 \text{ mm/musim tanam}$

$A_3 = 150 \text{ mm/musim tanam}$

$A_4 = 200 \text{ mm/musim tanam}$

$A_5 = 250 \text{ mm/musim tanam}$

$A_6 = 300 \text{ mm/musim tanam}$

keseluruhan terdapat 18 kombinasi perlakuan sebagai berikut :

$V_1A_1$   $V_1A_2$   $V_1A_3$   $V_1A_4$   $V_1A_5$   $V_1A_6$

$V_2A_1$   $V_2A_2$   $V_2A_3$   $V_2A_4$   $V_2A_5$   $V_2A_6$

$V_3A_1$   $V_3A_2$   $V_3A_3$   $V_3A_4$   $V_3A_5$   $V_3A_6$

Kombinasi perlakuan tersebut diulang sebanyak tiga kali.

Yang dimaksudkan pemberian air 300 mm/musim, adalah bahwa selama satu musim tanaman kacang hijau jumlah air yang diberikan setinggi 300 mm. Artinya dalam 1 hektar tertanaman kacang hijau selama hidupnya jumlah volume air yang diberikan sebanyak  $10.000 \text{ m}^2 \times 0.3 \text{ m} = 3000 \text{ m}^3$  atau setara dengan 3.000.000 liter. Untuk menghitung volume air yang diberikan dilakukan dengan mengalikan tinggi air X luas permukaan media yang digunakan untuk penanaman. Contoh perhitungan disajikan pada Lampiran 7.

Setiap perlakuan disediakan sembilan *polybag* dengan rincian lima *polybag*

untuk sampel destruktif dan empat *polybag* untuk sampel hasil.

Pemilihan kultivar didasarkan pada informasi tentang perbedaan umur, potensi hasil, mutu biji serta ketahanan terhadap kekeringan.

Penetapan jumlah pemberian air didasarkan tingkat di bawah kebutuhan air optimal (Kebutuhan air kacang hijau berkisar 250-350 mm/musim) dan distribusinya didasarkan pada nilai koefisien tanaman. Koefisien tanaman merupakan indeks yang menggambarkan tingkat kebutuhan air tanaman, nilainya bervariasi menurut umur atau stadia perkembangan tanaman.

Model matematik rancangan tersebut menurut Steel dan Torrie (1989) adalah

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

$Y_{ijk}$  = hasil pengamatan pada kelompok ke k, yang menerima taraf ke i dari faktor kultivar (V) dan taraf ke j dari faktor jumlah pemberian air (A)

$\mu$  = nilai tengah umum dari populasi

$\alpha_i$  = pengaruh faktor Kultivar pada taraf ke i

$\beta_j$  = pengaruh faktor Jumlah pemberian air (A) pada taraf ke j

$(\alpha\beta)_{ij}$  = pengaruh interaksi antara kultivar dan jumlah pemberian air pada taraf ke i (dari faktor V) dan taraf ke j (dari faktor A)

$\kappa_k$  = pengaruh kelompok ke k

$\varepsilon_{ijk}$  = pengaruh acak pada taraf ke i (faktor V), taraf ke j (faktor A) dan interaksi VA yang ke i dan ke j, pada kelompok ke k.

$$i = 1, 2, 3$$

$$j = 1, 2, 3, 4, 5, 6 \quad \text{dan}$$

$$k = 1, 2, 3$$

#### 4.1.3. Variabel pengamatan penelitian

Variabel yang diamati akibat pengaruh perlakuan adalah dikenal sebagai variabel tergantung, anantara lain sifat karakteristik pertumbuhan meliputi : tinggi tanaman, luas daun, jumlah daun, bobot kering, panjang akar, bobot kering akar, Indeks luas daun serta ukuran bulu daun. Pengamatan aspek fisiologi meliputi : luas daun spesifik, laju pertumbuhan relatif, harga satuan daun, kandungan air relatif daun, jumlah stomata, kandungan klorofil dan kandungan asam absisat. Pengamatan komponen hasil meliputi : jumlah polong per tanaman, bobot polong per tanaman, bobot 100 biji dan bobot biji per tanaman.

#### 4.1.4. Bahan penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. benih kacang hijau, digunakan kultivar Walet, Sriti dan Lokal Probolinggo mempunyai tipe pertumbuhan *determinit*, yang diperoleh dari Balai Penelitian Tanaman kacang - kacangan dan Umbi-umbian di Malang, yang kemurniannya di bawah pengawasan langsung dari pemulianya.
2. pupuk yang digunakan dua macam yaitu pupuk anorganik meliputi Urea, SP-36 dan KCl, dan pupuk organik yang digunakan adalah pupuk kandang dari kotoran sapi,
2. tanah untuk media penelitian ini adalah tanah tegalan lahan kering kebun Bedali Lawang, yang termasuk jenis tanah alvisol yang karakteristiknya disajikan dalam Lampiran 8.

4. insektisida Decis untuk melindungi tanaman dari gangguan hama lalat bibit digunakan dan fungisida Banlate untuk melindungi tanaman dari gangguan penyakit.
5. Bahan kimia yang digunakan antara lain : asam absisat, aceton, metanol, kloroform, asam asetat, N-hexana, benzene, etanol, diazometane, NaSO<sub>4</sub>, Na-EDTA, Asam asetat, asam orthophospat, Amonium sulfat.

#### 4.1.5. Alat – alat

Peralatan yang digunakan antara lain adalah:

1. media tanam *polybag* dengan diameter 30 cm dan tinggi 30 cm,
2. *hand sprayer*, untuk penyemprotan insektisida dan fungisida, dengan nozel berukuran 0.4 mm,
3. peralatan untuk penyiapan media tanam antara lain : cangkul, untuk menghancurkan tanah, ayak, cetok,
4. gelas ukur, peralatan untuk perlakuan pemberian air,
5. peralatan untuk pengamatan atau pengumpulan data di lapang meliputi : penggaris, (untuk mengukur tinggi tanaman maupun ukuran organ tanaman yang lain),
6. *elektrik Leaf area meter, model LI-300, LI-COR. USA* (untuk menganalisis luas daun tanaman),
7. *Oven*, (untuk analisis produksi bahan kering tanaman), Isotemp Series 255G, Gravity Convection Models.
8. *timbangan* yang digunakan adalah Analytical standard electronic balances Ohaus model AS 200-E ,

9. termohigrograf, peralatan untuk mengukur suhu, dan kelembapan di lokasi penelitian,
10. peralatan untuk ekstraksi sampel tanaman seperti blander, pengocok, *water bath*, *glass ware*,
11. kromatografi gas, tipe HP 5890A Gas Chromatograph, carrier : Nitrogen 29 cm/det (45°C) 4 ml/min, Column : HP-INNOWax 30 m x 0.53 mm x 1.0 µm, injection : split (25:1), 1 µm, inlet 250°C dan detector : FID 250 °C. Alat ini digunakan untuk analisis asam absisat (ABA),
12. spektrofotometer, model U-2000 Double-Beam Spectrophotometer digunakan untuk menganalisa klorofil.
13. Mikroskop dan kamera, digunakan Fisher Stereomaster-Zoom Microscope, model Binocular Body W/Universal, untuk mengamati stomata

#### **4.1. 6. Waktu dan lokasi penelitian**

Penelitian tahap pertama dilaksanakan pada bulan Juli 1998 sampai Oktober 1998, bertempat di rumah kaca kebun percobaan Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang, terletak pada ketinggian tempat 505 m dari permukaan laut.

#### **4.1.7. Pelaksanaan penelitian**

Penelitian dilaksanakan pada media *polybag* berkapasitas tanah 8 kg. Media tumbuh diambil dari lahan kering kebun Bedali Lawang, jenis tanahnya Alvisol, selanjutnya dikering anginkan dan ditumbuk halus dan diayak. Media ditambah pupuk kandang kotoran sapi dengan perbandingan

pupuk kandang : tanah = 1 : 4, dan setelah media siap benih ditanam sebanyak empat butir. Penjarangan dilakukan setelah tanaman tumbuh normal (tujuh hari setelah tanam) ditinggalkan dua tanaman per *polybag*. Benih yang digunakan terlebih dahulu diuji daya kecambahnya, dan berdasarkan hasil pengujian daya kecambah, benih digunakan berdaya kecambah 100%. Pemupukan dilakukan pada saat tanam dengan menggunakan pupuk urea dengan dosis 50 kg/ha (0.20 g urea/*polybag*), 75 kg SP-36/ha (0.30 g SP-36/*polybag*) dan 50 kg KCl/ha ( 0.20 g KCl/*polybag*).

Pemberian air dilakukan dengan penyiraman sesuai dengan perlakuan. Distribusi jumlah pemberian air selama pertumbuhan tanaman didasarkan pada stadia pertumbuhan dan nilai koefisien tanaman yang meliputi empat stadia sebagai berikut

- [1]. stadia pertumbuhan awal, yaitu mulai berkecambah sampai terbentuknya daun *trifoliata* pertama berlangsung selama 10-20 hari,
- [2]. stadia pertumbuhan vegetatif aktif berlangsung sampai tanaman muncul bunga yang terjadi pada hari ke 21 sampai 35 (15 hari),
- [3]. stadia generatif, yaitu sejak tanaman muncul bunga sampai pengisian biji, yang terjadi mulai umur 35 sampai 50 hari
- [4]. stadia pemasakan berlangsung mulai umur 51 hari sampai panen.

Jumlah pemberian air disesuaikan dengan stadia pertumbuhan tersebut dengan didasarkan nilai koefisien tanaman. Secara umum tanaman kacang-kacangan dalam pertumbuhannya mempunyai nilai koefisien tanaman tertentu pada setiap stadia pertumbuhan sebagai berikut : stadia

perkecambahan sebesar 0.35, stadia pertumbuhan vegetatif = 0.75-0.85, stadia generatif = 1.05 -1.14 dan stadia pemasakan 0.45 - 0.55.

Berdasarkan pengelompokan tingkatan stadia pertumbuhan kacang hijau dan nilai koefisien tanaman tersebut, maka jumlah kebutuhan air tanaman kacang hijau dapat dihitung dengan menggunakan nilai koefisien tanaman rata-rata pada masing-masing stadia, antara lain adalah sebagai berikut stadia perkecambahan = 0.35, stadia pertumbuhan vegetatif = 0.80, stadia generatif = 1.10 dan stadia pemasakan = 0.50.

Untuk menetapkan jumlah pemberian air pada setiap stadia pertumbuhan dihitung dengan cara: perbandingan antara koefisien tanaman pada suatu stadia dan total koefisien tanaman selama hidupnya x total volume air yang diperlukan tanaman kacang hijau selama hidupnya (*l/stadia*). Perhitungan secara rinci disajikan pada lampiran 7.

Jika *polybag* yang digunakan berdiameter 30 cm, maka distribusi pemberian air pada tanaman kacang hijau selama pertumbuhannya dapat dirinci sebagaimana tercantum dalam tabel 4.1.

Tabel : 4.1. Distribusi Jumlah Pemberian Air pada masing-masing Stadia Pertumbuhan Tanaman

Perlakuan	Distribusi Jumlah pemberian air pada umur (hari)				Jumlah total (ml/musim)
	1 – 15	16 – 35	36 – 50	51 – Panen	
	(ml/hari)				
50 mm	30,0	52,0	95,0	43,0	3.532,5
100 mm	60,0	104,0	190,0	86,0	7.065,0
150 mm	90,0	156,0	285,0	129,0	10.597,5
200 mm	120,0	208,0	380,0	172,0	14.130,0
250 mm	150,0	260,0	475,0	215,0	17.662,5
300 mm	180,0	312,0	570,0	258,0	21.195,0

#### 4.1.8 Prosedur pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan dengan mengamati karakteristik komponen organ tanaman, di antaranya sebagai berikut

##### 4.1.8.1. Pengamatan pertumbuhan tanaman

Pengamatan secara *non destruktif* yaitu pengamatan dilakukan tanpa merusak tanaman *dan destruktif*, yaitu pengamatan dengan memanen secara berkala setiap 10 hari mulai umur 15 hari sampai 55 hari setelah tanam, yang meliputi

##### A. Aspek Agronomis

Pengamatan dengan metode *non destruktif* terdiri dari empat tanaman sampel, variabel yang diamati yaitu

1. tinggi tanaman, diukur mulai dari leher akar sampai titik tumbuh
2. jumlah daun, dihitung seluruh daun yang sudah membuka penuh.

Pengamatan dengan metode *destruktif* dilakukan pada satu *polybag* yang terdiri atas dua tanaman meliputi

1. luas daun, seluruh daun diukur dengan *elektrik leaf area meter*.
2. panjang akar, diamati pada sampel *destruktif*, diukur mulai dari leher akar sampai bagian terpanjang,
3. bobot kering akar, diamati dengan menimbang akar yang telah dioven,
4. bobot kering tanaman, menimbang sampel tanaman yang dipanen dan telah dikeringkan dengan oven pada suhu 80°C selama 48 jam.

##### B. Aspek Fisiologis

1. Luas daun spesifik, yaitu menganalisis perbandingan antara luas

daun dan bobot kering daun. Nilai luas daun spesifik menurut Morrison, Voldeng dan Cober (1999) dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Luas daun Spesifik (LDS)} = \frac{\text{Luas daun (LD)}}{\text{Bobot kering daun (BKD)}}$$

2. indeks luas daun, (ILD) dimaksudkan untuk mengetahui potensi permukaan yang difungsikan untuk fotosintesis. Prinsip penetapannya adalah dengan menghitung perbandingan antara luas daun total tanaman (LD) dan luas tanah yang ternaungi daun (A)

$$\text{ILD} = \frac{\text{LD}}{\text{A}}$$

3. laju pertumbuhan relatif, (LPR) menghitung laju pertambahan bobot bahan kering tanaman per satuan waktu. Menurut Evans (1974) untuk menentukan besarnya nilai LPR dihitung dengan persamaan berikut :

$$\text{LPR} = \frac{(\ln W_2 - \ln W_1)}{(T_2 - T_1)}$$

W1 dan W2 masing-masing adalah berat kering total tanaman pada umur T1 dan T2, sedangkan T1 dan T2 masing-masing adalah umur tanaman pada saat dilakukan pengamatan.

4. kandungan air relatif pada daun (KARD), dimaksudkan untuk menganalisis status air di dalam tanaman yang ditumbuhkan pada kondisi pemberian air yang berbeda-beda.

Untuk mengukur kandungan air relatif pada daun diperlukan data

bobot segar daun (BS), bobot kering oven daun (BK), serta bobot daun pada kondisi turgor penuh atau dalam kondisi jenuh (BJ). Menurut Sitompul dan Guritno (1995), kandungan air relatif daun dihitung dengan persamaan

$$\text{KARD} = \frac{\text{BS} - \text{BK}}{\text{BJ} - \text{BK}} \times 100\%$$

5. Harga Satuan Daun (HSD) dimaksudkan untuk menganalisis potensi organ fotosintesis dalam memproduksi fotosintat. Menurut Williams dan Joseph (1973) HSD didefinisikan sebagai peningkatan bahan yang diproduksi tanaman per satuan luas daun dalam periode waktu tertentu. Untuk menghitung besarnya nilai laju asimilasi bersih oleh Evans (1974) ditetapkan dengan cara sebagai berikut

$$\text{HSD} = \frac{1}{A} \frac{\Delta W}{\Delta t} \quad \text{atau} \quad \frac{(W_2 - W_1)}{(t_2 - t_1)} \frac{(\ln A_2 - \ln A_1)}{(A_2 - A_1)}$$

A = luas daun,  $\Delta W$  = selisih bobot kering,  $\Delta t$  = perbedaan waktu,  $W_2$  dan  $W_1$  bobot kering pada  $t_2$  dan  $t_1$  dan  $A_1$  dan  $A_2$  luas daun pada umur  $t_1$  dan  $t_2$ .

6. indeks panen (IP), pengamatan indeks panen ini dimaksudkan untuk menetapkan nilai efisiensi penggunaan biomassa tanaman. Penghitungan indeks panen (IP), dilakukan pada saat panen. Nilai indeks panen ditetapkan dengan cara

$$\text{IP} = \frac{Y}{W}$$

di mana Y = bobot biji kering dan W adalah bobot kering total.

7. kandungan klorofil, dilakukan dengan cara mengambil contoh daun ke tiga dan daun ke empat, sampel daun tersebut digerus dan direndam dalam metanol selama 30 menit. Larutan yang diperoleh selanjutnya diamati kandungan klorofilnya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 652 dan 665 nm. Metode yang digunakan adalah metode Porra (Morrison, et al, 1999) secara lengkap disajikan pada Lampiran 1.
- 8, Kerapatan stomata, mengamati preparat yang diambil dari bagian bawah permukaan daun ke tiga dari pucuk dengan cara mengoleskan gelatin pada permukaan daun, yang dilaksanakan pada jam 11.00 – 12.00. Setelah beberapa menit gelatin tersebut dikupas pelan-pelan, stomata yang sudah terfiksasi oleh gelatin terbawa pada gelatin tersebut. Selanjutnya diperiksa dengan mikroskop. Metode analisisnya disajikan pada Lampiran 2. Pengamatan kerapatan stomata dilakukan pada stadia vegetatif (umur 25 hari) dan pada stadia generatif (umur 45 hari)
9. kandungan asam absisat, dilakukan melalui ekstraksi sampel tanaman dan dilanjutkan dengan analisis kandungan asam absisat, menggunakan Gas kromatografi. Pengamatan dilakukan pada umur 25 dan 45 hari. Metode analisis digunakan metode Monteiro, Sadenberg dan Crozier (1987) yang disajikan pada Lampiran 3. Daun yang digunakan untuk sampel adalah daun ke tiga dan empat dan diambil pada jam 11.00-12.00.

#### 4.1.8.2. Pengamatan hasil

Pengamatan hasil dilakukan dengan cara destruktif pada saat perkembangan generatif dan saat panen, dengan sampel tanaman sebanyak enam tanaman. Variabel pengamatan komponen hasil meliputi :

- a. jumlah polong per tanaman, dihitung seluruh polong yang terbentuk pada setiap tangkai bunga,
- b. bobot polong per tanaman, menimbang seluruh polong yang terbentuk pada masing-masing tanaman,
- c. bobot 100 biji, menimbang sebanyak 100 biji, dimaksudkan untuk mengetahui ukuran biji masing tanaman,
- d. bobot biji per tanaman, yaitu menimbang seluruh biji yang dihasilkan oleh masing-masing tanaman.

Hasil dari penelitian pertama ini dapat diketahui interaksi antara kultivar dan tingkat pemberian air yang dapat menimbulkan gangguan pertumbuhan dan hasil tanaman. Dari hasil tersebut dipilih satu kultivar yang mempunyai potensi hasil biji yang paling tinggi tetapi ketahanan terhadap kondisi kekurangan air rendah. Hasil ini digunakan untuk penelitian tahap dua.

#### 4.1.9. Analisis Data

Untuk mengevaluasi pengaruh dari perlakuan yang diuji, data hasil pengamatan yang telah diperoleh dilakukan analisis keragaman (Anova). Apabila hipotesis tolak  $H_0$ , maka untuk perlakuan yang lebih dari lima level dilakukan pengujian terhadap perbedaan antara perlakuan, dengan menggunakan uji Duncan ( $\alpha = 0,05$ ) dan jika kurang dari lima diuji

menggunakan BNT ( $\alpha = 0,05$ ). Selanjutnya untuk mengetahui hubungan di antara variabel yang diamati dianalisis dengan regresi.

#### **4.2. Penelitian II : Peranan Penyemprotan Osmolit Sorbitol dalam Meningkatkan Ketahanan Tanaman Kacang Hijau pada Berbagai Waktu PENCEKAMAN Kekurangan Air.**

##### **4.2.1 Tujuan penelitian**

Tujuan penelitian tahap ke dua adalah

- [1] menetapkan stadia tumbuh yang paling kritis terhadap pengaruh cekaman kekurangan air,
- [2] meneliti perbedaan sifat morfologis maupun fisiologis tanaman kacang hijau akibat cekaman kekurangan air pada berbagai stadia pertumbuhannya,
- [3] menguji kemampuan osmolit sorbitol dalam mempertahankan hasil kacang hijau yang tumbuh pada kondisi kekurangan air,
- [4] menetapkan tingkat konsentrasi osmolit sorbitol yang mampu mempertahankan hasil paling baik, dan selanjutnya dipilih enam kombinasi perlakuan yang mempunyai hasil terbaik untuk dilakukan pengujian lapang.

##### **4.2.2. Rancangan penelitian**

Penelitian dilaksanakan secara faktorial (6x4), memakai rancangan acak kelompok dengan 3 ulangan. Penelitian terdiri dari dua faktor,

**Faktor pertama : Waktu PENCEKAMAN air (C),** terdiri tujuh taraf yaitu

C1 = tidak dicekam sepanjang umur tanaman

C<sub>2</sub> = dicekam sepanjang hidupnya

C<sub>3</sub> = dicekam selama stadia vegetatif (0-35 hari)

C<sub>4</sub> = dicekam selama stadia generatif (35-60 hari)

C<sub>5</sub> = dicekam pada stadia vegetatif awal dan stadia generatif awal  
(pada umur 10 -20 hari dan 35 – 45 hari)

C<sub>6</sub> = dicekam mulai stadia vegetatif akhir sampai generatif awal  
(umur 21 – 45 hari)

**Faktor ke dua : Konsentrasi Sorbitol (S)**, terdiri dari tiga taraf :

S<sub>0</sub> = tanpa disemprot sorbitol

S<sub>1</sub> = 10 ml/l,

S<sub>2</sub> = 15 ml/l,

S<sub>3</sub> = 20 ml/l

Penentuan konsentrasi penyemprotan osmolit sorbitol didasarkan pada hasil penelitian pendahuluan, yang dilaksanakan pada bulan Juli sampai Oktober 1997, bahwa penyemprotan osmolit sorbitol mulai menunjukkan perbedaan mulai konsentrasi 7,5 ml/l sampai 10 ml/l masih menunjukkan peningkatan hasil biji (Ariffin, 1997). Bertitik tolak dari hasil di atas maka konsentrasi penyemprotan osmolit sorbitol untuk penelitian tahap II konsentrasi ditingkatkan menjadi 10, 15 dan 20 ml/l.

Aplikasi osmolit sorbitol dalam penelitian ini dilakukan pada siang hari antara pukul 10.00 -12.00, dengan cara menyemprotkan ke bagian bawah daun. Penentuan waktu penyemprotan didasarkan pada hasil penelitian Arifin (1999) bahwa penyemprotan osmolit sorbitol pada pukul 8.00-10.00; 10.00-12.00 dan 12.00 –14.00 memperlihatkan hasil yang tidak berbeda,

sehingga terdapat 24 kombinasi perlakuan, antara lain

$C_1S_0$	$C_2S_0$	$C_3S_0$	$C_4S_0$	$C_5S_0$	$C_6S_0$
$C_1S_1$	$C_2S_1$	$C_3S_1$	$C_4S_1$	$C_5S_1$	$C_6S_1$
$C_1S_2$	$C_2S_2$	$C_3S_2$	$C_4S_2$	$C_5S_2$	$C_6S_2$
$C_1S_3$	$C_2S_3$	$C_3S_3$	$C_4S_3$	$C_5S_3$	$C_6S_3$

Setiap perlakuan terdiri sembilan pot.

Model matematik dari rancangan tersebut adalah

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

$Y_{ijk}$  = hasil pengamatan pada kelompok ke k, yang menerima taraf ke i dari faktor waktu pencekaman (C) dan taraf ke j dari faktor konsentrasi penyemprotan osmolit Sorbitol (S)

$\mu$  = nilai tengah umum dari populasi

$\alpha_i$  = pengaruh faktor waktu pencekaman (C) pada taraf ke i

$\beta_j$  = pengaruh faktor konsentrasi osmolit sorbitol (S) pada taraf ke j

$(\alpha\beta)_{ij}$  = pengaruh interaksi antara waktu pencekaman dan konsentrasi osmolit sorbitol pada taraf ke i (faktor C) dan taraf ke j (faktor S),

$\kappa_k$  = pengaruh kelompok ke k

$\varepsilon_{ijk}$  = pengaruh acak pada taraf ke i (faktor C), taraf ke j (faktor S) dan interaksi antara faktor CS yang ke i dan ke j, pada kelompok ke k.

$$i = 1, 2, 3$$

$$j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

$$k = 1, 2, 3$$

### 4.2.3. Variabel pengamatan penelitian

Variabel yang diamati dalam penelitian disebut sebagai variabel tergantung meliputi

#### 4.2.3.1. Pengamatan pertumbuhan tanaman :

Pengamatan dengan metode *non destruktif* terdiri dari empat tanaman sampel, variabel yang diamati yaitu

1. tinggi tanaman, diukur mulai dari leher akar sampai titik tumbuh
2. jumlah daun, dihitung seluruh daun yang sudah membuka penuh.

Pengamatan dengan metode *destruktif* dilakukan pada satu *polybag* yang terdiri atas dua tanaman meliputi

#### *Aspek agronomis*

luas daun, panjang akar, bobot kering akar, bobot kering tanaman.

#### *Aspek fisiologis*

indeks luas daun, laju pertumbuhan relatif, KARD (kandungan air relatif pada daun), luas daun spesifik, harga satuan daun, indeks panen (IP), kandungan klorofil, kerapatan stomata dan kandungan asam absisat.

#### 4.2.3.2. Pengamatan komponen hasil :

Jumlah polong per tanaman, bobot polong per tanaman, jumlah biji per polong, bobot 100 biji dan bobot biji per tanaman.

Metode pengamatan sama dengan metode yang digunakan pada percobaan tahap I.

### 4.2.4. Bahan penelitian

Bahan-bahan yang digunakan untuk pelaksanaan penelitian adalah

1. benih kacang hijau, yang digunakan adalah kultivar yang paling

peka terhadap kekeringan, yaitu stabilitas produksinya rendah, berdasarkan hasil penelitian pertama. Berdasarkan hasil analisis ternyata kultivar yang mempunyai potensi tinggi tapi peka terhadap kekurangan air adalah kultivar Walet yang diperoleh dari Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian Malang dengan daya kecambah 100%,

2. sorbitol, yang digunakan adalah produksi dari pabrik PT Sorini,
3. pupuk an-organik (urea, SP-36 dan KCl) dan pupuk organik menggunakan pupuk kandang kotoran sapi,
4. perlindungan tanaman terhadap hama dan penyakit dilakukan dengan menyemprotkan insektisida Decis dan fungisida Benlete.
5. medianya adalah tanah dari kebun Bedali Lawang dengan jenis tanah alvisol.

#### **4.2.5. Peralatan penelitian**

Peralatan yang digunakan untuk penyelenggaraan penelitian adalah

1. peralatan untuk penyiapan media (ayakan, cangkul dll)
2. peralatan untuk penyiraman (gelas ukur)
3. pipet, untuk menakar sorbitol,
4. *hand sprayer*, berkapasitas 10 liter digunakan untuk mengaplikasikan perlakuan penyemprotan sorbitol, yang berkapasitas dua liter digunakan untuk pengendalian hama dan penyakit. Ukuran nozel yang digunakan adalah 0.40 mm
5. timbangan, digunakan untuk mengukur bobot tanaman, yang meliputi bobot kering dan bobot segar bagian tanaman,

6. mikroskop, digunakan untuk mengamati status membuka atau menutupnya stomata,
7. Penggaris, untuk mengukur tinggi tanaman maupun ukuran organ tanaman yang lain,
8. *elektrik leaf area meter* untuk menganalisis luas daun tanaman
9. oven, untuk analisis produksi bahan kering tanaman,
10. peralatan lain seperti : timbangan, kantong kertas, spektrofotometer untuk analisis klorofil.
11. kromatografi gas, untuk mengukur kandungan asam absisat.

Semua peralatan yang digunakan spesifikasinya sama dengan yang digunakan pada percobaan tahap I.

#### 4.2.6. Lokasi dan waktu penelitian

Penelitian tahap ke dua dilaksanakan pada bulan Desember 1998 sampai Februari 1999, bertempat di rumah kaca, kebun percobaan Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang.

#### 4.2.7. Cara pelaksanaan penelitian

Kultivar kacang hijau yang digunakan adalah kultivar terpilih dari penelitian tahap I yang memiliki produksi tinggi tetapi toleransi terhadap tingkat kekeringan rendah, yaitu kultivar **Walet**. *Polybag* yang digunakan berdiameter 30 cm berisi campuran tanah dan pupuk kandang kotoran sapi, sebanyak 8 kg dengan perbandingan 4 : 1. Setelah media siap, disiram dengan air hingga mencapai batas kapasitas lapang, selanjutnya media yang telah ditambah air tersebut dibiarkan selama 48 jam, baru kemudian benih kacang hijau ditanam sebanyak empat butir benih per lubang.

Setelah tumbuh umur tujuh hari dilakukan penjarangan dan ditinggalkan dua tanaman per *polybag*.

Pemupukan N, P dan K diberikan bersama tanam dengan dosis 50 kg/ha Urea (0.20 g Urea/polybag), 75 kg/ha SP-36 (0.30 g SP-36/polybag) dan 50 kg KCl/ha (0.20 g KCl/polybag).

Pencekaman air, dilakukan dengan jalan memberikan air sebanyak 50% dari kebutuhan normalnya, yaitu 150 mm/musim. Pencekaman selama stadia vegetatif artinya mulai tanaman umur 1 hari sampai umur 35 hari tanaman disiram air sebanyak 150 mm/musim dan setelah mencapai umur 35 hari tanaman diairi dalam jumlah yang normal yaitu 300 mm/musim. Demikian halnya perlakuan pencekaman pada stadia generatif, berarti tanaman mulai awal sampai umur 35 hari diairi normal dan setelah umur 35 hari sampai panen, tanaman dicekam dengan memberi air sebanyak 150 mm/musim. Pemberian air dilakukan dengan menyiram setiap lima hari, dilakukan semenjak benih ditanam, jumlahnya disesuaikan perlakuan.

Pencekaman dilakukan sesuai dengan perlakuan dengan jumlah pemberian air sebanyak 150 mm/musim, di luar waktu pencekaman jumlah air diberikan 300 mm/musim (Tabel 4.2).

Tabel 4.2. Waktu Pelaksanaan Pencekaman Air Tanaman Kacang hijau

Perlakuan	Pelaksanaan pencekaman pada umur ..... (hari)											Frekuensi *)
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	
C1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C2	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	10
C3	0	X	X	X	X	X	0	0	0	0	0	5
C4	0	0	0	0	0	0	X	X	X	X	X	5
C5	0	X	X	X	0	0	X	X	X	0	0	6
C6	0	0	0	X	X	X	X	X	0	0	0	5

Keterangan : 0 = tidak dicekam air X = dicekam air ,

\*) frekuensi penyemprotan osmolit disesuaikan dengan perlakuan

Penyemprotan osmolit sorbitol dilakukan setiap lima hari sekali yang dilaksanakan dua hari sebelum perlakuan pemberian air, konsentrasinya sesuai dengan perlakuan dengan frekuensi penyemprotan sekitar 5-10 kali. Pelaksanaan penyemprotan osmolit sorbitol dilakukan mulai umur 10 hari setelah tanam dan diakhiri sampai tanaman mencapai stadia pemasakan. Penyemprotan diarahkan pada permukaan daun bagian bawah. Aplikasi osmolit sorbitol dalam penelitian ini dilakukan pada siang hari antara pukul 10.00 -12.00, dengan cara menyemprotkan ke bagian bawah daun. Penentuan waktu penyemprotan didasarkan pada hasil penelitian Arifin (1999) bahwa penyemprotan osmolit sorbitol pada pukul 8.00-10.00; 10.00-12.00 dan 12.00 –14.00 tidak memperlihatkan hasil yang berbeda.

#### **4.2.8. Prosedur pengumpulan data penelitian**

Pengamatan penelitian ini meliputi sifat variabel pertumbuhan dan hasil tanaman.

##### **4.2.8.1. Pengamatan pertumbuhan tanaman :**

Dilaksanakan secara non destruktif dan destruktif, setiap 10 hari mulai umur 15 hari sampai 55 hari setelah tanam, yang meliputi

##### **a. aspek agronomis :**

Pengamatan dengan metode non destruktif dilakukan terhadap empat tanaman sampel : Tinggi tanaman, dan jumlah daun. Sedangkan yang diamatani secara destruktif meliputi : luas daun, bobot kering akar dan bobot kering tanaman,

*b. aspek fisiologis :*

Prosedur pengumpulan data untuk variabel pengamatan fisiologis sama dengan yang dilakukan pada penelitian tahap pertama, adapun variabel tersebut adalah

indeks luas daun, laju pertumbuhan relatif, kandungan air relatif daun luas daun spesifik, harga satuan daun, kandungan klorofil, kerapatan stomata, kandungan asam absisat dan indeks panen.

4.2.8.2. Pengamatan hasil

Pengamatan hasil dilakukan terhadap enam tanaman sampel, pada saat perkembangan generatif dan saat panen, meliputi pengamatan komponen hasil :

- a. Jumlah polong per tanaman, dihitung seluruh polong yang terbentuk,
- b. bobot polong per tanaman, menimbang seluruh polong yang terbentuk pada masing-masing tanaman,
- c. jumlah biji per polong, menghitung jumlah biji dari masing-masing polong,
- d. bobot 100 biji, menimbang sebanyak 100 biji dengan maksud untuk mengetahui kualitas hasil biji yang terbentuk oleh masing-masing tanaman yang diperlakukan,
- e. bobot biji per tanaman, menimbang seluruh biji yang dihasilkan.

Hasil dari penelitian ke dua ini diperoleh interaksi terbaik antara waktu pencekaman dan konsentrasi penyemprotan osmolit sorbitol terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman. Selanjutnya dipilih kombinasi perlakuan

tercekam kekurangan air yang paling baik ke satu sampai ke enam, dan sebagai pembandingan adalah perlakuan tanaman yang diairi secara normal, yaitu tanaman kacang hijau yang selalu mendapat pengairan yang optimal (300 mm/musim) sepanjang hidupnya untuk dilakukan uji verifikasi di lapang.

#### **4.2.9. Analisis Data**

Untuk melihat pengaruh dari perlakuan yang dicobakan, data hasil pengamatan yang telah diperoleh dilakukan analisis keragaman. Apabila hipotesis tolak  $H_0$ , maka dilakukan pengujian terhadap perlakuan dengan menggunakan uji Duncan's ( $\alpha = 0,05$ ) untuk pembandingan yang lebih dari lima perlakuan. Sedangkan untuk pembandingan yang kurang dari lima perlakuan digunakan uji BNT ( $\alpha = 0,05$ ). Untuk mengetahui hubungan antar variabel yang diamati dilakukan analisis korelasi dan regresi.

### **4.3. Penelitian Tahap III : Pengujian Kemampuan Osmolit Sorbitol dalam Meningkatkan Ketahanan Tanaman Kacang Hijau di Lahan Kering yang Kekurangan Air**

#### **4.3.1. Tujuan penelitian,**

Penelitian ini dimaksudkan untuk melakukan *verifikasi* atau memantapkan hasil penelitian yang telah diperoleh dari hasil penelitian yang dilakukan di dalam rumah kaca.

#### **4.3.2. Rancangan penelitian**

Penelitian dilaksanakan dengan menggunakan rancangan acak kelompok, terdiri tujuh perlakuan yang dikelompokkan dalam tiga ulangan.

Perlakuan yang diverifikasikan dalam percobaan ke tiga ini adalah didasarkan pada hasil percobaan ke dua, dengan memilih enam kombinasi perlakuan yang menunjukkan hasil paling baik dan satu perlakuan tanpa pencekaman sebagai kontrol. Tanaman yang dicekam adalah tanaman kacang hijau yang hanya memperoleh pengairan 50% dari kebutuhan optimalnya yaitu sebanyak 150 mm/musim. Adapun perlakuan yang terpilih di antaranya meliputi

P<sub>1</sub> = tanaman normal tanpa pencekaman (air optimal 300 mm/musim) selama hidupnya,

P<sub>2</sub> = penyemprotan osmolit sorbitol 15 ml/l sebanyak lima kali pada tanaman yang dicekam kekurangan air selama stadia vegetatif (umur 0-35 hst), disemprot osmolit sebanyak lima kali, dan setelah umur 35 hari sampai menjelang panen diberi air normal (300 mm/musim) dan tidak disemprot sorbitol.

P<sub>3</sub> = penyemprotan osmolit sorbitol 20 ml/l sebanyak lima kali pada tanaman yang dicekam kekurangan air selama stadia vegetatif (umur 0-35 hst), dan setelah umur 35 hari sampai menjelang panen diberi air normal (300 mm/musim) dan tidak disemprot sorbitol.

P<sub>4</sub> = penyemprotan osmolit sorbitol 15 ml/l sebanyak lima kali pada tanaman yang dicekam kekurangan air selama stadia generatif (umur 35-60 hst), dan sebelum umur 35 hari diberi air normal (300 mm/musim) dan tidak disemprot sorbitol.

P<sub>5</sub> = penyemprotan osmolit sorbitol 20 ml/l sebanyak lima kali pada

tanaman yang dicekam kekurangan air selama stadia generatif (umur 35-60 hst), dan sebelum umur 35 hari diberi air normal (300 mm/musim) dan tidak disemprot sorbitol

P6 = penyemprotan osmolit sorbitol 15 ml/l sebanyak enam kali pada tanaman yang dicekam kekurangan air selama umur 21-45 hari. Sebelum umur 21 hari dan setelah umur 45 tanaman di air normal (300 mm/musim) dan selama itu tidak disemprot sorbitol.

P7 = penyemprotan osmolit sorbitol 20 ml/l sebanyak enam kali pada tanaman yang dicekam kekurangan air selama umur 21-45 hari. Sebelum umur 21 hari dan setelah umur 45 tanaman di air normal (300 mm/musim) dan selama itu tidak disemprot sorbitol.

.Model matematik dari rancangan tersebut adalah :

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

$Y_{ij}$  = hasil pengamatan pada kelompok ke j, yang menerima taraf ke i perlakuan P

$\mu$  = nilai tengah umum dari populasi

$\alpha_i$  = pengaruh perlakuan (P) pada taraf ke i

$\beta_j$  = pengaruh kelompok ke j

$\varepsilon_{ij}$  = pengaruh acak pada taraf ke i perlakuan P, pada kelompok ke j

$i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$  dan 7

$j = 1, 2, 3,$

#### 4.3.3. Variabel penelitian

Variabel tergantung dalam penelitian ini adalah variabel yang diamati sebagai dampak dari perlakuan yang diberikan. Macam-macam variabel tergantung yang diamati meliputi

##### A. variabel pertumbuhan mencakup

###### a. aspek agronomis

tinggi tanaman, jumlah daun, luas daun, indeks luas daun, (ILD), serta bobot kering total tanaman,

###### b. aspek fisiologi :

laju pertumbuhan relatif, (LPR) dan Indeks Panen

##### B. Variabel produksi, mencakup

Jumlah polong per tanaman, bobot polong per tanaman, jumlah biji per polong, bobot 100 biji, bobot biji per tanaman dan bobot biji per satuan luas.

#### 4.3.4. Bahan penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian meliputi

1. benih kacang hijau, digunakan kultivar yang telah terpilih dari hasil penelitian tahap pertama yaitu kultivar Walet.
2. pupuk yang digunakan antara lain adalah Urea, SP-36 dan KCl,
3. sorbitol, merupakan osmolit yang digunakan untuk mengatur membukanya stomata.
4. Insektisida Decis dan Marshall, digunakan untuk pengendalian hama lalat bibit dan fungisida yang digunakan adalah Benlate dan Dithane untuk mengendalikan gangguan penyakit.

#### 4.3.5. Alat penelitian

Peralatan yang diperlukan untuk penyelenggaraan penelitian :

1. peralatan untuk pengolahan tanah (bajak, cangkul dll)
2. pompa air untuk penyiraman
3. pipet, gelas ukur, untuk menakar sorbitol,
4. hand sprayer, berkapasitas 10 liter, ukuran nozel 0.40 mm, digunakan untuk mengaplikasikan perlakuan penyemprotan sorbitol, untuk penyemprotan pestisida atau fungisida untuk pengendalian hama dan penyakit,
5. timbangan, digunakan untuk mengukur bobot tanaman, yaitu bobot kering dan bobot segar bagian tanaman,
6. Penggaris, untuk mengukur ukuran organ tanaman.
7. elektrik leaf area meter untuk menganalisis luas daun tanaman
8. oven, untuk analisis produksi bahan kering tanaman,
9. peralatan lain seperti : timbangan, kantong kertas untuk analisis bahan kering tanaman dan hasil.

Spesifikasi alat yang digunakan adalah sama dengan yang digunakan pada percobaan tahap I.

#### 4.3.6. Waktu dan tempat penelitian

Penelitian lapang dilaksanakan pada bulan Juli sampai September 1999. Lokasi pelaksanaan penelitian bertempat di desa Bedali, Lawang, pada jenis tanah alvisol. Lokasi ini terletak pada ketinggian sekitar 500 m dari permukaan laut, curah hujan rata-rata per tahun 1715 mm, dengan 119

hari hujan, suhu rata-rata harian 24-27°C dan kelembapan udara rata-ratanya berkisar 75 - 82%.

#### **4.3.7. Cara pelaksanaan penelitian**

Kultivar kacang hijau yang digunakan adalah kultivar Walet, yaitu kultivar yang terpilih berdasarkan hasil dari penelitian pertama. Benih sebelum ditanam dilakukan pengujian daya kecambah dan benih yang digunakan berdaya kecambah 100%.

Lahan yang digunakan bekas tanaman kedelai. Sebelum dilakukan penanaman lahan terlebih dahulu dibajak dan diratakan dengan menggunakan traktor tangan. Setelah pengolahan tanah selesai, dilanjutkan pembuatan petak-petak berukuran 2,5 x 4 m, di antara ulangan diberikan jarak 1,0 m berupa parit dalamnya 0.6 m. Jarak antar petak perlakuan 0,5 m. Dua hari sebelum tanam petakan-petakan tersebut diairi sampai jenuh dengan cara digenangi, selanjutnya petakan tersebut dibiarkan selama dua hari, sehingga tercapai kondisi kapasitas lapang. Benih kacang hijau sebelum ditanam dicampur dengan insektisida decis dan marshall untuk mencegah gangguan lalat bibit. Penanaman dilakukan sebanyak 4 benih per lubang dengan jarak tanam 40 x 10 cm. Setelah benih tumbuh pada umur tujuh hari dilakukan penjarangan dan ditinggalkan dua tanaman per lubang, sehingga populasi tanaman 500.000 tanaman per ha. Pemupukan N, P dan K diberikan bersama tanam, dengan dosis 50 kg/ha Urea, 75 kg/ha SP-36 dan 50 kg KCl/ha, atau 50 g Urea/petak, 75 g SP-36/petak dan 50 g KCl/petak.

Pemberian air dilakukan dengan menyiram setiap lima hari sekali,

jumlahnya disesuaikan dengan hasil percobaan ke dua. Perlakuan pencekaman kekurangan air, tanaman diberi air sebanyak setengah dari kebutuhan optimal yaitu sebanyak 150 mm musim<sup>-1</sup>, dan waktu pencekaman disesuaikan dengan hasil penelitian tahap pertama dan ke dua. Distribusi pemberian air disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Distribusi Jumlah Pemberian Air dan Waktu Pelaksanaan Pencekaman Air pada Tanaman Kacang Hijau Kultivar Walet

Umur (hari)	Jumlah pemberian air (liter/petak/5 hari)									
	10-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50	51-55	56-60
Perlakuan										
P1	127	127	220	220	220	400	400	400	180	180
P2	63,5	63,5	110	110	110	400	400	400	180	180
P3	63,5	63,5	110	110	110	400	400	400	180	180
P5	127	127	220	220	220	200	200	200	90	90
P6	127	127	220	220	220	200	200	200	90	90
P4	127	127	110	110	110	200	200	400	180	180
P7	127	127	110	110	110	200	200	400	180	180

Keterangan : Ukuran petak 2.5 x 4.0 m  = waktu pencekaman

Penyemprotan osmolit sorbitol dilakukan dengan konsentrasi dan interval sesuai perlakuan, yang dilakukan semenjak tanaman umur 10 hari setelah tanam dan dihentikan setelah tanaman mencapai stadia pemasakan polong.

#### 4.3.8. Prosedur pengumpulan data penelitian

##### A. Pengamatan pertumbuhan tanaman :

Dilaksanakan secara non destruktif dan destruktif, setiap 10 hari mulai umur 15 hari sampai 55 hari setelah tanam. Adapun prosedur pengumpulan data terhadap seluruh variabel agronomis, maupun fisiologi sama dengan prosedur yang dilakukan pada penelitian pertama, yaitu mencakup aspek agronomis dan fisiologis.

## 1. Aspek Agronomis :

Pengamatan dengan metode non destruktif meliputi

- a. Tinggi tanaman, diukur mulai dari leher akar sampai titik tumbuh
- b. Jumlah daun, dihitung seluruh daun yang sudah membuka penuh

Pengamatan dengan metode destruktif.

- a. Luas daun, diukur secara destruktif, yaitu dengan memanen tanaman secara berkala, seluruh daun diukur dengan elektrik leaf area meter.
- b. Bobot kering tanaman, menimbang sampel tanaman yang sudah dikeringkan dengan oven pada suhu 80°C selama 48 jam.
- c. Indeks luas daun, (ILD), dimaksudkan untuk mengetahui potensi permukaan yang difungsikan untuk fotosintesis.

## 2. Aspek fisiologi,

- a. Laju Pertumbuhan Relatif, (LPR) menghitung laju pertambahan bobot bahan kering tanaman per satuan waktu,
- b. Kandungan air relatif pada daun (KARD), dimaksudkan untuk mengetahui status air pada tanaman yang tumbuh pada kondisi pemberian air yang berbeda-beda.
- c. Indeks Panen (IP), pengamatan indeks panen ini dimaksudkan untuk menggambarkan efisiensi penggunaan biomassa tanaman. Pelaksanaan penghitungannya dilakukan pada saat panen,

## B. Pengamatan hasil

Pengamatan hasil biji dilakukan terhadap komponen produksi meliputi

- a. jumlah polong per tanaman, dihitung seluruh polong yang terbentuk pada setiap tangkai bunga,
- b. bobot polong per tanaman, menimbang seluruh polong,
- c. jumlah biji per polong, menghitung jumlah biji dari setiap polong,
- d. bobot 100 biji, dimaksudkan untuk mengetahui kualitas hasil biji yang terbentuk oleh masing-masing tanaman yang diperlakukan,
- e. bobot biji per tanaman, untuk mengetahui potensi hasil biji per tanaman,
- f. Bobot biji per satuan luas, yaitu menimbang seluruh biji yang dihasilkan dalam satu petak dengan ukuran 1 x 2 m.

### 4.3.9. Analisis Data

Untuk melihat pengaruh dari perlakuan yang dicobakan, data hasil pengamatan yang telah diperoleh dilakukan analisis keragaman. Apabila hipotesis tolak  $H_0$ , maka untuk mengevaluasi perbedaan antar perlakuan dilakukan pengujian dengan menggunakan uji Duncan ( $\alpha = 0,05$ ).

## BAB 5

### HASIL PENELITIAN

#### 5.1. Respon Kultivar Kacang Hijau terhadap Cekaman Kekurangan Air

Pertumbuhan dan hasil beberapa kultivar tanaman kacang hijau sangat dipengaruhi oleh situasi air di dalam tanah. Observasi pertumbuhan tanaman dilakukan terhadap variabel tinggi tanaman, jumlah daun, bobot kering, Indeks luas daun, perkembangan perakaran, laju pertumbuhan relatif, luas daun spesifik, harga satuan daun, stomata, klorofil dan asam absisat. Sedangkan observasi untuk komponen hasil tanaman dilakukan terhadap jumlah polong, bobot polong, ukuran polong, bobot biji per tanaman, bobot 100 biji, dan indeks panen.

##### 5.1.1. Respon pertumbuhan tanaman terhadap kekurangan air

###### 5.1.1.1. Tinggi tanaman

Perubahan tinggi tanaman merupakan salah satu indikator untuk mengevaluasi pertumbuhan tanaman. Hasil analisis statistik ditemukan bahwa interaksi antara kultivar dan jumlah pemberian air tidak mempengaruhi perkembangan ukuran tanaman. Perbedaan tinggi tanaman ke tiga kultivar hanya terjadi pada umur 15 hari, setelah itu mulai umur 25 hari sampai panen tiga kultivar (Sriti, Walet dan Lokal) ternyata mempunyai ukuran relatif sama (Lampiran Tabel 1). Respon tiga kultivar tersebut pada tingkat pemberian air yang berbeda-beda tidak memperlihatkan perbedaan tinggi tanaman. Sedangkan tingkat pemberian air memperlihatkan pengaruh sangat nyata terhadap tinggi

tanaman. Tanaman yang mendapatkan air lebih sedikit mempunyai kecenderungan ukuran tanaman semakin pendek dan bertambah banyak air yang ditambahkan, ukuran tanaman semakin tinggi. Penurunan jumlah pemberian air sampai 50% (150 mm/musim) dari kebutuhan optimum ternyata mengakibatkan penurunan tinggi tanaman yaitu berkisar 11% sampai 25% selama kehidupan tanaman. Secara rinci disajikan di tabel 5.1.

Tabel 5.1. Tinggi Tanaman Kacang Hijau pada beberapa Tingkat Cekaman Kekurangan Air

Perlakuan	Tinggi tanaman (cm) pada umur .....				
	15 hst	25 hst	35 hst	45 hst	55 hst
Kultivar					
Sriti	28.25 ab	37.28	43.75	48.67	49.17
Walet	27.39 a	36.83	44.03	49.50	51.11
Lokal	29.74 b	37.81	44.22	50.86	51.50
BNT 5%	*	tn	tn	tn	tn
Jumlah Air (mm/musim)					
50	26.56 a	31.78 a	33.89 a	35.44 a	35.56 a
100	28.61 ab	34.89 b	37.50 a	41.06 b	41.44 b
150	28.22 ab	36.72 bc	42.17 b	47.72 c	48.78 c
200	28.33 ab	38.22 cd	45.06 bc	55.56 d	55.78 d
250	28.92 b	40.78 de	48.78 c	55.44 d	58.78 de
300	30.11 b	41.44 e	56.61 d	62.83 e	63.22 e
Duncan's 5%	*	*	*	*	*

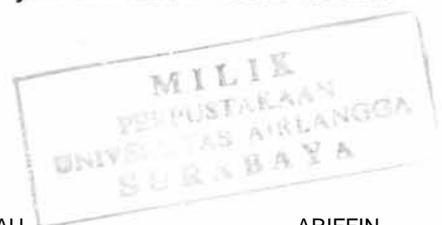
Keterangan : Angka-angka dari masing-masing faktor pada setiap umur pengamatan yang didampingi oleh huruf sama adalah tidak berbeda nyata, tn = tidak berbeda nyata, \* = berbeda nyata

Tabel 5.1. memperlihatkan bahwa tinggi tanaman maksimum dicapai pada umur 45 hari, dan setelah itu tinggi tanaman relatif konstan. Pemberian air dalam jumlah optimal (300 mm) pada tanaman kacang hijau memperlihatkan ukuran tanaman paling tinggi dibanding yang diberi air lebih sedikit. Tanaman kacang hijau yang mendapatkan air di bawah kebutuhan

optimal (< 300 mm), rata-rata tinggi tanamannya lebih pendek. Pengurangan air sampai 50% dari kebutuhan optimal (150 mm), tinggi tanaman kacang hijau mengalami penurunan sebesar 24%. Pemberian air sebanyak 200 dan 250 mm tidak memperlihatkan perbedaan ukuran tinggi tanaman, tetapi bila dibandingkan dengan tanaman yang diairi normal (300 mm/musim) ke dua perlakuan tersebut lebih pendek, perbedaannya berkisar 5-7 cm. Apabila pemberian air di bawah jumlah tersebut (250 mm/musim) terlihat perbedaan yang cukup besar yaitu berkisar 15 cm. Pemberian air sebanyak 150 mm/musim (separoh dari kebutuhan optimal) ternyata tinggi tanaman sampai umur 35 hari tidak memperlihatkan perbedaan dengan yang diairi 200 mm/musim.

#### 5.1.1.2. Jumlah daun

Jumlah daun suatu tanaman merupakan cerminan dari potensi tanaman dalam menyediakan tempat berlangsungnya proses fotosintesis. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa interaksi antara kultivar dan jumlah pemberian air tidak berpengaruh terhadap jumlah daun tanaman kacang hijau, tetapi masing-masing faktor memperlihatkan perbedaan yang nyata terhadap jumlah daun (Lampiran Tabel 2). Hasil pengujian terbukti bahwa kultivar kacang hijau yang dicoba ternyata mempunyai potensi pembentukan daun yang berbeda. Tabel 5.2 memperlihatkan bahwa kultivar lokal Probolinggo secara morfologis mempunyai jumlah daun lebih sedikit dibanding kultivar Sriti maupun Walet.



Tabel 5.2. Jumlah Daun Tanaman Kacang Hijau pada beberapa Tingkat Cekaman Kekurangan Air

Perlakuan	Jumlah daun ( <i>helai</i> ) pada umur .....				
	15 hst	25 hst	35 hst	45 hst	55 hst
Kultivar					
Sriti	2.0 ab	3.2 b	4.7 b	5.1 b	4.2
Walet	2.1 b	3.5 b	4.5 b	4.6 a	4.1
Lokal	1.7 a	2.6 a	4.0 a	4.7 a	3.8
BNT 5%	*	*	*	*	tn
Jumlah Air (mm/musim)					
50	1.0 a	2.3 a	3.3 a	3.4 a	3.0 a
100	1.3 a	2.7 a	3.8 b	4.3 b	3.9 a
150	2.0 b	2.9 b	4.2 b	4.8 bc	3.3 a
200	2.1 b	3.2 bc	4.7 c	5.3 cd	3.8 ab
250	2.4 bc	3.7 cd	4.9 c	5.3 cd	4.8 bc
300	2.7 c	3.8 d	5.4 d	5.6 d	5.4 c
Duncan's 5%	*	*	*	*	*

Keterangan : Angka-angka dari masing-masing faktor pada setiap umur pengamatan yang didampingi oleh huruf sama adalah tidak berbeda nyata, tn = tidak nyata, \* = berbeda nyata

Jumlah ketersediaan air pada media tumbuh sangat mempengaruhi perkembangan jumlah daun tanaman kacang hijau. Pada stadia vegetatif penurunan persediaan air di dalam tanah sampai 50% dari kebutuhan optimal mengakibatkan jumlah daun menurun sebesar 22%. Sedangkan pada stadia generatif penurunannya relatif lebih kecil yaitu 14%.

Tanaman kacang hijau adalah termasuk kelompok jenis tanaman *diterminat*, yaitu pertumbuhan pembentukan daun terhenti setelah tanaman membentuk bunga, sehingga setelah mencapai stadia generatif (umur 45 hst) jumlah daun relatif konstan, bahkan setelah umur 55 hari jumlah daun cenderung menurun karena beberapa daun sudah mulai gugur.

## 5.1.1.3. Luas daun

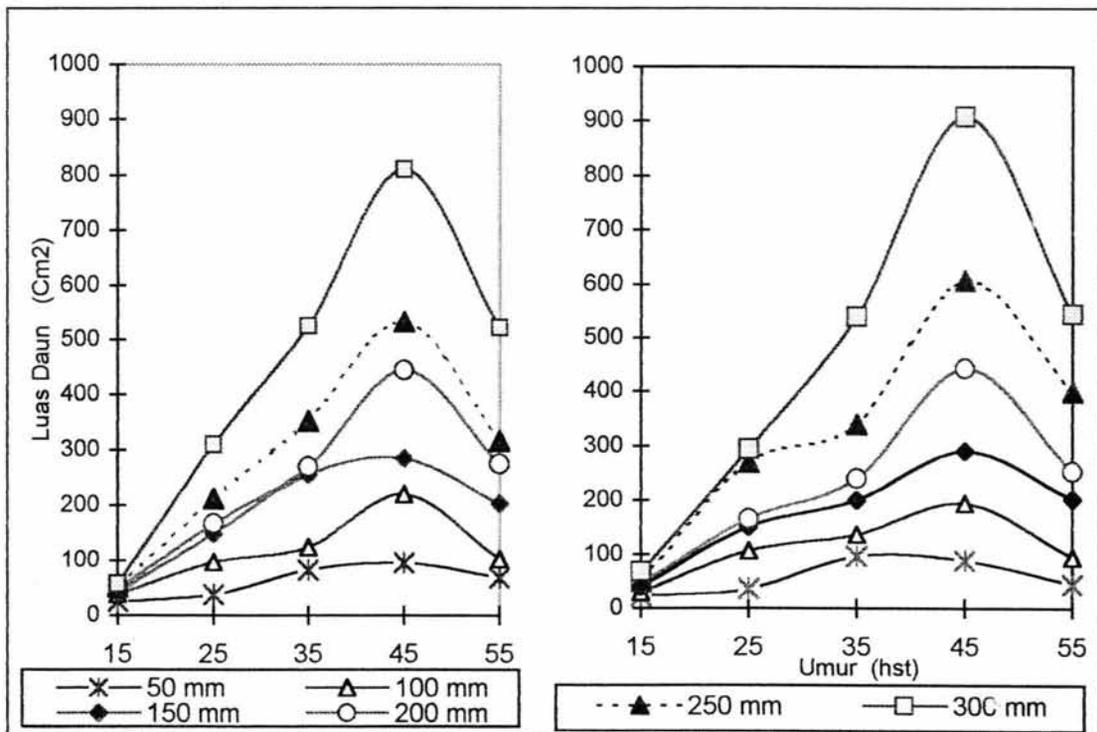
Daun merupakan organ tanaman yang sangat besar kontribusinya dalam kehidupan tanaman, karena pada daun tersebut proses fotosintesis berlangsung. Adanya perbedaan terhadap ukuran daun berdampak pada kapasitas tanaman dalam memproduksi asimilat. Hasil analisis statistik memperlihatkan bahwa interaksi antara kultivar dan jumlah pemberian air berpengaruh terhadap luas daun (Lampiran Tabel 3).

Tabel 5.3. Luas Daun Tanaman Kacang hijau pada Beberapa Tingkat Cekaman Air

Perlakuan	Luas Daun ( $cm^2/tan$ ) pada umur .....				
	15 hst	25 hst	35 hst	45 hst	55 hst
<b>Sriti</b>					
50 mm	25.06 a	37.67 a	82.41 a	95.95 ab	68.26 a-c
100 mm	39.37 a	96.59 a-e	123.88 ab	221.21 cd	102.23 c
150 mm	42.08 a	148.83 def	256.19 def	285.24 d	203.92 d
200 mm	47.97 a	167.46 ef	270.02 ef	444.39 ef	276.10 fg
250 mm	51.89 a	211.84 fg	351.42 gh	533.78 fg	316.34 gh
300 mm	57.70 a	309.81 g	526.08 l	810.64 l	522.97 j
<b>Walet</b>					
50 mm	22.81 a	36.32 a	96.85 ab	88.95 a	43.85 ab
100 mm	29.85 a	106.43 b-e	137.39 ab	195.17 bcd	94.75 c
150 mm	39.57 a	151.59 def	201.08 cd	291.93 d	202.94 d
200 mm	46.01 a	166.53 ef	241.08 def	444.27 ef	253.59 ef
250 mm	48.64 a	269.90 gh	340.78 gh	607.98 gh	400.23 l
300 mm	68.19 a	294.80 h	540.82 l	908.46 j	545.99 j
<b>Lokal</b>					
50 mm	20.18 a	30.74 a	97.65 ab	98.06 ab	23.58 a
100 mm	23.12 a	68.06 abc	134.71 ab	143.48 abc	35.77 a
150 mm	24.89 a	80.89 a-d	157.71 bc	237.31 d	88.34 bc
200 mm	32.88 a	97.86 a-e	225.58 de	406.01 e	186.77 d
250 mm	40.11 a	118.75 cde	291.72 fg	529.64 fg	220.57 d
300 mm	47.85 a	146.79 def	397.30 h	642.73 n	344.28 h

Keterangan : angka-angka pada masing-masing kolom yang diikuti huruf sama berarti tidak berbeda nyata pada uji Duncan's ( $\alpha = 0.05$ ).

Tanaman kacang hijau kultivar Sriti yang mendapatkan air sedikit (50 dan 100 mm/musim), ukuran daunnya lebih kecil dibandingkan yang diberi air lebih banyak. Dalam tabel 5.3 diperlihatkan bahwa pada umur 45 hari tanaman mencapai ukuran luas daun maksimum, pada saat itu pengurangan jumlah pemberian air sebesar 50% dari kebutuhan normal berakibat luas daun berkurang cukup besar (Gambar 5.1). Luas daun kultivar Sriti berkurang hampir mencapai 65%, pada kultivar Walet penurunan lebih besar lagi yaitu hampir mencapai 68%, sedangkan untuk kultivar lokal penurunan ukuran daun relatif lebih rendah bila dibanding ke dua kultivar tersebut, yaitu sebesar 63%. Dari gambaran tersebut tampak bahwa kultivar Walet lebih peka terhadap perubahan ketersediaan air di dalam tanah.



Gambar 5.1. Luas daun kultivar kacang hijau (a) Sriti dan (b) Walet dalam kondisi tercekam air

Secara keseluruhan kultivar Walet yang mendapat pengairan normal (300 mm/musim) mempunyai ukuran luas daun paling tinggi dibanding kultivar lokal, tetapi tidak berbeda nyata dengan kultivar Sriti. Pada tingkat pemberian air rendah kultivar Walet memperlihatkan ukuran daun paling kecil. Kultivar lokal secara morfologis menunjukkan ukuran daun paling kecil dibanding ke dua kultivar baru.

Penurunan jumlah persediaan air sebanyak 50% dari kebutuhan normal (150 mm/musim) dampaknya terhadap penurunan luas daun cukup besar yaitu sebesar 68%, sedangkan untuk kultivar Sriti dan lokal Probolinggo penurunannya masing-masing sebesar 65% dan 63%.

Berdasarkan hasil tersebut di atas terbukti bahwa tanaman kacang hijau kultivar Walet memperlihatkan potensi luas daun paling tinggi, namun kepekaan terhadap kekurangan air relatif cukup tinggi.

#### 5.1.1.4. Panjang akar

Akar merupakan organ penting bagi tanaman dalam hubungannya dengan penyerapan air dan unsur hara dari dalam tanah. Perkembangan akar mempunyai hubungan dengan tingkat pencekaman kekurangan air. Hasil analisis statistik memperlihatkan bahwa interaksi antara kultivar dan tingkat pemberian air tidak berpengaruh nyata terhadap panjang akar, tetapi tingkat pemberian air ternyata berpengaruh terhadap panjang akar tanaman (Lampiran Tabel 4). Jika dilihat perkembangannya akar tanaman kacang

hijau tumbuh terus sejalan dengan bertambahnya umur tanaman. Uji

statistik terhadap hasil pengukuran panjang akar disajikan pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4. Panjang Akar Tanaman Kacang Hijau pada beberapa Tingkat Cekaman Kekurangan Air

Perlakuan	Panjang akar (cm) pada umur .....				
	15 hst	25 hst	35 hst	45 hst	55 hst
Kultivar					
Sriti	8.06	10.97	21.5	34.11	38.53
Walet	7.75	11.22	22.0	34.53	39.89
Lokal	9.64	11.19	22.0	34.44	39.39
BNT 5%	tn	tn	tn	tn	tn
Jumlah Air (mm/musim)					
50	9.67 b	11.67 b	22.44 bc	33.44 ab	39.17 bc
100	8.78 ab	12.06 b	23.22 c	35.78 b	40.67 c
150	7.78 a	11.11 ab	22.33 bc	34.78 b	40.00 bc
200	8.39 a	10.78 a	21.33 ab	34.89 b	39.22 bc
250	7.67 a	10.72 a	21.22 ab	34.17 ab	38.44 ab
300	8.61 ab	10.44 a	20.44 a	33.11 a	37.11 a
Duncan 5%	*	*	*	*	*

Keterangan : Angka-angka dari masing-masing faktor pada setiap umur pengamatan yang didampingi oleh huruf sama tidak berbeda. tn = tidak nyata dan \* = berbeda nyata

Pertumbuhan tanaman kacang hijau pada kondisi lahan sangat kering perkembangan perakaran sangat lambat. Pemberian air pada tanaman kacang hijau sebanyak air 50 mm selama hidupnya tidak mampu tumbuh secara normal. Pemberian air pada tanaman kacang hijau dalam jumlah optimal (300 mm) memperlihatkan ukuran akar lebih pendek, dan tidak memperlihatkan perbedaan dengan tanaman yang diiri sebanyak 200 maupun 250 mm. Pada pemberian air 100 mm selama masa pertumbuhan terlihat bahwa ukuran akar relatif lebih panjang dibandingkan yang diberikan

air lebih banyak. Perbedaan panjang akar antara yang diairi 100 mm dan 300 mm pada saat tanaman umur 55 hari sebesar 3.5 cm.

Pada tabel 5.4 terlihat bahwa tanaman kacang hijau pada umur 35 hari yang memperoleh air paling banyak akarnya pendek dan yang tercekam kekurangan air akarnya 13% lebih panjang dibanding tanaman yang memperoleh air paling banyak. Hasil ini membuktikan bahwa salah satu upaya tanaman kacang hijau yang tumbuh pada kondisi kekurangan air untuk mempertahankan diri, ditempuh dengan pemanjangan akar. Melalui pemanjangan akar tersebut tanaman dapat memanfaatkan air pada di bagian yang lebih dalam atau lebih jauh dari daerah perakaran.

#### 5.1.1.5. Bobot kering akar

Akar merupakan organ tanaman yang sangat penting, selain untuk menunjang kokohnya tanaman mampu tumbuh tegak, juga berperan untuk penyerapan unsur hara dan air. Bobot kering akar merupakan manifestasi dari penambahan bobot bahan kering yang disimpan di akar dari hasil proses fotosintesis. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa interaksi antara kultivar dan jumlah pemberian air tidak memperlihatkan perbedaan pada bobot kering akar (Lampiran Tabel 5). Demikian halnya ke tiga kultivar kacang hijau yang dicoba ternyata tidak memperlihatkan perbedaan.

Pada tabel 5.5. terbukti bahwa peningkatan persediaan air di dalam tanah berdampak pada bertambahnya berat akar tanaman kacang hijau. Namun peningkatan persediaan air dari 50 mm menjadi 150 mm belum

memperlihatkan adanya perbedaan bobot kering akar, setelah persediaan air tersebut ditingkatkan sampai melebihi 200 mm/musim bobot kering akar baru menunjukkan perbedaan bila dibanding dengan diairi 50 mm/musim.

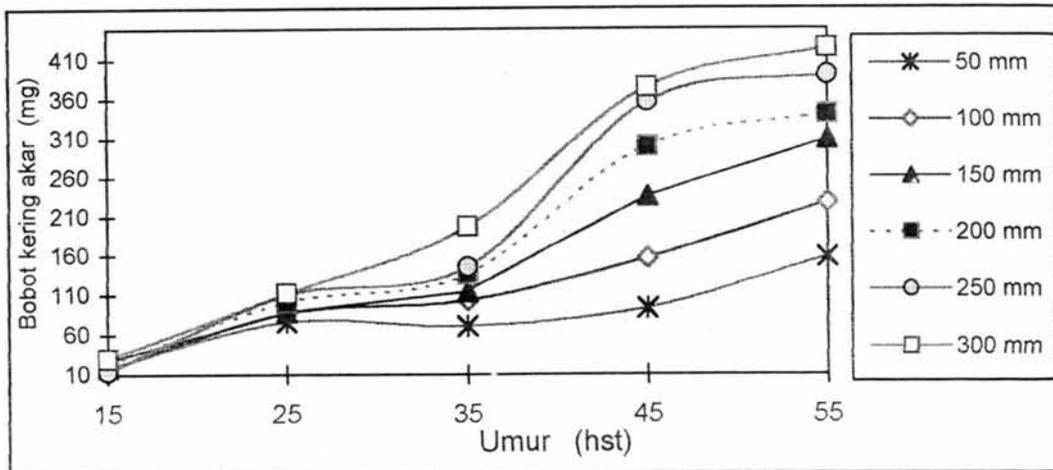
Tabel 5.5. Bobot Kering Akar Tanaman Kacang Hijau pada beberapa Tingkat Cekaman Kekurangan Air

Perlakuan	Bobot kering akar (mg/tan) pada umur .....				
	15 hst	25 hst	35 hst	45 hst	55 hst
Kultivar Sriti	22,78	100.56	122.39	265.72	344.44
Walet	24.44	106.67	148.28	269.06	348.61
Lokal	18.33	81.11	113.72	209.44	290.28
BNT 5%	tn	tn	tn	tn	tn
Jumlah Air (mm/musim)					
50	18.89	76.67 a	70.89 a	92.89 a	158.33 a
100	17.78	87.78 ab	103.67 ab	156.67 ab	228.33 ab
150	26.67	88.89 ab	114.44 ab	235.56 b	308.89 abc
200	23.33	101.11 ab	136.44 b	300.00 c	341.11 bc
250	14.44	110.00 b	146.11 b	356.67 c	391.11 bc
300	30.00	112.22 b	197.22 c	375.00 c	425.22 c
Duncan 5%	tn	*	*	*	*

Keterangan : Angka-angka dari masing-masing faktor pada setiap umur pengamatan yang didampingi oleh huruf sama tidak berbeda. \* = berbeda nyata, tn = tidak nyata

Pemberiaan air sebanyak 100 mm/musim tidak menunjukkan bobot akar tanaman berbeda dengan 250 mm/musim. Pada saat tanaman masuk ke stadia generatif (umur 45 hst) peningkatan pemberian air dari 50 mm menjadi 200 mm/musim, bobot kering akar meningkat dua kali lipat.

Jika diperhatikan dari perkembangan bobot akar tanaman kacang hijau tampak bobot kering akar meningkat sejalan dengan bertambahnya umur tanaman (Gambar 5.2)



Gambar 5.2. Perkembangan Bobot Kering Akar Tanaman Kacang Hijau

#### 5.1.1.6. Bobot Kering Tanaman

Bobot kering tanaman merupakan hasil akumulasi karbohidrat di dalam jaringan tanaman sebagai produk dari proses fotosintesis. Besarnya nilai bobot kering tanaman menggambarkan besarnya produktivitas tanaman dalam menyimpan hasil fotosintesis. Hasil analisis statistik didapatkan bahwa interaksi antara kultivar dan jumlah pemberian air berpengaruh nyata terhadap bobot kering tanaman (Lampiran Tabel 6).

Respon beberapa kultivar tanaman kacang hijau terhadap kekurangan air memperlihatkan dampak yang berbeda-beda terhadap produksi bahan kering tanaman. Persediaan air sebanyak 50 - 100 mm per musim ternyata belum mampu mencukupi kebutuhan tiga kultivar yang dicoba untuk dapat tumbuh normal. Ke tiga kultivar memperlihatkan respon yang sangat nyata terhadap

persediaan terhadap persediaan air di dalam tanah. Semakin rendah ketersediaan air semakin besar penurunan produksi bahan kering tanaman.

Tanaman kacang hijau kultivar Sriti sampai umur 25 hari (stadia vegetatif) pemberian air sebanyak 50% (150 mm) dari kebutuhan optimalnya, berakibat bobot kering tanaman turun sebesar 18.4%, bahkan pada umur 55 hari pengurangan jumlah pemberian air tersebut dapat menurunkan produksi bahan kering mencapai sebesar 52.8%.

Tabel 5.6. Bobot Kering Tanaman Kacang hijau pada Beberapa Tingkat Cekaman Air

Perlakuan	Bobot Kering Tanaman Kacang hijau ( <i>gram/tan</i> ) pada umur				
	15 hst	25 hst	35 hst	45 hst	55 hst
Sriti					
50 mm	0.19 a	0.65 b	0.89 a	0.98 a	1.00 a
100 mm	0.27 a-c	0.78 cd	1.35 b	2.15 c	2.50 c
150 mm	0.29 b-d	0.93 ef	2.04 c	3.69 f	3.73 d
200 mm	0.33 b-f	1.01 fg	3.24 e	5.40 h	5.43 f
250 mm	0.31 b-f	1.06 gh	4.44 g	6.88 k	6.93 g
300 mm	0.38 ef	1.14 h	5.00 h	7.83 l	7.90 h
Walet					
50 mm	0.20 a	0.53 a	0.81 a	0.95 a	0.96 a
100 mm	0.27 a-c	0.83 d	1.32 b	2.29 d	2.37 c
150 mm	0.33 c-f	1.00 fg	2.82 d	4.59 g	4.67 e
200 mm	0.37 d-f	1.11 h	3.97 f	6.90 k	6.97 g
250 mm	0.38 f	1.14 h	4.94 h	8.66 m	8.76 i
300 mm	0.48 g	1.35 l	5.59 l	9.41 n	9.53 j
Lokal					
50 mm	0.21 a	0.55 a	0.73 a	0.96 a	0.99 a
100 mm	0.25 ab	0.74 c	1.28 b	1.87 b	1.91 b
150 mm	0.25 ab	0.87 de	1.94 c	2.94 e	3.49 d
200 mm	0.30 bcd	0.92 ef	2.84 d	3.58 f	3.64 d
250 mm	0.30 bcd	0.98 fg	3.91 f	5.61 l	5.67 f
300 mm	0.33 b-f	1.01 fg	4.57 g	6.00 j	6.81 g
Duncan's	*	*	*	*	*

Keterangan : angka-angka pada masing-masing kolom yang diikuti huruf sama berarti tidak berbeda nyata pada uji Duncan's ( $\alpha = 0.05$ ). hst = hari setelah tanam, \* = berbeda nyata

Pada kultivar Walet pemberian air 150 mm berdampak terhadap penurunan produksi bahan kering selama stadia vegetatif sebesar 26.3%, sedang apabila dilihat produksi total bahan kering selama masa kehidupan tanaman kacang hijau penurunan tersebut mencapai 51% bila dibandingkan dengan tanaman yang mendapat pengairan 300 mm. Pengurangan jumlah pemberian air pada kultivar kacang hijau lokal sebanyak 50% dari kebutuhan normal dampaknya terhadap penurunan produksi bahan kering yang terjadi selama stadia vegetatif dari ke tiga kultivar yang dicoba ternyata kultivar lokal penurunannya paling rendah, yaitu sebesar 13.6%. Sedangkan penurunan produksi bahan kering selama pertumbuhannya juga relatif lebih kecil dibandingkan dengan dua kultivar yang lain, yaitu sebesar 48.8%. Apabila memperhatikan produksi bahan kering per tanaman, ternyata kultivar Walet yang diairi sebanyak 300 mm/musim menghasilkan bahan kering paling tinggi dibanding kultivar lainnya.

Berdasarkan hal di atas terbukti bahwa kultivar kacang hijau lokal mempunyai daya tahan terhadap kekeringan relatif lebih tinggi dari pada kultivar baru. Kultivar yang paling peka terhadap kekurangan air tetapi mempunyai potensi produksi bahan kering paling tinggi adalah Walet.

#### 5.1.1.7. Laju pertumbuhan relatif tanaman

Pertumbuhan tanaman adalah suatu proses penambahan ukuran suatu tanaman dari suatu waktu ke waktu berikutnya. Pengukuran laju pertumbuhan relatif tanaman dilakukan dengan menganalisis penambahan

bahan kering tanaman per satuan waktu. Hasil analisis pengamatan ditemukan bahwa laju pertumbuhan relatif tiga kultivar sangat dipengaruhi oleh ketersediaan air (Lampiran Tabel 7). Tiga kultivar yang digunakan dalam percobaan ini ternyata kultivar Walet pada awal pertumbuhan laju pertumbuhan relatifnya lebih rendah dibanding dua kultivar lainnya, setelah masuk pada stadia vegetatif aktif hingga akhir stadia generatif ternyata laju pertumbuhan relatifnya lebih tinggi. Laju pertumbuhan relatif tertinggi dicapai pada saat tanaman umur 35 hari, laju pertumbuhan relatif selama stadia vegetatif masing-masing kultivar adalah Sriti =  $93.9 \text{ mg.mg}^{-1}.\text{hari}^{-1}$ , Walet =  $121.6 \text{ mg.mg}^{-1}.\text{hari}^{-1}$  dan lokal =  $85.7 \text{ mg.mg}^{-1}.\text{hari}^{-1}$ . Dari nilai tersebut berarti kultivar Walet mempunyai laju pertumbuhan relatif paling tinggi. Situasi perkembangan laju pertumbuhan relatif kacang hijau disajikan di tabel 5.7.

Tabel 5.7. Laju Pertumbuhan Relatif Tiga Kultivar Kacang hijau pada Beberapa Tingkat Cekaman Air

Perlakuan	Laju pertumbuhan relatif ( $\text{mg.mg}^{-1}.\text{hari}^{-1}$ ) pada umur .....			
	15-25	25-35	35-45	45-55
Kultivar				
Sriti	45.3 b	93.9 b	114.2 b	13.2 a
Walet	49.6 c	121.6 c	112.4 b	16.9 b
Lokal	34.7 a	85.7 a	107.5 a	12.0 a
BNT 5%	*	*	*	*
Jumlah Air ( $\text{mm/musim}$ )				
50	15.8 a	49.4 a	10.0 a	7.1 a
100	39.3 b	73.6 b	106.7 b	12.4 b
150	42.9 b	84.5 c	111.1 c	12.8 b
200	50.1 c	117.1 d	112.5 c	14.8 b
250	52.7 cd	138.2 e	117.1 de	16.7 c
300	57.0 d	139.5 e	120.8 e	25.6 d
Duncan	*	*	*	*

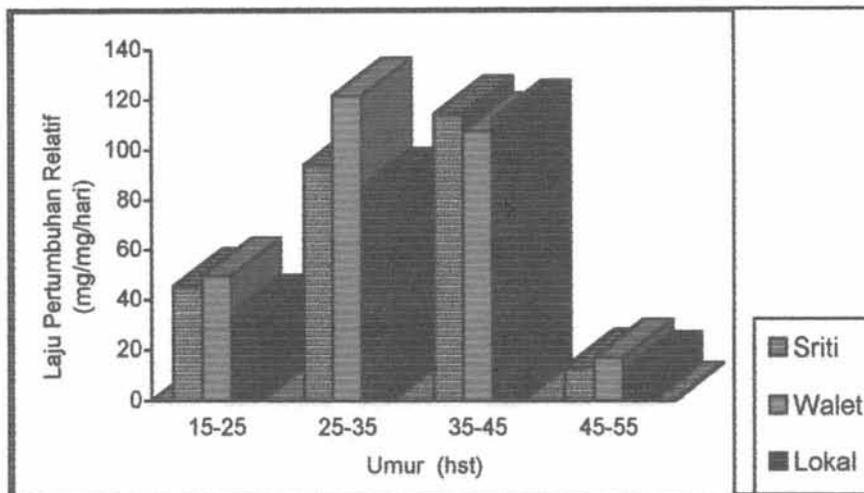
Keterangan : Angka-angka dari masing-masing faktor pada setiap umur pengamatan yang didampingi oleh huruf sama adalah tidak berbeda nyata.

Pada Tabel 5.7. terlihat bahwa persediaan air di dalam tanah sangat mempengaruhi laju pertumbuhan relatif tanaman kacang hijau. Rendahnya persediaan air di dalam tanah berakibat laju pertumbuhan relatif tanaman semakin lambat. Pemberian air sebanyak 50 mm/musim ternyata tidak cukup untuk tumbuh tanaman normal, terbukti rendahnya laju pertumbuhan relatif tanaman. Sebaliknya tanaman yang memperoleh persediaan air di dalam tanah cukup banyak (250-300 mm/musim) laju pertumbuhannya cukup tinggi.

Pada stadia vegetatif (25-35 hari), tanaman yang diairi 150 mm/musim (50% dari kebutuhan optimalnya) ternyata laju pertumbuhan relatif tanaman turun sebesar 55 mg/hari/tanaman (39.4%) dibanding yang diairi sebanyak 300 mm/musim. Pada saat pembentukan polong dan biji (umur 35-45 hari), persediaan air sebanyak 150 mm relatif tidak berbeda laju pertumbuhannya bila dibandingkan dengan yang mendapat pengairan sebanyak 200 mm, namun sedikit lebih rendah bila dibandingkan dengan yang memperoleh pengairan 250 dan 300 mm/musim, perbedaan tersebut sebesar 5 dan 8%. Sedangkan pada saat pemasakan (umur 45-55 hari) ternyata laju pertumbuhan tanaman yang memperoleh pengairan 100 mm tidak berbeda dengan yang memperoleh pengairan 250 mm/musim.

Secara keseluruhan terlihat bahwa tiga kultivar yang diuji mempunyai laju pertumbuhan relatif yang berbeda-beda dan kultivar Walet mempunyai laju pertumbuhan paling baik. Respon ke tiga kultivar terhadap cekaman kekurangan air ternyata ke tiganya mempunyai pola yang sama

yaitu semakin banyak persediaan air di dalam tanah, laju pertumbuhan relatifnya semakin tinggi. Dalam perkembangannya dari ke tiga kultivar laju pertumbuhan maksimum tercapai pada umur 25-35 hari setelah tanam dan setelah umur tersebut laju pertumbuhan relatif mulai menurun (Gambar 5.3).



Gambar 5.3. Laju Pertumbuhan Relatif Tiga Kultivar Kacang Hijau

Pada gambar tersebut terlihat bahwa laju pertumbuhan relatif tanaman kacang hijau cukup besar pada stadia vegetatif, masuk pada stadia generatif laju pertumbuhan semakin rendah. Kultivar Walet tampak pada umur 25-35 hari laju pertumbuhan relatifnya paling tinggi. Kultivar Sriti dan lokal laju pertumbuhan relatif maksimum terjadi pada awal stadia generatif.

#### 5.1.1.8. Indeks luas daun

Daun merupakan organ tanaman yang mempunyai peranan penting dalam proses pertumbuhan tanaman, karena pada organ ini karbohidrat dihasilkan dari proses fotosintesis. Indeks luas daun mempunyai peranan

penting dalam melihat efisiensi distribusi energi matahari di dalam tajuk tanaman. Semakin tinggi nilai indeks luas daun berarti proses penaungan sesama daun menjadi semakin besar, akibatnya proses distribusi energi ke bagian dalam tajuk semakin sedikit merupakan perbandingan antara luas daun yang dibentuk oleh tanaman dan luas lahan yang digunakan untuk tumbuhnya. Indeks luas daun mempunyai peranan penting dalam melihat efisiensi distribusi energi matahari di dalam tajuk tanaman. Semakin tinggi nilai ILD berarti proses penaungan sesama daun menjadi semakin besar, akibatnya proses distribusi energi ke bagian dalam tajuk mengalami hambatan. Sebagaimana diungkapkan oleh Monteith (1982) bahwa proses pengurangan energi matahari ke dalam tajuk tanaman sejalan dengan *hukum Beer* di mana jumlah energi matahari yang sampai di dalam tajuk berbanding terbalik dengan indeks luas daun suatu tanaman. Berdasarkan hasil analisis statistik ternyata interaksi antara kultivar dan jumlah pemberian air berpengaruh terhadap indeks luas daun (Lampiran Tabel 8).

Pada tabel 5.8 disajikan bahwa pada masing-masing kultivar terlihat nilai ILD terjadi penurunan yang cukup besar akibat pengurangan jumlah pemberian air. Kultivar Sriti dan Walet yang memperoleh air 50 mm selama pertumbuhannya indeks luas daun maksimum dicapai pada umur 35 hari dan setelah itu indeks luas daun turun. dan Pada kultivar lokal, indeks luas daun maksimum tercapai lebih lambat yaitu pada umur 45 hari. Pemberian air dalam jumlah yang lebih banyak, rata-rata memperlihatkan ILD maksimum tercapai pada umur 45 hari. Pada tanaman yang mendapat air sebanyak 300

mm/musim, nilai ILD tertinggi dimiliki kultivar Walet sebesar 3.20 disusul oleh Sriti = 2.20 dan terendah terjadi pada kultivar lokal = 1.82, lebih jelasnya disajikan pada tabel 5.8.

Tabel 5.8. Indeks Luas Daun Tiga Kultivar Tanaman Kacang Hijau pada Beberapa Tingkat Cekaman Kekurangan Air

Perlakuan	Indeks Luas Daun tanaman kacang hijau pada umur .....				
	15 hst	25 hst	35 hst	45 hst	55 hst
Sriti					
50 mm	0.06 a	0.20 a	0.30 a	0.26 ab	0.20 ab
100 mm	0.12 a-e	0.32 a-c	0.46 a-c	0.62 a-c	0.38 bc
150 mm	0.18 e-h	0.48 a-e	0.62 b-d	0.80 b-e	0.60 cd
200 mm	0.20 f-l	0.56 c-e	0.78 d	1.06 c-e	0.82 d-f
250 mm	0.22 h-j	0.70 de	1.00 e	1.32 e-h	1.00 fg
300 mm	0.24 ij	1.24 f	1.48 g	2.22 i	1.48 h
Walet					
50 mm	0.08 ab	0.20 a	0.28 a	0.24 a	0.12 a
100 mm	0.14 b-g	0.32 a-c	0.38 ab	0.56 ab	0.26 ab
150 mm	0.16 c-h	0.48 a-e	0.56 b-d	0.80 b-e	0.58 cd
200 mm	0.18 e-h	0.52 b-e	0.68 d	1.26 e-g	0.90 ef
250 mm	0.20 g-l	1.00 f	1.24 f	1.74 g-i	1.14 g
300 mm	0.26 j	1.18 f	1.54 g	3.20 j	1.66 h
Lokal					
50 mm	0.08 ab	0.24 ab	0.28 a	0.28 ab	0.02 a
100 mm	0.10 a-c	0.32 a-c	0.38 ab	0.40 ab	0.08 a
150 mm	0.10 a-d	0.36 a-c	0.44 a-c	0.68 a-d	0.213 bc
200 mm	0.14 b-f	0.42 a-d	0.64 cd	1.18 d-f	0.365 de
250 mm	0.16 d-h	0.52 b-e	0.78 d	1.60 f-h	1.02 fg
300 mm	0.20 f-l	0.72 e	1.12 ef	1.82 hi	1.58 h

Keterangan : angka-angka pada masing-masing kolom yang diikuti huruf sama berarti tidak berbeda nyata pada uji Duncan's ( $\alpha = 0.05$ ).

Respon ke tiga kultivar terhadap tingkat kekurangan air juga berbeda-beda, secara umum penurunan indeks luas daun cukup besar yaitu lebih dari 60% bila tanaman kacang hijau hanya mendapat pengairan 50% dari kebutuhan optimal. Nilai indeks luas daun maksimum pada tanaman yang hanya mendapat pengairan 150 mm/musim hanya berkisar 0.60 hingga 0.80. Pengurangan pemberian air dari 300 mm menjadi 150 mm memperlihatkan

penurunan nilai ILD untuk kultivar Sriti sebesar 63,5%, Walet = 74.8% dan kultivar lokal = 63%.

Berdasarkan kenyataan tersebut dapat disimpulkan bahwa kultivar Walet bila berada pada kondisi lingkungan yang optimal mempunyai potensi indeks luas daun paling tinggi dibanding Sriti maupun lokal, tetapi jika terjadi penurunan jumlah persediaan air di dalam tanah, maka penurunan nilai indeks luas daun kultivar Walet paling besar. Hal ini memperlihatkan bahwa kultivar Walet relatif lebih peka terhadap perubahan tingkat ketersediaan air di dalam tanah.

#### 5.1.1.9. Kandungan air relatif daun (KARD)

Tingkat kandungan air pada daun memperlihatkan potensi tanaman dalam memanfaatkan air. Semakin tinggi kandungan air relatif pada daun tanaman semakin baik pertumbuhan tanaman. Berdasarkan hasil analisis keragaman ternyata interaksi antara kultivar dan jumlah pemberian air tidak berpengaruh terhadap kandungan air relatif daun, tetapi pencekaman kekurangan air sangat berpengaruh terhadap kandungan air relatif di dalam daun. Banyaknya jumlah persediaan air di dalam tanah mempunyai korelasi positif dengan tingginya kandungan air di dalam daun. Tabel 5.9. menunjukkan bahwa kandungan air relatif daun untuk tiga kultivar kacang hijau tidak terdapat perbedaan yang menyolok, namun terlihat kecenderungan bahwa kultivar lokal mempunyai KARD lebih rendah dari kultivar Sriti maupun Walet.

Tabel 5.9. Kandungan Air Relatif Daun dari Tiga Kultivar Tanaman Kacang Hijau dan pada beberapa tingkat pemberian Air

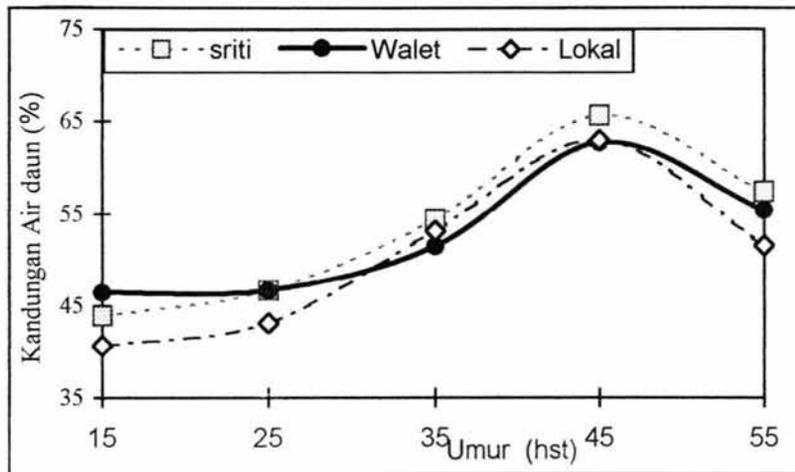
Perlakuan	Kandungan Air Relatif Daun (%) pada umur .....				
	15 hst	25 hst	35 hst	45 hst	55 hst
Jumlah Air					
50	34.12 a	29.94 a	22.73 a	45.85 a	39.93 a
100	36.75 a	30.98 a	34.44 b	55.30 b	45.82 ab
150	45.29 b	52.25 b	45.94 c	64.02 c	52.68 b
200	51.50 c	60.92 c	49.83 c	69.31 cd	57.70 bc
250	55.80 d	65.14 cd	51.58 cd	71.99 d	65.35 c
300	65.04 e	69.59 d	57.46 d	75.86 d	67.44 c
Duncan	*	*	*	*	*

Keterangan : Angka-angka dari masing-masing faktor pada setiap umur pengamatan yang didampingi oleh huruf sama adalah tidak berbeda nyata pada uji Duncan's ( $\alpha = 0.05$ ).

Semakin banyak jumlah air yang diberikan pada tanaman, kandungan air relatif daun bertambah banyak pula. Pada tanaman yang mendapat irigasi normal (300 mm/musim) kandungan air relatif daun rata-rata dapat mencapai 57.46 sampai 75.88 %.

Tanaman kacang hijau yang tercekam kekurangan air pada tingkat berat (50 maupun 100 mm/musim) kandungan air relatif daun sangat rendah. Kandungan air di dalam daun yang rendah berdampak rendahnya ukuran daun.

Jumlah kandungan air di dalam daun memperlihatkan pola sigmoid, yaitu pada awal pertumbuhan kandungan air daun rendah, semakin bertambah umur tanaman kandungan air daun terus meningkat dan setelah tanaman mendekati masa penuaan kandungan air semakin berkurang (Gambar 5.4).



Gambar 5.4. Kandungan Air Relatif Daun Tiga Kultivar Kacang Hijau

Pada akhir stadia vegetatif pengurangan jumlah pemberian air hingga mencapai 50% dari jumlah optimum yang dibutuhkan tanaman (150 mm/musim), mengakibatkan turunnya kandungan air relatif daun sebesar 20% dan apabila pengurangan jumlah pemberian air tersebut terjadi pada stadia generatif penurunan kandungan air daun turun sebesar 21.9%. Turunnya kandungan air di dalam daun mempengaruhi aktifitas metabolisme di dalam daun tersebut, antara lain turgor sel turun, sehingga stomata tidak mampu membuka secara sempurna. Akibatnya proses fotosintesis mengalami hambatan.

#### 5.1.1.10. Luas Daun Spesifik Kulitvar Tanaman Kacang Hijau

Luas daun spesifik merupakan salah satu cara untuk mengkaji perubahan karakteristik daun akibat pengaruh perubahan lingkungan tumbuh tanaman. Menurut Sitompul dan Guritno (1995) untuk menghitung luas daun spesifik (LDS) digunakan cara memperbandingkan luas daun tanaman

dengan berat kering daun per tanaman. Nilai LDS yang rendah menandakan daun lebih tebal. Berdasarkan hasil analisis statistik memperlihatkan bahwa luas daun spesifik dari tiga kultivar kacang hijau pada awal pertumbuhannya kultivar lokal mempunyai daun lebih tebal dibanding kultivar Sriti maupun Walet, tetapi selah melewati umur 25 hari tebal daun dari tiga kultivar relatif sama. Sedangkan pencekaman air berpengaruh terhadap perbedaan ketebalan daun, hasil selengkapnya tersaji pada tabel 5.10.

Tabel 5.10. Luas Daun Spesifik beberapa Kultivar Kacang Hijau dan Jumlah Pemberian Air yang Berbeda

Perlakuan	Luas daun spesifik ( $\text{cm}^2/\text{mg}$ ) pada umur .....				
	15 hst	25 hst	35 hst	45 hst	55 hst
Kultivar					
Sriti	0.75 b	0.73 b	0.41	0.28	0.15
Walet	0.64 a	0.70 b	0.41	0.29	0.15
Lokal	0.57 a	0.50 a	0.39	0.27	0.13
BNT 5%	*	*	tn	tn	tn
Jumlah Air					
50 mm	0.58 a	0.31 a	0.34 a	0.26 a	0.11 a
100 mm	0.60 ab	0.57 b	0.37 ab	0.26 a	0.12 ab
150 mm	0.61 ab	0.65 bc	0.41 bc	0.27 ab	0.14 bc
200 mm	0.66 ab	0.66 bc	0.41 bc	0.29 abc	0.15 cd
250 mm	0.71 bc	0.77 c	0.43 c	0.30 bc	0.15 cd
300 mm	0.79 c	0.91 d	0.46 c	0.31 c	0.18 d
Duncan 5%	*	*	*	*	*

Keterangan : Angka-angka dari masing-masing faktor pada setiap umur pengamatan yang didampingi oleh huruf sama adalah tidak berbeda nyata. hst = hari setelah tanam, tn = tidak nyata \* = berbeda nyata

Pada Tabel 5.10 dapat dijelaskan pula bahwa tanaman kacang hijau yang mengalami kekurangan air ukuran daunnya lebih tebal dibanding tanaman yang selalu kecukupan air. Pada saat tanaman berada dalam stadia vegetatif (umur 25 hari), ketersediaan air pada media tumbuhnya sebanyak

16.7% dari kebutuhan normalnya (50 mm), tebal daun meningkat sekitar 65.9%, dibanding yang diiri normal (300 mm). Apabila persediaan air di dalam tanah 50% dari kebutuhan normalnya tebal daun meningkat 28.6% dibanding tanaman yang selalu kecukupan air. Sedangkan pada stadia generatif (umur 45 hari) jumlah ketersediaan air pada media sebanyak 50 mm/musim (16.7% dari kebutuhan normal) tebal daun 16% lebih tebal dibanding daun tanaman yang selalu kecukupan. Peningkatan jumlah pemberian air dari 50 sampai 200 mm/musim (16.7% menjadi 66.7% dari kebutuhan normalnya) pada stadia generatif, tebal daun tidak menunjukkan perbedaan.

#### 5.1.1.11. Harga satuan daun (HSD)

Fotosintesis merupakan proses pembentukan fotosintat yang ditimbun pada organ tanaman, diperlihatkan sebagai produksi bahan kering. Tingginya laju penimbunan bahan kering suatu tanaman menggambarkan besarnya potensi tanaman untuk dapat tumbuh dan berproduksi dengan baik (Evans, 1974 ; Williams dan Joseph, 1973). Berdasarkan hasil analisis statistik ternyata interaksi antara kultivar dan tingkat pencekaman kekurangan air tidak berpengaruh terhadap harga satuan daun. Selain itu di antara kultivar mempunyai efisiensi fotosintesis relatif sama. Kekurangan air ternyata berdampak pada kecilnya harga satuan daun tanaman kacang hijau, secara lengkap disajikan pada tabel 5.11.

Tabel 5.11. Harga Satuan Daun pada Tanaman Kacang Hijau yang Tercekam Kekurangan Air yang Berbeda-beda

Jumlah Pemberian Air (mm. musim-1)	Harga satuan daun ( $mg\ cm^{-2}\ ha^{-1}$ ) pada umur .....		
	15-25 hst	25 – 35 hst	35 – 45 hst
50	0.31 a	0.42 a	0.71 a
100	0.49 ab	1.49 b	1.83 b
150	0.56 bc	2.03 bc	2.60 bc
200	0.71 cd	2.51 cd	2.75 c
250	0.77 d	3.16 d	3.68 d
300	0.64 bcd	1.64 bc	1.87 bc

Keterangan : Angka-angka yang diikuti oleh huruf sama pada setiap umur pengamatan berarti tidak berbeda nyata pada uji Duncan's ( $\alpha = 0.05$ )

Pada tabel 5.11 terlihat bahwa pada tanaman yang kekurangan air efisiensi fotosintesis relatif lebih rendah dibanding yang mendapatkan air lebih banyak, namun pemberian air terlalu banyak efisiensi fotosintesisnya menjadi turun. Peningkatan pemberian air dari 100 mm/musim menjadi 250 mm/musim laju fotosintesis dapat meningkat sebesar 112%, tetapi apabila jumlah air ditingkatkan dari 250 mm menjadi 300 mm/musim ternyata efisiensi fotosintesis turun sebesar 48%.

Hal tersebut disebabkan bahwa pada tanaman yang mendapatkan air yang cukup banyak (300 mm/musim) mempunyai luas daun maupun indeks luas daun cukup besar, sehingga peluang terjadinya saling menaungi di antara daun-daun cukup besar, akibatnya daun-daun dalam menangkap radiasi matahari per satuan luas permukaan daun menjadi rendah.

## 5.1.1.12. Kandungan klorofil daun tanaman kacang hijau

Klorofil dalam daun berperan penting dalam kelangsungan proses fotosintesis, karena klorofil berfungsi sebagai penyerap radiasi matahari yang merupakan sumber energi utama dalam proses fotosintesis tersebut. Hasil analisis statistik ternyata kandungan stomata ke tiga kultivar kacang hijau yang dicoba tidak berbeda, tetapi jumlah pemberian air berpengaruh nyata (Lampiran Tabel 11). Kandungan klorofil semakin meningkat dengan bertambahnya umur tanaman. Pada stadia vegetatif (umur 25 hari) tanaman Kacang hijau yang dalam kondisi kekurangan air terlihat kandungan klorofil daun semakin rendah dan semakin bertambah persediaan air di dalam tanah kandungan klorofil di daun semakin meningkat.

Tabel 5.12. Kandungan Klorofil Tiga Kultivar Tanaman Kacang Hijau dalam Kondisi Tercekam Kekurangan Air

Perlakuan	Kandungan klorofil ( <i>mg/g</i> ) pada stadia	
	Vegetatif (25 hari)	Generatif (45 hari)
<b>Kultivar</b>		
Sriti	145.77	361.32
Walet	146.88	363.63
Lokal	145.22	361.26
BNT 5%	tn	Tn
<b>Jumlah Air</b>		
50 mm	117.53 a	297.79 a
100 mm	132.80 b	328.66 b
150 mm	146.17 c	362.29 c
200 mm	156.00 d	381.96 d
250 mm	161.27 d	400.40 e
300 mm	161.97 d	401.42 e
Duncan's 5%	*	*

Keterangan : Angka pada masing-masing faktor yang didampingi oleh huruf yang sama pada setiap umur pengamatan tidak berbeda nyata, tn = tidak berbeda nyata, \* = berbeda nyata

Pada saat tanaman kacang hijau berumur 25 hari pemberian air 50 mm/musim kandungan klorofil daun hanya 117.5 mg/g atau sekitar 72.5% dari tanaman yang selalu kecukupan air (300 mm/musim). Apabila persediaan air ditingkatkan menjadi 150 mm/musim, kandungan klorofil dapat meningkat sebesar 90% dari tanaman yang mendapat pengairan yang normalnya (300 mm/musim). Sedangkan pada saat tanaman mencapai stadia generatif pemberian air sebanyak 50 mm/musim kandungan klorofilnya sebanyak 74.2% dari tanaman yang mendapat irigasi normal dan apabila pemberian air ditingkatkan menjadi 150 mm/musim, kandungan klorofil meningkat hingga mencapai 90.3% dari tanaman yang tidak pernah tercekam.

#### 5.1.1.13. Kerapatan Stomata

Stomata merupakan bagian dari organ morfologi tanaman yang mempunyai fungsi sangat penting dalam kehidupan tanaman. Dalam proses metabolisme tanaman, stomata berperan dalam difusi CO<sub>2</sub> dalam proses fotosintesis. Selain itu juga berfungsi sebagai pintu keluarnya cairan dari sel dalam proses transpirasi. Hasil analisis stomata menunjukkan bahwa kerapatan stomata dari tiga kultivar kacang hijau yang dicoba ternyata tidak berbeda, tetapi sangat dipengaruhi oleh jumlah pemberian air. Jumlah stomata pada tanaman yang berada pada kondisi tercekam kekurangan air tampak lebih sedikit dibanding dengan tanaman yang diairi normal. Pada tabel 5.13, disajikan bahwa tanaman muda jumlah stomata relatif lebih sedikit

dibanding tanaman yang sudah tua (stadia generatif). Pada stadia vegetatif maupun generatif tanaman kacang hijau yang tumbuh dalam kondisi kekurangan air mempunyai kerapatan stomata lebih rendah daripada yang selalu kecukupan air. Pada stadia vegetatif tanaman yang mendapat pengairan normal (300 mm/musim) mempunyai kerapatan stomata 29.6% lebih banyak dibanding yang diairi 50 mm/musim, yaitu 32.4 stomata/mm<sup>2</sup> untuk yang mendapat pengairan normal dan 25 stomata/mm<sup>2</sup> untuk yang mendapat pengairan sebanyak 50 mm/musim. Kerapatan stomata tanaman yang mendapat irigasi normal tidak berbeda dengan yang mendapat pengairan 200 mm/musim ke atas.

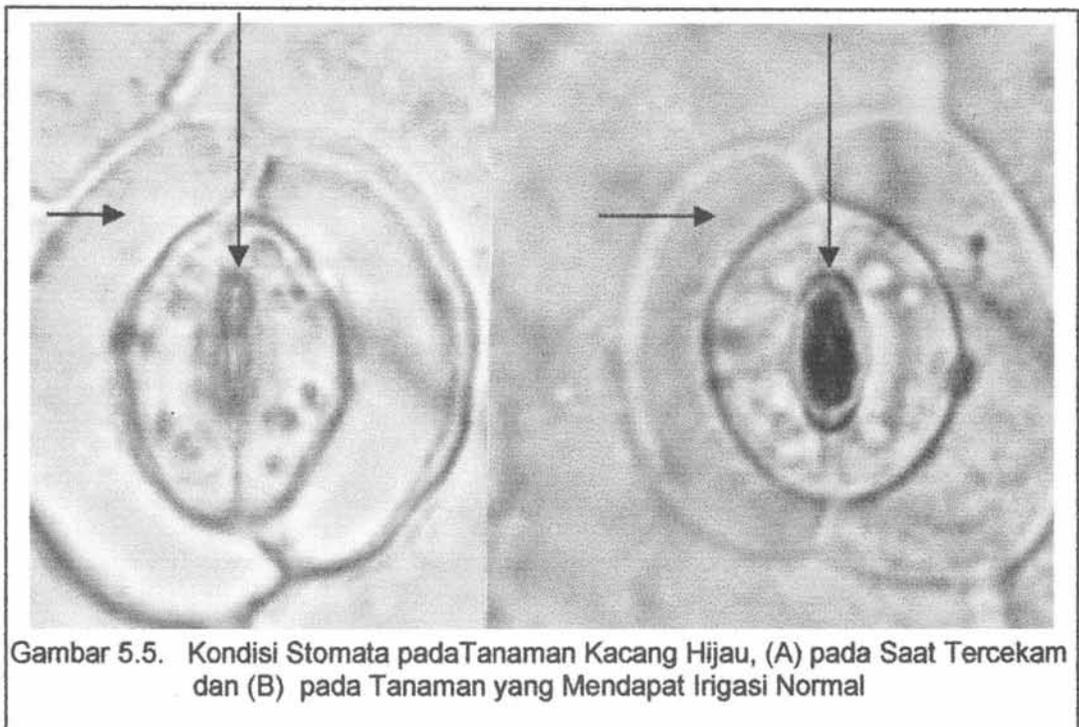
Tabel 5.13. Kerapatan Stomata Tanaman Kacang Hijau pada Tingkat Pemberian Air yang Berbeda.

Perlakuan	Kerapatan stomata ( <i>stomata/mm<sup>2</sup></i> ) pada stadia ...	
	Vegetatif (25 hst)	Generatif (45 hst)
<b>Kultivar</b>		
Sriti	28.8	42.3
Walet	28.4	45.4
Lokal	27.9	42.5
BNT 5%	tn	tn
<b>Jumlah Air</b>		
50 mm	25.0 a	39.0 a
100 mm	25.8 a	40.6 a
150 mm	27.0 ab	42.6 ab
200 mm	28.8 abc	43.9 abc
250 mm	31.2 bc	45.8 bc
300 mm	32.4 c	48.6 c
Duncan,s 5%	*	*

Keterangan : Angka yang didampingi oleh huruf yang sama pada setiap umur pengamatan tidak berbeda nyata. \* = berbeda nyata, tn = tidak nyata

Pada stadia generatif cekaman kekurangan air berdampak pada rendahnya kerapatan stomata di dalam daun. Pemberian air sebanyak 150 mm/musim ternyata kerapatan stomata pada daunnya tidak berbeda dengan tanaman

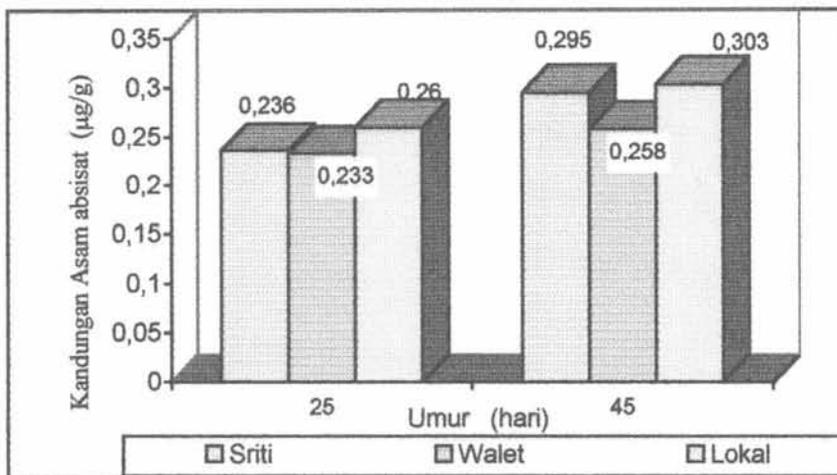
yang diairi sebanyak 250 mm/musim. Demikian halnya peningkatan jumlah pemberian air dari 50 mm/musim menjadi 200 mm/musim ternyata juga tidak memperlihatkan adanya perbedaan kerapatan jumlah stomata pada daun. Pada peningkatan jumlah pemberian air dari 150 menjadi 250 mm/musim juga tidak terjadi perbedaan nyata terhadap kerapatan stomata pada daun tanaman. Namun bila dibandingkan dengan yang diairi 300 mm/musim, pengairan 150 mm/musim berakibat terjadinya penurunan kerapatan stomata sebanyak 6 buah stomata/mm<sup>2</sup>.



Berdasarkan hasil pengamatan mikroskopis pada daun tanaman kacang hijau terlihat bahwa tanaman yang diairi dalam jumlah yang cukup banyak (300 mm/musim) stomata membuka dengan sempurna dan yang dalam kondisi tercekam kekurangan air stomata cenderung menutup.

#### 5.1.1.14. Kandungan asam absisat

Tanaman yang berada dalam kondisi kekurangan air mengalami perubahan terhadap karakteristik agronomis, fisiologis maupun perubahan kandungan hormon di dalam tubuh tanaman. Asam absisat merupakan salah satu hormon yang mempunyai peranan sebagai penghambat perkembangan tanaman. Kandungan asam absisat dari tiga kultivar yang dicoba ternyata tidak berbeda.



Gambar 5.6. Kandungan Asam absisat pada Tiga Kultivar Kacang Hijau

Situasi konsentrasi asam absisat ini di dalam tubuh tanaman kacang hijau berhubungan erat dengan tingkat kekeringan yang dialami oleh tanaman. Semakin tinggi tingkat kekurangan air, kandungan asam absisat di dalam tubuh tanaman semakin tinggi pula. Pada Gambar 5.6. terlihat pula bahwa kultivar Walet ternyata mempunyai kandungan asam absisat di dalam daun relatif lebih rendah, sedangkan kultivar lokal relatif lebih tinggi.

Pada Tabel 5.14 terlihat bahwa tanaman yang masih muda kandungan absisat relatif lebih rendah dibanding dengan tanaman lebih tua.

Pada stadia vegetatif tingkat ketersediaan air yang semakin tinggi mempunyai dampak terhadap penurunan kandungan asam absisat. Tanaman yang memperoleh irigasi normal kandungan asam absisat di dalam daun sebesar  $0,09 \mu\text{g.g}^{-1}$  dan yang hanya memperoleh pengairan 50 mm/musim asam absisat yang dikandung di dalam daun kacang hijau yang masih muda sebesar  $0.38 \mu\text{g.g}^{-1}$ . Peningkatan derajat kekeringan pada media tumbuh tanaman berakibat kandungan asam absisat di dalam jaringan daun tanaman kacang hijau bertambah banyak. Peningkatan derajat kekeringan dari 300 mm menjadi 150 mm/musim, berakibat meningkatnya kadar asam absisat sebesar dua kali lipat. Tanaman yang lebih tua kandungan asam absisat di dalam daun lebih banyak (Tabel 5.14).

Tabel 5.14. Kandungan Asam Absisat Tanaman Kacang hijau pada Kondisi Kekurangan Air

Perlakuan	Kandungan Asam Absisat ( $\mu\text{g/g}$ ) pada stadia .	
	Vegetatif (25 hst)	Generatif (45 hst)
Jumlah Air (mm/musim)		
50	0.38 f	0.47 e
100	0.32 e	0.39 d
150	0.26 d	0.32 c
200	0.21 c	0.24 b
250	0.14 b	0.19 b
300	0.09 a	0.10 a
Duncan's	*	*

Keterangan : Angka-angka dari masing-masing faktor yang didampingi oleh huruf sama tidak berbeda nyata pada uji Duncan,s ( $\alpha = 0.05$ ). \* = berbeda nyata

Pada stadia generatif tanaman yang mengalami cekaman kekurangan air yang sangat berat (50 mm/musim) kandungan asam absisat mencapai empat kali lipat dibanding tanaman yang tidak pernah mengalami cekaman kekurangan air. Peningkatan jumlah pemberian air pada tanaman kacang

hijau dari 50 mm menjadi 150 mm/musim berdampak pada kandungan asam absisat di dalam daun turun sebesar 31.9%. Apabila jumlah pemberian air ditingkatkan sampai 300 mm/musim kandungan asam absisat di dalam daun turun tinggal 21.3% dibanding tanaman yang dalam kondisi sangat kekurangan air

Pada tabel 5.14 terlihat bahwa tingkat pencekaman air paling tinggi (50-150 mm/musim), tanaman yang lebih tua kandungan asam absisat di dalam daun lebih tinggi dibanding tanaman yang muda. Sedangkan pada tanaman kacang hijau yang berada pada kondisi persediaan air di dalam tanah lebih banyak dari 200 mm/musim, ternyata kandungan asam absisat di dalam daun tidak banyak memperlihatkan peningkatan walaupun umur tanaman lebih tua.

Secara umum seluruh parameter pertumbuhan memperlihatkan bahwa kultivar Walet yang dibudidayakan pada kondisi lahan cukup air ternyata mempunyai laju pertumbuhan relatif, indeks luas daun, bobot kering tanaman lebih tinggi dibandingkan kultivar lokal maupun Sriti. Sedangkan dilihat dari ukuran bulu daun ternyata pada kultivar Walet dan Sriti lebih pendek dibandingkan lokal, secara rinci disajikan pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15. Panjang Bulu daun Tiga Kultivar Kacang Hijau.

Kultivar	Panjang Bulu daun (mm)
Sriti	0.19 a
Walet	0.19 a
Lokal	0.21 b
BNT 5%	*

Keterangan : angka-angka yang diikuti huruf sama tidak berbeda nyata.  
 \*= berbeda nyata

Keberadaan bulu-bulu di permukaan daun mempunyai peranan sebagai komponen kekasaran permukaan. Semakin panjang ukuran bulu daun kekasaran permukaan semakin tinggi. Kekasaran permukaan merupakan hambatan terhadap proses aliran gas ataupun uap air dari dan ke dalam jaringan tanaman. Rosenberg (1980) menjelaskan bahwa kekasaran permukaan mempunyai hubungan negatif dengan arus aliran udara atau uap air dari dan ke dalam daun. Pada daun tanaman yang memiliki bulu daun lebih panjang berarti hambatan terhadap aliran gas maupun uap air dari atau ke dalam jaringan tanaman semakin besar, sehingga laju evapotranspirasi semakin kecil. Tanaman yang mempunyai bulu daun yang lebih pendek ketahanannya terhadap kondisi kekeringan lebih rendah dibanding daun tanaman yang mempunyai bulu daun lebih panjang. Bulu daun yang panjang mempunyai peranan positif dalam menahan laju kehilangan air, karena bulu daun merupakan salah satu faktor kekasaran permukaan yang berfungsi sebagai hambatan. Apabila kekasaran permukaan tinggi maka proses pelepasan uap air dari permukaan daun semakin lambat karena tahanan permukaan semakin tinggi (Monteith, 1982).

Berdasarkan kenyataan ini kultivar lokal yang memiliki ukuran bulu daun lebih panjang relatif lebih tahan terhadap kondisi kekeringan, karena evapotranspirasi dapat diperkecil, tetapi potensi hasil bijinya relatif rendah, karena proses defusi  $\text{CO}_2$  dari udara ke dalam daun juga terhalang, sehingga proses fotosintesis sedikit banyak juga mengalami gangguan.

### 5.1.2. Respon komponen produksi tanaman kacang hijau terhadap kekurangan air

Keberhasilan budidaya kacang hijau pada umumnya dilihat dari tingginya kualitas dan kuantitas hasil biji. Komponen kuantitas produksi tanaman kacang hijau meliputi variabel hasil biji, jumlah dan bobot polong, sedang komponen kualitas hasil biji diperlihatkan dari variabel ukuran polong, bobot 100 biji, serta indeks panen.

#### 5.1.2.1. Hasil biji per tanaman

Potensi setiap individu tanaman untuk menghasilkan biji diukur dengan menimbang hasil biji masing-masing tanaman. Berdasarkan hasil analisis statistik ternyata interaksi antara kultivar dan pencekaman kekurangan air bagi tanaman berpengaruh terhadap produksi biji per tanaman (Lampiran Tabel 16). Respon beberapa kultivar tanaman kacang hijau terhadap kondisi cekaman kekurangan air disajikan pada Tabel 5.16

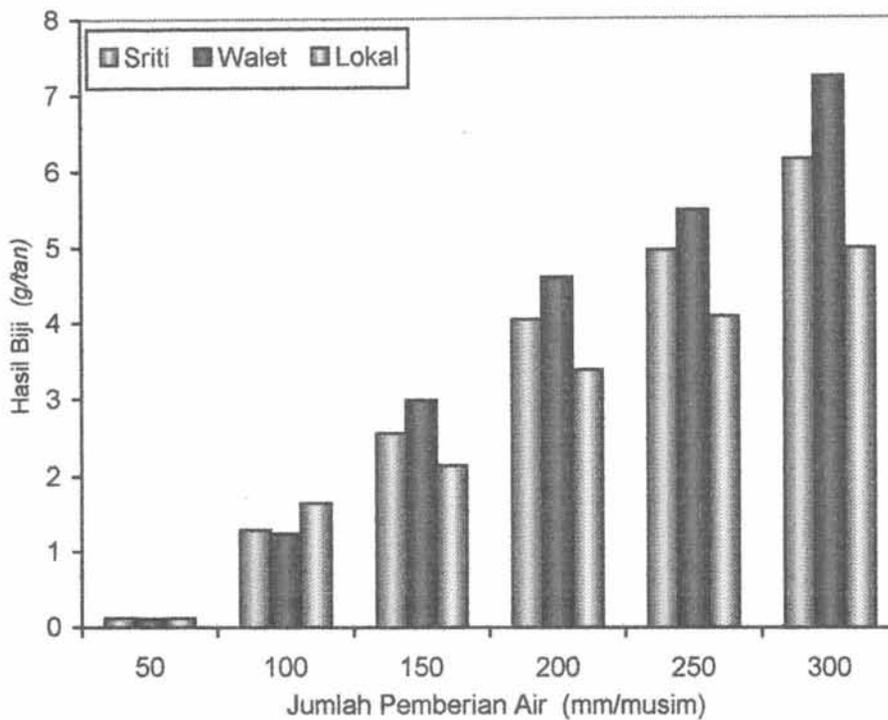
Tabel 5.16. Hasil Biji Tanaman Kacang Hijau Akibat Pengaruh Interaksi Kultivar dengan Tingkat Cekaman Kekurangan Air

Jumlah Pemberian air (mm/musim)	Bobot biji dari tiga kultivar (g/tan)		
	Sriti	Walet	Lokal
50	0.12 a	0.11 a	0.12 a
100	1.29 b	1.24 b	1.65 b
150	2.56 de	2.99 ef	2.14 cd
200	4.04 g	4.60 gh	3.38 f
250	4.96 hi	5.49 i	4.08 g
300	<b>6.16 j</b>	<b>7.23 k</b>	<b>4.99 hi</b>
Duncan's	*		

Keterangan : angka-angka yang diikuti huruf yang sama berarti tidak berbeda nyata pada uji Duncan's ( $\alpha = 0.05$ ). \* = berbeda nyata

Tabel 5.16 dapat dijelaskan bahwa hasil biji masing-masing kultivar memperlihatkan pola respon yang hampir sama yaitu bertambah banyak air yang diberikan semakin tinggi hasil biji per tanaman yang dihasilkan. Rata-rata hasil biji kultivar Walet dan Sriti lebih tinggi dibanding kultivar lokal. Dalam kondisi ketersediaan air normal (300 mm/musim), kultivar Walet mempunyai potensi hasil biji per tanaman paling tinggi dibanding dua kultivar yang lain, yaitu 17.5% lebih tinggi dari kultivar Sriti dan 44.9% lebih tinggi dibanding kultivar lokal.

Respon ke tiga kultivar terhadap kondisi persediaan air di dalam tanah yang paling sedikit yaitu 50-100 mm/musim, adalah sama-sama rendahnya. Apabila jumlah pemberian air ditingkatkan menjadi 150 mm/musim ternyata kultivar Sriti dan Walet yang mempunyai hasil biji lebih tinggi dibanding kultivar lokal. Peningkatan pemberian air sampai 250 mm/musim ke dua kultivar tersebut masih mempunyai respon yang sama dan lebih tinggi bila dibanding kultivar lokal. Pengurangan jumlah air sebanyak 50% dari kebutuhan optimal yang diberikan pada tanaman kacang hijau kultivar Sriti berakibat turunnya hasil biji kering panen per tanaman sebesar 58,4%. Apabila persediaan air di dalam tanah sebanyak 66.7% dari kebutuhan optimalnya (200 mm/musim) rata-rata hasil biji kultivar Sriti turun sebesar 34.4%. Sedangkan pada kultivar lokal yang diairi 50% dari kebutuhan normalnya, hasil biji per tanaman turun 57%. Gambaran selengkapnya disajikan pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7. Hasil Biji tiga Kultivar Tanaman Kacang hijau pada Tingkat Cekaman Kekurangan Air yang berbeda.

Pada Gambar 5.7 terlihat bahwa kultivar Walet mempunyai respon yang besar terhadap persediaan air di dalam tanah, terbukti semakin banyak jumlah air yang diberikan hasil biji per tanaman terlihat paling tinggi.

Bedasarkan hasil pengujian tiga kultivar kacang terhadap kondisi tingkat kekurangan air yang berbeda-beda, terbukti bahwa kultivar Walet mempunyai potensi pertumbuhan (laju pertumbuhan relatif) maupun hasil biji per tanaman paling tinggi dibanding kultivar lokal maupun Sriti.

Tingkat kepekaan tanaman diperlihatkan dari nilai koefisien regresi, dan besarnya nilai koefisien regresi menggambarkan besarnya koefisien perubahan yang diakibatkan oleh setiap perubahan variabel bebasnya.

Apabila memperhatikan hubungan antara tingkat pencekaman kekurangan air dan hasil biji per tanaman maka terlihat bahwa ke tiga kultivar (Walet, Sriti dan lokal) mempunyai hubungan linier, yaitu semakin sedikit jumlah pemberian air hasil biji per tanaman semakin rendah. Berdasarkan hasil analisis kepekaan tanaman terhadap kekurangan air ternyata kultivar Walet mempunyai kepekaan relatif lebih tinggi dibanding Sriti maupun lokal, nilainya masing-masing adalah 0.029, 0.024 dan 0.019. Hal tersebut menunjukkan bahwa setiap *mm* perubahan ketersediaan air berakibat terjadinya perubahan hasil biji per tanaman sebesar 0.029 gram untuk kultivar Walet dan kultivar lokal perubahannya hanya 0.019 gram. Jika nilai perubahan tersebut kecil berarti perubahan terhadap jumlah persediaan air yang ada di dalam tanah tidak banyak pengaruhnya terhadap perubahan hasil biji per tanaman dan sebaliknya bila nilai koefisien tersebut tinggi berarti akibat terjadinya perubahan jumlah air yang tersedia mempunyai pengaruh yang lebih besar terhadap perubahan hasil biji per tanaman. Dari nilai di atas menunjukkan bahwa kultivar lokal relatif lebih tahan terhadap kekurangan air dibanding kultivar Walet maupun Sriti. Dilihat dari kuantitas hasil biji yang ditampilkan oleh masing-masing kultivar ternyata Walet mempunyai potensi hasil paling tinggi, tetapi daya tahannya terhadap kekurangan paling air rendah. Tingginya hasil biji kultivar Walet ternyata berhubungan erat dengan laju pertumbuhan relatif maupun indeks luas daun.

### 5.1.2.2. Komponen hasil tanaman

#### *Bobot polong per tanaman*

Bobot polong merupakan komponen hasil kacang hijau yang mempunyai hubungan erat dengan hasil biji per tanaman. Hasil analisis statistik ternyata tingginya bobot polong pertanaman diikuti peningkatan hasil biji per tanaman (Lampiran Tabel 15).

Tabel 5.17. Produksi Polong dan Kualitas biji dari Tiga Kultivar Tanaman Kacang Hijau dan Tingkat Pemberian Air berbeda.

Perlakuan	Bobot polong/tan	Jumlah Polong/tan	Panjang polong/tan	Bobot 100 biji	Indeks Panen
<b>Kultivar</b>	<i>(g/tan)</i>		<i>(cm)</i>	<i>(g)</i>	<i>(%)</i>
Sriti	3.63 b	9.83 a	8.02 ab	6.13 b	27,41 b
Walet	4.18 c	11.28 b	8.24 b	6.08 b	31.99 c
Lokal	3.09 a	8.72 a	7.76 a	5.46 a	21.47 a
BNT	*	*	*	*	*
<b>Jumlah air (mm)</b>					
50	0.23 a	3.11 a	5.04 a	5.13 a	12.44 a
100	1.77 b	6.67 b	7.56 b	5.40 ab	19.80 b
150	2.95 c	9.78 c	8.50 c	5.83 bc	28.31 c
200	4.70 d	12.66 d	8.76 cd	6.04 cd	33.04 d
250	5.60 e	13.11 d	8.99 cd	6.28 de	37.57 e
300	7.56 f	14.33 d	9.21 d	6.65 e	40.57 e
Duncan's	*	*	*	*	*

Keterangan : angka-angka pada masing-masing faktor yang diikuti huruf sama pada setiap variabel tidak berbeda nyata. \* = berbeda nyata

Tabel 5.17 memperlihatkan bahwa tiga kultivar yang dicoba ternyata mempunyai potensi hasil yang berbeda. kultivar lokal menghasilkan polong paling ringan. Perbedaan bobot polong antara kultivar Walet dan lokal adalah 1.1 gram per tanaman.

Jumlah pemberian air sangat mempengaruhi hasil bobot polong per tanaman, penurunan jumlah ketersediaan air di dalam tanah sebanyak 50%

dari kebutuhan optimal bagi tanaman kacang hijau, berakibat hasil polong per tanaman turun sebesar 61% dan apabila persediaan air di dalam tanah sebesar 80% hasil polong turun sebesar 26%. Pada tabel 5.15. terlihat bahwa kultivar Walet adalah mempunyai potensi produksi paling baik dibandingkan dengan Sriti sedang yang paling rendah potensinya adalah kultivar lokal.

#### *Jumlah polong*

Jumlah polong mempunyai hubungan erat dengan produksi biji per tanaman, yang keberadaanya sangat dipengaruhi oleh ketersediaan air di dalam tanah. Tanaman kacang hijau yang selama hidupnya hanya mendapat air sebanyak 50 mm ternyata kemampuan untuk menghasilkan polong sangat terhambat, rata-rata hanya 3 buah. Peningkatan jumlah air yang diberikan dari 50 mm menjadi 150 mm, jumlah polong meningkat dua kali lipat. Apabila jumlah pemberian air ditingkatkan sampai 300 mm ternyata jumlah polong yang dihasilkan meningkat empat kali lipat (Tabel 5.16). Jadi apabila air yang tersedia di dalam tanah hanya setengah dari kebutuhan optimal tanaman (150 mm) ternyata mengakibatkan terjadinya penurunan jumlah polong maupun bobot polong per tanaman masing-masing sebesar 31.8% dan 55%.

#### *Panjang polong*

Ukuran polong merupakan salah satu komponen hasil yang menentukan hasil biji tanaman kacang hijau. Tanaman yang mempunyai

polong lebih panjang ternyata hasil biji yang diperoleh lebih banyak. Kultivar Walet mempunyai potensi hasil lebih tinggi, hal ini terbukti dari hasil yang disajikan pada Tabel 5.17, bahwa ukuran polong lebih panjang daripada kultivar lokal, perbedaan tersebut dapat mencapai 5.8%, tetapi dengan kultivar Sriti panjang polongnya relatif sama.

Respon tanaman kacang hijau terhadap cekaman kekurangan air ternyata sangat tinggi, terbukti dari dampak cekaman kekurangan air terhadap panjang polong memperlihatkan terjadinya penurunan ukuran polong akibat semakin berkurangnya jumlah air yang diberikan dari kebutuhan normalnya (300 mm/musim). Pengurangan jumlah air yang diberikan dari 300 mm/musim menjadi 50 mm/musim panjang polong turun sebesar 45.3%. Apabila jumlah air yang diberikan sebesar 50% dari kebutuhan normalnya mengakibatkan ukuran polong turun sebesar 7.7%.

#### *Bobot 100 biji*

Bobot 100 biji merupakan variabel hasil yang dapat digunakan untuk melihat kualitas biji yang dihasilkan tanaman kacang hijau. Tingginya bobot 100 biji menandakan semakin tingginya kualitas biji yang dihasilkan tanaman. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa interaksi antara kultivar dan tingkat cekaman kekurangan air tidak berpengaruh terhadap bobot 100 biji, tetapi masing-masing faktor menunjukkan pengaruh sangat nyata (Lampiran Tabel 16). Bobot 100 biji tanaman kacang hijau kultivar Walet maupun Sriti ternyata lebih tinggi dibanding kultivar lokal, perbedaannya mencapai 10%.

Jumlah pemberian air pada tanaman kacang hijau sangat berpengaruh terhadap kualitas hasil biji. Tanaman yang diairi 50 –100 mm selama musim pertumbuhannya memperlihatkan kualitas hasil biji paling rendah, apabila dibandingkan dengan tingkat pemberian air yang lebih tinggi. Peningkatan jumlah ketersediaan air di dalam tanah dari 50 mm menjadi 150 mm/musim ternyata bobot 100 biji yang dihasilkan dapat meningkat 13.6%, namun hasilnya masih lebih rendah bila dibandingkan dengan yang memperoleh pengairan dalam jumlah yang normal (300 mm/musim). Dalam Tabel 5.17 diperlihatkan bahwa pengurangan pemberian air pada tanaman kacang hijau dari jumlah kebutuhan normalnya 300 mm/musim menjadi 50 mm/musim berakibat bobot 100 biji turun sampai 22.9 %, sedang apabila jumlah pemberian air dikurangi sampai 50% (150 mm/musim) ternyata bobot 100 biji kacang hijau turun sebesar 12.3%.

#### *Indeks Panen*

Indeks panen merupakan variabel yang digunakan untuk mengukur tingkat efisiensi tanaman dalam memproduksi produk ekonomis. Interaksi antara kultivar dan jumlah pemberian air tidak memperlihatkan pengaruh nyata terhadap nilai indeks panen (Lampiran Tabel 16). Masing-masing kultivar ternyata mempunyai tingkat efisiensi dalam memproduksi hasil biji berbeda-beda. Hasil pengamatan memperlihatkan bahwa kultivar Walet mempunyai efisiensi paling tinggi dibanding Sriti maupun lokal, perbedaan



tersebut masing-masing dapat mencapai 16.8% lebih tinggi bila dibandingkan dengan kultivar Sriti dan 33.4% lebih tinggi dibanding kultivar lokal.

Jumlah pemberian air mempunyai dampak sangat nyata terhadap indeks panen, tanaman kacang hijau yang selama hidupnya hanya memperoleh air 50 mm, indeks panennya sangat rendah yaitu hanya sebesar 12.4%, tetapi yang memperoleh pengairan cukup (300 mm) indeks panen dapat mencapai 40.6%. Hal tersebut menggambarkan bahwa pada tanaman yang memperoleh air yang cukup 40.6% dari total biomassa yang dihasilkan adalah dalam bentuk biji. Peningkatan ketersediaan air dari 50 menjadi 150 mm selama kehidupan tanaman dapat meningkatkan efisiensi sebesar 1.30 kali lipat. Pemberian air sebanyak 50% dari kebutuhan optimal tanaman kacang hijau (150 mm) ini berakibat turunnya indeks panen sebesar 30%. Nilai indeks panen tanaman yang diairi sebanyak 250 mm ternyata nilai indeks panen tidak memperlihatkan perbedaan dengan yang diairi pada jumlah optimal (300 mm).

Bedasarkan hasil pengujian tiga kultivar kacang hijau terhadap kondisi tingkat kekurangan air terbukti bahwa kultivar Walet mempunyai potensi pertumbuhan (laju pertumbuhan) maupun hasil biji mempunyai potensi produksi paling tinggi dibandingkan kultivar lokal maupun Sriti. Apabila memperhatikan sifat penampakan daun ternyata di antara tiga kultivar tersebut ternyata Walet mempunyai ukuran lebih luas, bulu daun paling pendek, daun lebih tipis, dibanding kultivar Lokal. Tetapi ke tiga kultivar yang diuji mempunyai kandungan stomata, klorofil maupun asam absisat yang

sama. Ketebalan daun maupun panjangnya bulu daun merupakan salah satu indikator tentang kemampuan tanaman untuk melindungi diri dari perubahan kondisi lingkungan di sekitarnya.

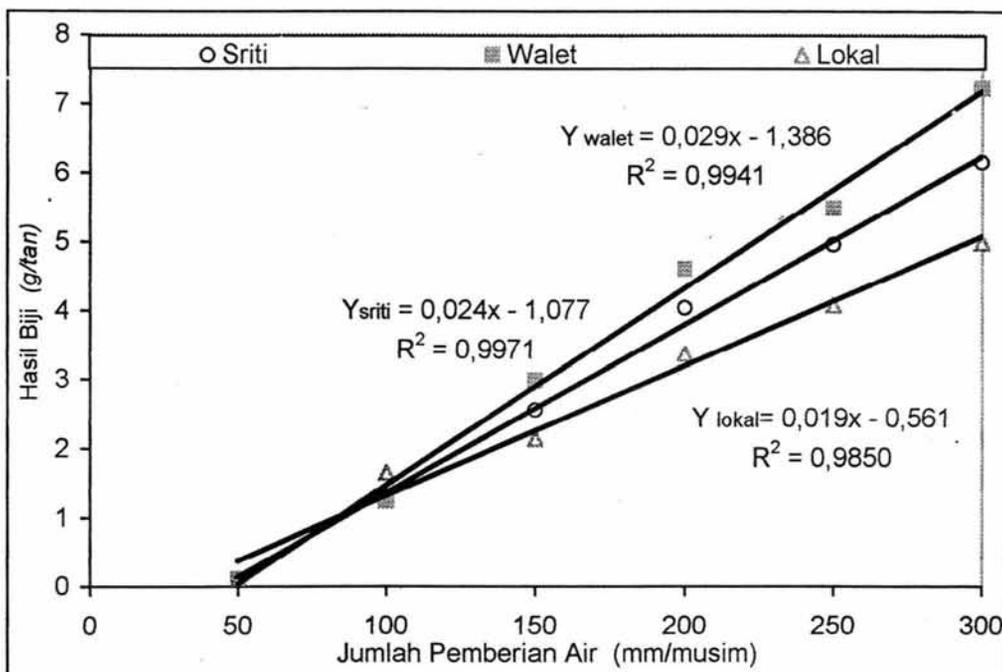
Berdasarkan hasil analisis kepekaan tanaman terhadap kekurangan air ternyata Walet mempunyai kepekaan relatif lebih tinggi dibanding Sriti maupun lokal. Hasil analisis kepekaan tanaman terhadap kekurangan air menunjukkan bahwa Walet mempunyai kepekaan relatif lebih tinggi dibanding Sriti maupun lokal. Tingkat kepekaan tanaman diperlihatkan dari nilai koefisien perubahan yang diperlihatkan pada nilai koefisien regresi.. Semakin besar nilai koefisiennya semakin tinggi tingkat kepekaannya. Dari tiga model persamaan pada gambar 5.8 terlihat bahwa tingkat kepekaan tanaman yang diperlihatkan dari nilai koefisien perubahan. Pada kultivar Walet, Sriti dan lokal besarnya nilai koefisien tersebut masing-masing adalah 0.029, 0.024 dan 0.019. Penurunan hasil biji mempunyai hubungan linier dengan persediaan air di dalam tanah.

Respon hasil biji per tanaman kacang hijau kultivar Sriti dengan jumlah persediaan air di dalam tanah memperlihatkan hubungan linier diperlihatkan dengan persamaan  $Y = -1.077 + 0.024 X$  ( $R^2 = 0.9971$ ). Persamaan tersebut membuktikan bahwa setiap perubahan jumlah persediaan air 1 mm berakibat terjadinya perubahan hasil biji 24 mg.

Pada kultivar Walet hubungan yang ditemukan digambarkan dalam persamaan linier  $Y = -1.386 + 0.029 X$  ( $R^2 = 0.9941$ ). Dalam persamaan itu

berarti setiap perubahan persediaan air di dalam tanah 1 mm berakibat terjadi perubahan hasil biji per tanaman kacang hijau Walet 29 mg.

Hubungan antara jumlah pemberian air dan hasil biji per tanaman pada kultivar lokal disajikan dalam persamaan berikut :  $Y = - 0.561 + 0.019 X$  ( $R^2 = 0.985$ ), berarti setiap perubahan ketersediaan air di dalam tanah berakibat hasil biji per tanaman berubah sebanyak 19 mg/mm air.



Gambar 5.8. Hubungan antara jumlah pemberian dan hasil biji tiga kultivar kacang hijau

Berdasarkan hasil di atas maka kultivar Walet merupakan kultivar yang mempunyai potensi hasil paling tinggi, tetapi kepekaannya terhadap perubahan persediaan air di dalam tanah paling tinggi. Oleh karena itulah maka kultivar yang dipilih untuk digunakan percobaan tahap ke dua adalah Walet.

## **5.2. Peranan Osmolit Sorbitol dalam Peningkatan Ketahanan Tanaman Kacang Hijau pada Kondisi Kekeringan**

Pengembangan tanaman kacang hijau pada lahan kering merupakan alternatif yang strategis dalam meningkatkan produksi kacang hijau. Salah satu ciri lahan kering adalah terbatasnya persediaan air, sehingga tanaman kacang hijau yang tumbuh pada kondisi lingkungan kurang air berakibat rendahnya pertumbuhan dan hasil. Sejalan dengan kenyataan tersebut upaya untuk memperkecil penurunan hasil dilakukan tindakan rekayasa fisiologi tanaman melalui penyemprotan osmolit sorbitol pada daun tanaman. Untuk meneliti peranan osmolit sorbitol dalam meningkatkan ketahanan hasil tanaman kacang hijau pada kondisi kekurangan air, dilakukan pengamatan terhadap variabel pertumbuhan dan hasil tanaman.

### **5.2.1. Peranan osmolit sorbitol pada pertumbuhan tanaman kacang hijau dalam kondisi kekurangan air**

Pertumbuhan tanaman merupakan proses penambahan ukuran organ-organ tanaman dari waktu ke waktu.

#### **5.2.1. 1. Tinggi tanaman**

Perkembangan tinggi tanaman kacang hijau sangat dipengaruhi waktu ketersediaan air dan konsentrasi penyemprotan osmolit, tetapi interaksi antara waktu pencekaman kekurangan air dan konsentrasi penyemprotan osmolit sorbitol tidak berpengaruh terhadap tinggi tanaman kacang hijau (Lampiran Tabel 18). Tanaman kacang hijau yang tumbuh dalam kondisi

tercekam kekurangan air rata-rata tinggi tanamannya lebih pendek bila dibandingkan dengan yang tidak mengalami cekaman. Penyemprotan osmolit sorbitol dengan konsentrasi lebih tinggi pada tanaman yang mengalami cekaman kekurangan air berpengaruh terhadap bertambahnya tinggi tanaman kacang hijau (Tabel 5.18).

Tabel 5.18. Tinggi Tanaman Kacang Hijau pada beberapa Stadia Pencekaman Kekurangan Air dan Tingkat Konsentrasi Penyemprotan Osmolit Sorbitol

Perlakuan	Tinggi tanaman (cm) pada umur .....				
	15 hst	25 hst	35 hst	45 hst	55 hst
<b>Stadia Cekaman (hst)</b>					
Tanpa cekaman	21.77 b	28.50 b	50.91 d	51.46 d	51.52 d
Sepanjang hidup	20.08 a	24.90 a	35.56 a	36.00 a	36.08 a
Stadia Vegetatif (0-35)	20.73 ab	25.04 a	36.87 a	42.40 b	42.47 b
Stadia generatif (36-60)	21.98 b	28.93 b	46.78 c	47.18 c	47.28 c
Umur 10-20 dan 35-45	20.23 a	27.83 b	43.04 b	44.77 bc	44.75 bc
Umur 21-45 hst	21.87 b	27.71 b	38.58 a	43.73 b	43.78 b
Duncan's 5%	*	*	*	*	*
<b>Konsentrasi penyemprotan Osmolit Sorbitol (ml/l)</b>					
0	20.04 a	25.47 a	36.53 a	42.01 a	42.10 a
10	20.22 a	26.49 ab	38.24 a	43.84 ab	43.82 ab
15	21.50 b	27.33 b	43.73 b	45.04 b	45.14 b
20	22.67 c	29.31 c	47.32 c	48.81 c	49.01 c
BNT 5%	*	*	*	*	*

Keterangan : Angka pada masing-masing faktor yang didampingi oleh huruf sama pada setiap umur pengamatan tidak berbeda nyata, hst = hari setelah tanam.

Pada tabel 5.18. terbukti bahwa penyemprotan osmolit sorbitol sebanyak 10 ml/l belum memperlihatkan tinggi tanaman yang berbeda dengan tanaman yang tidak disemprot. Penyemprotan osmolit sorbitol pada tanaman kacang hijau dengan konsentrasi 15 – 20 ml/l pada umur 35 hari dapat meningkatkan tinggi tanaman sekitar 7-10 cm bila banding dengan yang tanpa disemprot. Dari hasil ini tergambar bahwa sorbitol dapat dimanfaatkan untuk

membantu pertumbuhan tanaman yang diusahakan pada kondisi lahan kekurangan air.

Pencekaman kekurangan air selama stadia pertumbuhan tanaman mengakibatkan perkembangan tanaman kacang hijau terhambat. Pengurangan air yang dilakukan pada stadia vegetatif, akhir vegetatif hingga awal generatif berdampak pada rendahnya tinggi tanaman. Apabila dibandingkan dengan yang diairi normal maka tanaman yang dicekam kekurangan air selama stadia vegetatif, tinggi tanaman turun 17.6%, sedangkan yang dicekam pada akhir stadia vegetatif sampai awal stadia generatif (umur 21-45 hari) tinggi tanamannya 15% lebih pendek. Pencekaman kekurangan air yang dilakukan selama stadia generatif perkembangan tinggi tanaman lebih baik dibandingkan yang dicekam selama stadia vegetatif maupun yang dicekam pada stadia umur 21-45 hari. Hal ini disebabkan karena pencekaman kekurangan air pada stadia generatif berarti pada saat stadia vegetatif tanaman mendapat cukup air, sehingga pertumbuhan awalnya relatif baik.

#### 5.2.1.2. Luas daun

Bagi tanaman daun merupakan organ tubuh yang sangat penting, karena pada bagian inilah proses fotosintesis berlangsung. Pertumbuhan tanaman kacang hijau dapat dipantau dari perkembangan luas daun selama kehidupan tanaman. Hasil analisis statistik membuktikan bahwa interaksi antara waktu pencekaman dan konsentrasi penyemprotan sorbitol selama

tanaman mengalami cekaman kekurangan air berpengaruh nyata terhadap perkembangan luas daun tanaman (Lampiran Tabel 20). Penyemprotan osmolit sorbitol pada tanaman yang tidak mengalami cekaman kekurangan air, tidak mempengaruhi luas daun tanaman (Tabel 5.19).

Tabel 5.19. Luas Daun Tanaman Kacang Hijau akibat Pengaruh Interaksi antara Waktu Pencekaman air dan Konsentrasi Penyemprotan osmolit sorbitol

Waktu tercekam	Luas daun (cm <sup>2</sup> ) pada umur .....				
	15 hst	25 hst	35 hst	45 hst	55 hst
<b>Tanpa cekaman</b>					
+ sorbitol 0 ml/l	83.61 ef	186.82 def	562.72 hij	699.29 j	289.44 ghi
+ sorbitol 10 ml/l	83.77 f	200.26 defg	575.13 ij	701.60 j	306.57 l
+ sorbitol 15 ml/l	85.28 f	202.78 efg	576.85 ij	704.31 j	302.29 hi
+ sorbitol 20 ml/l	86.66 f	222.08 fg	585.81 j	703.73 j	338.62 l
<b>Sepanjang hidup (0-60 hst)</b>					
+ sorbitol 0 ml/l	54.90 a	95.75 a	139.63 a	133.10 a	57.53 a
+ sorbitol 10 ml/l	66.40 a-d	129.74 b	168.66 a	181.32 a	112.76 abc
+ sorbitol 15 ml/l	80.97 c-f	172.84 de	246.88 b	264.01 b	125.43 abc
+ sorbitol 20 ml/l	91.66 f	218.27 fg	317.43 bcd	314.19 b	143.80 bcd
<b>Stadia Vegetatif (0-35 hst)</b>					
+ sorbitol 0 ml/l	60.85 ab	106.67 ab	242.69 b	271.10 b	121.26 abc
+ sorbitol 10 ml/l	67.70 a-e	122.90 ab	302.27 bc	326.90 b	225.96 efg
+ sorbitol 15 ml/l	78.46 c-f	166.78 cd	386.23 de	433.30 cd	273.44 f-l
+ sorbitol 20 ml/l	85.46 f	235.21 g	478.73 fg	505.54 def	303.99 hi
<b>Stadia generatif (35-60 hst)</b>					
+ sorbitol 0 ml/l	79.09 c-f	198.90 def	381.70 de	410.34 c	103.65 ab
+ sorbitol 10 ml/l	80.13 c-f	201.33 efg	490.67 fgh	517.68 fg	121.59 abc
+ sorbitol 15 ml/l	80.73 c-f	201.37 efg	555.18 g-j	588.37 gh	184.00 cde
+ sorbitol 20 ml/l	81.44 d-f	213.75 fg	623.94 j	681.08 ij	213.27 def
<b>Umur 10-20 dan 35-45 hst</b>					
+ sorbitol 0 ml/l	52.99 a	116.46 ab	393.22 de	403.43 c	179.47 b-e
+ sorbitol 10 ml/l	64.58abc	137.52 bc	485.23 fgh	500.23 def	237.46 e-h
+ sorbitol 15 ml/l	75.84 b-f	171.59 de	481.92 fgh	573.04 fg	277.94 f-l
+ sorbitol 20 ml/l	87.92 f	220.90 fg	583.03 j	618.91 hi	344.85 l
<b>Umur 21-45 hst</b>					
+ sorbitol 0 ml/l	79.98 c-f	205.37 efg	375.82cde	408.01 c	171.42 b-e
+ sorbitol 10 ml/l	80.23 c-f	202.29 efg	422.42 ef	445.38 cde	221.35 efg
+ sorbitol 15 ml/l	80.56 c-f	215.39 fg	507.30 ghi	534.15 efg	303.94 hi
+ sorbitol 20 ml/l	80.83 c-f	211.95 fg	564.44 hij	584.14 fgh	328.64 l
Duncan's	*	*	*	*	*

Keterangan : Angka yang diikuti huruf sama pada setiap pengamatan tidak berbeda nyata pada uji Duncan's 5%, + = disemprot, hst = hari setelah tanam. \* berbeda nyata

Pada tabel 5.19 terlihat bahwa tanaman yang mengalami cekaman secara terus menerus selama hidupnya, apabila tidak disemprot sorbitol luas daun yang dihasilkan paling rendah dibanding tanaman yang disemprot. Pada tanaman kacang hijau yang tercekam kekurangan air selama hidupnya, penyemprotan osmolit sorbitol pada konsentrasi 10 ml/l sebanyak 10 kali ternyata belum mampu meningkatkan luas daun. Apabila penyemprotan tersebut ditingkatkan konsentrasinya menjadi 15-20 ml/l, luas daun tanaman pada umur 35 hari mampu meningkatkan perkembangan luas daun 77-127% dibanding yang tidak disemprot sorbitol. Hal ini membuktikan bahwa peranan osmolit sorbitol terlihat jelas mampu meningkatkan ketahanan luas daun tanaman kacang hijau yang dalam kondisi kekurangan air selama hidupnya, yaitu sebesar 43.9% untuk penyemprotan dengan konsentrasi 15 ml/l air dan apabila konsentrasi penyemprotan ditingkatkan 20 ml/L air, ketahanan dapat ditingkatkan sebesar 56.4%.

Tanaman kacang hijau dalam kondisi tercekam kekurangan air selama stadia vegetatif, penyemprotan sorbitol 15 ml/l air yang dilakukan sebanyak lima kali sudah mampu meningkatkan luas daun tanaman maksimum sebesar 59% bila dibandingkan dengan yang tidak disemprot, apabila konsentrasi tersebut ditingkatkan menjadi 20 ml/l air peningkatan luas daun mencapai 97.3%. Penyemprotan osmolit sorbitol dengan konsentrasi 15 ml/L air sebanyak lima kali pada tanaman yang mengalami cekaman kekurangan air selama stadia vegetatif ternyata mampu meningkatkan ketahanan tanaman

terhadap luas daun sebesar 68.6%, apabila konsentrasi penyemprotan ditingkatkan menjadi 20 ml/L ketahanannya dapat meningkat sampai 85%.

Pencekaman kekurangan air tanaman kacang hijau selama stadia generatif, penyemprotan sorbitol dapat meningkatkan luas daun secara nyata. Apabila dibandingkan dengan yang tidak disemprot sorbitol, penyemprotan sorbitol 10 ml/l pada tanaman umur 45 hari dapat meningkatkan luas daun sebesar 26.15 %. Apabila konsentrasi tersebut ditingkatkan menjadi 15-20 ml/l, luas daun dapat ditingkatkan sampai 43-65.9%. Penyemprotan osmolit sorbitol dengan konsentrasi 20 ml/l sebanyak tiga kali ternyata luas daun tanaman yang tercekam kekurangan air selama stadia generatif tidak berbeda dengan tanaman yang mendapatkan pengairan normal dan ketahanan luas daun tanaman dapat ditingkatkan sampai 97%.

Tanaman kacang hijau yang mengalami cekaman kekurangan air pada umur 21-45 hari penyemprotan sorbitol pada konsentrasi 10 ml/l sebanyak enam kali belum mampu meningkatkan luas daun, tetapi setelah konsentrasi ditingkatkan menjadi 15-20 ml/l luas daun mampu ditingkatkan sebesar 31-43%. Apabila dibandingkan dengan tanaman yang selalu kecukupan air maka penyemprotan osmolit sorbitol 20 ml/l yang disemprotkan sebanyak enam kali mampu meningkatkan ketahanan luas daun sebesar 83.5%.

Pada tanaman kacang hijau yang tercekam kekurangan air pada umur 10-20 hari dan 35-45 hari, ternyata dengan penyemprotan osmolit sorbitol 20 ml/l air sebanyak enam kali mampu meningkatkan ketahanan luas daun sebesar 88.5%.

Dari hasil di atas terbukti bahwa penyemprotan osmolit sorbitol sebanyak 15-20 ml/l pada tanaman kacang hijau yang mengalami cekaman kekurangan air pada berbagai stadia pertumbuhan mampu meningkatkan ketahanan luas daun tanaman berkisar 50-97%.

#### 5.2.1. 3. Jumlah daun

Jumlah daun tanaman kacang hijau tidak dipengaruhi oleh interaksi waktu pencekaman dan konsentrasi penyemprotan osmolit, tetapi dipengaruhi oleh waktu pencekaman kekurangan air maupun konsentrasi penyemprotan osmolit (Lampiran Tabel 19). Tanaman kacang hijau yang selalu kekurangan air selama hidupnya ternyata jumlah daunnya paling sedikit, sedangkan pencekaman yang dilakukan pada stadia vegetatif, generatif maupun di antara vegetatif dan generatif tidak mengakibatkan terjadinya perbedaan jumlah daun dengan tanaman yang selalu mendapat air yang cukup.

Penyemprotan osmolit sorbitol berpengaruh terhadap jumlah daun tanaman kacang hijau yang mengalami cekaman kekurangan air. Konsentrasi penyemprotan sorbitol sebanyak 10 ml/l air belum mampu meningkatkan jumlah daun tanaman kacang hijau. Pengaruh osmolit sorbitol baru tampak secara nyata meningkatkan jumlah daun setelah konsentrasi penyemprotan ditingkatkan menjadi 15-20 ml/l. Lebih lengkapnya disajikan pada tabel 5.20.

Tabel 5.20. Jumlah daun Tanaman Kacang Hijau Walet yang Tercekam Kekurangan Air pada Beberapa Stadia dan Konsentrasi Penyemprotan Osmolit Sorbitol yang Berbeda

Perlakuan	Jumlah daun pada umur .....				
	15 hst	25 hst	35 hst	45 hst	55 hst
<b>Stadia Cekaman</b>					
Tanpa cekaman	2.3	4.1 c	4.9 c	5.6 b	4.8 b
Sepanjang hidup	1.8	3.7 ab	4.1 a	4.7 a	4.1 a
Stadia Vegetatif (0-35)	2.3	3.4 a	4.7 bc	5.6 b	4.8 b
Stadia generatif (35-60)	2.1	4.2 c	4.7 bc	5.3 b	4.9 b
Umur 10-20 dan 35-45	2.0	3.9 bc	4.7 bc	5.4 b	4.8 b
Umur 21-45 hst	2.0	3.9 bc	4.5 b	5.6 b	4.9 b
Duncan's	tn	*	*	*	*
<b>Konsentrasi Osmolit Sorbitol (ml/L)</b>					
0	1.7 a	3.6 a	4.3 a	5.2 a	4.6
10	1.8 a	3.8 a	4.1 a	5.2 a	4.6
15	2.3 b	4.4 b	4.8 b	5.4 a	4.7
20	2.6 b	4.1 b	4.9 b	5.7 b	4.9
BNT	*	*	*	*	tn

Keterangan : Angka pada masing-masing faktor yang didampingi oleh huruf sama pada setiap umur pengamatan tidak berbeda nyata. \* = berbeda nyata dan tn = tidak nyata

Pada tabel 5.20 terbukti bahwa saat tanaman kacang hijau umur 25 hari, tanaman yang tercekam kekurangan air selama hidupnya dan yang tercekam selama stadia vegetatif jumlah daun yang dibentuk tidak berbeda, ke duanya mempunyai jumlah daun yang paling sedikit dibanding yang lain.

Sampai umur 45 hari penyemprotan sorbitol 20 ml/l mampu menghasilkan daun lebih banyak dibanding yang tidak disemprot dan setelah umur 55 hingga panen jumlah daun sudah tidak dipengaruhi oleh penyemprotan osmolit sorbitol. Jumlah daun tanaman kacang hijau kultivar Walet maksimum terjadi pada umur tanaman mencapai 45 hari setelah melampaui umur tersebut jumlah daun cenderung turun. Hal demikian

disebabkan karena kultivar ini mempunyai tipe pertumbuhan *determinet*, sehingga setelah mencapai stadia generatif pembentukan daun sudah terhenti.

#### 5.2.1.4. Panjang akar

Perkembangan akar tanaman membantu menunjang kokohnya tanaman dan memanfaatkan air dan nutrisi di dalam tanah. Interaksi antara stadia pencekaman dan tingkat penyemprotan sorbitol tidak memperlihatkan pengaruh nyata terhadap panjang akar tanaman kacang hijau (Lampiran Tabel 21). Panjang akar tanaman kacang hijau sangat dipengaruhi waktu pencekaman kekurangan air maupun penyemprotan sorbitol.

Tabel 5.21. Panjang Akar Tanaman Kacang Hijau pada Waktu Pencekaman Kekurangan Air dan Penyemprotan osmolit Sorbitol yang Berbeda

Perlakuan	Panjang akar (cm) pada umur ..... (hari)				
	15	25	35	45	55
Stadia Cekaman					
Tanpa cekaman	6.31 b	15.83 a	19.32 a	29.54 ab	36.58 a
Sepanjang hidup	5.86 ab	19.24 bc	24.29 b	30.91 b	43.40 b
Stadia Vegetatif (0-35)	6.02 ab	21.37 d	24.34 b	30.29 ab	42.33 b
Stadia generatif (35-60)	6.23 ab	16.73 a	20.75 a	30.05 ab	43.13 b
Umur 10-20 dan 35-45	5.62 a	20.14 bcd	24.01 b	29.28 a	41.69 b
Umur 21-45 hst	5.93 ab	20.43 cd	23.96 b	30.82 b	41.75 b
Duncan's	*	*	*	*	*
Konsentrasi Penyempro tan (ml/l) Osmolit sorbitol					
0	5.76 a	18.15 a	20.23 a	26.70 a	39.48 a
10	5.66 a	18.91 ab	22.08 ab	29.19 b	40.48 ab
15	6.23 b	19.54 bc	23.20 b	31.56 c	41.88 b
20	6.33 b	20.57 c	25.61 c	33.34 d	44.03 c
BNT	*	*	*	*	*

Keterangan : Angka pada masing-masing faktor yang didampingi oleh huruf sama pada setiap umur pengamatan tidak berbeda.

Pada Tabel 5.21 terlihat bahwa pencekaman kekurangan air pada stadia pertumbuhan tertentu ternyata perakaran tanaman cenderung lebih panjang dibanding tanaman yang memperoleh pengairan cukup. Pertumbuhan tanaman sampai umur 35 hari, pencekaman selama stadia vegetatif mengakibatkan terjadinya pemanjangan akar tanaman kacang hijau 26% lebih panjang dibanding yang tidak mengalami cekaman. Kondisi ukuran akar sampai akhir usia tanaman ternyata pencekaman kekurangan air yang terjadi pada berbagai stadia pertumbuhan tanaman berdampak pada bertambah panjangnya akar tanaman berkisar 5-7 cm lebih tinggi dibanding yang tidak tercekam.

Penyemprotan osmolit sorbitol pada tanaman kacang hijau dapat membantu pemanjangan akar. Penyemprotan sorbitol sebanyak 10 ml/l belum mempengaruhi perbedaan panjang akar dengan tanaman yang tidak disemprot. Sampai pada stadia vegetatif peningkatan konsentrasi penyemprotan sorbitol menjadi 15 dan 20 ml/l rata-rata panjang akar meningkat sepanjang 3 sampai 5 cm.

#### 5.2.1.5. Bobot kering akar

Akumulasi bahan kering di dalam perakaran per satuan waktu menggambarkan tingkat laju perkembangan akar. Tingginya pertambahan bobot kering akar menunjukkan tingginya laju perkembangan perakaran tanaman. Hasil analisis bobot kering tanaman ternyata interaksi antara waktu pencekaman dan penyemprotan osmolit sorbitol tidak mempengaruhi

perbedaan bobot kering akar. Waktu pencekaman kekurangan air mempengaruhi bobot kering akar tetapi perbedaan konsentrasi penyemprotan osmolit tidak berpengaruh terhadap bobot akar kacang hijau (Lampiran 5.22)

Tabel 5.22. Bobot Kering Akar Tanaman Kacang Hijau pada Waktu Pencekaman Kekurangan Air yang Berbeda

Stadia Cekaman	Bobot Kering akar ( <i>mg/tan</i> ) pada umur ...				
	15 hari	25 hari	35 hari	45 hari	55 hari
Tanpa cekaman	44.67 c	82.00 b	225.00 c	339.17 c	321.67 c
Sepanjang hidup	20.08 b	71.75 a	146.25 a	178.75 a	170.83 a
Stadia Vegetatif (0-35)	18.33 a	70.67 a	146.25 a	256.33 b	237.50 b
Stadia generatif (35-60)	44.33 c	82.33 b	217.58 c	226.75 ab	219.17 b
Umur 10-20 dan 35-45	29.25 b	75.00 a	182.92 b	226.67 ab	214.17 ab
Umur 21-45 hst	40.42 c	82.08 b	168.33 ab	207.50 ab	199.17 ab
Duncan's	*	*	*	*	*

Keterangan : Angka pada masing-masing faktor yang didampingi oleh huruf sama pada setiap umur pengamatan tidak berbeda, \* = berbeda nyata

Pada Tabel 5.22 terbukti bahwa tanaman kacang hijau kultivar Walet yang tidak pernah mengalami cekaman kekurangan air selama hidupnya bobot kering akarnya lebih tinggi dibanding dengan tanaman yang mengalami cekaman air. Bobot kering akar tanaman kacang hijau kultivar Walet yang tumbuh dalam kondisi selalu kekurangan air selama hidupnya paling rendah dibandingkan yang memperoleh irigasi optimal.

Pada umumnya saat tanaman mengalami cekaman kekurangan air bobot kering akar lebih rendah dibandingkan dengan yang selalu kecukupan air. Apabila pencekaman diakhiri terlihat bobot kering relatif bertambah dan lebih tinggi bila dibandingkan dengan yang masih dalam kondisi tercekam.

#### 5.2.1.6. Bobot Kering Tanaman (*g/tan*)

Produksi bahan kering tanaman merupakan ukuran tingkat efisiensi tanaman dalam memanfaatkan masukan nutrisi, air maupun energi matahari. Hasil pengamatan membuktikan bahwa interkasi antara waktu pencekaman dan konsentrasi penyemprotan sorbitol berpengaruh nyata terhadap bobot bahan kering tanaman selama pertumbuhan kacang hijau (Lampiran tabel 23) Pada tanaman yang sudah kecukupan air dilingkungan tumbuhnya penyemprotan osmolit tidak berpengaruh terhadap perbedaan bobot kering tanaman, karena pada tanaman tersebut turgornya penuh sehingga stomata dapat membuka lebih leluasa. Peranan osmolit sorbitol mulai memperlihatkan pengaruhnya bila disemprotkan pada tanaman kacang hijau yang memperoleh irigasi terbatas.

Pada tanaman yang mengalami kekurangan air selama hidupnya penyemprotan osmolit sampai konsentrasi 10 ml/l sebanyak 10 kali belum menunjukkan pengaruhnya yang nyata, tetapi setelah konsentrasi sorbitol ditingkatkan menjadi 20 ml/l yang disemprotkan sebanyak 10 kali ternyata mampu meningkatkan produksi bahan kering sebesar 175% dibandingkan dengan yang tidak disemprot. Bila dibandingkan dengan tanaman yang memperoleh pengairan dalam jumlah normal (300 mm/musim), penyemprotan osmolit sorbitol tersebut mampu meningkatkan ketahanan tanaman yang tercekam kekurangan air selama hidupnya sebesar 52.2%. Hal ini berarti dapat menekan kemerosotan produksi bahan kering sebesar 47.8%.

Tanaman kacang hijau kultivar Walet yang mengalami cekaman kekurangan air selama stadia vegetatif berakibat terjadi kemerosotan produksi bahan kering sebesar 57% bila dibandingkan dengan tanaman yang tumbuh normal dan tidak pernah mengalami cekaman kekurangan air. Penyemprotan osmolit sorbitol dengan konsentrasi 10 ml/l sebanyak lima kali, mampu menekan penurunan produksi bahan kering sebesar 43.4% . Apabila penyemprotan konsentrasinya ditingkatkan sampai 20 ml/l yang disemprotkan sebanyak lima kali, ternyata mampu menekan penurunan produksi bahan kering sebesar 22%. Jika dibandingkan dengan tanaman yang sama-sama tercekam selama stadia vegetatif, penyemprotan sorbitol dapat meningkat bobot kering tanaman hampir tiga kali lipat dibandingkan dengan yang tidak disemprot sorbitol. Hasil tersebut ternyata sama dengan hasil bobot kering tanaman yang tidak pernah mengalami cekaman kekurangan air, dan ketahanan tanaman dapat ditingkatkan sebesar 78%.

Produksi bahan kering tanaman kacang hijau yang mengalami cekaman kekurangan air selama stadia generatif turun sebesar 57.6% dibanding tanaman yang memperoleh irigasi normal. Penyemprotan osmolit sorbitol dengan konsentrasi 10 ml/l sebanyak lima kali ternyata mampu mengurangi penurunan bobot kering sebesar 43% dibanding yang diairi normal (300 mm/musim). Jika dibandingkan dengan yang tidak disemprot sorbitol, penyemprotan dengan konsentrasi 10 ml/l sebanyak lima kali dapat meningkatkan bobot kering tanaman sebesar 1.4 g/tanaman. Peningkatan konsentrasi penyemprotan osmolit sorbitol menjadi 15 dan 20 ml/l, masing-

masing mampu menekan penurunan produksi bahan kering sebesar 28.6% dan 16.3%. Hal ini berarti ketahanan tanaman dapat ditingkatkan sebesar 83.7%. Apabila dibanding dengan tanaman yang tidak disemprot osmolit sorbitol, penyemprotan osmolit sorbitol 15 dan 20 ml/l sebanyak lima kali dapat meningkat produksi bahan kering sebanyak 2.8 dan 4 g/tan.

Tabel 5.23. Bobot Kering Tanaman Kacang hijau Akibat Interaksi antara Konsentrasi Penyemprotan Osmolit Sorbitol dan Waktu PENCEKAMAN Kekurangan Air yang Berbeda

Waktu PENCEKAMAN	Bobot Kering Tanaman (g/tan) pada umur .....				
	15 hari	25 hari	35 hari	45 hari	55 hari
<b>Tanpa cekaman</b>					
+ sorbitol 0 ml/l	0.32 g	1.02 hi	3.26 hij	7.12 hi	9.56 l
+ sorbitol 10 ml/l	0.31 g	1.02 hi	3.22 hij	7.16 hi	9.62 l
+ sorbitol 15 ml/l	0.30 d-g	1.04 hi	3.27 hij	7.31 hi	9.94 l
+ sorbitol 20 ml/l	0.33 gh	1.05 hi	3.67 ij	7.60 l	9.76 l
<b>Sepanjang hidup (0-60 hst)</b>					
+ sorbitol 0 ml/l	0.18 ab	0.33 a	1.06 a	2.30 a	2.64 a
+ sorbitol 10 ml/l	0.23 bc	0.39 ab	1.73 a-d	2.93 abc	3.22ab
+ sorbitol 15 ml/l	0.26 b-f	0.45 abc	2.28 d-g	3.64 cd	3.94 bc
+ sorbitol 20 ml/l	0.30 d-g	0.54 bc	2.91 gh	4.03 de	4.99def
<b>Stadia Vegetatif (0-35 hst)</b>					
+ sorbitol 0 ml/l	0.18 ab	0.34 a	1.06 a	2.69 a	4.11 bcd
+ sorbitol 10 ml/l	0.23 bc	0.45 abc	1.91 b-e	3.75 d	5.41 ef
+ sorbitol 15 ml/l	0.25 b-f	0.55 cd	2.62 e-h	4.08 de	6.44 ghi
+ sorbitol 20 ml/l	0.31 g	0.55 cd	3.00 hi	4.97 f	7.46 jk
<b>Stadia generatif (35-60 Hst)</b>					
+ sorbitol 0 ml/l	0.23 b-d	0.93 gh	3.06 hi	3.75 ab	4.05 bcd
+ sorbitol 10 ml/l	0.28 c-g	1.00 hi	3.31 hij	4.21 de	5.46 efg
+ sorbitol 15 ml/l	0.32 g	1.03 hi	3.69 ij	5.01 fg	6.83 hij
+ sorbitol 20 ml/l	0.39 h	1.08 l	3.94 j	5.64 gh	8.00 k
<b>Umur 10-20 dan 35-45 Hst</b>					
+ sorbitol 0 ml/l	0.16 a	0.35 a	1.49 abc	2.65 a	4.14 bcd
+ sorbitol 10 ml/l	0.24 b-e	0.40 abc	1.92 b-e	3.47 bcd	4.89 cde
+ sorbitol 15 ml/l	0.26 c-g	0.46 abc	2.22 c-g	4.12 de	5.96 fgh
+ sorbitol 20 ml/l	0.30 d-g	0.50 bc	2.83 gh	4.57 ef	6.76 hij
<b>Umur 21-45 hst</b>					
+ sorbitol 0 ml/l	0.27 c-g	0.46 abc	1.34 a	2.27 a	3.78 b
+ sorbitol 10 ml/l	0.29 e-g	0.60 de	2.07 c-f	3.70 d	4.96 de
+ sorbitol 15 ml/l	0.31 fg	0.73 ef	2.71 fgh	3.82 de	5.99 fgh
+ sorbitol 20 ml/l	0.34 h	0.81 fg	3.08 hi	4.20 de	7.22 ijk
Duncan's	*	*	*	*	*

Keterangan : Angka yang diikuti huruf sama pada setiap pengamatan tidak berbeda nyata pada uji Duncan's, + = disemprot, \* = berpengaruh nyata

Pada Tabel 5.23 terlihat pula bahwa tanaman kacang hijau yang mengalami kekurangan pada stadia umur 10-20 hari dan 35-45 hari berakibat terjadi penurunan produksi bahan kering sebesar 54.2% dibanding tanaman yang tidak tercekam kekurangan air. Penyemprotan osmolit sorbitol dengan konsentrasi 10 ml/l sebanyak enam kali belum mampu meningkatkan produksi bahan kering secara bermakna bila dibanding dengan tanaman yang tidak disemprot. Tetapi apabila konsentrasi penyemprotan osmolit sorbitol ditingkatkan menjadi 20 ml/l produksi bahan kering dapat ditingkatkan sebesar 63%. Jika dibandingkan dengan tanaman yang tidak pernah tercekam, maka penyemprotan osmolit sorbitol 20 ml/l sebanyak enam kali mampu mengurangi penurunan produksi bahan kering tanaman sebesar 29.3% . Berarti ketahanan tanaman mampu ditingkatkan sebesar 70.7%.

Kekurangan air yang terjadi selama tanaman berumur 21-45 hari berakibat turunnya produksi bahan kering sebesar 60.5% dibanding tanaman yang tidak pernah kekurangan air. Jika tanaman tersebut disemprot osmolit sorbitol 10 ml/l sebanyak enam kali penurunan produksi bahan kering dapat ditekan hingga 48%. Apabila konsentrasi sorbitol ditingkatkan menjadi 20 ml/l penurunan produksi bahan kering dapat ditekan sampai 24.5%. Ini berarti dengan penyemprotan osmolit sorbitol pada tanaman yang mengalami cekaman kekurangan air pada umur 21-45 hari ketahanan tanaman dalam memproduksi bahan kering dapat ditingkatkan sampai 75.5% dari tanaman yang tidak pernah mengalami cekaman kekurangan air.

Berdasarkan hasil di atas maka dapat diketahui bahwa penyemprotan osmolit sorbitol pada konsentrasi 20 ml/l sebanyak lima kali mampu meningkatkan ketahanan tanaman dalam memproduksi bahan kering pada tanaman yang mengalami cekaman kekurangan air pada berbagai stadia, antara lain tanaman kacang hijau yang tercekam kekurangan air pada stadia generatif = 83.6%, stadia vegetatif = 78%, stadia umur 21-45 hari = 75.5%, stadia umur 10-20 dan 35-45 hari = 70.1% dan sepanjang umurnya = 52.2%.

#### 4.2.1.7. Indeks luas daun

Indeks luas daun adalah perbandingan antara luas daun dengan lahan yang ternaungi tajuk tanaman. Nilai indeks luas daun ini memperlihatkan tingkat potensi permukaan yang difungsikan untuk fotosintesis. Semakin tinggi nilai indeks luas daun semakin besar pula potensi penghasil fotosintat (Guritno dan Sitompul, 1995). Tingginya ILD membawa konsekuensi terhadap tingkat persaingan cahaya bagi helaian daun tanaman, semakin tinggi nilai ILD semakin besar kemampuan tajuk tanaman untuk mengurangi energi matahari yang sampai pada bagian tajuk lebih dalam, akibatnya daun tanaman menjadi tidak efisien dalam memanfaatkan energi matahari. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa interaksi antara waktu pencekaman air dan konsentrasi penyemprotan osmolit sorbitol berpengaruh terhadap indeks luas daun sampai umur 45 hari (Lampiran Tabel 24). Pengujian statistik dari hasil pengamatan disajikan pada Tabel 5.24.

Tabel 5.24. Indeks Luas Daun Tanaman Kacang Hijau Akibat Pengaruh Interaksi Waktu Pencekaman Air dengan Konsentrasi Penyemprotan Osmolit Sorbitol

Perlakuan	Indeks Luas Daun pada umur				
	15 hari	25 hari	35 hari	45 hari	55 hari
<b>Tanpa cekaman</b>					
+ sorbitol 0 ml/l	0.34 cd	0.68 cd	2.30 ghi	2.84 i	1.18
+ sorbitol 10 ml/l	0.34 cd	0.82 def	2.34 hi	2.86 i	1.26
+ sorbitol 15 ml/l	0.34 d	0.82 def	2.36 ni	2.88 i	1.24
+ sorbitol 20 ml/l	0.36 d	0.90 f	2.38 hi	2.86 i	1.38
<b>Sepanjang hidup (0-60 hst)</b>					
+ sorbitol 0 ml/l	0.22 a	0.40 a	0.56 a	0.54 a	0.24
+ sorbitol 10 ml/l	0.28 ab	0.52 ab	0.68 a	0.74 a	0.46
+ sorbitol 15 ml/l	0.34 bcd	0.70 cde	1.00 b	1.08 b	0.52
+ sorbitol 20 ml/l	0.38 d	0.88 f	1.30 b-d	1.28 b	0.58
<b>Stadia Vegetatif (0-35 hst)</b>					
+ sorbitol 0 ml/l	0.24 a	0.44 a	0.98 b	1.10 b	0.50
+ sorbitol 10 ml/l	0.28 abc	0.50 ab	1.24 bc	1.34 b	0.92
+ sorbitol 15 ml/l	0.32 bcd	0.68 cd	1.58 d	1.76 cd	1.12
+ sorbitol 20 ml/l	0.34 d	0.96 g	1.96 fg	2.06 def	1.24
<b>Stadia generatif (35-60 hst)</b>					
+ sorbitol 0 ml/l	0.32 bcd	0.82 def	1.56 de	1.68 c	0.40
+ sorbitol 10 ml/l	0.32 bcd	0.82 def	2.00 fg	2.10 ef	0.52
+ sorbitol 15 ml/l	0.32 bcd	0.82 def	2.26 ghi	2.40 fg	0.76
+ sorbitol 20 ml/l	0.34 cd	0.88 f	2.54 i	2.78 hi	0.86
<b>Umur 10-20 dan 35-45 hst</b>					
+ sorbitol 0 ml/l	0.22 a	0.48 ab	1.60 de	1.64 c	0.74
+ sorbitol 10 ml/l	0.26 ab	0.62 bc	1.98 fg	2.04 de	0.96
+ sorbitol 15 ml/l	0.32 bcd	0.76 c-f	1.96 fg	2.34 efg	1.14
+ sorbitol 20 ml/l	0.36 d	0.92 f	2.38 hi	2.52 gh	1.40
<b>Umur 21-45 hst</b>					
+ sorbitol 0 ml/l	0.32 bcd	0.84 def	1.54 cde	1.66 c	0.70
+ sorbitol 10 ml/l	0.32 bcd	0.82 def	1.72 ef	1.82 cd	0.90
+ sorbitol 15 ml/l	0.32 bcd	0.88 f	2.08 gh	2.18 ef	1.24
+ sorbitol 20 ml/l	0.34 cd	0.86 ef	2.30 ghi	2.38 fg	1.34
	*	*	*	*	tn

Keterangan : Angka yang diikuti huruf sama pada setiap pengamatan tidak berbeda nyata pada uji Duncan's + = disemprot , \* berbeda nyata, tn = tidak nyata.

Tabel 5.24 menyajikan hasil pengujian bahwa indeks luas daun maksimum terjadi pada tanaman umur 45 hari dan setelah melampaui umur tersebut indeks luas daun mulai turun. Indeks luas daun maksimum tanaman kacang hijau yang tidak pernah mengalami cekaman kekurangan air adalah mencapai

nilai tertinggi yaitu 2.8, sedangkan yang terendah adalah tanaman yang selalu tercekam kekurangan air selama hidupnya sebesar 0.5.

Penyemprotan osmolit sorbitol pada tanaman kacang hijau yang selalu kecukupan air tidak berpengaruh terhadap perbedaan indeks luas daun. Hal tersebut terbukti dari penyemprotan osmolit sorbitol sampai konsentrasi 20 ml/l indeks luas daunnya tidak berbeda.

Tanaman kacang hijau yang selalu dalam kondisi tercekam kekurangan air selama hidupnya berdampak pada penurunan nilai indeks luas daun sebesar 75.7%. Penyemprotan osmolit sorbitol dengan konsentrasi 10 ml/l sebanyak 10 kali ternyata belum mampu memperlihatkan peningkatan indeks luas daun. Peningkatan nilai indeks luas daun baru mulai terlihat setelah konsentrasi penyemprotan ditingkatkan menjadi 15 ml/l. Pada kondisi tersebut bila konsentrasi penyemprotan ditingkatkan sampai 20 ml/l ternyata tidak berbeda dengan yang disemprot 15 mm/L. Pada tanaman kacang hijau yang selalu tercekam kekurangan air indeks luas daun tertinggi mencapai 1.30, yang diperoleh akibat penyemprotan osmolit sorbitol dengan konsentrasi 20 ml/l sebanyak 10 kali. Penyemprotan osmolit sorbitol dengan konsentrasi 20 ml/l mampu meningkatkan ketahanan tanaman terhadap perkembangan indeks luas daun sebesar 56.5% dari tanaman yang selalu kecukupan air.

Pencekaman kekurangan air pada stadia vegetatif berdampak pada turunnya nilai indeks luas daun sebesar 61.3% dibanding tanaman yang tumbuh normal pada kondisi cukup air. Tanaman ini bila disemprot osmolit sorbitol dengan konsentrasi 20 ml/l air sebanyak lima kali maka nilai indeks

luas daun maksimum meningkat sebesar 2.06, ini berarti penurunan nilai indeks luas daun dapat ditekan sampai 27.5%. Bila dibandingkan dengan tanaman yang selalu kecukupan air, ternyata penyemprotan sorbitol 20 ml/l mampu meningkatkan ketahanan indeks luas daun sebesar 72.5%.

Pada tanaman kacang hijau yang tercekam kekurangan air selama stadia generatif, terjadi penurunan indeks luas daun maksimum sebesar 40.8% dibanding tanaman yang tidak tercekam. Penyemprotan osmolit sorbitol 10 ml/l sebanyak lima kali ternyata sudah mampu memperkecil penurunan nilai indeks luas daun sebesar 26.1%. Peningkatan konsentrasi penyemprotan osmolit sorbitol sampai konsentrasi 20 ml/l, indeks luas daunnya dapat ditingkatkan dari 1.68 menjadi 2.78. Penyemprotan osmolit sorbitol dengan konsentrasi 20 ml/l pada tanaman yang tercekam kekurangan air selama stadia generatif ternyata mampu memperkecil penurunan nilai indeks luas daun sebesar 2.1% dibanding tanaman yang tidak pernah mengalami kekurangan air. Ini berarti pada penyemprotan dengan konsentrasi 20 ml/l mampu meningkatkan ketahanan indeks luas daun maksimum tanaman kacang hijau sebesar 97.9%.

Cekaman kekurangan air yang terjadi pada tanaman kacang hijau selama umur 21-45 hari, mengalami penurunan nilai indeks luas daun sebesar 41.5% dibanding tanaman yang tidak tercekam. Pengaruh penyemprotan osmolit sorbitol pada tanaman yang tercekam selama stadia ini baru terlihat pada konsentrasi 15-20 ml/L. Penyemprotan sorbitol 20 ml/l sebanyak enam kali pada tanaman yang tercekam selama umur 21-45 hari dapat memperkecil

penurunan nilai indeks luas daun sebesar 16.2% bila dibanding tanaman yang tidak pernah tercekam kekurangan air. Hal ini menunjukkan bahwa penyemprotan sorbitol 20 ml/l sebanyak enam kali mampu meningkatkan ketahanan indeks luas daun maksimum kacang hijau sebesar 83.8%. Bila dibandingkan dengan yang tidak disemprot ternyata penyemprotan sorbitol 15-20 ml/l dapat meningkatkan indeks luas daun maksimum sebesar 31-43%. Indeks luas daun maksimum yang disemprot 15 dan 20 ml/L adalah tidak berbeda, yang nilainya masing-masing adalah 2.18 dan 2.38.

Berdasarkan gambaran di atas tampak bahwa stadia yang paling kritis akibat pencekaman air terhadap indeks luas daun adalah pada stadia vegetatif, hal ini terbukti nilai indeks luas daun pada tanaman yang tercekam selama stadia vegetatif paling rendah dibanding yang tercekam selama stadia generatif, umur 21-45 hari maupun yang tercekam pada umur 10-20 dan 35-45 hari. Penyemprotan osmolit sorbitol pada konsentrasi 15-20 ml/l pada tanaman yang mengalami cekaman kekurangan air ternyata mampu meningkatkan ketahanan tanaman dalam mempertahankan indeks luas daun tanaman.

#### 5.2.1. 8. Laju pertumbuhan relatif tanaman

Kecepatan pertumbuhan tanaman dinyatakan dengan besarnya pertambahan bahan kering per satuan waktu. Hasil analisis statistik menunjukkan laju pertumbuhan relatif tanaman kacang hijau dipengaruhi oleh interaksi antara periode pencekaman dan konsentrasi penyemprotan sorbitol

yang dilakukan selama tanaman mengalami cekaman (Lampiran Tabel 25). Interaksi dari dua faktor tersebut baru tampak pengaruhnya terhadap laju pertumbuhan relatif pada umur 25-45 hari dan yang paling tinggi terjadi pada umur 35-45 hari (Tabel 5.24).

Tabel 5.25. Laju Pertumbuhan Relatif Tanaman Kacang Hijau Kultivar Walet akibat Pengaruh Interaksi Waktu PENCEKAMAN Air dengan Penyemprotan Osmolit Sorbitol

Perlakuan	Laju pertumbuhan ( $\text{mg.g}^{-1}\text{hari}^{-1}$ ) pada umur .....			
	15 – 25 hst	25-35 hst	35-45 hst	45-55 hst
<b>Tanpa cekaman</b>				
+ sorbitol 0 ml/l	70	210 f-j	340 jk	260
+ sorbitol 10 ml/l	70	230 hij	340 k	270
+ sorbitol 15 ml/l	70	230 hij	320 ijk	270
+ sorbitol 20 ml/l	70	250 ij	340 k	240
<b>Sepanjang hidup (0-60 hst)</b>				
+ sorbitol 0 ml/l	20	70 a	100 a	30
+ sorbitol 10 ml/l	20	140 bcd	150 bcd	30
+ sorbitol 15 ml/l	20	210 f-j	220 efg	30
+ sorbitol 20 ml/l	20	260 ij	260 fgh	100
<b>Stadia Vegetatif (0-35 hst)</b>				
+ sorbitol 0 ml/l	30	80 ab	120 ab	90
+ sorbitol 10 ml/l	20	150 cde	240 fgh	170
+ sorbitol 15 ml/l	20	220 g-j	290 hij	240
+ sorbitol 20 ml/l	30	280 jk	330 jk	250
<b>Stadia generatif (35-60 hst)</b>				
+ sorbitol 0 ml/l	70	160 c-f	100 a	30
+ sorbitol 10 ml/l	70	200 e-l	140 abc	130
+ sorbitol 15 ml/l	70	260 ij	190 cde	180
+ sorbitol 20 ml/l	70	330 k	270 ghi	240
<b>Umur 10-20 dan 35-45 hst</b>				
+ sorbitol 0 ml/l	20	110 abc	140 abc	60
+ sorbitol 10 ml/l	20	160 c-g	190 cde	140
+ sorbitol 15 ml/l	20	210 f-j	250 fgh	180
+ sorbitol 20 ml/l	20	250 ij	290 hij	220
<b>Umur 21-45 hst</b>				
+ sorbitol 0 ml/l	20	100 abc	100 a	50
+ sorbitol 10 ml/l	30	180 d-h	160 bcd	130
+ sorbitol 15 ml/l	40	220 g-j	220 efg	110
+ sorbitol 20 ml/l	50	240 ij	280 hij	130
	tn	*	*	tn

Keterangan : Angka yang diikuti huruf sama pada setiap pengamatan tidak berbeda nyata pada uji Duncan's , tn = tidak nyata dan \* = berbeda nyata

Tabel 5.25 terlihat bahwa tanaman kacang hijau yang selalu mengalami cekaman kekurangan air selama hidupnya, laju pertumbuhan relatifnya turun 70.6% dibanding tanaman yang tidak pernah tercekam. Penyemprotan osmolit sorbitol dengan konsentrasi 10 ml/l sebanyak 10 kali ternyata mampu meningkatkan laju pertumbuhan relatif sebesar  $0.05 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{hari}^{-1}$  lebih tinggi dibanding yang tidak disemprot. Laju pertumbuhan relatif tampak terus meningkat dengan semakin bertambahnya umur tanaman sampai masa pengisian polong dan setelah melampaui umur 45 hari laju pertumbuhan mulai turun. Apabila konsentrasi penyemprotan osmolit ditingkatkan sampai 15-20 ml/l, laju pertumbuhan relatifnya meningkat masing-masing mencapai 0.12 dan 0.16 g/hari. Penyemprotan osmolit sorbitol 20 ml/l sebanyak 10 kali, mampu meningkatkan ketahanan laju pertumbuhan relatif tanaman sebesar 76.5% dari tanaman yang selalu kecukupan air.

Tanaman kacang hijau yang mengalami cekaman kekurangan air selama stadia vegetatif berpengaruh terhadap turunnya laju pertumbuhan relatif sebesar 64.7% dibanding tanaman yang tidak pernah tercekam kekurangan air. Kemerosotan ini ternyata dapat diperkecil bila tanaman yang tercekam kekurangan air tersebut disemprot osmolit sorbitol. Penyemprotan osmolit sorbitol 20 ml/l sebanyak lima kali ternyata mampu menekan penurunan laju pertumbuhan relatif sebesar 2.9%. Hal ini berarti ketahanan laju pertumbuhan relatif tanaman kacang hijau dapat ditingkatkan sebesar 97.1%.

Kekurangan air selama stadia generatif juga berakibat turunnya laju pertumbuhan relatif tanaman yaitu 70.6% lebih rendah dari yang tidak tercekam. Penyemprotan osmolit sorbitol 15-20 ml/l sebanyak 5 kali, pada tanaman yang tercekam kekurangan air selama stadia generatif mampu memperkecil penurunan laju pertumbuhan relatif sebesar 20.6% di banding tanaman yang tanaman yang tidak tercekam, sehingga ketahanan tanaman meningkat mendekati tanaman kacang hijau yang selalu kecukupan air, yaitu sebesar 79.4%.

Dari uraian di atas terbukti bahwa penyemprotan osmolit sorbitol pada tanaman kacang hijau yang sedang mengalami kekurangan air mampu meningkatkan ketahanan laju pertumbuhan relatif. Penyemprotan osmolit sorbitol dengan konsentrasi 20 ml/l sebanyak lima kali pada tanaman yang mengalami cekaman kekurangan air pada stadia vegetatif laju pertumbuhan relatifnya tidak berbeda dengan tanaman yang tidak pernah tercekam kekurangan air.

#### 5.2.1.9. Kandungan air relatif daun

Tanaman yang tumbuh dalam kondisi tanah kecukupan air memperlihatkan hubungan yang erat dengan kandungan air di dalam daun. Kandungan air di dalam daun merupakan salah satu komponen yang mempunyai peranan penting dalam aktivitas metabolisme tanaman. Kandungan air di dalam daun berpengaruh terhadap proses membukanya stomata. Hasil percobaan menunjukkan bahwa waktu pencekaman maupun

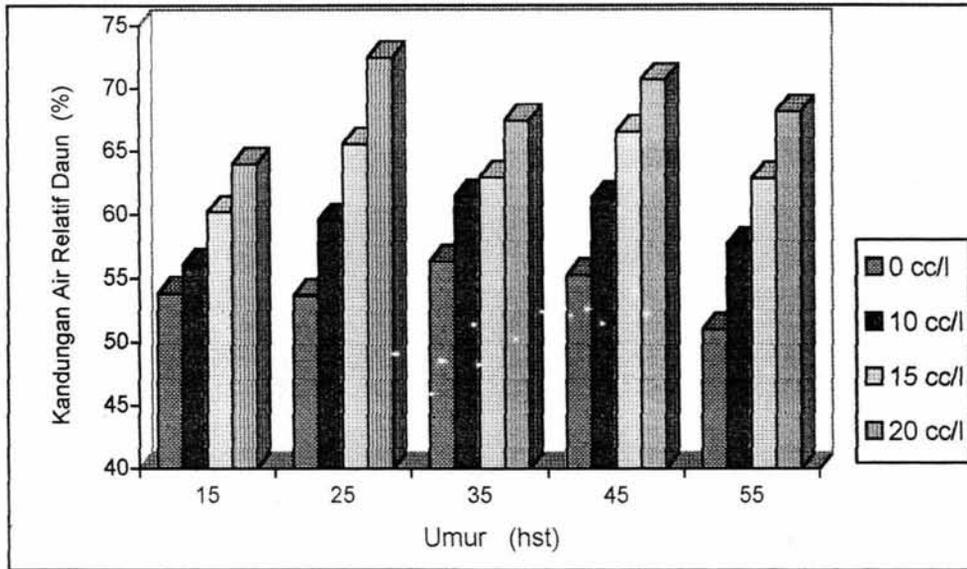
konsentrasi penyemprotan sorbitol masing-masing mempengaruhi kandungan air di dalam daun dan rata-ratanya disajikan dalam Tabel 5.26.

Tabel 5.26. Kandungan Air Relatif Daun Tanaman Kacang Hijau Walet pada waktu pencekaman air yang berbeda

Perlakuan	Kandungan Air Relatif Daun (%) pada umur ....				
	15 hst	25 hst	35 hst	45 hst	55 hst
Stadia Cekaman					
Tanpa cekaman	66.14 c	71.22 c	74.38 c	72.11 c	67.91 d
Sepanjang hidup (0-60)	53.22 a	55.65 a	55.43 a	53.78 a	52.88 a
Stadia Vegetatif (0-35)	51.87 a	58.95 a	56.97 a	71.66 c	63.94 c
Stadia generatif (35-60)	59.48 b	67.32 bc	63.93 b	56.50 a	56.71 b
Umur 10-20 dan 35-45	56.08 ab	57.44 a	64.51 b	64.28 b	60.15 b
Umur 21-45 hst	64.33 c	66.34 b	57.05 a	62.47 b	57.98 b
Duncan's	*	*	*	*	*

Keterangan : Angka-angka yang didampingi oleh huruf yang sama pada setiap umur pengamatan tidak berbeda nyata. \* = berbeda nyata

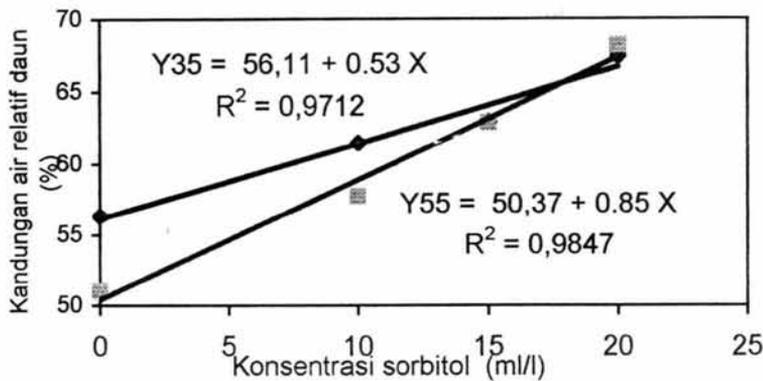
Dalam tabel 5.26 terlihat bahwa tanaman kacang hijau yang memperoleh pengairan normal (300 mm/musim) sepanjang hidupnya, ternyata kandungan air relatif pada daun paling tinggi, dan paling rendah adalah pada tanaman yang tercekam sepanjang hidupnya. Pada saat tanaman sebelum berbunga kandungan air daun yang rendah adalah tercekam selamanya, tercekam selama stadia vegetatif dan tercekam umur 10-20 dan 35-45 hari. Hal ini disebabkan pada saat itu ke tiga perlakuan tersebut sedang dalam kondisi tercekam kekurangan air, terbukti setelah tidak dicekam lagi, yaitu pada umur di atas 35 hari kandungan air relatif di dalam daun tampak lebih tinggi.



Gambar 5.9. Kandungan Air Relatif Daun Kacang Hijau Kultivar Walet pada Tingkat penyemprotan Osmolit sorbitol yang berbeda.

Penyemprotan osmolit sorbitol pada daun tanaman kacang hijau mempunyai pengaruh yang positif terhadap peningkatan kandungan air relatif daun. Penyemprotan sorbitol dengan konsentrasi 10 ml/l pada tanaman umur 25 hari dapat meningkatkan kandungan air relatif daun sebesar 6% dari tanaman yang tanpa disemprot. Jika konsentrasi penyemprotan sorbitol ditingkatkan menjadi 15-20 ml/l, peningkatan kandungan air daun tersebut dapat mencapai 12-19%. Pada saat tanaman kacang hijau sudah masuk stadia generatif, peningkatan konsentrasi penyemprotan osmolit sorbitol di atas 10 ml/l mampu meningkatkan kandungan air dalam daun sebesar 11.3-15.5% lebih tinggi dari yang tidak disemprot. Tabel 5.26 juga terlihat bahwa kandungan air pada daun yang muda relatif lebih tinggi dibandingkan dengan daun tanaman yang sudah tua. Pada Gambar 5.10 diperlihatkan bahwa kandungan air relatif

mempunyai hubungan linier dengan konsentrasi penyemprotan osmolit sorbitol.



Gambar 5.10. Hubungan antara konsentrasi penyemprotan sorbitol dan kandungan air relatif daun

Dalam gambar tersebut terlihat bahwa tanaman yang tidak disemprot sorbitol kandungan air di dalam daun relatif paling rendah, semakin ditingkatkan konsentrasi penyemprotan sorbitol diikuti oleh bertambah tingginya kandungan air di daun. Penyemprotan sorbitol pada stadia generatif ternyata mampu meningkatkan kandungan air daun relatif lebih tinggi dibanding penyemprotan sorbitol pada saat tanaman berada pada stadia vegetatif. Dari persamaan tersebut kontribusi sorbitol dalam peningkatan kandungan air daun pada umur 35 hari adalah sebesar 0.53% per *ml* sorbitol dan pada umur 55 hari kontribusi setiap 1 ml sorbitol mampu meningkatkan kandungan air daun sebesar 0.85%. Dari gambaran ini dapat dijelaskan bahwa penyemprotan sorbitol pada daun tanaman yang kekurangan air mampu meningkatkan kandungan air daun. Peningkatan kandungan air daun berdampak pada meningkatnya turgor sel stomata. Tingginya tekanan turgor tersebut dapat berakibat membukanya stomata.

## 5.2.1.10. Luas daun spesifik

Luas daun spesifik merupakan salah satu metode untuk mengevaluasi karakteristik daun tanaman, yaitu yang berhubungan dengan tebal daun. Nilai luas daun spesifik ditetapkan berdasarkan besarnya luas daun dengan berat kering daun. Hasil analisis ternyata interaksi antara waktu pencekaman dan konsentrasi penyemprotan osmolit tidak mempengaruhi luas daun spesifik (Lampiran Tabel 27). Pengujian hasil perhitungan menunjukkan bahwa waktu pencekaman berpengaruh terhadap luas daun spesifik (Tabel 5.27).

Tabel 5.27. Luas Daun Spesifik Tanaman Kacang Hijau Walet pada Waktu Pencekaman dan Konsentrasi Penyemprotan Osmolit Sorbitol

Perlakuan	Luas daun spesifik ( $cm^2/mg$ ) pada umur ....				
	15 hst	25 hst	35 hst	45 hst	55 hst
Stadia Cekaman					
Tanpa cekaman	0.75 b	0.69 b	0.62 c	0.57 d	0.57 d
Sepanjang hidup	0.47 a	0.40 a	0.35 a	0.31 a	0.31 a
Stadia Vegetatif (0-35)	0.46 a	0.41 a	0.36 a	0.32 a	0.32 a
Stadia generatif (35-60)	0.74 b	0.68 b	0.60 bc	0.54 c	0.53 c
Umur 10-20 dan 35-45	0.47 a	0.41 a	0.37 a	0.32 a	0.32 a
Umur 21-45 hst	0.74 b	0.66 b	0.57 b	0.49 b	0.49 b
Duncan's	*	*	*	*	*
Konsentrasi Sorbitol (ml/l)					
0	0.57 a	0.52 a	0.45 a	0.41 a	0.40 a
10	0.59 ab	0.53 a	0.46 a	0.41 a	0.41 a
15	0.62 bc	0.55 ab	0.49 b	0.43 b	0.43 b
20	0.63 c	0.57 b	0.50 b	0.45 c	0.44 b
BNT	*	*	*	*	*

Keterangan : Angka pada masing-masing faktor yang didampingi oleh huruf yang sama pada setiap umur pengamatan tidak berbeda nyata. \* = berbeda nyata, hst = hari setelah tanam. -

Luas daun spesifik juga dapat digunakan untuk menyatakan ketebalan daun, yaitu semakin tinggi nilai luas daun spesifik berarti daun semakin tipis

(Sitompul dan Guritno, 1995). Dengan demikian berarti pada tanaman kacang hijau kultivar Walet yang tercekam selama hidupnya mempunyai daun kecil-kecil dan lebih tebal dibandingkan yang berada pada kondisi lingkungan tumbuh cukup air. Tanaman yang tercekam selama hidupnya maupun yang mengalami cekaman kekurangan air selama stadia vegetatif dan yang tercekam pada umur 10-20 hari dan 35-45 hari mempunyai nilai luas daun spesifik yang sama dan lebih kecil bila dibanding tanaman yang kecukupan air maupun yang tercekam kekurangan air selama stadia generatif. Tanaman kacang hijau yang berada dalam kondisi tercekam air pada stadia yang peka perkembangan daun dan proses fotosintesis juga terhambat, sehingga produksi bahan keringnya rendah.

Penyemprotan osmolit sorbitol berpengaruh pada luas daun spesifik. Penyemprotan osmolit sorbitol pada tanaman kacang hijau dengan konsentrasi 15-20 ml/l memperlihatkan luas daun spesifik lebih tinggi dibanding tanaman yang tidak disemprot osmolit. Hal ini memperlihatkan pula bahwa penyemprotan osmolit sorbitol dengan konsentrasi lebih tinggi berdampak laju proses fotosintesisnya lebih besar, sehingga perkembangan sel lebih cepat dan akibatnya perkembangan luas daun bertambah cepat. Hal tersebut dicerminkan oleh tingginya luas daun tanaman, namun lebih tipis dibanding yang tidak disemprot osmolit sorbitol.

#### 5.2.1.11. Harga satuan daun

Nilai harga satuan daun bagi tanaman dapat digunakan untuk mengevaluasi tingkat efisiensi daun dalam berfotosintesis. Hasil analisis statistik ternyata interaksi antara waktu pencekaman air dan konsentrasi penyemprotan osmolit sorbitol mempengaruhi nilai harga satuan daun. Dampak penyemprotan osmolit sorbitol pada tanaman yang tercekam kekurangan air umumnya lebih baik dibanding yang tidak disemprot. Pada tanaman yang tidak mengalami cekaman kekurangan air penyemprotan sorbitol tidak berpengaruh terhadap nilai harga satuan daun. Pada tanaman kacang hijau yang tercekam sepanjang hidupnya penyemprotan sebanyak 10 ml belum menunjukkan perbedaan, tetapi setelah konsentrasi sorbitol ditingkatkan menjadi 15 –20 ml/l ternyata nilai harga satuan daun dapat meningkat sebesar 109% dibandingkan dengan yang tidak disemprot sorbitol. Sedangkan pada tanaman kacang hijau yang mengalami cekaman kekurangan air selama stadia vegetatif pada pertumbuhan selama umur 35-45 hari, penyemprotan sorbitol sebanyak 15 dan 20 ml/l mampu meningkatkan nilai harga satuan daun masing-masing sebesar 116–143% dibandingkan dengan yang tidak disemprot sorbitol. Dalam tabel 5.27 terlihat bahwa pada akhir stadia vegetatif nilai harga satuan daun tanaman kacang hijau mencapai tingkat paling tinggi. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5.28.

Tabel 5.28. Harga Satuan Daun Tanaman Kacang Hijau Kultivar Walet akibat Pengaruh Interaksi Waktu Pencekaman Air dengan Penyemprotan Osmolit Sorbitol

Perlakuan	Harga satuan daun ( $\text{mg.cm}^{-2}\text{hari}^{-1}$ ) pada umur ...		
	15 – 25 hst	25-35 hst	35-45 hst
<b>Tanpa cekaman</b>			
+ sorbitol 0 ml/l	0.58 f	1.81 k	3.38 gh
+ sorbitol 10 ml/l	0.61 f	1.83 k	3.05 fgh
+ sorbitol 15 ml/l	0.63 f	1.78 k	3.17 gh
+ sorbitol 20 ml/l	0.58 f	1.86 k	3.33 gh
<b>Sepanjang hidup (0-60 hst)</b>			
+ sorbitol 0 ml/l	0.27 bcd	0.37 a	1.05 a
+ sorbitol 10 ml/l	0.25 bc	0.44 abc	1.52 abc
+ sorbitol 15 ml/l	0.31 cd	0.47 bc	2.14 cde
+ sorbitol 20 ml/l	0.39 e	0.59 de	2.82 efg
<b>Stadia Vegetatif (0-35 hst)</b>			
+ sorbitol 0 ml/l	0.35 de	0.53 cd	1.54 abc
+ sorbitol 10 ml/l	0.40 e	0.81 fg	2.15 cde
+ sorbitol 15 ml/l	0.34 cde	0.94 hi	3.32 gh
+ sorbitol 20 ml/l	0.36 de	0.97 hi	3.74 h
<b>Stadia generatif (35-60 hst)</b>			
+ sorbitol 0 ml/l	0.57 f	0.66 e	1.41 abc
+ sorbitol 10 ml/l	0.59 f	0.88 gh	2.33 def
+ sorbitol 15 ml/l	0.58 f	1.02 j	2.78 efg
+ sorbitol 20 ml/l	0.61 f	1.37 j	3.00 efg
<b>Umur 10-20 dan 35-45 hst</b>			
+ sorbitol 0 ml/l	0.20 ab	0.41 ab	1.37 ab
+ sorbitol 10 ml/l	0.22 ab	0.44 abc	1.33 ab
+ sorbitol 15 ml/l	0.21 ab	0.57 de	2.09 bcd
+ sorbitol 20 ml/l	0.25 bc	0.64 e	2.85 fg
<b>Umur 21-45 hst</b>			
+ sorbitol 0 ml/l	0.15 a	0.46 abc	1.89 bcd
+ sorbitol 10 ml/l	0.25 bc	0.60 de	2.34 def
+ sorbitol 15 ml/l	0.31 cde	0.63 e	3.22 gh
+ sorbitol 20 ml/l	0.36 de	0.65 e	3.68 h
Duncan's	*	*	*

Keterangan : Angka yang diikuti huruf sama pada setiap pengamatan tidak berbeda nyata pada uji Duncan's , \* = berbeda nyata

Pada tabel di atas terlihat bahwa tanaman kacang hijau Walet yang tercekam selama hidupnya berakibat harga satuan daunnya turun sebesar 68.9% dibanding yang tidak pernah tercekam. Tetapi apabila tanaman tersebut

disemprot 20 ml/l sebanyak 10 kali penurunan nilai harga satuan daun dapat diperkecil sampai 4.9%. Bahkan penyemprotan sorbitol dengan konsentrasi 20 ml/l pada tanaman yang tercekam selama stadia vegetatif dan generatif nilai harga satuan daunnya sebesar 10,7 – 11.2% lebih tinggi dibanding tanaman yang tidak pernah tercekam kekurangan air.

#### 5.2.1.12. Kandungan Klorofil

Klorofil merupakan salah satu molekul di dalam tubuh tanaman yang mempunyai peranan penting dalam penyerapan spektrum energi matahari pada proses fotosintesis. Berdasarkan hasil analisis statistik ternyata interaksi antara waktu pencekaman kekurangan air dan penyemprotan sorbitol tidak berpengaruh terhadap kandungan klorofil. Namun dari masing-masing faktor berpengaruh terhadap kandungan klorofil di dalam daun tanaman kacang hijau (Lampiran Tabel 28). Pengamatan pada umur 25 hari dimaksudkan untuk melihat kandungan klorofil pada saat pertumbuhan vegetatif. Berdasarkan hasil analisis ternyata tanaman yang mengalami cekaman kekurangan air selama stadia vegetatif, sepanjang umurnya dan cekaman kekurangan air pada umur 10-20 dan 35-45 hari memperlihatkan kandungan klorofil sama-sama paling rendah. Sedangkan tanaman yang kekurangan air pada stadia generatif dan pada umur 21-45 hari kandungan klorofil tanaman pada umur 25 hari relatif lebih tinggi dan tidak berbeda dengan tanaman yang selalu berada pada kondisi kecukupan air (Tabel 5.29) Hal ini disebabkan pada saat pengamatan umur 25 hari tanaman yang

tercekam kekurangan air selama hidupnya, selama stadia vegetatif dan pada umur 10-20 hari dan 35-45 hari merupakan masa pertumbuhan aktif, sehingga jika pada saat ini tanaman mengalami kekurangan air maka proses pembentukan klorofil menjadi terganggu.

Tabel 5.29. Kandungan Klorofil pada Tanaman Kacang Hijau Tercekam kekurangan air yang disemprot sorbitol

Perlakuan	Kandungan Klorofil (mg/g) pada umur .....		
	25 hst	35 hst	45 hst
Stadia Cekaman			
Tanpa cekaman	119.92 b	166.77 c	214.15 d
Sepanjang hidup	111.25 a	140.77 a	169.94 a
Stadia Vegetatif (0-35)	110.62 a	135.33 a	209.00 c
Stadia generatif (35-60)	120.31 b	168.38 c	176.22 b
Umur 10-20 dan 35-45	112.60 a	159.61 b	173.43 ab
Umur 21-45 hst	119.70 b	136.11 a	171.72 ab
Duncan's	*	*	*
Konsentrasi Sorbitol (ml/l)			
0	111.18 a	146.38 a	179.89 a
10	115.19 ab	149.97 ab	183.97 a
15	117.22 b	153.04 b	188.65 b
20	119.34 b	155.26 b	190.46 b
BNT	*	*	*

Keterangan : Angka pada masing-masing faktor yang didampingi oleh huruf yang sama pada setiap umur pengamatan tidak berbeda nyata

Tabel 5.29 memperlihatkan bahwa tanaman kacang hijau yang mendapatkan pengairan cukup banyak kandungan klorofil paling banyak, sedangkan tanaman yang dalam kondisi tercekam kekurangan air kandungan klorofil daunnya paling rendah. Pengamatan klorofil pada umur 45 hari dimaksudkan untuk melihat situasi klorofil yang terbentuk pada stadia generatif. Ternyata situasi kandungan klorofil pada daun tanaman kacang hijau yang tercekam selama stadia vegetatif sama tidak berbeda dengan tanaman tanpa

mengalami cekaman. Sedangkan tanaman yang dicekam selama hidupnya tidak berbeda dengan yang tercekam kekurangan air pada umur 10-20 dan 35-45 hari serta pada umur 21-45 hari, keduanya mempunyai kandungan klorofil paling rendah.

Penyemprotan osmolit sorbitol pada tanaman kacang hijau dapat membantu meningkatkan kandungan klorofil di dalam daun. Penyemprotan sorbitol sebanyak 15 dan 20 ml/l ternyata mampu meningkatkan kandungan klorofil daun tanaman pada umur 45 hari yaitu masing-masing sebesar 188.65 mg/g dan 190.46 mg/g atau kalau dibandingkan dengan yang tanpa disemprot osmolit sorbitol berarti masing-masing mengakibatkan peningkatan kandungan klorofil sebesar 4.9 –5.96%. Terjadinya peningkatan klorofil memberikan kontribusi terhadap akumulasi bahan kering tanaman, sebagai hasil proses fotosintesis.

#### 5.2.1.13. Kandungan asam absisat (ABA)

Asam absisat merupakan salah satu hormon yang dibentuk oleh tanaman sendiri akibat kondisi lingkungan, utamanya air yang kurang menguntungkan. Bagi tanaman sendiri hormon ini mempunyai peranan sebagai penghambat. Berdasarkan hasil analisis ternyata waktu pencekaman kekurangan air berpengaruh terhadap kandungan asam absisat di dalam daun tanaman kacang hijau, sedangkan penyemprotan osmolit sorbitol dan interaksinya dengan waktu pencekaman kekurangan air tidak berpengaruh (Lampiran Tabel 29). Kandungan asam absisat paling tinggi ditemukan pada

tanaman yang selalu kekurangan air selama hidupnya. Pada tanaman yang selalu kecukupan air, kandungan asam absisat pada stadia vegetatif sebesar 0.7-0.9  $\mu\text{g/g}$  dan pada umur 45 hari kandungannya sebesar 0.10  $\mu\text{g/g}$ . Tanaman yang selalu tercekam kekurangan air kandungan asam absisat di daun pada umur 25 hari sebesar 0.23  $\mu\text{g/g}$  dan pada umur yang lebih tua (45 hari) kandungannya sebesar 0.50  $\mu\text{g/g}$ . Hasil lengkap disajikan di Tabel 5.30.

Tabel 5.30. Kandungan Asam Absisat ( $\mu\text{g/g}$ ) pada Tanaman Kacang Hijau yang Tercekam Kekurangan Air

Perlakuan	Kandungan Asam Absisat ( $\mu\text{g/g}$ ) pada umur ..		
	25 hst	35 hst	45 hst
<b>Stadia Pencekaman</b>			
Tanpa cekaman	0.07 b	0.09 a	0.10 a
Sepanjang hidup (0-60)	0.23 e	0.33 c	0.50 c
Stadia Vegetatif (0-35)	0.21 d	0.32 bc	0.08 a
Stadia generatif (35-60)	0.01 a	0.10 a	0.10 a
Umur 10-20 dan 35-45	0.12 c	0.11 a	0.10 a
Umur 21-45 hst	0.08 b	0.30 b	0.32 b
Duncan's	*	*	*
<b>Konsentrasi Osmolit So Rbitol (ml/l)</b>			
0	0.20 c	0.24 c	0.22 b
10	0.19 bc	0.21 b	0.21 b
15	0.18 ab	0.19 ab	0.19 a
20	0.17 a	0.18 a	0.18 a
BNT	*	*	*

Keterangan : Angka yang didampingi oleh huruf sama pada setiap umur pengamatan tidak berbeda nyata \* = berbeda nyata

Pada Tabel 5.30 terlihat bahwa tanaman yang selalu kecukupan air selama hidupnya ternyata kandungan asam absisat di daun paling rendah dibandingkan pada tanaman yang tercekam kekurangan air. Tanaman kacang hijau yang mengalami cekaman kekurangan air selama stadia vegetatif kandungan asam absisat di dalam daun meningkat tiga kali lipat

dibandingkan tanaman yang tidak tercekam. Tanaman yang tercekam kekurangan air selama stadia generatif (umur 45 hari) peningkatan kandungan asam absisat di dalam daun dapat mencapai 4.7 kali lipat bila dibanding tanaman yang berada dalam kondisi selalu kecukupan air.

Osmolit sorbitol juga mempengaruhi kandungan asam absisat, yaitu tanaman yang tercekam kekurangan air kandungan asam absisat lebih tinggi. Apabila tanaman tersebut disemprot osmolit sorbitol sebanyak 20 ml/l ternyata kandungan asam absisat menjadi turun. Penurunan kandungan asam absisat tersebut bervariasi berhubungan erat dengan umur tanaman pada stadia vegetatif (umur 25 hari) penurunan tersebut sebesar 15% sedangkan pada stadia generatif penurunan kandungan asam absisat sebesar 18.2%. Radin (1984) dalam penelitiannya pada tanaman kapas melaporkan hasil yang serupa bahwa tanaman kapas yang mengalami cekaman air ditemukan kandungan asam absisat semakin tinggi. Tingginya kandungan asam absisat di dalam jaringan tanaman akan mengakibatkan terjadinya penutupan stomata (Terry, Krizek dan Mirecki, 1988). Kandungan asam absisat yang tinggi berakibat turgor sel turun dan akibatnya stomata menutup (Moore, 1979 ; Salisbury dan Ross, 1995). Penutupan stomata bagi tanaman di lingkungan kurang air merupakan reaksi tanaman dalam mempertahankan diri. Namun kondisi tersebut bila berlangsung terus menerus berdampak pada rendahnya produktivitas tanaman. Menutupnya stomata dapat mengganggu proses difusi CO<sub>2</sub> dari udara ke dalam jaringan tanaman, sehingga proses fotosintesis menjadi terganggu pula.

#### 5.2.1.14. Kerapatan stomata

Stomata merupakan organ tanaman sebagai pintu keluar masuknya uap air ataupun gas ke dalam jaringan tanaman. Aktivitas membuka dan menutupnya stomata sangat berhubungan erat dengan situasi air di dalam sel tersebut. Berdasarkan hasil pemeriksaan mikroskopis ternyata interaksi antara waktu pencekaman air dan konsentrasi penyemprotan osmolit sorbitol tidak mempengaruhi kerapatan stomata (Lampiran Tabel 30). Kerapatan stomata terlihat paling banyak terdapat pada tanaman yang tidak mengalami cekaman kekurangan air dan tanaman kacang hijau yang selalu kekurangan air selama hidupnya kerapatan stomata lebih rendah dibanding yang memperoleh pengairan normal. Periode pencekaman kekurangan air sangat berpengaruh terhadap pembentukan stomata, kekurangan selama stadia vegetatif terlihat kerapatan stomata di daun paling rendah dibanding bila tanaman tercekam kekurangan air pada stadia generatif.

Cekaman kekurangan air pada stadia generatif ternyata kerapatan stomata pada daun tidak berbeda dengan tanaman yang selalu mendapatkan cukup air selama hidupnya. Penyemprotan osmolit sorbitol dapat berpengaruh positif terhadap pembentukan stomata.

Penyemprotan osmolit sorbitol 15-20 ml/l pada tanaman masih muda (umur 25-35 hst) dapat mengakibatkan peningkatan kerapatan stomata 21-30%, yaitu dari 19.2 stomata/mm<sup>2</sup> menjadi 23.2-24.9 stomata/mm<sup>2</sup>, sedangkan pada tanaman yang sudah lebih tua (umur 45 hst) laju peningkatannya relatif lebih rendah yaitu berkisar 3-6% bila dibandingkan

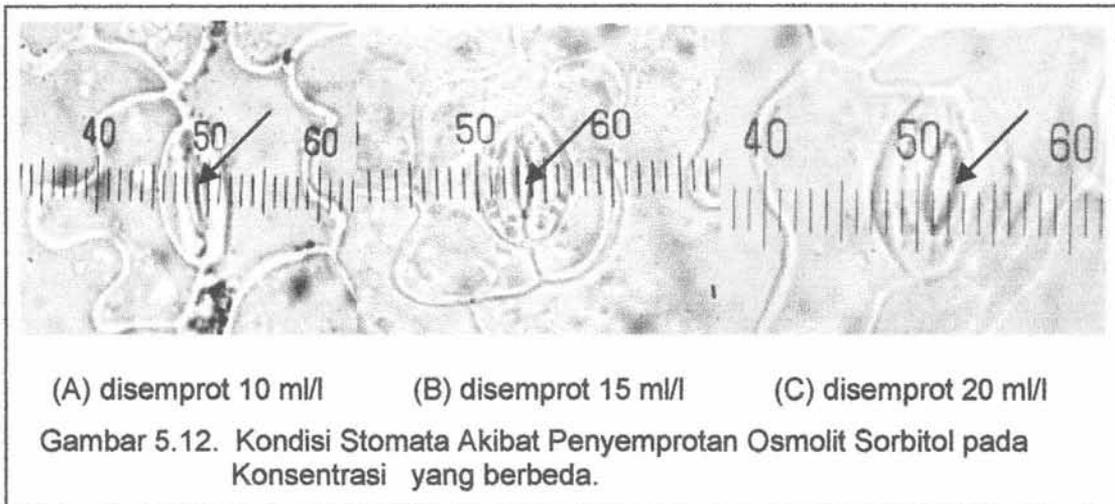
dengan yang tidak disemprot, yaitu dari 52.7 menjadi 55.9 stomata/mm<sup>2</sup>. Pada umur tersebut konsentrasi penyemprotan osmolit sorbitol yang berbeda-beda tingkatannya ternyata kerapatan stomatanya yang dihasilkan relatif sama. Perkembangan kerapatan stomata pada tanaman kacang hijau kultivar Walet tampak terus meningkat dengan bertambahnya umur tanaman sampai pada umur 45 hari.

Tabel 5.31. Kerapatan Stomata akibat Penyemprotan Osmolit pada Tanaman Kacang Hijau Kultivar Walet yang Tercekam Kekurangan Air.

Perlakuan	Kerapatan Stomata ( <i>stomata/mm</i> <sup>2</sup> ) pada umur		
	25 hari	35 hari	45 hari
<b>Stadia Cekaman (hst)</b>			
Tanpa cekaman	27.25 d	39.25 c	61.17 d
Sepanjang hidup (0-60)	19.00 ab	30.92 a	48.17 a
Stadia Vegetatif (0-35)	18.00 a	31.00 a	51.00 b
Stadia generatif (35-60)	25.75 cd	38.17 bc	58.92 d
Umur 10-20 dan 35-45	22.17 bc	35.17 abc	53.92 c
Umur 21-45 hst	21.83 b	33.92 ab	52.17 bc
Duncan's	*	*	*
<b>Konsentrasi Sorbitol</b>			
0 ml/l	19.17 a	31.17 a	52.67 a
10 ml/l	22.06 ab	33.78 ab	53.89 ab
15 ml/l	23.22 b	35.78 bc	54.39 ab
20 ml/l	24.89 b	38.22 c	55.94 b
BNT	*	*	*

Keterangan : Angka pada masing-masing faktor untuk setiap umur pengamatan yang diikuti huruf sama tidak berbeda nyata. \* = berbeda nyata

Berdasarkan pengamatan mikroskopis ternyata terdapat perbedaan pada perilaku pembukaan stomata antara tanaman kacang hijau yang disemprot sorbitol pada konsentrasi yang berbeda-beda (Gambar 5.12).



Pada Gambar 5.12 terlihat bahwa tanaman yang tercekam kekurangan air (hanya memperoleh air 50% dari kebutuhan normalnya (150 mm/musim)), ternyata penyemprotan osmolit sorbitol sebanyak 10 ml/l membukanya stomata relatif lebih sempit, demikian halnya pada tanaman kacang hijau yang disemprot osmolit sorbitol 15 ml/l. Tetapi bila konsentrasi penyemprotan osmolit sorbitol ditingkatkan lebih tinggi lagi sampai 20 ml/l, stomata tampak membuka lebih lebar. Dari kenyataan ini menjadi lebih jelas bahwa penyemprotan osmolit sorbitol mempunyai peranan penting dalam membantu kesempurnaan membukanya stomata.

Berdasarkan hasil di atas terbukti bahwa penyemprotan osmolit sorbitol pada tanaman kacang hijau yang mengalami cekaman kekurangan air, mampu meningkatkan laju pertumbuhan relatif tanaman, maupun indeks luas daun serta produksi bahan kering tanaman. Penyemprotan osmolit sorbitol dengan konsentrasi 15-20 ml/l sebanyak 5 kali pada tanaman yang mengalami kekurangan air selama stadia vegetatif mampu meningkatkan ketahanan indeks luas daun tanaman kacang hijau sebesar 62-72.5%.

### **5.2.2. Peranan osmolit sorbitol pada komponen hasil tanaman kacang hijau dalam kondisi kekurangan air**

Produksi biji tanaman kacang hijau mempunyai hubungan erat dengan komponen hasil. Secara keseluruhan komponen hasil tanaman kacang hijau sangat dipengaruhi oleh ketersediaan air di sekitar lingkungan perakaran tanaman.

#### **5.2.2.1. Hasil biji per tanaman kacang hijau**

Hasil biji tanaman kacang hijau dipengaruhi oleh interaksi antara waktu pencekaman dan konsentrasi penyemprotan sorbitol (Lampiran Tabel 32). Pencekaman tanaman kacang hijau yang dilakukan pada percobaan ini adalah pemberian air yang diberikan dari pada tanaman kacang hijau sebanyak 150 mm/musim atau 50% dari kebutuhan optimalnya. Berdasarkan hasil uji statistik menyemprotan sorbitol pada tanaman yang mengalami cekaman kekurangan air pada berbagai stadia tumbuhnya terbukti mampu meningkatkan ketahanan hasil biji per tanaman (Tabel 5.32).

Penyemprotan osmolit sorbitol pada tanaman kacang hijau yang tidak pernah tercekam kekurangan air, tidak berpengaruh dalam meningkatkan hasil biji per tanaman. Hal ini disebabkan peranan sorbitol adalah untuk meningkatkan turgor sel stomata, sehingga stomata dapat membuka. Sedangkan tanaman yang selalu kecukupan air dalam kehidupannya, turgor selnya relatif cukup tinggi dan stomata tetap membuka sempurna. Dengan demikian sorbitol tidak

berfungsi pada tanaman yang dalam kondisi kecukupan air. Hasil pengujian selengkapnya disajikan pada Tabel 5.32.

Tabel 5.32. Bobot Biji per Tanaman Kacang hijau Akibat Pengaruh Interaksi Waktu pencekaman dan Konsentrasi Osmolit sorbitol

Waktu Pengekaman Konsentrasi osmolit	Bobot biji per tanaman (g/tan)			
	0 ml/l	10 ml/l	15 ml/l	20 ml/l
Tanpa cekaman	6.67 j	6.48 j	6.69 j	6.70 j
Sepanjang umur (0-60)	2.64 a	2.84 ab	3.67 b-e	4.25 ef
Stadia Vegetatif (0-35)	3.26 abc	4.14 def	5.30 gh	6.08 hij
Stadia generatif (35-60)	3.34 a-d	4.85 fg	5.62 ghi	6.49 j
Umur 10-20 dan 35-45	3.43 a-e	3.82 cde	3.95 cde	4.23 ef
Umur 21-45 hst	3.46 a-e	4.02 cde	5.28 gh	5.96 hij
Duncan's	*			

Keterangan : Angka yang didampingi oleh huruf sama tidak berbeda nyata pada uji Duncan's ( $\alpha$  0.05). \* = berbeda nyata

Pada Tabel 5.32 terlihat pula bahwa tanaman kacang hijau yang selalu tercekam kekurangan air selama hidupnya mengalami penurunan hasil biji per tanaman sangat besar yaitu 60.4%, sedangkan tanaman yang tercekam kekurangan air selama stadia vegetatif, generatif, umur 10-20 dan 35-45 hari dan umur 21-45 hari besarnya penurunan hasil biji per tanaman masing-masing adalah 51%, 49,9%, 48.6% dan 48%. Penurunan hasil biji per tanaman tersebut ternyata dapat ditekan melalui penyemprotan osmolit sorbitol. Pada tanaman kacang hijau yang selalu kekurangan air selama hidupnya ternyata penurunan hasil biji dapat diperkecil sampai 36.3% melalui penyemprotan osmolit sorbitol 20 ml/l yang disemprotkan sebanyak 10 kali. Sedangkan untuk tanaman yang tercekam selama stadia vegetatif, generatif maupun pada umur 21-45 hari, penyemprotan osmolit sorbitol dengan

konsentrasi 20 ml/l sebanyak lima kali ternyata mampu menekan penurunan hasil biji per tanaman masing-masing sebesar 8.8%, 2.7% dan 10.6%.

Penyemprotan osmolit sorbitol dengan konsentrasi 15-20 ml/l sebanyak 10 kali pada tanaman yang selalu kekurangan air selama hidupnya sudah mampu meningkatkan ketahanan hasil biji, yaitu masing-masing sebesar 55% untuk penyemprotan 15 ml/l dan 63.7% untuk yang disemprot 20 ml/l. Penilaian ketahanan hasil didasarkan pada perbandingan antara produksi riel yang dihasilkan dengan hasil biji yang dihasilkan oleh tanaman yang berada pada kondisi irigasi normal. Bila dibandingkan dengan yang tidak disemprot osmolit, ternyata penyemprotan sorbitol 20 ml/l sebanyak 10 kali pada tanaman yang selalu tercekam kekurangan air selama hidupnya mampu meningkatkan hasil biji per tanaman sebesar 1.61 gram per tanaman (61%).

Tanaman kacang hijau kultivar Walet yang tercekam kekurangan air selama stadia vegetatif hasil biji per tanaman tidak berbeda dengan tanaman yang tercekam kekurangan air selama hidup, yaitu sebesar 3.26 gram/tanaman. Penurunan hasil biji per tanaman yang terjadi akibat cekaman kekurangan air selama stadia vegetatif dapat diperkecil sampai 37.9% bila tanaman tersebut disemprot osmolit dengan konsentrasi 10 ml/l sebanyak lima kali penyemprotan, dan pengurangan kehilangan hasil biji dapat ditingkatkan bila konsentrasi penyemprotan ditambah menjadi 15-20 ml/l.

Jika tanaman mengalami cekaman kekurangan air dalam dua tahap yaitu kekurangan air tanaman kacang hijau pada umur 10-20 hari diikuti pencekaman lagi pada umur 35-45 hari, ternyata penyemprotan osmolit

sorbitol sampai konsentrasi 20 ml/l yang disemprotkan sebanyak enam kali tidak mampu lagi meningkatkan hasil lebih baik dari yang tidak dilakukan penyemprotan.

Penyemprotan osmolit sorbitol pada daun tanaman kacang hijau yang mengalami cekaman kekurangan air pada stadia vegetatif, generatif maupun pada umur 21-45 hari, sebanyak 20 ml/l hasil biji per tanaman yang dihasilkan sama dengan tanaman kacang hijau yang selalu kecukupan air selama hidupnya.

Berdasarkan hasil di atas ternyata tingginya hasil biji per tanaman berhubungan erat dengan luas daun maupun indeks luas daun serta hasil bahan kering tanaman. Tingginya indeks luas daun berhubungan positif dengan hasil biji per tanaman, semakin tinggi nilai indeks luas daun (X) berakibat tinggi hasil biji per tanaman (Y), hal tersebut tergambar pada persamaan berikut :  $Y = 1.50 + 1.65 X$  ( $R^2 = 0.8562$ ). Artinya setiap terjadi peningkatan nilai indeks luas daun sebesar 1 maka hasil biji per tanaman dapat meningkat sebesar 1.65 gram. Hubungan yang sama juga diperlihatkan terhadap bahan kering total tanaman (X) yang digambarkan sebagai berikut :  $Y = 1.13 + 0.59 X$  ( $R^2 = 0.9538$ ). Dalam hubungan antara hasil biji per tanaman dan bahan kering total tanaman terlihat bahwa apabila terjadi peningkatan 1 gram bahan kering tanaman akan diikuti peningkatan hasil biji per tanaman sebesar 0.59 gram.

Penyemprotan sorbitol pada tanaman yang mengalami cekaman air selama stadia generatif (0-35 hst) mampu menekan penurunan bobot biji per tanaman sebesar 8.8%, dibanding tanaman yang tidak pernah tercekam.

Tanaman kacang hijau yang mengalami kekurangan air selama umur 21-45 hari dapat mengakibatkan penurunan hasil biji sebesar 3.2 gram/tanaman dibanding yang tidak mengalami kekurangan air, penurunan hasil tersebut dapat diperkecil hingga 10.6% bila tanaman kacang hijau disemprot osmolit dengan konsentrasi 20 ml/l. Hal ini membuktikan bahwa dengan penyemprotan osmolit sorbitol 20 ml/l yang dilakukan sebanyak 6 kali pada daun tanaman kacang hijau yang mengalami cekaman kekurangan air dapat meningkatkan ketahanan hasil biji per tanaman sebesar 89.4%.

Hasil pengujian kemampuan osmolit dalam meningkatkan ketahanan tanaman kacang hijau terhadap kondisi kekurangan air terbukti bahwa penyemprotan osmolit sorbitol dengan konsentrasi 20 ml/l mampu meningkatkan ketahanan tanaman kacang hijau. Pada tanaman kacang hijau walet yang tercekam selama stadia generatif, vegetatif maupun pada umur 21-45 hari, penyemprotan osmolit sorbitol 20 ml/l yang dilakukan sebanyak lima kali dapat meningkatkan ketahanan hasil biji per tanaman, masing-masing adalah sebagai berikut 97.3%, 91.2%, dan 89.4% dari kondisi pengairan normal (300 mm/musim). Terhadap hasil biji per tanaman ternyata penyemprotan sorbitol pada tanaman yang mengalami cekaman pada stadia vegetatif, generatif maupun pada umur 21 – 45 hari mampu menghasilkan bobot biji per tanaman yang tidak berbeda dengan tanaman yang tidak tercekam.

Berdasarkan hasil biji per tanaman maka ditetapkan enam kombinasi perlakuan yang mempunyai hasil paling tinggi untuk dilakukan pengujian di lapang pada penelitian tahap ke tiga. Ke enam kombinasi perlakuan tersebut di antaranya adalah : penyemprotan osmolit sorbitol sebanyak 15 dan 20 ml pada tanaman yang tercekam selama stadia vegetatif, penyemprotan sorbitol sebanyak 15 dan 20 ml/l pada tanaman yang tercekam selama stadia generatif dan penyemprotan sorbitol 15 dan 20 ml/l pada tanaman yang mengalami cekaman kekurangan air pada umur 21-45 hari. Sebagai kontrol adalah tanaman kacang hijau yang tidak pernah kekurangan air selama proses kehidupannya.

#### **5.2.2.2. Komponen hasil tanaman kacang hijau**

##### *a. Jumlah Polong per Tanaman*

Jumlah polong per tanaman merupakan komponen hasil cukup penting dalam menentukan produksi tanaman. Hasil analisis statistik memperlihatkan bahwa interaksi antara konsentrasi penyemprotan osmolit dan waktu pencekaman kekurangan air terhadap jumlah polong tanaman kacang hijau yang terbentuk tidak berbeda. Sedangkan waktu pencekaman dan konsentrasi penyemprotan osmolit sorbitol masing-masing mempengaruhi pembentukan polong tanaman kacang hijau kultivar Walet (Lampiran tabel 31). Tanaman kacang hijau yang kekurangan air dalam nenerapa stadia pertumbuhannya, kemampuan membentuk polong lebih sedikit dibanding yang memperoleh pengairan cukup (Tabel 5.33).

Tabel 5.33. Jumlah Polong per tanaman pada Waktu PENCEKAMAN Kekurangan Air dan Konsentrasi Penyemprotan Osmolit Sorbitol yang berbeda

Perlakuan	Jumlah Polong per tanaman
Waktu PENCEKAMAN (hst)	
-Tanpa cekaman	22.75 d
-Sepanjang umur (0-60)	8.08 a
-Stadia Vegetatif (0-35)	17.17 bc
-Stadia generatif (35-60)	19.50 cd
-10-20 dan 35-45 hst	16.33 bc
-21-45 hst	13.75 b
Duncan's	*
Konsentrasi osmolit Sorbitol (ml/l)	
0	13.17 a
10	15.50 ab
15	16.89 bc
20	19.50 c
BNT	*

Keterangan : Angka pada masing-masing faktor yang didampingi oleh huruf sama tidak berbeda nyata.

Tabel 5.33 memperlihatkan bahwa tanaman kacang hijau kultivar Walet yang selalu kecukupan air selama hidupnya, kemampuan membentuk polong lebih banyak dibanding yang dalam kondisi tercekam kekurangan air.

PENCEKAMAN kekurangan air bagi tanaman kacang hijau Walet selama stadia generatif ternyata jumlah polong yang dihasilkan sama dengan tanaman yang selalu kecukupan air. Hal ini disebabkan karena pada awal pertumbuhannya sama-sama tidak terjadi PENCEKAMAN, sehingga proses pembentukan organ-organ reproduksi pada masa akhir stadia generatif tidak banyak mendapatkan hambatan oleh akibat kekurangan air. Perkembangan reproduksi tanaman yang kekurangan air selama hidupnya kemampuan membentuk polong sangat rendah. Sedangkan yang tercekam kekurangan air selama stadia vegetatif, vegetatif awal dan generatif awal serta pada stadia vegetatif akhir

sampai generatif awal ternyata jumlah polong yang terbentuk tidak memperlihatkan perbedaan. Menurut Boyer (1996) pada tanaman jagung yang mengalami cekaman air 5-10 hari setelah penyerbukan kandungan asam absisat lebih tinggi, akibatnya menghambat pembelahan sel sehingga perkembangan tongkol maupun biji juga terhambat.

Penyemprotan osmolit sorbitol pada tanaman kacang hijau mampu meningkatkan jumlah polong. Bila dibandingkan dengan tanaman yang tanpa disemprot sorbitol, penyemprotan sorbitol sebanyak 15 ml/l mampu meningkatkan jumlah polong per tanaman rata-rata sebanyak 3 buah atau 24.4%, bahkan jika konsentrasi penyemprotan ditingkatkan sampai 20 ml/l, jumlah polong meningkat sebanyak 48%. Tetapi jika tidak dibantu dengan penyemprotan sorbitol penurunan jumlah polong per tanaman mencapai 32.4%. Berdasarkan hasil pengujian statistik ternyata produksi polong tanaman kacang hijau yang disemprot sorbitol sebanyak 15 ml/l dan 20 ml/l tidak berbeda.

#### *b. Bobot Polong Per Tanaman*

Bobot polong per tanaman merupakan komponen hasil tanaman yang cukup penting karena menentukan tinggi rendahnya produksi. Interaksi antara waktu pencekaman dan konsentrasi penyemprotan osmolit sorbitol berpengaruh terhadap bobot polong per tanaman (Lampiran Tabel 31).

Tabel 5.34. Bobot Polong Per Tanaman Kacang Hijau Walet Akibat pengaruh Interaksi Waktu Pencekaman Air dengan Konsentrasi Osmolit Sorbitol

Konsentrasi osmolit Waktu Pencekaman	Bobot Polong per Tanaman (gram)			
	0 ml/l	10 ml/l	15 ml/l	20 ml/l
-Tanpa cekaman	6.94 j	6.75 j	7.15 j	7.19 j
-Sepanjang umur (0-60)	1.86 a	2.13 a	2.40 ab	2.85 bc
-Stadia Vegetatif (0-35)	3.36 b-e	4.03 d-g	4.89 gh	5.57 hi
-Stadia generatif (35-60)	3.25 bcd	3.78 def	5.04 gh	6.45 ij
-10-20 dan 35-45 hst	2.74 abc	3.42 b-e	3.68 c-f	4.53 fg
-21-45 hst	2.68 abc	3.44 b-e	4.35 efg	5.76 hi
Duncan's	*			

Keterangan : Angka yang didampingi oleh huruf sama tidak berbeda nyata pada uji Duncan's ( $\alpha = 0.05$ ). \* = berbeda nyata

Dalam Tabel 5.34 terbukti bahwa penyemprotan osmolit sorbitol pada tanaman yang selalu kecukupan air tidak berpengaruh terhadap bobot polong. Tanaman kacang hijau kultivar Walet yang selama stadia vegetatif maupun stadia generatif hanya mendapatkan air 50% dari kebutuhan normalnya (150 mm/musim), penyemprotan osmolit sorbitol 10 ml/l belum mampu memperlihatkan pengaruhnya terhadap bobot polong pertanaman bila dibandingkan yang tanpa penyemprotan. Pengaruh osmolit sorbitol baru mulai terlihat setelah konsentrasi penyemprotan ditingkatkan menjadi 15-20 ml/l. Bila dibandingkan dengan tanaman yang memperoleh jumlah pengairan normal (300 mm/musim), penyemprotan sorbitol 15-20 ml/l mampu menekan penurunan bobot polong per tanaman sebesar 19.7-29.5% dan apabila tidak dibantu penyemprotan sorbitol penurunan bobot polong per tanaman mencapai 51.6%.

Tanaman kacang hijau yang selama stadia generatif hanya tersedia 50% dari kebutuhan normalnya (150 mm/musim), penyemprotan sorbitol 20 ml/l mampu

memperkecil penurunan bobot polong yaitu hanya sebesar 7%, sehingga ketahanan produksinya sebesar 93%. Sedangkan bila tanaman yang mengalami cekaman kekurangan air tersebut tidak dibantu penyemprotan osmolit sorbitol penurunan bobot polong per tanaman sebesar 53%.

### c. Panjang polong

Penyemprotan sorbitol pada tanaman kacang hijau yang mengalami cekaman kekurangan air berpengaruh terhadap ukuran polong. Pada tanaman kacang hijau yang diiri sebanyak 300 mm selama hidupnya penyemprotan sorbitol tidak mempengaruhi perbedaan panjang polong kacang hijau, tetapi pada tanaman yang dalam kondisi kekurangan air selama pertumbuhannya penyemprotan sorbitol dapat mengakibatkan ukuran polong menjadi semakin panjang. Hasil lengkap disajikan pada Tabel 5.35.

Tabel 5.35. Panjang Polong Kacang Hijau Walet Akibat pengaruh Interaksi Waktu Pencekaman Air dengan Konsentrasi Osmolit Sorbitol

Konsentrasi osmolit Waktu Pencekaman	Panjang Polong (cm)			
	0 ml/l	10 ml/l	15 ml/l	20 ml/l
-Tanpa cekaman	7.67 j	7.67 j	7.30 j	7.77 j
-Sepanjang umur (0-60)	5.07 a	5.80 bc	5.83 bc	6.17 bcd
-Stadia Vegetatif (0-35)	5.59 ab	6.90 e-i	7.13 hij	7.13 hij
-Stadia generatif (35-60)	5.67 ab	6.13 bcd	6.23 b-e	6.40 c-g
-10-20 dan 35-45 hst	6.03 bcd	6.57 d-h	6.60 d-l	7.10 g-j
-21-45 hst	5.05 a	6.27 b-e	6.47 d-h	6.97 f-i
Duncan's	*			

Keterangan : Angka yang didampingi oleh huruf sama tidak berbeda nyata pada uji Duncan's ( $\alpha$  0.05). \* = berbeda nyata

Pada Tabel di atas terlihat bahwa tanaman yang tercekam air selama stadia vegetatif ukuran polong relatif pendek, namun apabila tanaman tersebut

disemprot sorbitol sebanyak 10 ml/l ukuran polong bertambah sebesar 22%. Apabila konsentrasi penyemprotan ditingkatkan sampai 20 ml/l ternyata tidak menunjukkan perbedaan panjang polong. Hasil yang sama ternyata juga terjadi pada penyemprotan sorbitol pada tanaman kacang hijau yang dicekam selama stadia generatif. Sedangkan pencekaman tanaman pada stadia vegetatif akhir sampai generatif awal, penyemprotan sorbitol berdampak cukup nyata, terbukti dari penyemprotan sorbitol 10 ml/l dapat meningkatkan ukuran polong 24% dan peningkatan konsentrasi penyemprotan dari 10 menjadi 20 ml/l ukuran polong meningkat sebesar 11%.

Berdasarkan hasil di atas terbukti bahwa pada tanaman kacang hijau yang tercekam kekurangan air selama stadia vegetatif apabila disemprot osmolit sorbitol dengan konsentrasi 15 ml/l sebanyak 5 kali, mampu menekan penurunan panjang polong yaitu sebesar 7%, sedang tanaman yang mengalami cekaman tersebut apabila tidak dibantu penyemprotan osmolit sorbitol penurunan panjang polong mencapai 27% bila dibanding yang mendapatkan pengairan dalam jumlah normalnya (300 mm/musim).

#### *d. Jumlah biji per polong*

Komponen kualitas maupun kuantitas hasil biji tanaman kacang hijau di antaranya adalah jumlah biji per polong. Interaksi antara waktu pencekaman dan penyemprotan sorbitol berpengaruh nyata terhadap jumlah biji per polong (Lampiran Tabel 31). Pada tanaman kacang hijau yang mendapat pengairan cukup selama hidupnya penyemprotan sorbitol tidak bermanfaat dalam

meningkatkan jumlah biji per polong tanaman kacang hijau. Bagi tanaman yang mengalami cekaman kekurangan air pada berbagai stadia tumbuhnya penyemprotan osmolit sangat besar peranannya dalam meningkatkan ketahanan tanaman. Lebih lengkap disajikan pada Tabel 5.36.

Tabel 5.36. Jumlah biji per Polong Tanaman Kacang Hijau Walet Akibat pengaruh Interaksi Waktu Pencekaman Air dengan Konsentrasi Osmolit Sorbitol

Konsentrasi Osmolit Waktu Pencekaman (hst)	Jumlah biji per Polong			
	0 ml/l	10 ml/l	15 ml/l	20 ml/l
Tanpa cekaman	7.87 f-j	8.47 ij	8.10 g-j	8.00 g-j
Sepanjang umur (0-60)	4.03 a	5.13 b	5.83 bcd	6.10 cd
-Stadia Vegetatif (0-35)	5.73 bc	6.00 bcd	6.70 de	7.20 efg
Stadia generatif (35-60)	7.17 efg	8.17 hij	8.07 g-j	8.47 ij
umur 10-20 dan 35-45	7.03 ef	7.33 e-h	7.77 f-j	8.50 ij
umur 21-45 hst	6.60 cde	6.70 de	7.70 f-l	8.70 j
Duncan's			*	

Keterangan : Angka yang didampingi oleh huruf sama tidak berbeda nyata pada uji Duncan's ( $\alpha$  0.05), \* = berbeda nyata

Tanaman kacang hijau Walet yang tercekam kekurangan air selama hidupnya, penyemprotan osmolit sorbitol berpengaruh positif terhadap hasil biji per polong. Apabila dibandingkan dengan tanaman yang tidak disemprot sorbitol, penyemprotan dengan konsentrasi 10 ml/l pada tanaman yang mengalami cekaman selama hidupnya dapat meningkatkan jumlah biji per polong sebanyak 27%, jika konsentrasi ditingkatkan menjadi 20 ml/l jumlah biji per polong dapat meningkat sampai 51.4%. Namun bila dibandingkan dengan tanaman kacang hijau yang mendapat pengairan dalam jumlah optimal penyemprotan sorbitol dengan konsentrasi 20 ml/l yang disemprotkan sebanyak 10 kali mampu menekan penurunan jumlah biji per polong sebesar



22.5%, sedang yang tidak disemprot osmolit kemerosotan jumlah biji per polong mencapai 48.8%

Tanaman kacang hijau yang mengalami kekurangan air selama stadia vegetatif jumlah biji per polong turun hingga sebesar 27.2% dibandingkan dengan yang mendapatkan persediaan air optimal. Tetapi apabila tanaman tersebut disemprot osmolit sorbitol dengan konsentrasi 15-20 ml/l sebanyak lima kali, penurunan jumlah biji per polong dapat ditekan menjadi 8.5 - 15%. Kekeringan pada stadia ini apabila tanaman disemprot sorbitol konsentrasi 15 ml/l, maka jumlah biji per polong dapat meningkat sebesar 17%. Jika konsentrasi penyemprotan ditingkatkan menjadi 20 ml/l jumlah biji per polong meningkat menjadi 25.7%.

Kekurangan air pada stadia generatif apabila tidak dibantu dengan penyemprotan osmolit sorbitol jumlah biji per polong turun sebesar 12%. Tetapi apabila tanaman tersebut disemprot osmolit sorbitol sebanyak 10 ml/l, jumlah biji per polong tidak berbeda dengan yang tanpa terjadinya pencekaman, bahkan mampu melebihi tanaman kacang hijau Walet yang selalu memperoleh pengairan dalam jumlah optimal sebesar 4%. Kekurangan air yang terjadi pada saat tanaman berumur 21 – 45 hari, penyemprotan sorbitol 10 ml/l tidak mampu meningkatkan jumlah biji per polong, namun setelah konsentrasi penyemprotan ditingkatkan menjadi 15 atau 20 ml/l dengan jumlah frekuensi penyemprotan sebanyak lima kali, jumlah biji per polong dapat ditingkatkan sebesar 16.7% sampai 31.8 % lebih tinggi daripada yang tidak disemprot sorbitol. Apabila dibandingkan dengan tanaman yang

tercekam pada stadia yang lain, kekurangan air selama stadia vegetatif memperlihatkan jumlah biji per polong paling rendah. Hal ini menunjukkan bahwa stadia vegetatif bagi kacang hijau kultivar Walet paling peka terhadap kekurangan air.

Berdasarkan hasil di atas ternyata penyemprotan osmolit sorbitol konsentrasi 20 ml/l pada tanaman kacang hijau yang tercekam kekurangan air mampu menghindarkan penurunan jumlah biji per polong, bahkan akibat penyemprotan osmolit tersebut dapat mengakibatkan jumlah biji per polong meningkat sampai 7.6% dibanding tanaman kacang hijau yang memperoleh pengairan normal selama hidupnya.

*e. Bobot 100 biji*

Bobot 100 biji merupakan salah satu indikator yang dapat digunakan untuk menilai kualitas biji yang dihasilkan tanaman. Tingginya bobot 100 biji suatu tanaman menunjukkan biji yang dihasilkan berkualitas lebih tinggi. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa interaksi antara waktu pencekaman dan penyemprotan sorbitol tidak berpengaruh terhadap kualitas biji kacang hijau. Tetapi faktor yaitu Waktu pencekaman kekurangan air dan konsentrasi penyemprotan osmolit masing-masing mempengaruhi kualitas hasil biji tanaman kacang hijau (Lampiran Tabel 32). Hasil uji statistik membuktikan bahwa tanaman kacang hijau yang tercekam kekurangan air berakibat turunnya kualitas biji. Tanaman yang selalu kekurangan air selama

hidupnya kualitas hasil biji paling jelek dengan diperlihatkan bobot 100 biji paling rendah. Hasil selengkapnya disajikan pada Tabel 5.37.

Tabel 5.37. Bobot 100 Biji dan Indeks Panen Tanaman Kacang Hijau yang tercekam Kekurangan air dan Disemprot Sorbitol

Perlakuan	Bobot 100 biji (gram)	Indeks Panen (%)
<b>Waktu PENCEKAMAN</b>		
-Tanpa cekaman	7.52 d	47.51 d
-Sepanjang umur	6.51 a	28.41 a
-Stadia Vegetatif (0-35)	6.95 b	39.76 b
-Stadia generatif (35-60)	7.21 c	44.40 cd
-10-20 dan 35-45 hst	7.20 c	39.60 b
-21-45 hst	7.04 bc	42.56 bc
Duncan's	*	*
<b>Konsentrasi Sorbitol (ml/l)</b>		
0	6.66 a	36.43 a
10	7.05 b	39.48 ab
15	7.17 b	41.49 bc
20	7.52 c	43.98 c
BNT	*	*

Keterangan : Angka pada masing-masing faktor yang didampingi huruf sama tidak berbeda nyata

Pada Tabel 5.37 juga terlihat bahwa penyemprotan sorbitol pada daun tanaman kacang hijau dapat meningkatkan kualitas hasil biji. Penyemprotan sorbitol dengan konsentrasi 15 ml/l meningkatkan bobot 100 biji sebesar 7.7%, apabila konsentrasi penyemprotan ditingkatkan menjadi 20 ml/l bobot 100 biji meningkat sebesar 17% bila dibanding hasil biji tanaman yang tidak disemprot sorbitol. Stadia tumbuh kacang hijau paling kritis terhadap kekurangan air adalah stadia vegetatif dan umur 21-45 hari. Kekurangan air pada stadia ini bobot 100 biji mengalami penurunan masing-masing sebesar 7.5% dan 6.3% dibanding tanaman yang mendapatkan pengairan normal.

Tanaman kacang hijau yang tercekam selama stadia generatif kualitas hasil biji relatif lebih baik dibandingkan dengan tanaman yang mengalami kekurangan air selama stadia vegetatif. Kekurangan air yang terjadi selama stadia pembentukan bunga hingga pembentukan biji ternyata tidak berbeda kualitas hasil bijinya bila dibanding dengan yang mengalami kekurangan air pada stadia generatif.

*f. Indeks panen*

Indeks panen merupakan indikator yang dapat digunakan untuk mengevaluasi tingkat efisiensi produksi biomasa tanaman dalam menghasilkan biji. Besarnya nilai indeks panen menggambarkan tingginya efisiensi tanaman tersebut dalam mengakumulasi bahan kering yang dihasilkan dalam bentuk biji. Indeks panen sebagai salah satu komponen penting dari model biologi yang diketengahkan oleh Passiora (1986) untuk menentukan hasil biji. Hasil biji mempunyai hubungan linier dengan Indeks panen dan efisiensi penggunaan air oleh tanaman. Hasil percobaan memperlihatkan bahwa interaksi antara waktu pencekaman air dan konsentrasi penyemprotan sorbitol tidak berpengaruh terhadap indeks panen. Tetapi masing-masing faktor yaitu waktu pencekaman kekurangan air dan konsentrasi penyemprotan sorbitol tampak berpengaruh nyata (Lampiran Tabel 32).

Tanaman yang selalu kekurangan air selama hidupnya berakibat rendahnya indek panen, dan tanaman yang selalu kecukupan air indeks panennya relatif

paling tinggi namun tidak memperlihatkan perbedaan nyata bila dibanding tanaman yang mengalami cekaman pada stadia generatif. Tanaman kacang hijau kultivar Walet yang selama hidupnya selalu kekurangan air indeks panennya turun sampai 40%, bila dibandingkan dengan tanaman yang selalu kecukupan air. Sedang kekurangan air yang terjadi selama stadia vegetatif penurunan nilai indeks panen sebesar 16%. Pada Tabel 5.37 diperlihatkan pula bahwa tanaman kacang hijau kultivar Walet yang mengalami cekaman air selama stadia generatif nilai indeks panen tidak berbeda dengan tanaman yang tumbuh normal dalam kondisi selalu kecukupan air. Tanaman yang selalu kecukupan air selama hidupnya memperlihatkan nilai indeks panen paling tinggi yaitu sebesar 47,34%. Berarti lebih dari 47% biomassa yang dihasilkan tanaman adalah berupa biji. Penyemprotan sorbitol sebanyak 10 ml/l ternyata belum memperlihatkan perbedaan nilai indeks panen. Apabila konsentrasi penyemprotan ditingkatkan sampai 15-20 ml/l, nilai indeks panen dapat meningkat sampai sebesar 13 – 20% dibanding dengan tanaman yang tidak disemprot.

Berdasarkan hasil di atas terbukti bahwa penyemprotan osmolit sorbitol sebanyak 15-20 ml/l pada tanaman kacang hijau yang mengalami cekaman kekurangan air ternyata mampu meningkatkan ketahanan hasil biji serta mutu komponen hasil.

### **5.3. Peranan Penyemprotan Osmolit Sorbitol dalam Upaya Meningkatkan Ketahanan Tanaman Kacang Hijau Kultivar Walet di Lahan Kering yang Kekurangan Air**

Berdasarkan hasil pengujian di rumah kaca ternyata osmolit sorbitol mampu berperan dalam meningkatkan ketahanan tanaman kacang hijau pada kondisi kekurangan air, sehingga penurunan pertumbuhan maupun hasil biji dapat diperkecil. Uji verifikasi dilaksanakan di lahan kering yang kekurangan air pada musim kemarau terhadap tujuh perlakuan yaitu enam perlakuan tercekam kekurangan air dan satu perlakuan pengairan normal sebagai pembanding. Kondisi pencekaman kekurangan air adalah jumlah air yang diberikan pada tanaman selama stadia tertentu sebanyak 50% dari kebutuhan normal yaitu 150 mm/musim. Penyemprotan osmolit dilakukan selama tanaman mengalami pencekaman. Pemilihan enam perlakuan penyemprotan osmolit sorbitol pada tingkat pencekaman kekurangan air tersebut didasarkan pada hasil terbaik yang diperoleh dari percobaan di rumah kaca, terutama perlakuan yang tidak memperlihatkan perbedaan atau yang perbedaannya paling kecil dengan tanaman yang diperlakukan mendapatkan pengairan dalam jumlah normal yaitu sebanyak 300 mm/musim. Untuk mengevaluasi kemampuan osmolit sorbitol dalam meningkatkan ketahanan tanaman kacang hijau di lahan kering yang kekurangan air dilakukan pengamatan terhadap variabel komponen pertumbuhan dan hasil biji.

### **5.3.1. Peranan osmolit dalam meningkatkan ketahanan komponen pertumbuhan tanaman kacang hijau di lahan kering yang kekurangan air**

Penilaian terhadap peranan osmolit dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap pertumbuhan kacang hijau yang dibudidayakan pada lahan kering yang kekurangan air dilakukan pengamatan terhadap : tinggi tanaman, indeks luas daun, dan bahan kering tanaman untuk menganalisis laju pertumbuhan relatif tanaman.

#### **5.3.1.1. Tinggi tanaman kacang hijau**

Pertumbuhan tinggi tanaman kacang hijau dipengaruhi oleh situasi ketersediaan air di dalam tanah. Hasil analisis ragam dari uji verifikasi di lapang ternyata penyemprotan osmolit sorbitol pada tanaman kacang hijau tercekam kekurangan air, mampu meningkatkan ketahanan tanaman terhadap tinggi tanaman. Hal ini terbukti tinggi tanaman yang tercekam kekurangan air bila disemprot osmolit sorbitol tidak berbeda dengan tanaman yang diairi dalam jumlah normal (Lampiran Tabel 33).

Tabel 5.38 membuktikan bahwa peranan penyemprotan sorbitol pada daun tanaman kacang hijau dalam kondisi tercekam kekurangan air, ternyata pencekaman kekurangan air yang dilaksanakan di rumah kaca dengan pencekaman kekurangan air yang dilaksanakan di lapang hasil yang diperoleh tidak berbeda. Hal ini berarti penyemprotan osmolit sorbitol mampu memperkecil terjadi penurunan tinggi tanaman pada tanaman yang tercekam. Hasil pengamatan tinggi tanaman kacang hijau disajikan pada tabel 5.38.

Tabel 5.38 Tinggi Tanaman Kacang Hijau yang Tercekam Kekurangan Air di Lahan Kering Setelah di Semprot Osmolit Sorbitol

Perlakuan	Tinggi tanaman (cm) pada umur				
	15 hst	25 hst	35 hst	45 hst	55 hst
Pengairan normal	8.01	18.99	38.80	46.79	46.64
Tercekam selama stadia vegetatif + disemprot sorbitol 15 ml/l	7.03	14.54	36.74	39.60	40.40
Tercekam selama stadia vegetatif + disemprot sorbitol 20 ml/l	8.19	15.65	37.19	41.21	43.37
Tercekam selama stadia generatif + disemprot sorbitol 15 ml/l	7.29	17.01	35.03	44.49	45.27
Tercekam selama stadia generatif + disemprot sorbitol 20 ml/l	7.36	18.97	39.45	46.69	46.60
Tercekam pada umur 21-45 hst + disemprot sorbitol 15 ml/l	7.88	16.98	36.73	43.98	43.56
Tercekam pada umur 21-45 hst + disemprot sorbitol 20 ml/l	7.69	17.83	38.44	45.06	45.93
Duncan's	tn	tn	tn	tn	tn

Keterangan : tn : hasil analisis keragaman tidak berbeda nyata.

Berdasarkan hasil di atas terbukti bahwa penyemprotan sorbitol dengan konsentrasi 15-20 ml/l yang diberikan sebanyak lima kali, pada daun tanaman kacang hijau mampu meningkatkan ketahanan tanaman kacang hijau terhadap tinggi tanaman. Hal tersebut terlihat bahwa pada tanaman yang tercekam kekurangan air selama stadia vegetatif, generatif maupun yang tercekam pada umur 21-45 hari setelah dilakukan penyemprotan osmolit sorbitol dengan konsentrasi 15 ml/l ataupun 20 ml/l yang disemprotkan sebanyak lima kali, tinggi tanamannya masing-masing tidak berbeda dengan tinggi tanaman dari perlakuan yang mendapatkan pengairan normal.

### 5.3.1.2. Laju pertumbuhan relatif tanaman

Laju pertumbuhan relatif tanaman kacang hijau merupakan salah satu variabel yang digunakan untuk mengevaluasi dampak perlakuan terhadap

kecepatan pertumbuhan tanaman dengan melihat pertambahan bobot kering biomassa per satuan waktu. Berdasarkan hasil analisis statistik, tanaman kacang hijau yang mengalami cekaman kekurangan air selama stadia vegetatif, generatif maupun pada pertengahan stadia vegetatif sampai pertengahan stadia generatif (umur 21-45 hst), apabila disemprot osmolit sorbitol dengan konsentrasi 15-20 ml/l ternyata laju pertumbuhan relatif tidak berbeda dengan laju pertumbuhan relatif dari tanaman yang mendapat pengairan normal. Kenyataan tersebut diperlihatkan dari hasil uji verifikasi yang dilaksanakan di lahan kering yang kekurangan air (Tabel 5.39).

Tabel 5.39. Laju Pertumbuhan Tanaman Kacang Hijau di Lahan Kering Setelah disemprot Osmolit sorbitol

Perlakuan	Laju Pertumbuhan ( $mg \cdot mg^{-1} \cdot hari^{-1}$ ) pada umur ..			
	15-25 hst	25-35 hst	35-45 hst	45-55 hst
Pengairan normal	51	189	309	342
Tercekam selama stadia vegetatif + disemprot sorbitol 15 ml/l	41	159	266	338
Tercekam selama stadia vegetatif + disemprot sorbitol 20 ml/l	37	163	278	362
Tercekam selama stadia generatif + disemprot sorbitol 15 ml/l	58	174	237	339
Tercekam selama stadia generatif + disemprot sorbitol 20 ml/l	57	196	305	371
Tercekam pada umur 21-45 hst + disemprot sorbitol 15 ml/l	38	169	235	301
Tercekam pada umur 21-45 hst + disemprot sorbitol 20 ml/l	56	205	247	314
Duncan's	tn	tn	tn	tn

Keterangan : tn : hasil analisis keragaman tidak berbeda nyata.

Tabel 5.39 memperlihatkan bahwa laju pertumbuhan relatif tanaman kacang hijau pada masing-masing perlakuan ternyata pada umur 45-50 hari laju pertumbuhan relatifnya paling tinggi. Hal ini menandakan bahwa pada saat itu tanaman sedang aktif pembentukan polong dan pengisian biji dan

karbohidrat yang dihasilkan dari proses fotosintesis banyak disimpan sebagai polong maupun biji.

Hasil di atas membuktikan bahwa aplikasi osmolit sorbitol pada tanaman kacang hijau di lahan kering yang kekurangan air bila dilakukan penyemprotan tepat konsentrasi dan waktunya mampu meningkatkan ketahanan laju pertumbuhan relatif tanaman. Di samping itu ternyata terdapat kecenderungan bahwa penyemprotan osmolit sorbitol pada konsentrasi 20 ml/l relatif lebih tinggi laju pertumbuhan relatifnya daripada konsentrasi 15 ml/l, walaupun demikian ke duanya tidak berbeda nyata. Bahkan pada penyemprotan osmolit sorbitol dengan konsentrasi 20 ml/l yang dilakukan pada sebanyak lima kali pada tanaman kacang hijau yang tercekam kekurangan air selama stadia vegetatif dan generatif terlihat laju pertumbuhan relatifnya lebih tinggi daripada tanaman yang diairi normal yaitu sebanyak 300 mm/musim.

#### **5.3.1.3. Indeks luas daun (ILD)**

Perkembangan luas daun tanaman sangat dipengaruhi oleh ketersediaan air di dalam tanah. Indeks luas daun merupakan salah satu indikator untuk menilai pertumbuhan tanaman. Hasil pengukuran luas daun tanaman di lapang menunjukkan bahwa tanaman kacang hijau pada kondisi kekurangan air, laju perkembangan daun relatif lebih lambat dibanding tanaman yang selalu kecukupan air (Lampiran Tabel 35). Tanaman kacang hijau yang dibudidayakan dalam kondisi kekurangan air selama stadia

vegetatif maupun generatif bila disemprot osmolit sorbitol sebanyak 15-20 ml/l ternyata mampu meningkatkan ketahanan terhadap laju perkembangan daun, sehingga indeks luas daunnya tidak berbeda dengan tanaman yang memperoleh pengairan normal. Terbukti dari hasil uji verifikasi di lapang, bahwa pada saat tanaman kacang hijau berumur 45 hari, indeks luas daun mencapai ukuran maksimum. Pada tanaman kacang hijau Walet yang mendapat pengairan normal indeks luas daun maksimum sebesar 3.20, dan yang tercekam kekurangan air selama stadia vegetatif yang disemprot osmolit sorbitol pada konsentrasi 15 ml/l sebanyak lima kali, umumnya lebih rendah bila dibandingkan dengan yang mendapatkan irigasi normal, yaitu sebesar 2.6. Apabila konsentrasi penyemprotan ditingkatkan menjadi 20 ml/l, ternyata tanaman yang tercekam kekurangan air selama stadia vegetatif, generatif maupun pada umur 21-45 hari indeks luas daun maksimumnya sama dengan yang memperoleh pengairan yang normal. Penyemprotan osmolit sorbitol 20 ml/l pada tanaman yang tercekam kekurangan air selama stadia vegetatif mampu meningkatkan ketahanan indeks luas daun sebesar 92%, yaitu indeks luas daun maksimumnya sebesar 2.94, sedangkan untuk tanaman yang tercekam kekurangan air selama stadia generatif bila disemprot osmolit sorbitol 20 ml/l sebanyak lima kali dapat menyamai Indeks luas daun maksimumnya tanaman yang memperoleh pengairan normal sepanjang umur tumbuhan yaitu sebesar 3.16. ILD berangsur-angsur turun dengan bertambahnya umur tanaman. Hal ini disebabkan karena daun-daun sudah

mulai tua bahkan sudah ada yang menguning dan kering. Lebih lengkapnya tersaji pada Tabel 5.40.

Tabel 5.40. Indeks Luas Daun Tanaman Kacang Hijau di Lahan Kering Akibat Penyemprotan Osmolit sorbitol

Perlakuan	Indeks luas daun pada umur ..... (hst)				
	15	25	35	45	55
Pengairan normal	0.10 b	0.46 b	1.88 c	3.20 b	1.12
Tercekam selama stadia vegetatif + disemprot sorbitol 15 ml/l	0.08 a	0.34 a	1.14 a	2.64 a	1.96
Tercekam selama stadia vegetatif + disemprot sorbitol 20 ml/l	0.09 ab	0.32 a	1.44 b	2.94 ab	2.08
Tercekam selama stadia generatif + disemprot sorbitol 15 ml/l	0.10 b	0.46 b	1.86 c	2.80 a	2.04
Tercekam selama stadia generatif + disemprot sorbitol 20 ml/l	0.10 b	0.46 b	1.92 c	3.16 b	2.08
Tercekam pada umur 21-45 hst + disemprot sorbitol 15 ml/l	0.10 b	0.44 b	1.36 ab	2.62 a	1.94
Tercekam pada umur 21-45 hst + disemprot sorbitol 20 ml/l	0.10 b	0.48 b	1.50 b	2.92 ab	2.02
Duncan's	*	*	*	*	tn

Keterangan : Angka-angka pada setiap kolom yang diikuti huruf sama tidak berbeda nyata pada uji Duncan  $\alpha = 0.05$ . \* = berbeda nyata, tn = tidak nyata

Tabel 5.40 memperlihatkan bahwa tanaman kacang hijau yang tercekam kekurangan air selama stadia vegetatif yang disemprot osmolit sorbitol 15 ml/l sebanyak lima kali pada umur 35 hari mempunyai indek luas daun lebih rendah dibanding indeks luas daun tanaman yang tercekam selama stadia generatif. Indeks luas daun tanaman umur 35 hari, pada tanaman yang tercekam kekurangan air selama stadia generatif apabila disemprot osmolit sorbitol 15-20 ml/l mampu menyamai, bahkan lebih tinggi daripada tanaman

yang mendapat pengairan normal selama tumbuhnya. Pada saat tanaman mencapai indeks luas daun maksimum ini semua tanaman yang tercekam kekurangan air pada beberapa stadia pertumbuhan apabila disemprot osmolit sorbitol sebanyak 20 ml/l, indeks luasnya tidak berbeda dengan tanaman yang diairi normal sepanjang hidupnya.

Berdasarkan hasil di atas terbukti bahwa penyemprotan osmolit sorbitol dengan konsentrasi 20 ml/l sebanyak lima kali pada tanaman kacang hijau yang tercekam kekurangan air mampu meningkatkan ketahanan tanaman kacang hijau terhadap indeks luas daun tanaman, yaitu berkisar 91-99% dari tanaman kacang hijau yang selalu kecukupan air.

### **5.3.2. Peranan osmolit dalam meningkatkan ketahanan komponen hasil tanaman kacang hijau di lahan kering yang kekurangan air**

Pemanfaatan osmolit sorbitol dalam meningkatkan ketahanan tanaman yang dibudidayakan di lahan kering yang kekurangan air, dimaksudkan agar mampu memperkecil penurunan hasil biji tanaman kacang hijau. Pengamatan terhadap hasil biji per tanaman, hasil biji per satuan luas, bobot 100 biji, serta indeks panen digunakan sebagai indikator untuk mengevaluasi peranan osmolit tersebut.

#### **5.3.2.1. Hasil biji**

Hasil biji kacang hijau Walet sangat dipengaruhi oleh ketersediaan air di dalam tanah. Tanaman kacang hijau yang kekurangan air pada seluruh

stadia pertumbuhannya berakibat merosotnya hasil biji. Berdasarkan hasil penelitian di rumah kaca (Tabel 5.30) ternyata penurunan hasil biji tersebut dapat diatasi dengan mengadakan penyemprotan osmolit sorbitol. Pada tabel tersebut dilaporkan bahwa tanaman kacang hijau yang mengalami cekaman kekurangan air pada berbagai stadia pertumbuhan bila tidak dilakukan penyemprotan osmolit sorbitol, hasil biji per tanaman hanya berkisar 2.64 sampai 3.46 gram atau berkisar 39-52% dari potensi normalnya. Tetapi apabila dilakukan penyemprotan osmolit sorbitol dengan konsentrasi 20 ml/l, hasil biji per tanaman dapat ditingkatkan menjadi 4.25 sampai 6.49 gram atau berkisar 64 sampai 97% dari potensi normalnya. Hasil dari kajian di rumah kaca tersebut ternyata tidak jauh berbeda dengan hasil uji verifikasi di lapang yang hasilnya disajikan pada Tabel 5.41.

Tabel 5.41 Hasil Biji dan Komponen Hasil Tanaman Kacang Hijau Walet di Lahan Kering yang kekurangan air akibat Penyemprotan Osmolit sorbitol

Perlakuan	Hasil Biji (ton/ha)	Hasil Biji per Tanaman (g/tan)	Bobot 100 biji (g)	Indeks Panen (%)
Pengairan normal	1.62 b	7.49 c	6.39	29.25
Tercekam selama stadia vegetatif + disemprot sorbitol 15 ml/l	1.43 a	5.62 a	5.21	24.04
Tercekam selama stadia vegetatif + disemprot sorbitol 20 ml/l	1.54 ab	7.04 bc	5.73	28.46
Tercekam selama stadia generatif + disemprot sorbitol 15 ml/l	1.52 ab	6.25 ab	5.59	26.34
Tercekam selama stadia generatif + disemprot sorbitol 20 ml/l	1.59 ab	7.41 c	6.13	27.49
Tercekam pada umur 21-45 hst + disemprot sorbitol 15 ml/l	1.46 ab	6.07 ab	5.34	26.13
Tercekam pada umur 21-45 hst + disemprot sorbitol 20 ml/l	1.52 ab	6.23 ab	5.81	27.69
Duncan's	*	*	tn	tn

Keterangan : Angka-angka pada masing-masing kolom yang diikuti huruf sama tidak berbeda nyata pada uji Duncan ( $\alpha = 0.05$ ). \* = berbeda nyata, tn = tidak nyata,

Pada uji verifikasi di lahan kering yang kekurangan air terbukti bahwa hasil biji per hektar tanaman kacang hijau yang tercekam kekurangan air pada stadia pertumbuhan vegetatif, generatif maupun yang mengalami cekaman sejak pertengahan stadia vegetatif sampai pertengahan stadia generatif, apabila disemprot osmolit sorbitol 20 ml/l sebanyak lima kali ternyata mampu menyamai hasil biji per hektar tanaman yang selalu kecukupan air selama hidupnya. Penyemprotan osmolit sorbitol pada konsentrasi 15 ml/l sebanyak lima kali pada tanaman yang mengalami cekaman kekurangan air, hasil biji per hektar yang dihasilkan tidak berbeda dengan yang disemprot 20 ml/l.

Tanaman kacang hijau yang kekurangan air selama stadia vegetatif apabila disemprot sorbitol 15 ml/l hasil biji per hektar sebesar 1.43 t/ha atau 12% lebih rendah dibanding dengan tanaman yang selama pertumbuhannya selalu memperoleh pengairan normal yaitu sebesar 1.62 t/ha.

Berdasarkan hasil kajian di rumah kaca, apabila tanaman kacang hijau yang tercekam selama stadia vegetatif ini tidak dilakukan penyemprotan sorbitol hasil biji turun sampai mencapai 51%, namun bila disemprot sorbitol sebanyak 15 ml/l penurunan hasil biji dapat ditekan sampai 20.5% atau ketahanan hasilnya berkisar 79.5%. Jika konsentrasi penyemprotan osmolit ditingkatkan menjadi 20 ml/l ternyata ketahanan hasil biji dapat ditingkatkan menjadi 91%. Pada perlakuan yang sama setelah dilakukan uji verifikasi di lapang (di lahan kering yang kekurangan air) ternyata adanya penyemprotan osmolit sorbitol 15 ml/l mampu menekan kehilangan hasil biji per hektar dapat hingga 12%,

atau ketahanan hasilnya sebesar 88%, tetapi apabila konsentrasi penyemprotan sorbitol ditingkatkan 20 ml/l penurunan hasil biji per hektar dapat ditekan hanya 5% atau ketahanan hasilnya sebesar 95%.

Tanaman kacang hijau yang mengalami cekaman kekurangan air selama stadia generatif dapat berakibat penurunan hasil biji mencapai 50% bila dibandingkan dengan tanaman yang memperoleh pengairan yang normal. Hasil uji verifikasi ternyata penurunan hasil tersebut dapat diatasi dengan penyemprotan osmolit sorbitol sebanyak 15-20 ml/l. Apabila tanaman yang tercekam kekurangan air selama stadia generatif tersebut disemprot sorbitol 15 ml/l penurunan hasil biji per hektar hanya 6% sehingga ketahanan hasilnya sebesar 94%, sedang jika disemprot 20 ml/l penurunan hasil biji per hektar hanya sekitar 2% atau ketahanan hasil sebesar 98%.

Tanaman kacang hijau yang mengalami kekurangan selama umur 21 sampai 45 hari dapat mengakibatkan penurunan hasil biji sebesar 48%, tetapi berdasarkan hasil uji verifikasi di lapang penurunan hasil tersebut dapat diperkecil dengan menyemprot osmolit sorbitol dengan konsentrasi 15-20 ml/l, yaitu masing-masing mampu menekan kehilangan hasil biji per hektar mencapai 6% untuk konsentrasi 20 ml/l dan 9.9% untuk penyemprotan dengan konsentrasi 15 ml/l.

Berdasarkan hasil di atas terbukti bahwa penyemprotan osmolit sorbitol pada tanaman kacang hijau yang dibudidayakan di lahan kering yang hanya tersedia air sebesar 150 mm/musim atau 50% dari kebutuhan normalnya, mampu meningkatkan ketahanan hasil biji per hektar.

Dengan demikian dari penelitian ini ditemukan hasil bahwa untuk mengatasi masalah rendahnya hasil kacang hijau di lahan yang kekurangan air dapat ditempuh melalui penyemprotan osmolit salahsatunya adalah sorbitol. Penyemprotan sorbitol dengan konsentrasi 20 ml/l yang disemprotkan lima kali pada tanaman kacang hijau yang tercekam selama stadia generatif mampu meningkatkan ketahanan hasil biji paling tinggi yaitu 98% dari kondisi tanaman yang memperoleh irigasi normal.

#### **5.3.2.2. Ukuran biji**

Ukuran biji merupakan salah satu variabel yang digunakan untuk melihat kualitas biji. Untuk mengevaluasi peranan osmolit terhadap ukuran biji yang dihasilkan oleh tanaman kacang hijau yang tercekam kekurangan air digunakan pendekatan melalui bobot 100 biji. Cekaman kekurangan air yang dilakukan adalah pemberian air sebanyak 50% dari kebutuhan normalnya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penyemprotan osmolit sorbitol pada tanaman yang tercekam kekurangan air terhadap kualitas biji kacang hijau Walet, tidak berbeda dengan tanaman yang selalu berkecukupan air selama hidupnya. Adapun nilai bobot 100 biji tanaman kacang hijau yang dihasilkan pada percobaan verifikasi di lapang berkisar 5.21 gram sampai 6.39 gram. Hasil ini membuktikan bahwa penyemprotan osmolit pada daun tanaman kacang hijau yang tercekam kekurangan air mampu memperkecil penurunan kualitas hasil biji.

### 5.3.2.3. Indeks panen

Indeks panen merupakan salah satu cara untuk mengetahui efisiensi tanaman dalam memanfaatkan asimilat dalam hasil yang mempunyai nilai ekonomis dari suatu tanaman. Pada tanaman kacang hijau produk yang dinilai mempunyai nilai ekonomis adalah biji. Berdasarkan hasil pengujian di lapang ternyata tanaman kacang hijau yang tercekam kekurangan air bila disemprot osmolit sorbitol sebanyak 15-20 ml/l nilai indeks panennya sama dengan yang mendapat pengairan normal (Tabel 5.39). Apabila dilihat dari nilai indeks panen terdapat kecenderungan bahwa tanaman yang tercekam kekurangan air bila disemprot osmolit sorbitol 20 ml/l efisiensinya relatif tinggi dan tidak berbeda dengan tanaman yang memperoleh pengairan normal. Pada tanaman kacang hijau yang mendapat pengairan normal nilai indeks panen sebesar 29.25%, sedangkan untuk tanaman yang tercekam kekurangan air pada stadia vegetatif, generatif dan pada umur 25-45 hari yang disemprot sorbitol sebanyak 20 ml/l indeks panennya masing-masing sebesar 28.5%, 27.5% dan 27.7%, kesemuanya menunjukkan tidak berbeda. Hal ini membuktikan bahwa pada tanaman yang tercekam air bila dibantu dengan penyemprotan osmolit sorbitol berkisar 27.5-28.5% dari bobot kering total biomassa tanaman berupa biji. Semakin tinggi nilai indeks panen berarti efisiensi tanaman dalam memanfaatkan produk fotosintat untuk pembentukan biji semakin tinggi pula. Penyemprotan osmolit sorbitol dengan konsentrasi 20 ml/l sebanyak lima kali pada tanaman yang tercekam kekurangan air selama

stadia vegetatif cenderung mempunyai efisiensi penyimpanan fotosintat menjadi biji relatif paling tinggi.

Analisis usahatani tanaman kacang hijau didasarkan pada perhitungan pengeluaran pembiayaan usahatani, meliputi sewa tanah, pajak PBB, pengolahan tanah, sarana produksi, upah tenaga kerja. Pendapatan didasarkan pada hasil penjualan biji kacang hijau. Selisih antara pendapatan kotor dan pengeluaran, dinyatakan sebagai keuntungan usaha. Jumlah pendapatan kotor didasarkan pada hasil penjualan biji ose yang dihasilkan dari panen dan harga pasar yang digunakan berdasarkan harga jual biji kacang hijau pada bulan Januari 2001 di Malang adalah Rp 4.250,-.

Jumlah sorbitol yang digunakan untuk perusahaan tanaman kacang hijau yang mengalami cekaman kekurangan air pada stadia vegetatif ataupun generatif dengan menggunakan larutan semprot sebanyak 400 l untuk setiap kali penyemprotan. Apabila dalam penyemprotan tersebut menggunakan konsentrasi osmolit sorbitol 20 ml/l maka setiap kali penyemprotan diperlukan sorbitol sebanyak  $400 \times 20 \text{ ml} = 8.000 \text{ ml}$  atau 8 liter. Pada pembudidayaan kacang hijau yang tercekam kekurangan air selama stadia vegetatif maupun generatif yang disemprot sorbitol dengan konsentrasi 20 ml/l sebanyak lima kali maka kebutuhan sorbitol total 40 l. Harga sorbitol produksi PT Sorini adalah Rp 4.500,-/l, sehingga diperlukan biaya pengadaan sorbitol adalah sebanyak Rp 180.000,-.

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa untuk pengusahaan tanaman kacang hijau dalam kondisi irigasi normal (300 mm/musim) diperoleh hasil biji per hektar sebesar 1.62 ton, maka pendapatan kotor yang dapat diperoleh adalah Rp 6.885.000,-. Sedangkan pengeluaran totalnya sebesar Rp 3.392.500,-, sehingga keuntungan yang dapat diperoleh adalah sebesar Rp 3.492.500,-. Apabila diusahakan dalam kondisi selalu tercekam kekurangan air selama hidupnya ( air yang tersedia hanya 50% dari kebutuhan normalnya) dan hasil biji per hektar hanya 0.646 ton, maka pengusahanya akan menderita kerugian sebesar Rp 347.000,-. Jika tanaman kacang hijau yang dibudidayakan mengalami cekaman kekurangan air selama stadia vegetatif atau generatif saja, tanpa dibantu dengan penyemprotan sorbitol maka hasil biji yang dapat diperoleh masing-masing berkisar 792 kg/ha dan 812 kg/ha, dan keuntungan yang diperoleh masing-masing hanya Rp 273.500,- untuk tercekam selama stadia vegetatif dan Rp 358.500,- untuk yang tercekam selama stadia generatif. Ternyata apabila tanaman yang tercekam tersebut dilakukan penyemprotan sorbitol dengan konsentrasi 20 ml/l keuntungan yang diperoleh masing-masing sebanyak Rp 3.022.500,- untuk yang tercekam selama stadia vegetatif dan Rp 3.235.500,- untuk yang tercekam selama stadia generatif. Dengan demikian penggunaan osmolit sorbitol untuk meningkatkan ketahanan tanaman kacang hijau yang tercekam kekurangan air selama stadia vegetatif dan generatif dapat meningkatkan keuntungan rata-rata 10 kali lipat. Perhitungan selengkapnya terinci pada lampiran 9.

## **BAB 6**

### **PEMBAHASAN**

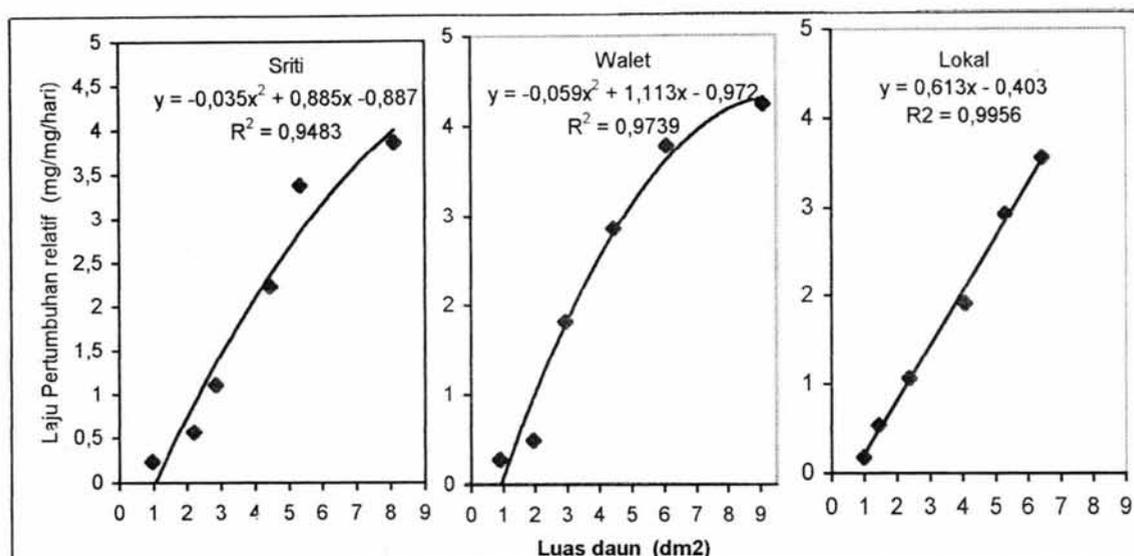
#### **6.1. Respon Kultivar Tanaman Kacang Hijau terhadap Kondisi Kekurangan Air**

Dalam kehidupan tanaman, air merupakan komponen lingkungan yang sangat menentukan keberhasilan dalam berproduksi, sehingga apabila dalam kehidupan tanaman mengalami kekurangan air maka proses pertumbuhan maupun produksi tanaman akan mengalami gangguan. Hasil pengujian respon tiga kultivar tanaman kacang hijau terbukti bahwa seluruh kultivar sangat dipengaruhi oleh tingkat pencekaman kekurangan air. Seluruh kultivar menunjukkan terjadinya penurunan pertumbuhan dan hasil biji pada tingkat ketersediaan air di daerah perakaran yang semakin rendah. Secara rinci diuraikan sebagai berikut

##### **6.1.1. Dampak cekaman kekurangan air terhadap pertumbuhan tanaman kacang hijau**

Respon tiga kultivar kacang hijau terhadap tingkat ketersediaan air bagi tanaman kacang hijau ternyata berbeda. Berdasarkan hasil evaluasi terhadap potensi hasil dari tiga kultivar tanaman kacang hijau yang dicoba ternyata kultivar Walet mempunyai potensi tumbuh dan berproduksi lebih tinggi dibanding dengan kultivar Sriti dan lokal. Terbukti dari tingginya nilai beberapa variabel pertumbuhan seperti tinggi tanaman, panjang akar, kandungan klorofil, air relatif daun maupun asam absisat di dalam daun dari

tiga kultivar relatif sama. Jika diperhatikan dari laju pertumbuhan relatif tanaman ternyata kultivar Walet 28% lebih tinggi dari kultivar Sriti dan sekitar 41% lebih tinggi dari kultivar lokal. Tingginya laju pertumbuhan relatif tersebut berhubungan erat dengan luas daun maupun indeks luas daun dari masing-masing kultivar. Berdasarkan hasil analisis regresi dan korelasi ternyata kultivar Walet memiliki pertambahan laju pertumbuhan relatif lebih tinggi dibanding dua kultivar yang lain. Bentuk hubungan antara laju pertumbuhan relatif dengan luas daun adalah sebagai berikut : Kultivar **Walet**  $Y = - 0.972 + 1.113 X - 0.059 X^2$  ( $R^2 = 0.9739$ ), kultivar **Sriti**,  $Y = - 0.887 + 0.885 X - 0.035 X^2$  ( $R^2 = 0.9483$ ) dan **lokal**  $Y = 0.403 + 0.613X$  ( $R^2 = 0.9956$ ). Dari persamaan tersebut terbukti bahwa laju pertumbuhan relatif kultivar Walet menunjukkan respon paling tinggi terhadap perubahan luas daun dibanding kultivar yang lain. Hal tersebut dapat dilihat dari besarnya nilai intersep dan koefisien regresi kultivar Walet tampak paling tinggi dibanding yang lain. Nilai slope (koefisien regresi) dari suatu persamaan regresi memperlihatkan besarnya nilai kontribusi terhadap perubahan nilai variabel terikat oleh setiap satu satuan variabel bebas (Steel dan Torrie, 1989). Persamaan di atas memperlihatkan bahwa setiap peningkatan luas daun sebesar satu  $dm^2$ , mengakibatkan terjadinya peningkatan laju pertumbuhan relatif masing-masing sebesar  $1.113 \text{ mg mg}^{-1} \text{ hari}^{-1}$  untuk Walet, sedangkan kultivar Sriti dan lokal masing-masing sebesar  $0.885 \text{ mg mg}^{-1} \text{ hari}^{-1}$  dan  $0.613 \text{ mg mg}^{-1} \text{ hari}^{-1}$ . Lebih jelasnya disajikan pada Gambar 6.1



Gambar 6.1. Hubungan laju Pertumbuhan Relatif dengan Luas daun Tiga Kultivar Tanaman Kacang Hijau

Tingkat ketersediaan air bagi tanaman kacang hijau sangat berpengaruh terhadap laju pertumbuhan relatif tanaman kacang hijau. Hasil pengamatan telah dilaporkan bahwa rendahnya ketersediaan air di dalam tanah berakibat rendahnya laju pertumbuhan relatif tanaman kacang hijau. Rendahnya laju pertumbuhan relatif tersebut berhubungan erat dengan rendahnya organ-organ tubuh tanaman, seperti tinggi tanaman, luas daun, indeks luas daun, bobot kering tanaman serta ukuran akar tanaman. Persediaan air di dalam tanah yang rendah mengakibatkan indeks luas daun turun, hal tersebut berdampak pada rendahnya laju pertumbuhan relatif tanaman. Pada hasil penelitian Pandey, Herrera dan Villegas (1988) dilaporkan bahwa dampak kondisi tercekam kekurangan air mengakibatkan indeks luas daun kacang hijau turun sampai 50-77%. Hasil percobaan Haqqani dan Pandey (1994) juga menunjukkan bahwa tanaman kacang hijau diusahakan dalam kondisi

kekurangan air mengakibatkan indeks luas daun turun 32.9%, laju pertumbuhan turun sampai mencapai 60% bila dibanding tanaman yang berada pada kondisi basah. Rendahnya kandungan air berakibat potensial air semakin tinggi dan ini berdampak pada penurunan produksi bahan kering dan pertumbuhan bagian tanaman turun sebesar 34% (Berry, *et al*, 1992). AVRDC (1983) juga melaporkan bahwa tanaman yang mengalami cekaman kekurangan air mengakibatkan laju penambahan luas daun menurun dari 8.65 cm<sup>2</sup>/hari menjadi 1.57 cm<sup>2</sup>/hari.

Tanaman yang berada pada kondisi kekurangan air (100 mm/musim) ternyata ukuran daun lebih kecil dan relatif lebih tebal dibanding tanaman yang selalu kecukupan air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa luas daun spesifik (LDS) semakin tinggi bila jumlah ketersediaan air di dalam tanah semakin banyak. Menurut Sitompul dan Guritno (1995) nilai luas daun spesifik dapat digunakan untuk mengevaluasi ketebalan daun, yaitu semakin tinggi nilai luas daun spesifik, ukuran daun semakin tipis. Berdasarkan hasil analisis regresi ternyata luas daun spesifik mempunyai hubungan positif dengan kandungan klorofil yang diperlihatkan dalam persamaan berikut :  $Y = - 119.30 + 1679.34 X$  ( $R^2 = 0.9014$ ). Dari persamaan tersebut dapat dijelaskan bahwa setiap peningkatan satu satuan nilai luas daun spesifik berakibat bertambahnya kandungan klorofil sebanyak 1679.3 buah. Kandungan klorofil yang tinggi berdampak semakin besarnya produksi bahan kering dan laju pertumbuhan relatif tanaman kacang hijau. Hal ini terbukti pada tanaman kacang hijau yang mendapatkan air dalam jumlah normal (300

mm/musim) laju pertumbuhan relatif maupun bobot bahan kering total tanaman paling tinggi. Sebaliknya pada tanaman yang kekurangan air, ukuran daunnya kecil-kecil dan tebal ternyata jumlah klorofilnya relatif lebih sedikit. Rendahnya jumlah klorofil berakibat produksi bahan kering juga rendah, sehingga pertumbuhan tanaman menjadi terhambat pula. Hubungan antara kandungan klorofil dengan bahan kering yang digambarkan dalam persamaan berikut :  $Y = -18.60 + 0.06 X$  ( $R^2 = 0.9320$ ),

di mana  $Y$  = bobot kering total tanaman dan  $X$  = kandungan klorofil.

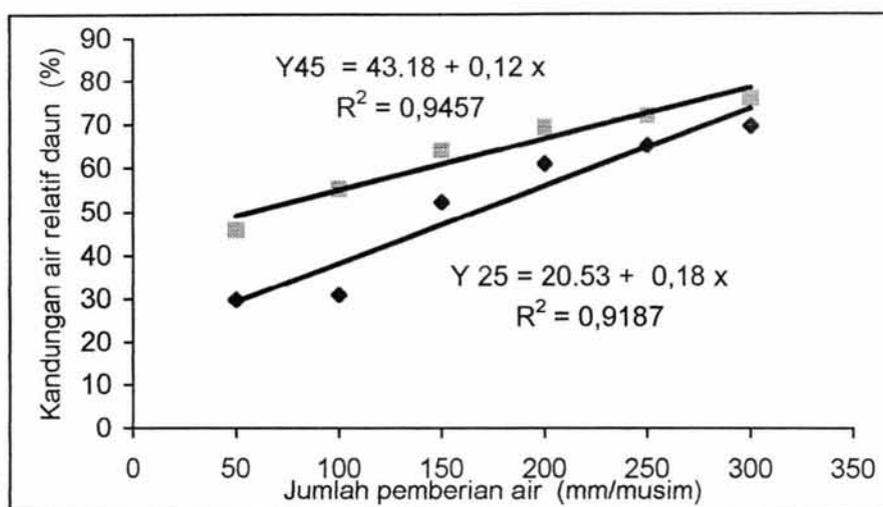
Tanaman kacang hijau yang tumbuh dalam kondisi kekurangan air (100 mm/musim) ternyata ukuran akarnya lebih panjang dibanding dengan tanaman yang memperoleh pengairan yang cukup banyak. Hal ini menggambarkan bahwa pada kondisi air yang terbatas merangsang akar untuk tumbuh memanjang dalam upaya untuk memperoleh persediaan air yang lebih jauh ke bagian lebih dalam. Ternyata dalam percobaan Haqqani dan Pandey, (1994) ; AVRDC (1983) juga diperoleh hasil yang serupa. Namun perkembangan pemanjangan akar pada kondisi tercekam kekurangan air relatif lebih lambat dan memerlukan waktu yang lebih lama (Chiatante, *et al.* 1999). Boyer (1996); Taiz dan Zeiger (1991) mengemukakan bahwa salah satu bentuk respon tanaman dalam mengatasi masalah kekeringan adalah dengan berkembangnya sistem perakaran yang lebih dalam. Perakaran yang dalam memberi keuntungan bagi tanaman karena tanaman dapat berdiri lebih kokoh, dapat memanfaatkan hara dan air di lapisan tanah lebih dalam (Pandey, Herrera dan Villegas, 1988).

Air merupakan komponen utama dari organ tubuh organisme hidup, terutama pada komponen protoplasma bila air sangat kurang maka tanaman tidak mungkin dapat hidup. Jumlah air di dalam tubuh tanaman selalu berubah-ubah, sehingga apabila ketersediaan air di dalam tanah turun maka kandungan air di dalam tubuh tanaman akan menurun pula. Turunnya kandungan air ini berakibat turgor turun, perpanjangan sel terhenti, stomata menutup, terjadi reduksi laju fotosintesis dan tanaman menjadi layu (Milburn, 1979; Turner, 1998).

Tanaman kacang hijau yang kekurangan air memperlihatkan kandungan air relatif daun, klorofil lebih rendah dibanding yang memperoleh pengairan lebih banyak. Persediaan air di dalam tanah mempunyai hubungan erat dengan kandungan air di dalam daun. Pada daun muda kandungan air daun relatif tinggi, sehingga perubahan ketersediaan air sangat berpengaruh terhadap perkembangannya. Ekanayake, Ortize dan Vuylsteke (1995) mengemukakan bahwa daun-daun yang lebih tua responya terhadap kekeringan lebih rendah dibanding daun muda.

Berdasarkan hasil analisis regresi ternyata antara jumlah air di dalam tanah dan kandungan air relatif di daun terdapat hubungan linier. Hubungan kandungan air di dalam daun dengan persediaan air di dalam tanah pada stadia vegetatif (umur 25 hari) diperlihatkan dalam persamaan sebagai berikut :  $Y = 20.53 + 0.18 X$  ( $R^2 = 0.9582$  ). Berarti setiap penambahan air sebesar 1 mm/musim akan mampu meningkatkan kandungan air relatif daun sebanyak 0.18%, sedangkan pada stadia generatif (umur 45 hari) laju

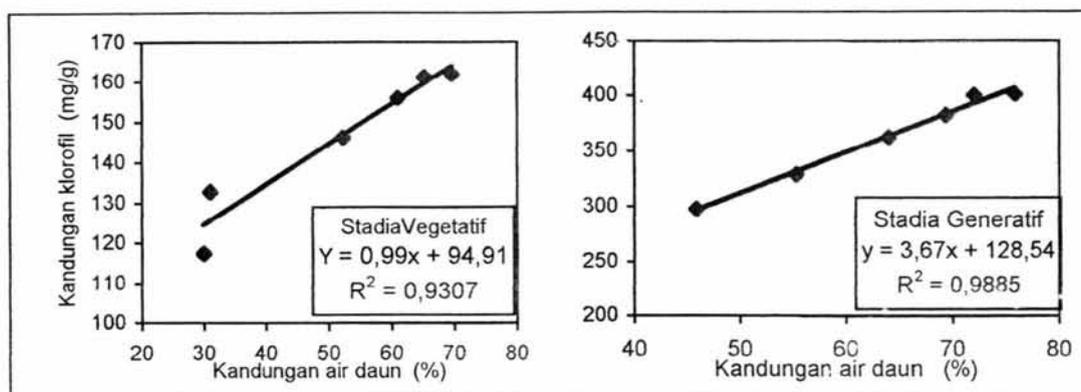
pertambahan kandungan air daun hanya 0.12%. Hasil analisis diperlihatkan hubungan linier  $Y = 43.18 + 0.12 X$ . ( $R^2 = 0.97$ ). Dari ke dua persamaan tersebut terlihat bahwa laju peningkatan kandungan air dalam daun pada stadia vegetatif lebih tinggi dibanding pada stadia generatif (Gambar 6.2).



Gambar 6.2. Hubungan antara jumlah pemberian air dan kandungan air relatif daun pada umur 25 dan 45 hari

Apabila melihat hubungan antara kandungan air daun dengan kandungan klorofil pada daun ditemukan hubungan sebagai berikut : [a] pada saat tanaman berada pada stadia vegetatif (25 hari) hubungannya  $Y = 94.91 + 0.99 X$  dan [b] pada stadia generatif (45 hari) ditemukan hubungan  $Y = 128.54 + 3.67 X$  (Gambar 6.3).

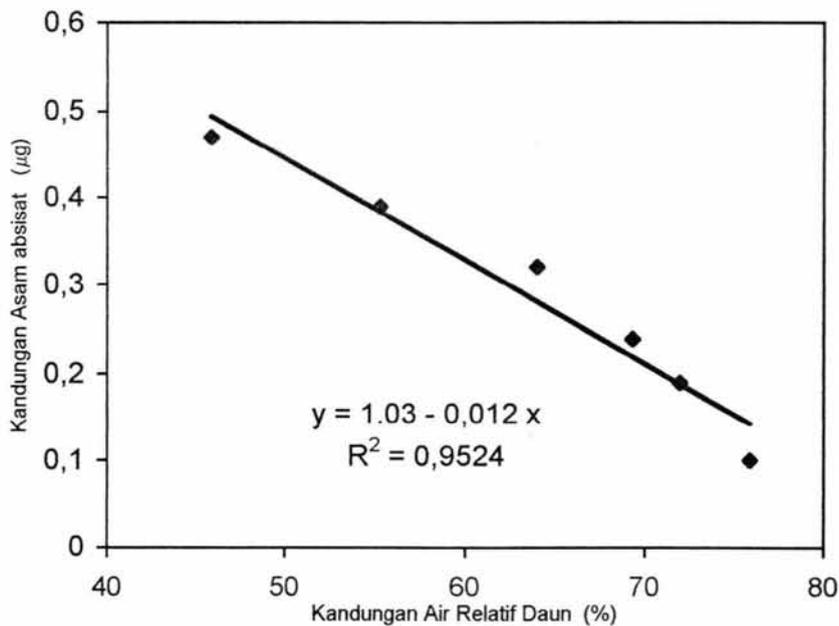
Dari ke dua persamaan di atas tampak bahwa setiap satu persen pertambahan kandungan air daun mengakibatkan terjadinya peningkatan kandungan klorofil sebesar 0.99 mg/g pada stadia vegetatif dan 3.67 mg/g pada stadia generatif.



Gambar 6.3. Hubungan antara kandungan air relatif di dalam daun dan kandungan klorofil pada stadia vegetatif dan generatif

Dari hasil tersebut membuktikan bahwa air mempunyai peranan erat dalam proses pembentukan klorofil. Rendahnya kandungan air relatif pada daun berdampak turgor sel penjaga menjadi turun pula, akibatnya stomata menutup. Stomata mempunyai peranan penting dalam kehidupan tanaman terutama dalam mengatur pertukaran gas dari dan ke dalam sel, sehingga apabila stomata menutup berarti proses pengendalian pertukaran gas-gas untuk proses fotosintesis maupun yang lain menjadi terganggu, akibatnya produksi menjadi rendah (Meinder, 1981). Taiz dan Zeiger (1991) juga mengungkapkan bahwa terjadinya penurunan kandungan air di dalam daun berakibat turgor pada sel penjaga stomata menurun pula dan selanjutnya stomata menjadi menutup. Davies, *et al*, (1981) mengungkapkan bahwa perilaku stomata pada daun banyak ditentukan kandungan asam absisat. Asam absisat memainkan peranan dalam memelihara turgor di dalam mesofil sel. Kloroplas merupakan tempat utama pembentukan asam absisat pada daun-daun yang hijau. Asam absisat yang dibentuk di dalam mesofil ini selanjutnya diangkut ke sel penjaga.

Kandungan asam absisat pada tanaman kacang hijau yang kekurangan air terlihat semakin tinggi. Pada kondisi yang kurang air penurunan kandungan air di dalam daun berakibat meningkatnya kandungan asam absisat. Hubungan kandungan asam absisat dengan kandungan air relatif di dalam daun ditunjukkan dalam persamaan regresi sebagai berikut :  $Y = 1.03 - 0.12 X$  ( $R^2 = 0.95$ ). Persamaan tersebut menunjukkan bahwa kandungan asam absisat di dalam daun berbanding terbalik dengan kandungan air di dalam daun, yaitu semakin rendah kandungan air daun ternyata kandungan asam absisat di dalam daun semakin tinggi.



Gambar 6.4. Hubungan antara kandungan air Relatif daun dan Kandungan Asam absisat di dalam daun.

Dari persamaan di atas memperlihatkan bahwa setiap terjadi penurunan kandungan air relatif daun sebesar 1% maka kandungan asam absisat naik sebanyak 0.12 µg. Tingginya kandungan asam absisat di dalam sel

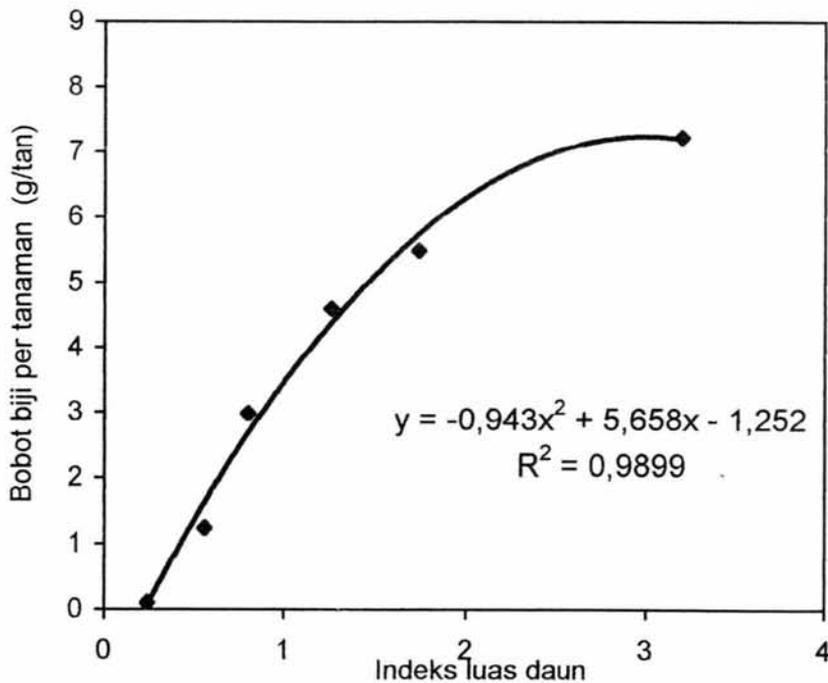
berakibat menutupnya stomata. Di dalam tubuh tanaman asam absisat secara kontinyu disintesis pada sel mesofil dan sebagian besar ditimbun di dalam kloroplast. Apabila di dalam sel mesofil tersebut mengalami dehidrasi maka asam absisat yang tersimpan di dalam sel mesofil dilepas ke apoplas, dan laju sintesis semakin tinggi menyebabkan penutupan stomata dan akan menghambat fotosintesis (Saini dan Westgate, 2000 ; Boyer, 1996 ; Taiz dan Zeiger, 1991). Meningkatnya asam absisat di dalam sel mengakibatkan terjadinya pengaliran proton  $K^+$  dari sel penjaga. Adanya pengaliran tersebut maka turgor sel penjaga stomata turun dan stomata menjadi menutup (Moore, 1979; Salisbury dan Ross, 1995 ; Kende dan Zeevaart, 1997).

#### **6.1.2. Dampak cekaman kekurangan air terhadap produksi tanaman kacang hijau**

Respon kultivar kacang hijau terhadap kekurangan air berbeda-beda dari ke tiga kultivar yang dicoba. Hasil analisis menunjukkan bahwa kultivar Walet ternyata mempunyai potensi hasil paling tinggi dibanding dua kultivar lain. Hal ini terbukti Walet mempunyai bobot polong per tanaman, jumlah polong, ukuran polong serta indeks panen lebih tinggi.

Komponen hasil biji tanaman kacang hijau sangat dipengaruhi oleh tingkat ketersediaan air di dalam tanah. Cekaman kekurangan air menimbulkan dampak yang sangat nyata terhadap komponen hasil. Terhadap hasil polong pemberian air sebanyak 50 mm mengakibatkan perkembangan polong sangat terhambat. Rendahnya produksi biji pada tanaman yang mengalami

kekurangan air disebabkan terganggunya proses reproduksi akibatnya jumlah polong maupun biji yang dihasilkan oleh tanaman menjadi berkurang (Boyer, 1999). Persediaan air di dalam tanah semakin sedikit (50-100 mm/musim) hasil komponen produksi terlihat paling rendah. Hal ini berkaitan erat dengan rendahnya hasil pengamatan variabel pertumbuhan seperti laju pertumbuhan maupun indeks luas daun. Berdasarkan hasil analisis regresi ternyata hasil biji per tanaman sangat berhubungan erat dengan indeks luas daun. Hubungan tersebut digambarkan dalam persamaan berikut :  $y = - 1.25 + 5,66 x - 0.94 x^2$  ( $R^2 = 0,9899$ ), di mana hasil biji per tanaman (Y) dan indeks luas daun maksimum (X) (Gambar 6.5).



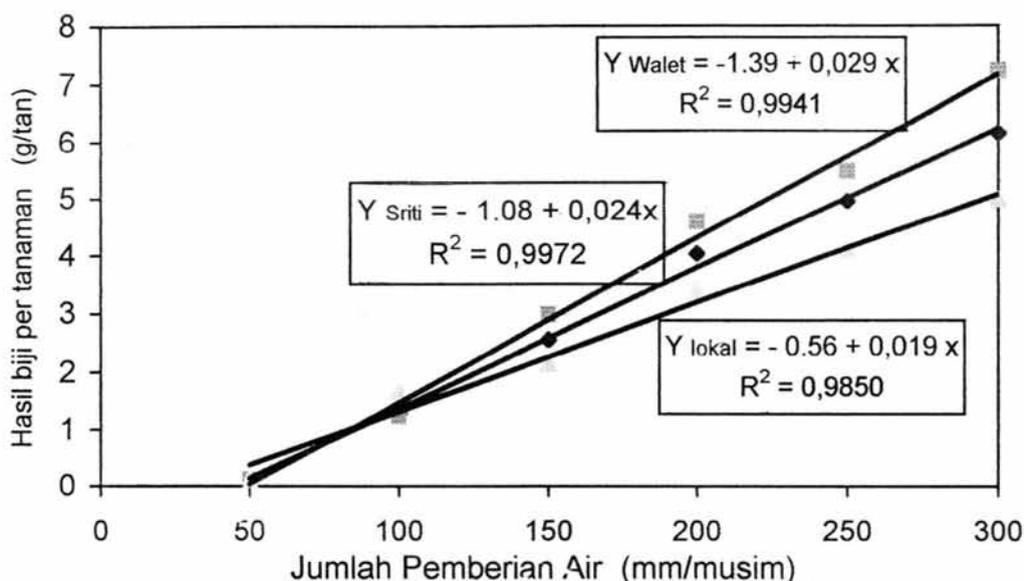
Gambar 6.5. Hubungan antara hasil biji per tanaman dan Indeks luas daun maksimum kultivar Walet

Gambar 6.5. memperlihatkan bahwa hubungan antara hasil biji dan indeks luas daun pada tingkat indeks luas daun yang rendah peningkatan nilai ILD diikuti oleh meningkatnya bobot biji per tanaman, namun apabila ILD sudah melebihi 3 maka hasil biji ada kecenderungan turun. Hal ini berkaitan erat dengan terjadinya saling menutupnya permukaan daun, sehingga efisiensi fotosintesis per satuan luermukaan daun menjadi turun.

Berdasarkan persamaan di atas maka dapat diketahui ILD optimum yang mendukung hasil biji yang tertinggi adalah 3.01.

Hubungan antara Laju pertumbuhan relatif tanaman (X) dan hasil biji per tanaman didapatkan model berikut :  $Y = 0.87 + 1.31 X$  ( $R^2 = 0.85$ ). Pada model persamaan tersebut terlihat bahwa setiap peningkatan nilai laju pertumbuhan sebesar 1 mg/mg/hari bahan kering dapat meningkatkan hasil biji per tanaman sebesar 1.31 gram. Dari persamaan tersebut menunjukkan bahwa semakin tingginya laju pertumbuhan relatif tanaman maka berdampak pada peningkatan hasil biji per tanaman. Dengan demikian pada tanaman kacang hijau yang mendapatkan pengairan sangat sedikit (50-100 mm/musim) mempunyai laju pertumbuhan maupun indeks luas daun paling rendah, sehingga hasil biji yang diperoleh semakin sedikit. Hasil sama juga dilaporkan oleh Pannu dan Singh (1988) bahwa tanaman kacang hijau yang selama hidupnya bila tidak diairi dalam jumlah yang cukup memperlihatkan hasil komponen produksi paling rendah. Menurut Saini dan Westgate (2000) rendahnya proses pengisian biji pada tanaman yang kekeringan dipengaruhi oleh konsentrasi asam absisat.

Respon tiga kultivar tanaman kacang hijau terhadap jumlah persediaan air di dalam tanah mempunyai hubungan linier dengan hasil biji per tanaman, diperlihatkan pada Gambar 6.6.



Gambar 6.6. Hubungan antara Jumlah Persediaan Air di dalam Tanah dan Hasil Biji Tiga Kultivar Kacang hijau

Dalam persamaan pada Gambar 6.6 tersebut membuktikan bahwa pada kultivar Sriti, setiap peningkatan ketersediaan jumlah air yang diberikan pada tanaman kacang hijau sebanyak 1 mm berakibat terjadinya pertambahan hasil biji sebanyak 24 mgram. Pada kultivar Walet memperlihatkan respon yang paling tinggi yaitu sebesar 29  $mg\ mm^{-1}$  air, dan yang paling rendah adalah kultivar lokal yaitu sebesar 19  $mg\ mm^{-1}$  air.

Dampak penurunan jumlah air di dalam tanah sebanyak 50% dari kebutuhan optimal kultivar Walet mengakibatkan penurunan hasil sebesar 58,7% dan Apabila persediaan air di dalam tanah sebanyak 75% dari kebutuhan normal hasil biji per tanaman turun sebanyak 30%. Hasil penelitian Pandey, Herrera

dan Villegas (1988) juga melaporkan bahwa tanaman kacang hijau yang dibudidayakan dalam kondisi kekeringan, jumlah polong berkurang sampai 53.6% dibanding yang diusahakan dalam kondisi basah, demikian pula yang terjadi pada jumlah biji per polong berkurang sampai 40%.

Berdasarkan hasil evaluasi kepekaan tanaman terhadap kekurangan air ternyata Walet mempunyai kepekaan relatif lebih tinggi dibanding Sriti maupun lokal. Tingkat kepekaan tanaman diperlihatkan dari nilai koefisien regresi yang menggambarkan besarnya perubahan *slope* (kemiringan) garis persamaan regresinya (Steel dan Torrie, 1989). Bertambah besar nilai koefisien berarti kultivar tersebut semakin peka terhadap perubahan tingkat ketersediaan air. Dari nilai tersebut berarti kultivar Walet paling peka terhadap perubahan ketersediaan air di dalam tanah sedang kultivar lokal paling tahan.

Berdasarkan hasil analisis statistik ternyata ke tiga kultivar mempunyai efisiensi penggunaan air yang sangat berbeda. Kultivar Walet mempunyai efisiensi penggunaan air paling tinggi dibanding Sriti maupun Lokal. Setiap *mm* air irigasi yang ditambahkan untuk pertumbuhan tanaman kultivar Walet mampu menghasilkan hasil biji sebesar 0.27 mg/mm air, sedang kultivar Sriti dan Lokal masing-masing sebesar 0.22 dan 0.19 mg/mm air. Walaupun kultivar Walet sangat peka terhadap persediaan air di dalam tanah, namun karena potensi pertumbuhan dan hasil biji cukup tinggi, sehingga efisiensi penggunaan air untuk membentuk organ produksi (biji) cukup tinggi pula.

Berdasarkan pertimbangan di atas maka tanaman kacang hijau Walet merupakan kultivar yang mempunyai potensi hasil paling tinggi dibanding Sriti maupun lokal, tetapi relatif lebih peka terhadap cekaman kekurangan air. Kultivar Walet paling peka dan efisiensi penggunaan air paling tinggi di antara dua kultivar yang lain. Bertitik tolak dari hal di atas maka dipilih kultivar Walet sebagai kultivar yang digunakan untuk percobaan tahap II, yaitu mempelajari periode kapan yang paling peka terhadap kekurangan air dan usaha untuk meningkatkan ketahanan tanaman kacang hijau pada kondisi tercekam kekurangan air.

## **6.2. Peranan Sorbitol dalam Meningkatkan Daya Tahan Tanaman Kacang Hijau pada Kondisi Kekurangan Air.**

Hasil penelitian telah ditemukan bahwa tanaman yang tercekam kekurangan air selama kehidupannya, mempunyai pertumbuhan paling jelek dibanding dengan yang lain. Hal ini disebabkan karena air yang diperlukan untuk aktivitas metabolisme tidak mencukupi, sehingga proses perkembangan sel terganggu dan akibatnya pertumbuhan dan perkembangan tanaman terganggu. Kekurangan air pada stadia vegetatif dan pada saat menjelang berbunga sampai pembentukan polong menunjukkan hasil paling rendah. Bila dibandingkan dengan tanaman yang memperoleh pengairan normal, kekurangan air pada setiap stadia pertumbuhan berakibat turunnya hasil tanaman. Sedangkan tanaman yang mengalami cekaman kekurangan air selama stadia generatif lebih baik,

karena tanaman yang tercekam selama stadia generatif tersebut sebenarnya pada saat tanaman berada pada stadia vegetatif memperoleh pengairan yang normal. Stadia pertumbuhan yang paling peka terhadap kekeringan adalah stadia vegetatif dan pada stadia pembentukan bunga dan polong, terbukti dari rendahnya hasil pengukuran perkembangan organ-organ vegetatif dan hasil biji. Apabila tanaman pada saat pertumbuhan maupun pembentukan polong terjadi kekurangan air dapat mempengaruhi rendahnya hasil biji yang diperoleh (Pandey, *et al.* 1984). Boyer (1996) mengungkapkan bahwa sistem perakaran yang dalam maupun pengaturan osmotik yang kuat dapat meningkatkan daya adaptasi tanaman sehingga mendukung keberhasilan tanaman pada kondisi persediaan air terbatas. Ternyata penyemprotan osmolit sorbitol pada tanaman yang mengalami kurang air mampu meningkatkan ketahanan pertumbuhan tanaman, lebih rinci dapat diuraikan sebagai berikut

#### **6.2.1. Peranan osmolit Sorbitol dalam meningkatkan ketahanan pertumbuhan tanaman kacang hijau pada kondisi kekurangan air**

Pertumbuhan tanaman kacang hijau dinilai dari laju pertambahan bahan kering tanaman per satuan waktu. Produksi bahan kering tanaman ditentukan oleh keberhasilan tanaman dalam proses fotosintesis dan proses ini sangat dipengaruhi oleh banyak faktor di antaranya faktor tanaman sendiri maupun faktor lingkungan seperti cahaya, suhu, air serta konsentrasi CO<sub>2</sub>. Faktor tanaman yang menentukan kapasitas produksi bahan kering meliputi

morfologi, misalnya jumlah dan ukuran daun, sudut daun, kandungan klorofil, kerapatan stomata dan sebagainya.

Pada proses fotosintesis stomata merupakan bagian terpenting bagi tanaman untuk berlangsungnya proses difusi gas ataupun uap air dari dan ke dalam jaringan tanaman. Proses membuka dan menutupnya stomata merupakan salah satu hambatan yang terjadi dalam proses difusi tersebut. Proses membuka dan menutupnya stomata dipengaruhi oleh turgor sel penjaga stomata, dan pada kondisi tercekam kekurangan air stomata akan menutup (Taiz dan Zeiger, 1991 ; Turner, 1998).

Hasil analisis telah dilaporkan bahwa penyemprotan osmolit sorbitol pada tanaman yang mengalami cekaman kekurangan air mampu meningkatkan daya tahan tanaman terhadap kekurangan air. Interaksi antara waktu pencekaman kekurangan air dan konsentrasi sorbitol berpengaruh terhadap luas daun, indeks luas daun, produksi bahan kering, laju pertumbuhan tanaman serta produksi biji. Penyemprotan osmolit sorbitol pada tanaman yang tidak tercekam tidak bermanfaat, hal ini disebabkan tanaman yang selalu kecukupan air selama hidupnya kandungan air daun relatif cukup tinggi, sehingga turgor selnya cukup tinggi dan stomata dapat membuka sempurna. Di sisi lain sorbitol merupakan salah satu osmolit yang mempunyai peranan sebagai pengendali kelembapan sel, sehingga turgor sel dapat dipertahankan. Pada tanaman yang selalu kecukupan selama hidupnya peranan penyemprotan osmolit sorbitol untuk mempertahankan kelembapan sel tidak berfungsi, karena turgor sel sudah cukup tinggi. Sorbitol

juga mempunyai fungsi menurunkan aktivitas asam absisat di dalam daun. Asam absisat di dalam daun umumnya meningkat bila kandungan air di dalam daun turun. Sebaliknya pada tanaman kacang hijau yang berada dalam kondisi tercekam kekurangan air maka kandungan air di dalam daun turun dan akibatnya kandungan asam absisat semakin meningkat. Hubungan antara kandungan air relatif pada daun dan kandungan asam absisat tersebut terlihat bahwa kandungan asam absisat di dalam daun berbanding terbalik kandungan air relatif di dalam daun, yaitu apabila kandungan air relatif daun meningkat maka kandungan asam absisat turun sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 6.4.

Menurut Taiz dan Zeiger (1991) sorbitol di dalam daun sebagai osmolit yang berfungsi menjaga keseimbangan potensial air di dalam daun, serta berperan untuk menurunkan aktivitas asam absisat. Sorbitol berperan mengubah asam absisat menjadi ester asam absisat yang tidak berpengaruh terhadap aktivitas tanaman (Moore, 1979).

Penyemprotan osmolit sorbitol yang dilakukan pada tanaman kacang hijau yang tercekam kekurangan air memperlihatkan terjadinya peningkatan luas daun, indeks luas daun, produksi bahan kering tanaman serta laju pertumbuhan relatif. Hal ini disebabkan pada tanaman yang tercekam kekurangan air, kandungan air di dalam daun rendah dan akibatnya di dalam daun tersebut terjadi akumulasi asam absisat. Asam absisat sendiri merupakan kelompok hormon tumbuhan yang mempunyai peranan sebagai penghambat pertumbuhan tanaman. Apabila kandungan asam absisat di

daun tinggi berakibat turgor sel menjadi turun, sehingga stomata menutup. Jika proses menutupnya stomata berlangsung terus menerus maka proses fotosintesis terganggu dan pertumbuhan maupun hasil tanaman menjadi rendah. Oleh karenanya penyemprotan osmolit sorbitol dilakukan dalam upaya untuk membuka stomata, melalui upaya menurunkan pengaruh asam absisat terhadap turgor sel (Salisbury dan Ross, 1995). Terjadinya proses pembukaan stomata ini memberikan kesempatan untuk berlangsungnya proses difusi  $\text{CO}_2$ , sehingga proses fotosintesis dapat berlangsung.

Pada pengukuran kandungan air daun dan klorofil ternyata penyemprotan sorbitol dapat meningkatkan kandungan air dan klorofil di dalam daun. Adanya dampak positif dari sorbitol terhadap pertumbuhan tanaman kacang hijau disebabkan adanya sifat-sifat yang dimiliki sorbitol dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Sorbitol pada tanaman berfungsi sebagai stabilisator kelembapan di dalam sel serta turgor sel (Budimulyo dan Tjahyono, 1993 ; Grant dan Rees, 1981).

Pada tanaman yang mengalami cekaman air ternyata penyemprotan sorbitol mempunyai peranan penting dalam menunjang peningkatan, indeks luas daun, produksi bahan kering serta laju pertumbuhan relatif tanaman kacang hijau. Penyemprotan sorbitol tanaman kacang hijau yang tercekam kekurangan air memperlihatkan pengaruhnya pada konsentrasi di atas 10 ml/l.

Penyemprotan sorbitol sebanyak 15-20 ml/l pada stadia vegetatif mampu meningkatkan indeks luas daun sebesar 59.9-86.5% dan produksi

bahan kering 36-44.8% dibanding tanpa disemprot. Dua variabel tersebut mempunyai hubungan sangat erat yang diperlihatkan dengan persamaan sebagai berikut :  $Y = 0.674 + 0.0043 X$  ( $R^2 = 0.76$ ). Persamaan tersebut membuktikan bahwa peningkatan produksi bahan kering (Y) sangat erat hubungannya dengan peningkatan luas daun (X). Setiap penambahan luas daun sebesar satu  $cm^2$  mampu meningkatkan produksi bahan kering tanaman sebesar 4.3 mg. Terjadinya peningkatan ini dikarenakan sorbitol yang disemprotkan pada tanaman yang kekurangan air mampu berperan sebagai penghambat aktivitas asam absisat di dalam sel penjaga (Salisbury dan Ross, 1995). Tingginya kandungan asam absisat di dalam stomata merupakan penyebab menutupnya stomata (Turner, 1998). Menurut Salisbury dan Ross (1995) asam absisat menyebabkan menutupnya stomata dengan cara menghambat pompa proton. Pompa ini biasanya mengangkut proton keluar dari sel penjaga, yang menyebabkan terjadinya aliran masuk lebih cepat dan penimbunan  $K^+$ . Keberadaan asam absisat yang bekerja di ruang bebas pada permukaan luar membran plasma akan menghambat masuknya  $K^+$ . Akibatnya  $K^+$  dan air di dalam sel penjaga merembes keluar dan turgor menjadi turun. Moore (1979) dan Salisbury dan Ross (1995) menyatakan bahwa asam absisat yang memacu penutupan stomata dapat di non-aktifkan dengan cara menempelkan glukose pada gugusan karboksilnya, sehingga terbentuk ester-ABA-glukose. Sorbitol merupakan kelompok alkohol glukose yang dapat dimanfaatkan sebagai salah satu bahan untuk menjadikan asam absisat tidak aktif melalui proses penempelan glukose

gugusan karboksil pada asam absisat. Menurut Bohnert dan Jensen (1996) untuk meningkatkan daya tahan tanaman terhadap cekaman kekurangan air dapat dilakukan melalui [1] pengaturan osmotik sel dengan jalan meningkatkan penimbunan osmolit di dalam sel dan [2] membersihkan atau penyerapan radikal hidroksil. Untuk ke dua maksud tersebut salah satunya dapat digunakan osmolit sorbitol.

#### **6.2.2. Peranan Sorbitol dalam meningkatkan ketahanan hasil biji kacang hijau pada kondisi tercekam kekurangan air**

Tanaman kacang hijau yang mengalami cekaman kekurangan air mengakibatkan terjadi penurunan hasil biji per tanaman mencapai 48-60%. Hal ini disebabkan karena kekurangan air pada tanaman berdampak pada terjadinya gangguan terhadap proses metabolisme, termasuk terjadinya gangguan pada proses fotosintesis. Akibatnya proses pembentukan polong maupun biji juga terganggu. Menurut Pannu dan Singh (1988) kekurangan air berpengaruh terhadap rendahnya jumlah polong per tanaman, ukuran dan jumlah biji per polong.

Tanaman kacang hijau yang selalu kekurangan air selama hidupnya hasil biji per tanamannya paling rendah dibanding tanaman lain. Tetapi apabila tanaman tersebut disemprot sorbitol 15-20 ml/l ternyata hasil biji mampu ditingkatkan sebesar 39-61%, dan ketahanan hasil sebesar 55-64%.

Pada tanaman yang menderita kekurangan air selama stadia vegetatif, penyemprotan sorbitol 10 ml/l dapat meningkatkan hasil biji per tanaman

sebesar 27% lebih tinggi dibanding yang tidak disemprot sorbitol. Apabila konsentrasi penyemprotan ditingkatkan sampai 20 ml/l, hasilnya mampu menyamai tanaman yang mendapat pengairan normal selama hidupnya dan ketahanan hasil dapat mencapai 91%. Kondisi ini terjadi karena penyemprotan osmolit dapat mengakibatkan stomata membuka sempurna, sehingga dapat mendukung berlangsungnya proses difusi CO<sub>2</sub> dari udara ke dalam jaringan daun, akibatnya proses fotosintesis dapat berlangsung sempurna. Tingginya hasil fotosintesis berhubungan erat dengan luas daun maupun jumlah daun. Pada tanaman yang disemprot osmolit sorbitol dengan konsentrasi 20 ml/l air, jumlah daun lebih banyak dibanding yang tidak disemprot. Hasil biji pada tanaman yang tercekam kekurangan air pada tanaman yang disemprot osmolit sorbitol mempunyai hubungan erat dengan jumlah daun, yaitu semakin banyak jumlah daun yang dipunyai tanaman memperlihatkan hasil biji per tanaman semakin bertambah. Hubungan antara hasil biji per tanaman (Y) dan jumlah daun (X) diperlihatkan dalam persamaan berikut :  $Y = -6.43 + 2.09 X$  ( $R^2 = 0.74$ ).

Akibat penyemprotan osmolit juga berdampak pada peningkatan indeks luas daun. Berdasarkan hasil analisis regresi ternyata indeks luas daun (X) mempunyai hubungan linier positif dengan hasil biji per tanaman (Y). Bentuk hubungan tersebut disajikan dalam persamaan berikut :

Tercekam kurang air pada stadia vegetatif :  $Y = 1.48 + 13.14 X$  ( $R^2 = 0.92$ )

Tercekam kurang air pada stadia generatif :  $Y = 5.54 + 2.17 X$  ( $R^2 = 0.90$ )

Tercekam kurang air pada umur 21-45 hari :  $Y = 1.57 + 5.83 X$  ( $R^2 = 0.97$ )

Dari tiga bentuk hubungan tersebut terlihat bahwa perubahan indeks luas daun pada tanaman yang tercekam selama stadia generatif kontribusinya terhadap peningkatan hasil biji paling kecil daripada yang tercekam kekurangan air selama stadia vegetatif maupun yang tercekam pada umur 21-45 hari. Indeks luas daun maupun jumlah daun berhubungan dengan hasil fotosintesis yang diperlihatkan dari tingginya bobot kering tanaman. Haqqani dan Pandey (1994) juga melaporkan bahwa hasil biji mempunyai korelasi positif dengan indeks luas daun.

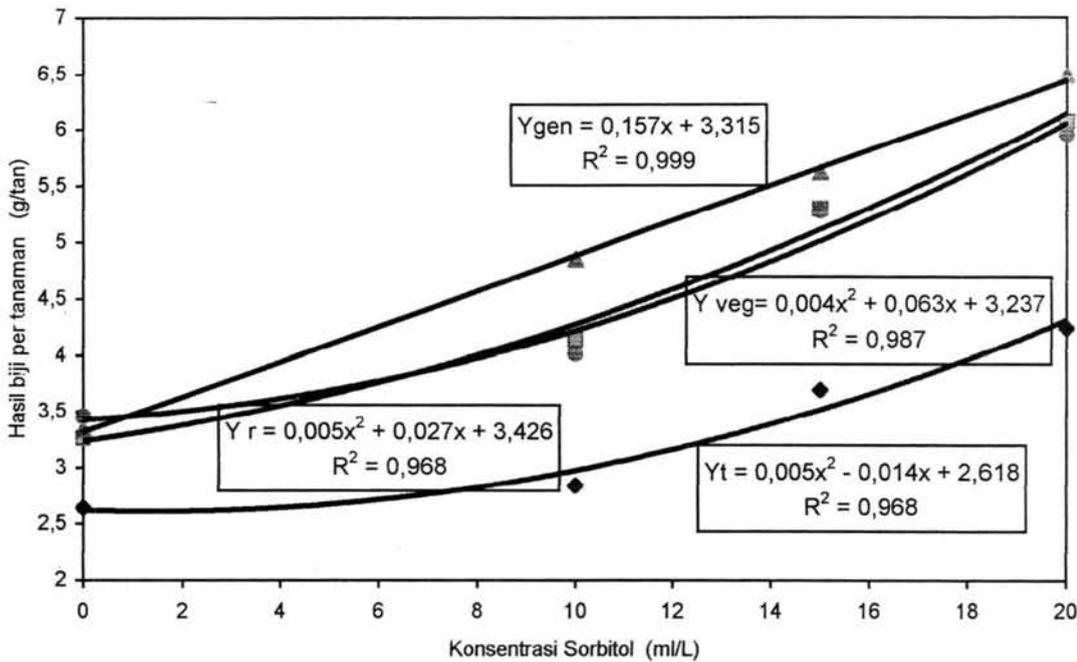
Produksi bahan kering yang dihasilkan tanaman ternyata berhubungan erat dengan hasil biji per tanaman. Hasil analisis regresi memperlihatkan bahwa semakin tinggi bobot kering total tanaman (X) ternyata hasil biji (Y) juga bertambah banyak. Hal tersebut diperlihatkan dalam persamaan berikut :

$Y = 1.13 + 0.59 X \quad (R^2 = 0.95)$ , berarti bahwa setiap penambahan 1 gram bobot kering total tanaman akan mengakibatkan terjadinya peningkatan hasil biji per tanaman sebesar 0.59 gram. Pertambahan bobot kering total tanaman menunjukkan gambaran tentang laju pertumbuhan tanaman, semakin besar pertambahan bobot bahan kering total tanaman per satuan waktu menunjukkan laju pertumbuhan relatif semakin tinggi (Sitompul dan Guritno, 1995). Berkaitan dengan hasil biji pertanaman, ternyata laju pertumbuhan relatif (X) juga mempengaruhi hasil biji per tanaman (Y). Hubungan ke dua variabel tersebut dituangkan pada persamaan berikut :

$$Y = 1.74 + 13.28 X \quad (R^2 = 0.82)$$

Berdasarkan hasil di atas terbukti bahwa stadia tumbuh tanaman kacang hijau yang paling peka terhadap kekurangan air adalah selama stadia vegetatif dan cekaman kekurangan sejak pertengahan stadia vegetatif sampai pertengahan stadia generatif (umur 21-45 hari), penurunan hasil biji bila tercekam kekurangan air selama stadia vegetatif adalah sebesar 51% dan pencekaman kekurangan air pada umur 21-45 hari mengakibatkan penurunan hasil biji per tanaman sebesar 49.6%. Hasil penelitian Sadasivam, *et al.* (1988) dilaporkan bahwa stadia tumbuh tanaman kacang hijau yang paling peka terhadap cekaman air adalah pada stadia vegetatif. Pencekaman yang terjadi pada stadia ini dapat mengakibatkan terjadinya kemerosotan hasil biji sebesar 21.6% dan apabila cekaman tersebut terjadi selama perkembangan polong dan pembentukan biji maka kehilangan hasil biji dapat mencapai 17.6%. Kemampuan pembentukan polong maupun biji sangat ditentukan oleh besarnya permukaan untuk fotosintesis. Terbukti dari hasil analisis regresi antara indeks luas daun dengan bobot polong per tanaman memperlihatkan hubungan linier positif  $Y = 0.20 + 2.12 x$  ( $R^2 = 0.84$ ). Apabila proses perkembangan daun mengalami hambatan akibat kekurangan air maka hasil polong maupun biji menjadi rendah.

Penyemprotan osmolit sorbitol memperlihatkan dampak positif terhadap ketahanan produksi biji pada tanaman kacang hijau yang berada pada kondisi kekurangan air. Hasil analisis regresi memperlihatkan bahwa respon tanaman kacang hijau yang tercekam kekurangan air terhadap penyemprotan sorbitol pada berbagai stadia pertumbuhan tampak berbeda-beda polanya (Gambar 6.7).



Gambar 6.7. Respon Tanaman Kacang Hijau yang tercekam Kekurangan Air terhadap Penyemprotan Osmolit Sorbitol ( $Y_g$  = tercekam pada stadia generatif,  $Y_v$  = stadia vegetatif,  $Y_t$  = selama hidup,  $Y_r$  = dicekam pada umur 21-45 hst).

Pada gambar di atas terlihat bahwa tanaman yang tercekam selama stadia generatif mempunyai respon paling tinggi terhadap penyemprotan osmolit sorbitol, diikuti stadia vegetatif dan pada umur 21-45 hari, dan yang paling kecil adalah tanaman yang tercekam sepanjang hidupnya. Nilai koefisien regresinya masing-masing adalah : 0.157, 0.063, 0.027 dan 0,014. Hal

tersebut menunjukkan bahwa pada setiap peningkatan konsentrasi penyemprotan sorbitol sebesar 1 ml/l dapat meningkatkan hasil biji pertanaman masing-masing sebesar 157, 63, 27 dan 14 mg.

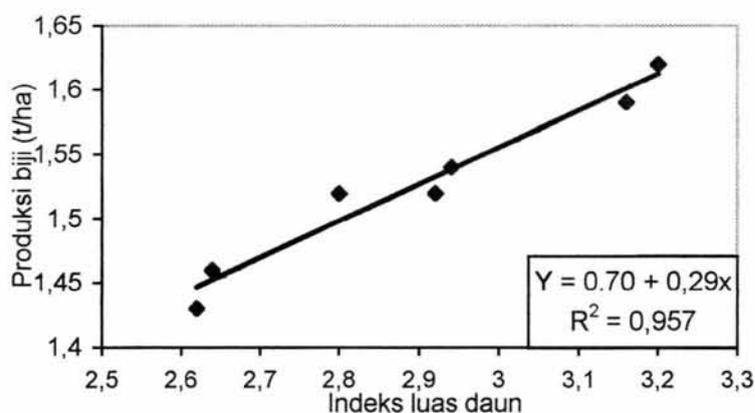
Penyemprotan osmolit sorbitol sebanyak 15-20 ml/l pada tanaman yang mengalami cekaman kekurangan air selama stadia vegetatif, generatif dan pada umur 21-45 hari mampu meningkatkan ketahanan produksi biji per tanaman masing-masing sebesar 91%, 97% dan 89%. Kenyataan ini menggambarkan bahwa penyemprotan sorbitol yang dilakukan pada waktu tertentu mampu menghindarkan terjadi penutupan stomata secara terus menerus berlebihan, sehingga tanaman masih mampu berfotosintesis secara normal. Menurut Losch dan Tenhunen (1981) stomata mempunyai respon langsung terhadap perubahan kelembapan lingkungan di sekitarnya. Sedangkan penyemprotan osmolit sorbitol pada tanaman kacang hijau berperan meningkatkan dan mempertahankan kelembapan di sekitar sel, sehingga tanaman yang mengalami cekaman air secara alami terjadi penutupan stomata, namun bila disemprot sorbitol maka aktifitas pembukaan stomata berlangsung secara normal. Hal ini disebabkan sorbitol mampu membuat asam absisat tidak aktif karena berubah menjadi ester-ABA-glukose (Salisbury dan Ross, 1995).

### **6.3. Pemanfaatan Osmolit Sorbitol dalam Meningkatkan Ketahanan Tanaman Kacang Hijau di Lahan Kering yang Kekurangan Air**

Berdasarkan hasil penelitian uji verifikasi di lapang terlihat bahwa penyemprotan osmolit sorbitol dengan konsentrasi 15-20 ml/l air yang disemprotkan lima kali mampu meningkatkan ketahanan produksi tanaman kacang hijau yang mengalami cekaman kekurangan air. Jika diperhatikan dari hasil penelitian tahap II dan III terlihat bahwa hasil biji per tanaman di rumah kaca relatif lebih rendah dibanding di lapang. Hal ini disebabkan pada tanaman di dalam rumah kaca terlihat gejala etiolasi, yaitu tanaman tumbuh memanjang namun tidak disertai batang yang kokoh serta daun yang kuat. Hasil pengamatan ternyata tinggi tanaman yang dibudidayakan di dalam rumah kaca mempunyai ukuran 3-6 cm lebih panjang daripada tanaman yang dibudidayakan di lapang. Terbukti bahwa tanaman yang ada di dalam rumah kaca 3-6 cm lebih tinggi dibanding tanaman di lapang. Kondisi batang dan daun tanaman yang ada di dalam rumah kaca banyak dipengaruhi oleh radiasi yang banyak didapatkan adalah mempunyai gelombang cahaya yang lebih panjang. Gelombang cahaya tersebut banyak berperan dalam proses perpanjangan tanaman ( Rosenberg, 1974 dan Chang, 1979).

Secara keseluruhan penyemprotan osmolit sorbitol dengan konsentrasi 15-20 ml/l air pada tanaman yang tercekam kekurangan air mampu mempertahankan pertumbuhan tanaman tetap normal, sehingga tidak berbeda dengan tanaman yang selalu kecukupan air selama hidupnya.

Hasil uji verifikasi ternyata hasil biji per tanaman di lapang lebih tinggi dibandingkan dengan di dalam rumah kaca. Hal tersebut disebabkan karena proses fotosintesis berlangsung bebas, sehingga penimbunan hasil asimilat ke polong banyak (Kriedemann dan Downton, 1981). Produksi biji kacang hijau berhubungan erat dengan laju pertumbuhan maupun indeks luas daun tanaman. Tingginya hasil biji ternyata didukung oleh indeks luas daun yang tinggi pula, terbukti dari hubungan antara hasil biji dengan indeks luas daun sebagai berikut :  $Y = 0.70 + 0.29 X$  ( $R^2 = 0.957$ ). Lebih jelasnya diperlihatkan pada Gambar 6.8.



Gambar 6.8. Hubungan antara Produksi biji dan indeks luas daun

Gambar 6.8 memperlihatkan bahwa indeks luas daun mempunyai kontribusi yang cukup besar dalam produksi biji, bertambah tinggi indeks luas daun tanaman, produksi biji semakin meningkat. Sedangkan laju pertumbuhan relatif kontribusinya terhadap peningkatan produksi relatif kecil, terbukti dalam hasil analisis regresi sebagai berikut  $Y = 0.15 + 0.02 X$  ( $R^2 = 0.652$ ).

Pertumbuhan tanaman kacang hijau yang tercekam pada stadia vegetatif, generatif dan pada umur 21-45 hari dan biji relatif tidak menunjukkan perberbedaan dengan tanaman yang dalam pertumbuhannya selalu kecukupan air. Terhadap pengamatan produksi biji per hektar pada umumnya tanaman yang tercekam kekurangan air bila disemprot sorbitol 15 maupun 20 ml/l tidak berbeda dengan tanaman dalam kondisi berpengairan cukup. Hal tersebut disebabkan penyemprotan osmolit sorbitol pada tanaman kacang hijau yang tercekam kekurangan air ternyata mampu meningkatkan perkembangan organ-organ tubuh tanaman, misalnya luas daun, kandungan air relatif pada daun serta kandungan klorofil, sehingga produksi bahan kering tanaman menjadi meningkat. Laju peningkatan produksi bahan kering tersebut mengakibatkan laju pertumbuhan relatif tanaman semakin tinggi. Laju pertumbuhan relatif yang tinggi inilah dapat memperkecil perbedaan ukuran tanaman antara yang tercekam kekurangan air dan yang mendapatkan pengairan normal selama hidupnya. Bila dipertimbangkan secara ekonomis bahwa untuk memperkecil penurunan hasil biji kacang hijau yang dibudidayakan di lahan kering yang kekurangan air ataupun pada lahan sawah tadah hujan pada musim kemarau yang kekurangan air, maka penyemprotan sorbitol dapat dilakukan dengan konsentrasi 15 ml/l sebanyak lima kali.

Percobaan pengujian lapang, peranan osmolit sorbitol untuk meningkatkan ketahanan tanaman kacang hijau pada lahan kering yang kekurangan air, terbukti bahwa tanaman kacang hijau yang tercekam

kekurangan air pada stadia pertumbuhan vegetatif, generatif maupun yang mengalami cekaman pada umur 21-45 hari, apabila disemprot osmolit sorbitol 20 ml/l sebanyak lima kali ternyata penurunan laju perkembangan seluruh variabel pertumbuhan tanaman mampu diperkecil, sehingga tidak berbeda dengan tanaman yang mendapatkan pengairan yang normal. Selain itu hasil biji per hektar tanaman yang tercekam pada stadia generatif, vegetatif dan pada umur 21-45 hari mampu menyamai hasil biji tanaman yang selalu kecukupan air selama hidupnya, nilai ketahanan hasilnya masing-masing stadia tersebut adalah : 98%, 95% dan 94%. Tingginya ketahanan ini disebabkan sorbitol yang disemprotkan ke daun mampu merangsang pembukaan stomata dalam kondisi kekeringan yang pada umumnya stomata menutup, sehingga fotosintesis dapat berlangsung secara normal (Taiz dan Zeiger 1991; Losh dan Tenhunen, 1981).

Berdasarkan hasil uji verifikasi pemanfaatan osmolit sorbitol pada tanaman kacang hijau yang tercekam kekurangan air, secara keseluruhan didapatkan bahwa penyemprotan osmolit sorbitol pada daun tanaman kacang hijau yang dibudidayakan pada kondisi lahan kering yang kekurangan air dengan konsentrasi 15 ml/l sebanyak lima kali, terbukti mampu memperkecil kehilangan hasil biji sebesar 4-12% dibanding dengan tanaman yang mendapatkan irigasi normal. Apabila konsentrasi penyemprotan ditingkatkan menjadi 20 ml/l kehilangan hasil dapat ditekan lebih kecil lagi yaitu berkisar 1.9 -6.2% dibanding yang memperoleh air secara normal.

## BAB 7

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 7.1. KESIMPULAN

7.1.1. Tiga kultivar kacang hijau ternyata mempunyai respon dan ketahanan terhadap cekaman kekurangan air berbeda.

- Kultivar Walet yang berada dalam kondisi kekurangan air, ketahanan hasil biji paling rendah dibanding Sriti maupun lokal, pada pengairan 100 mm/musim ketahanan hasil Walet 17%, Sriti 21% dan lokal 33%. Tetapi kultivar Walet mempunyai potensi hasil paling tinggi dibanding dua kultivar lainnya, yaitu 17.5% lebih tinggi dibanding Sriti dan 44.9% lebih tinggi dibanding kultivar lokal.
- Tanaman kacang hijau yang tercekam kekurangan air mengalami perubahan morfologi, yaitu ukuran daun, tinggi tanaman, lebih kecil, kandungan air relatif daun rendah, ukuran akar lebih panjang, bobot kering akar lebih rendah.
- Kondisi kekurangan air berpengaruh terhadap aspek fisiologi, antara lain, laju pertumbuhan relatif, luas daun spesifik, harga satuan daun, kandungan klorofil maupun kerapatan stomata lebih rendah. Ketersediaan air di dalam tanah sebesar 50% dari kebutuhan normalnya, jumlah stomata maupun klorofil masing-masing turun sebesar 12.3% dan 9.8%. Sebaliknya kandungan asam absisat dapat meningkat dua kali lebih tinggi bila persediaan air di dalam tanah berkurang sampai 50% dari kebutuhan normal.

7.1.2 Stadia pertumbuhan kacang hijau yang paling kritis terhadap kekurangan air adalah stadia vegetatif, terbukti dari penurunan hasil biji paling besar yaitu 51% akibat terjadinya pencekaman kekurangan air sebanyak 50% dari kebutuhan normalnya.

7.1.3 Penyemprotan osmolit sorbitol dengan konsentrasi 15 atau 20 ml/l yang disemprotkan sebanyak lima kali pada tanaman kacang hijau kultivar Walet di lahan kering yang mengalami kekurangan air :

- mampu meningkatkan kerapatan stomata maupun kandungan klorofil masing-masing sebesar 29.84% dan 7.34% tetapi terhadap kandungan asam absisat berakibat terjadinya penurunan sebesar 18.3% dibanding tanaman yang tidak disemprot.
- Penyemprotan osmolit sorbitol dengan konsentrasi 15-20 ml/l pada tanaman yang mengalami kekurangan air pada stadia generatif mampu meningkatkan ketahanan tanaman dalam mempertahankan hasil biji paling tinggi, yaitu sebesar 94-98%, diikuti stadia vegetatif yaitu 88-95%, dan 90-94% pada stadia umur 21-45 hari, dari hasil biji tanaman yang memperoleh pengairan yang normal.
- Jumlah osmolit sorbitol yang diperlukan setiap hektar pada konsentrasi penyemprotan 15 dan 20 ml/l sebanyak lima kali, diperlukan sorbitol sebanyak 30 dan 40 liter.

## 7.2. SARAN

- 7.2.1. Penelitian tentang penggunaan osmolit sorbitol untuk meningkatkan ketahanan tanaman pada lahan yang kekurangan air perlu dikembangkan pada tanaman kacang-kacangan lain,
- 7.2.2. Perlu dilakukan penelitian tentang penggunaan jenis osmolit lain untuk meningkatkan ketahanan tanaman yang dibudidayakan pada lahan kering/lahan tadah hujan yang kekurangan air maupun pada lahan sawah yang cukup banyak air.
- 7.2.3. Untuk meningkatkan pendapatan petani kacang hijau di lahan kering yang persediaan airnya terbatas disarankan untuk menggunakan **kultivar Walet** dengan melakukan penyemprotan osmolit sorbitol dengan konsentrasi **15 atau 20 ml/l** sebanyak lima kali pada stadia vegetatif ataupun generatif.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abe H., Yamaguchi-Shinozaki K, Urao T, Iwasaki T, Hosokawa D, 1997. Role of Arabidopsis MYB Homologs in Drought and Abscisic Acid Regulated Gene Expression. *The Plant Cell* 9 : 1859-1868.
- Anonimus, 1985. Pengenalan Varietas Baru Tanaman Kacang-kacangan. *Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian* 7 : 4-6.
- ....., 1989. Sasaran Pembangunan Pertanian Tanaman Pangan Repelita V. Jakarta : Dirjen Pertanian Tanaman Pangan, hlm 96-169.
- , 1995. Survei Pertanian Produksi Tanaman Polowijo di Indonesia 1995. Jakarta: Biro Pusat Statistik, hlm 147-210.
- , 1996. Statistik Indonesia. Jakarta : Biro Pusat Statistik, hlm 203 - 210.
- , 1999. Pedoman Pembinaan Program Bimas Intensifikasi di Jawa Timur. Surabaya : Sekretariat Pembina Bimas Propinsi Jawa Timur, hlm 1-6.
- Ariffin, 1997. Pengaruh Sorbitol terhadap Pertumbuhan dan Hasil tanaman Kacang hijau. Fakultas Pertanian Univ, Brawijaya Malang. hlm 30-48 .
- ....., 1999. Pemanfaatan Kalium untuk Meningkatkan Daya Tahan Tanaman Kacang Hijau terhadap Kekeringan. *Habitat* 10 : 58-62.
- ..... MS, 1999. Kajian Tentang Konsentrasi dan Waktu Aplikasi Sorbitol terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kacang hijau Walet pada Status Air Tanah Rendah. Skripsi, Fakultas Pertanian Univ. Brawijaya Malang.
- Aspinal D, 1986. Metabolic Effects of Water and Salinity Stress in Relation to Expansion of Surface. *Aust. J. Plant Physiol* 13 : 59-73.
- , Paleg LG, 1981. Proline Accumulation : Physiological Aspects. Sydney : Academic Press, pp 205-240.
- , Singh TT, Paleg LG, 1973. Stress Metabolism V. Abscisic Acid and Nitrogen Metabolism in Barley and *Lolium temulentum* L . *Aust. J. Biol. Sci* 26 : 319-327.

- Astanto K, Sutarman T, 1992. Perbaikan Bentuk Kacang Hijau Untuk Stabilitas Hasil. Monograf Balittan Malang 9 : 25-49.
- AVRDC, 1983. Mungbean Physiology *In Progress* Rept 1983. pp 203-206.
- BAPPEDA Jawa Timur. 1995. Dokumentasi Hasil Pelaksanaan Pembangunan Daerah Tingkat II se Jawa Timur, Surabaya : Bappeda Jawa Timur, hlm 360.
- Barlow EWR, Ching MT, Boersma L, 1976. Leaf Growth in Relation to ATP Levels in Water Stressed Corn Plant. *Crop Sci* 16 : 405-407.
- , 1986. Water Relation of Expanding Leaves. *Aust. J. Plant Physiol* 13 : 45-58.
- Berry W.L, Goldstein G, Dreschel TW, Wheeler RM, Sager JC, Knot WM, 1992. Water Relations, Gas Exchange, and Nutrient Response to A Long Term Constant Water Deficit. *Soil Sci* 153 : 442-450.
- Bohnert HJ, Jensen JG, 1996. Strategies for Engineering Water Stress Tolerance in Plant. *TBTECH* 14 : 89-97.
- Boyer SJ, 1996. Advances In Drought Tolerance In Plants. *Adv. In Agron* 56 : 187- 213.
- Bray E, 1988. Drought and ABA-Induced Changes in Polypeptide and mRNA Accumulation in Tomato Leaves. *Plant Physiol* 88 : 1210-1214.
- , Plant A, Cohen A, 1990. Drought and Regulated Gene Expression in Tomato Leaves. *Hort. Biotechnology*. New York : Willey-List, pp 315-322.
- Budimulyo A, Tjahyono, DH, 1993. Perencanaan Pabrik Sorbitol. Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Chang YH, 1979. Climate and Agriculture an Ecological Survey. Chicago : Aldine Publ. Co, pp 4-65.
- Chiatante D, Di Lorio LA, Maiuro L, Scippa SG, 1999. Effect of Water Stress on Root Meristems in Woody and Herbaceous Plants During First Stage of Development. *Plant and Soil* 217: 159-172.
- Chua, N.H. 1995. Plant Biotechnology. *Cur. Op. In Biotechnol* 7 : 127-129.

- Davies W.J, Wilson J.A, Sharp RE, Osonubi O, 1981. Control of Stomatal Behavior in Water Stressed Plants. Soc. Exp. Biology Seminar Series 8 : 163-181.
- ....., Metcalfe TA, Lodge, da Costa RA, 1986. Plant Growth Substances and Regulation of growth Under Drought. Aust. J. Plant Physiol 13 : 105-125.
- Djunaidi MT, Alkatiri W, 1990. Perencanaan Pabrik Sorbitol dengan bahan baku Starch Tropika. Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Doorenbos J, Pruitt WO, 1979. Crop Water Requirement. Rome : FAO United Nation, pp 1-54.
- Ekanayake IJ, Ortiz R, Vuylsteke OR, 1995. Physiological Factors In Drought Tolerance of Various *Musa* Genotypes. IITA. Research 11 : 7 – 10.
- Evans GC, 1974. The Quantitative Analysis of Plant Growth. Australia : Blackwell Sci. Publ, pp 14.2 –22.8.
- Grant AD, Rees TA, 1981. Sorbitol Metabolism by Apple Seedling. Phytochemistry 20 : 1505-1511.
- Guritno B. 1988. Pola Bertanam di Lahan Kering. Proc. Survey dan Pemetaan Tanah Proyek Pertanian Lahan Kering dan Konservasi Tanah. di Malang. Bogor : Balai Penelitian Tanah, hlm 100-115.
- Haqqani AM, Pandey RK, 1994. Response of Mungbean to Water Stress and Irrigation at Various Growth Stages and Plant Densities. Trinidad : Trop. Agric 71 : 281-294.
- Herlina N, 1996. Respon Tanaman Kedelai varietas Malabar dan Galur S-887/96 terhadap Cekaman Kekeringan dan Pemupukan Kalium. Agrivita 19 : 63-68.
- Kende H, Zeevaart AD, 1997. The Five Classical Plant Hormones. The Plant Cell 9 : 1197-1210
- Kramer PJ, 1980. Plant and Soil Water relationships : A Modern Synthesis. New Delhi : McGraw Hill, Publ. Co. Ltd, pp 347-362.

- Kriedemann PE, Downton WJS, 1981. Photosynthesis. In *The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants*. Australia : Academic Press, pp 283-313.
- ..... , 1986. Stomatal and Photosynthetic Limitations of Leaf Growth. *Aust. J. Plant Physiol* 13 : 15-31.
- Levitt J, 1980. *Responses of Plant to environmental Stress*. London : Academic Press, pp 178-227.
- Losch R, Tenhunen JD, 1981. Stomatal Responses to Humidity-Phenomenon and Mechanism. *Soc. Exp. Biology. Seminar Series* 8 : 137-161.
- Meidner, 1981. What Next ?. *Soc. Exp. Biology. Seminar Series* 8 : 281-286.
- Miah MG, Hirota - O, Chikushi J, 1996. Influence of Water Status, Photosynthesis Rate and Plant Growth of Different Temperature and Water Regimes During Pod formation Phase Mungbean. *J. Fac. Agric. Kyushu University* 41: 17-28.
- Michael B., Elmore CD, 1977. Proline Accumulation in Water Stressed Cotton Leaves. *Crop Sci* 17 : 905-908.
- Milborrow BV, 1981. Abscisic acid and Other Hormones. In *The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance In Plants*. Australia : Academic Press, pp 348-386.
- Milburn JA, 1979. *Water Flow in Plants. Integrated Themes In Biology*. London : Longman Group Ltd, pp 37-148
- Milthorpe FL., Moorby J, 1974. *An Introduction to Crop Physiology*. Cambridge : University Press, pp 31-48.
- Monteiro AM, Sandenberg G, Crozier A, 1987. Detection of Abscisic acid, Indole 3-Acetic acid and Indole 3-ethanol in seed of *Dalbergia dilichoptale* . *Phytochemistry* 26 : 327-328.
- Monteith JL., 1982. *Vegetation and The Atmosphere*. London : Academic Press, I : 111-150.
- Moore TC, 1979. *Biochemistry and Physiology of Plant Hormones*. New York : Springer-Verlag, pp 181-207.

- Morrison MJ, Voldeng HD, Cober ER, 1999. Physiological Changes from 58 Years of Genetic Improvement of Short-Season Soybean Cultivars in Canada. *Agron. J* 91 : 685-689.
- Palfi G, Juhasz J, 1971. The Theoretical Basis and Practical Application of Method of selection for Determinating Water efficiency in Plant. *Plant and Soil* 34 : 503-507.
- , Bito M, Palfi Z, 1973. Free Proline and Water Deficit in Plant Tissues. *Physiol. Res* 20 : 233-238.
- Pandey RK, Herrera WT, Villegas AN, 1988. Drought Response of Mungbean Genotypes Under a Sprinkler Irrigation Gradient System. AVDRC. pp 272-278.
- , Pendleton JW, 1984. Drought Response of Grain Legumes under Irrigation Gradient. *Agron. J* 76 : 557-560.
- Pannu RK, Singh DP, 1988. Influence of Water Deficit on Morpho-physiological and yield Behavior of Mungbean. India : Dept. Agron. Haryana Agric. Univ. Hissar, AVDRC 232-259.
- Passiora, J.B. 1986. Resistance to Drought and Saline : Avenue for Improvement. *Aust. J. Plant. Physiol* 13 : 191-201.
- Pierce M, Raschke K, 1980. The Role Turgor in The Regulation of Abscisic acid in Leaves. North America : Proc. Ann. Meeting of The America Soc.of Plant Physiol. and Phytochem, pp 52-54.
- Radin, JW. 1984. Stomatal Responses to Water stress and to Abscisic Acid in Phosphorus Deficient Cotton Plants. *Plant Physiol* 76: 392-394.
- Radjit B, Adisarwanto T, 1992. Budidaya Tanaman Kacang Hijau di Lahan Sawah. Malang : Monograf Balittan, 2 : 50-63.
- Rosenberg NJ. 1980. Microclimate : The Biological Environment, New York : John Wiley & Sons, pp 159-288
- Sadasivam R., Natarajaraynam N, Chandrababu R, Murallidharan V, Sree Rangasamy SR, 1988. Response of Mungbean Cultivars to Soil-moisture Stress at Different Growth Phases. Bangkok : Proc. Of Sec. International Symp. AVRDC, pp 260-262.

- Saini HS, Westgate ME, 2000. Reproductive Development in Grain Crops During Drought. *Adv in Agron* 68 : 59-96.
- Salisbury FB, Ross CW, 1995. Fisiologi Tumbuhan I. Bandung : Penerbit ITB, hlm 71-88.
- Schulze ED, 1986. Whole Plant Responses to Drought. *Aust. J. Plant Physiol* 13 : 127-141.
- Shimshi D, Mayoral ML, Atsmon D, 1982. Responses to Water Stress in Wheat and Related wild species. *Crop Sci* 22 : 161-167.
- Shinozaki K, Yamaguchi K, 1996. Molecular Responses to Drought and Cold, stress. *Cur. Op. In. Biotech* 7 : 161-167.
- Singh TN, Paleg LG, Aspinall D, 1975. Stress Metabolism. III Variation in Responses to Water Deficit in The Barley Plant. *Aust. J. Biol. Sci* 26 : 65-76.
- Singh P, Singh DP, Kumar A, Choudhary BD, Thakural SK, 1988. Response of Mungbean-Black Gram Hybrids Under Water Stress Condition. Bangkok : Proc.of Sec, International Symp, pp 263-271.
- Sinoit N, Kramer PJ, 1977. Effect of Water Stress During Different Stage of Growth of soybean. *Agron. J* 69 : 174-178.
- Sitompul SM, Guritno B, 1995. Analisis Pertumbuhan Tanaman. Yogyakarta : Gajahmada University Press, hlm 81-210.
- Soemarno. 1991. Tehnologi Peningkatan Produksi Kacang-kacangan dan Perbaikan Gizi. Jakarta : Proc. Symp. Penelitian Tanaman Pangan III, hlm 267-285.
- Steel RDG, Torrie JH, 1980. Principles and Procedures of Statistics. New York : McGraw-Hill Co. Book Inc, pp 107-109.
- Stewart CR, 1972. Effect of Proline Carbohydrates on The Metabolism of Exogenous Proline by Excised Bean Leaves in The Dark. *Plant Physiol* 50 : 551-555.
- Taiz L, Zeiger E, 1991. Plant Physiology. California : The Bunyamin/Cuming Publ. Co. Inc. Redwood City, pp 347-487.

- Terry PH, Krizek DT, Mirecki RM, 1988. Genotypic Variation in Coleous in ability to accumulated Abscisic Acid in Response to water deficit. *Physiologia Plantarum* 72: 441-449.
- Triandini E, 1993. Osmotika dan Toleransi Tanaman Kedelai terhadap Kekurangan Air, Skripsi, Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang.
- Trustinah, 1992. Biologi Tanaman Kacang hijau. Malang : Monograf Balittan, 9 : 12-23.
- Turner CN, 1986. Crop Water Deficit. A decade of Progress. *Adv. in Agron* 39 : 1-39.
- ....., 1986. Adaptation to Water Deficits : A Changing Perspective. *Aust. J. Plat Physiol* 13 : 175-190.
- ....., 1998. Further Progress In Crop Water Relations. *Adv. Agronomy* 59 : 293 – 325.
- Turner AK, Willet ST, Willson JH, Jobling GA, 1984. Soil Water Management. Canberra : IDP Aust. Universities Co. University, pp 1-80.
- Waldern RP, Teare ID, 1974 Free Proline Accumulation in Drought Stress Plant Under Laboratories Condition. *Plant and Soil* 40 : 689-692.
- , Teare ID, Ehler SW, 1974. Changes in Free Proline Concentration in Sorghum and Soybean Plant Under Field Condition. *Crop Sci* 14 : 447-450.
- Williams CN, Joseph KT, 1973. Climate, Soil and Crop Production in The Humid Tropics. Singapore : Oxford Univ. Press, pp 59-96.
- Wright GC, 1993. Introduction to Selection for Water-Use Efficiency in Food Legumes : Project Background, Objectives and Output, Scope of Workshop. India : Report of a workshop held at ICRISAT Centre, pp 14-16.
- Yoshiba Y, Kiyosue T, Nakashima K, Yamaguchi-Shinozaki K, Shinozaki K, 1997. Regulation of Levels of Proline as an osmolyte in Plants Under Water Stress. *Plant Cell Physiol* 38 : 1095-1102.
- Zeevaart JAD, Creelman RA, 1988. Metabolism and Physiology of Abscisic Acid. *Ann. Rev. Plant Physiol* 39 : 439-473.