



TUGAS AKHIR - SB141510

RESPON KARAKTER FISIOLOGIS KEDELAI (*Glycine max* L.) VARIETAS GROBOGAN TERHADAP CEKAMAN GENANGAN

VITA SITI FATIMAH
1512 100 701

Dosen Pembimbing
Triono Bagus Saputro, S.Si, M.Biotech.

JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2016



TUGAS AKHIR - SB141510

**RESPON KARAKTER FISILOGIS KEDELAI
(*Glycine max* L.) VARIETAS GROBOGAN
TERHADAP CEKAMAN GENANGAN**

**VITA SITI FATIMAH
1512 100 701**

**Dosen Pembimbing
Triono Bagus Saputro, S.Si, M.Biotech.**

**JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2016**



FINAL PROJECT - SB141510

**PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTIC
RESPONSES OF SOYBEAN (*Glycine max* L.)
GROBOGAN VARIETY IN WATELOGGING
STRESS**

**VITA SITI FATIMAH
1512100701**

**Supervisor
Triono Bagus Saputro, S.Si., M.Biotech.**

**BIOLOGY DEPARTMENT
FACULTY OF MATHEMATICS AND SCIENCES
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2016**

LEMBAR PENGESAHAN

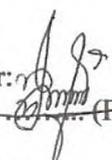
RESPON KARAKTER FISIOLOGIS KEDELAI (*Glycine Max L.*) VARIETAS GROBOGAN TERHADAP CEKAMAN GENANGAN

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada
Jurusan S-1 Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

VITA SITI FATIMAH
NRP. 1512 100 701

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir: 
Triono Bagus Saputro, S.Si, M.Biotech. (Pembimbing 1)

Surabaya, 14 Juli 2016



Mengetahui
Ketua Jurusan Biologi

Dr. Dewi Hidayati, S.Si, M.Si.
NIP. 19691121 199802 2 001

**RESPON KARAKTER FISIOLOGIS KEDELAI
(*Glycine max* L.) VARIETAS GROBOGAN
TERHADAP CEKAMAN GENANGAN**

Nama : Vita Siti Fatimah
NRP : 1512 100 701
Jurusan : Biologi
Dosen Pembimbing : Triono Bagus Saputro, S.Si,
M.Biotech.

Abstrak

Kedelai (Glycine max L.) mempunyai arti penting untuk memenuhi kebutuhan pangan dalam rangka perbaikan gizi masyarakat, karena kandungan nutrisinya yang banyak dan merupakan sumber protein nabati yang ekonomis. Kendala dalam produksi kedelai adalah faktor lingkungan, salah satunya adalah curah hujan yang dapat mengakibatkan genangan (waterlogging). Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui respon karakter fisiologis kedelai varietas Grobogan dan toleransinya terhadap cekaman genangan.

Penelitian cekaman genangan dilakukan pada stadia vegetatif dengan taraf genangan 100%, 150%, 200% dan kontrol sebagai pembanding. Berdasarkan data didapatkan hasil bahwa tinggi tanaman tertinggi terdapat pada konsentrasi genangan 150% (G2) dan terendah pada kontrol (G0), namun secara keseluruhan tidak berbeda nyata. Sedangkan luas daun, panjang akar, nitrogen daun, nodul akar, kadar klorofil, berat basah dan berat kering mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya konsentrasi genangan. Etilen mengalami peningkatan pada konsentrasi genangan 200% (G3) yaitu mencapai 14,878 ppm. Rasio stomata yang membuka semakin sedikit seiring dengan pertambahan perlakuan taraf genangan.

Kata Kunci: etilen, fisiologis, genangan, Grobogan, kedelai (Glycine max L.).

PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTIC RESPONSES OF
SOYBEAN (*Glycine max* L.) GROBOGAN VARIETY IN
WATELOGGING STRESS

Student Name : Vita Siti Fatimah
NRP : 1512 100 701
Departement : Biologi
Supervisor : Triono Bagus Saputro, S.Si, M.Biotech.

Abstract

Soybean (*Glycine max* L.) has important role to fulfilling food necessity in order to improve people nutrition, because it has extra nutrition and economic vegetable protein source. Obstacle in the production of soybean are environmental factors, one of it is rainfall that can lead to waterlogging. The purpose of this research was to determine tolerance and response of the physiological characteristics of soybean (*Glycine max* L.) Grobogan variety in waterlogging stress.

The research of waterlogging stress is conducted in vegetative stadia with the concentration of waterlogging is 100%, 150%, 200% and control as comparison. Based on the data, the highest plant is the concentration of waterlogging 150% (G2) besides the shortest plant is the control (G0) but overall the plant height was not significantly different. While the leaf's wide, root length, nitrogen in leaf, root nodules, chlorophyll content, fresh weight and dry weight, are decline as the waterlogging concentration increased. Ethylene increased significantly in the concentration of 200% (G3) it reach 14,878 ppm. The next result showed that the ratio of stomatal opening decreases with the increase of the level of waterlogging treatment.

Keywords: ethylene, physiology, Grobogan, waterlogging, soybean (*Glycine max* L.).

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Permasalahan	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan	5
1.5 Manfaat	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tanaman Kedelai (<i>Glycine max</i>).....	7
2.1.1 Klasifikasi kedelai (<i>Glycine max</i>)	8
2.1.2 Morfologi tanaman kedelai	8
2.1.3 Syarat tumbuh tanaman kedelai.....	15
2.2 Genangan.....	17
2.2.1 Faktor-faktor pengaruh toleran genangan pada tanaman kedelai.....	18
2.2.2 Respon fisiologis terhadap genangan	19
2.2.3 Mekanisme toleransi terhadap genangan.....	24
2.3 Kebutuhan Air pada Tanaman Kedelai	25
2.4 Hormon Etilen	26
2.4.1 Biosintesis etilen.....	26
2.5 Gas Chromatography (GC)	29
2.5.1 Prinsip kerja kromatografi gas	31

BAB III METODOLOGI

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	33
3.2 Bahan dan Alat dan Cara Kerja.....	33
3.2.1 Penelitian pendahuluan kapasitas lapang	33
3.2.2 Persiapan biji	34
3.2.3 Penyemaian.....	34
3.2.4 Persiapan media tanam	34
3.2.5 Aklimatisasi tanaman kedelai (<i>Glycine max</i>).....	34
3.2.6 Pemeliharaan	35
3.2.7 Metode pengujian	35
3.2.8 Pemanenan.....	35
3.3 Parameter Pengamatan.....	35
3.3.1 Pengamatan pertumbuhan Kedelai (<i>Glycine max</i>).....	35
3.3.2 Kadar klorofil	37
3.3.3 Stomata daun	37
3.3.4 Analisa nitrogen (N) daun	37
3.3.5 Hormon etilen akar	39
3.4 Rancangan Penelitian dan Analisa Data.....	40
3.4.1 Rancangan penelitian.....	40
3.4.2 Analisis data	40

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Cekaman Genangan terhadap Karakter Fisiologis Kedelai (<i>Glycine max</i> L.)	41
4.1.1 Pengaruh cekaman genangan terhadap pertumbuhan kedelai (<i>Glycine max</i> L.) varietas Grobogan	42
4.1.2 Pengaruh cekaman genangan terhadap nitrogen daun, bintil akar, kadar klorofil, bobot basah dan kering Kedelai (<i>Glycine max</i> L.) varietas Grobogan	52
4.1.3 Pengaruh cekaman genangan terhadap konsentrasi etilen pada akar, akar adventif, dan	

stomata daun kedelai (<i>Glycine max</i> L.) varietas Grobogan.....	64
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran.....	76
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN	93
BIODATA PENULIS	121

DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 2.1	Stadia Tumbuh Tanaman Kedelai ...	26
Tabel 4.1	Respon Pertumbuhan Kedelai (<i>Glycine max</i> L.) Varietas Grobogan Terhadap Cekaman Genangan.....	42
Tabel 4.2	Kadar Klorofil, Berat Basah dan Kering Kedelai (<i>Glycine max</i> L.) Varietas Grobogan Terhadap Cekaman Genangan.....	52
Tabel 4.3	Konsentrasi Etilen pada Akar, Akar Adventif dan Stomata daun Kedelai (<i>Glycine max</i> L.) Varietas Grobogan Terhadap Cekaman Genangan.....	64

DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 2.1	Morfologi Kedelai (<i>Glycine max</i>).....	9
Gambar 2.2	Akar dan Bintil Akar Kedelai	10
Gambar 2.3	Proses Terbentuknya Bintil Akar pada Tanaman Kedelai	11
Gambar 2.4	Batang dan Cabang Kedelai	12
Gambar 2.5	Daun Kedelai.....	13
Gambar 2.6	Bunga Kedelai.....	14
Gambar 2.7	Polong Kedelai.....	15
Gambar 2.8	Keadaan Fisiko-Kimia Utama yang Terjadi pada Rizosfer Selama Tergenang Air dan Perubahan Metabolisme dan Fisiologis yang Diikuti oleh Inisiasi Respons Adaptasi..	21
Gambar 2.9	Skema Diagram Jalur Metabolik Utama pada Saat Tanaman Mengalami Stres Genangan	23
Gambar 2.10	Adaptasi Anatomi dan Morfologi yang Terjadi Selama Tanaman Tergenang Air	25
Gambar 2.11	Rumus Etilen (C ₂ H ₄)	27

Gambar 2.12	Biosintesis Etilen (C ₂ H ₄)	29
Gambar 2.13	Kromatografi Gas	30
Gambar 4.1	Perbandingan Panjang Akar Tanaman Kedelai pada Kontrol dan Cekaman Genangan.....	43
Gambar 4.2	Perubahan dari Respirasi Aerobik ke Respirasi Anaerobik	46
Gambar 4.3	Perbandingan Tinggi Tanaman Kedelai pada Kontrol dan Cekaman Genangan..	48
Gambar 4.4	Mekanisme Interaksi Etilen dan Giberelin Pada Kondisi <i>Waterlogging</i> ..	49
Gambar 4.5	Perpanjangan Sel sebagai Respon terhadap Auksin: Hipotesis Pertumbuhan Asam.....	51
Gambar 4.6	Bintil Akar Kedelai Kontrol dan Cekaman Genangan.....	55
Gambar 4.7	Perbedaan Warna Klorofil Kontrol dan Cekaman Genangan.....	59
Gambar 4.8	Gejala Kekahatan N dan Mg Daun Kedelai	61
Gambar 4.9	(a) Perbandingan Akar Adventif Tanaman Kedelai Varietas Grobogan pada Kontrol dan Cekaman Genangan (100%, 150% dan 200%) (b) Perbandingan Akar Adventif pada	

	Kedelai Varietas Grobogan dan Tembakau.....	69
Gambar 4.10	Stomata Daun Kedelai.....	72
Gambar 4.11	Proses Penutupan Stomata yang Diinduksi oleh ABA, Etilen dan ROS...	74

DAFTAR LAMPIRAN

		Halaman
Lampiran 1	Deskripsi Kedelai Varietas Unggul Grobogan.....	93
Lampiran 2	Perhitungan Kapasitas Lapang	95
Lampiran 3	Skema Kerja Cara Kerja Penelitian.....	96
Lampiran 4	Skema Kerja Pengukuran Parameter	99
Lampiran 5	Hasil ANOVA ONE WAY - DMRT 5% Panjang Akar Tanaman Kedelai (<i>Glycine max L.</i>).....	106
Lampiran 6	Hasil ANOVA ONE WAY - DMRT 5% Luas Daun Tanaman Kedelai (<i>Glycine max L.</i>)	107
Lampiran 7	Hasil ANOVA ONE WAY dan Rata-rata Tinggi Tanaman Kedelai (<i>Glycine max L.</i>)	108
Lampiran 8	Hasil Nitrogen Daun Kedelai (<i>Glycine max L.</i>)	109
Lampiran 9	Hasil ANOVA ONE WAY dan Tabel Bintil Akar Tanaman Kedelai (<i>Glycine max L.</i>)	110

Lampiran 10	Hasil Perhitungan Kadar Klorofil Daun Kedelai (<i>Glycine max</i> L.)...	111
Lampiran 11	Hasil ANOVA ONE WAY - DMRT 5% Berat Basah dan Kering Tanaman Kedelai (<i>Glycine max</i> L.)	112
Lampiran 12	Hasil Konsentrasi Etilen Pada Akar Kedelai (<i>Glycine max</i> L.) Dengan Gas Chromatography (GC)	114
Lampiran 13	Hasil ANOVA ONE WAY - DMRT 5% Akar Adventif Tanaman Kedelai (<i>Glycine max</i> L.)	115
Lampiran 14	Hasil ANOVA ONE WAY - DMRT 5% Stomata Daun Tanaman Kedelai (<i>Glycine max</i> L.)	116
Lampiran 15	Hasil ANOVA ONE WAY - DMRT 5% Berat Kering masing-masing Organ (Daun, Batang, Akar) Kedelai (<i>Glycine max</i> L.)	117

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kedelai (*Glycine max* L.) menjadi komoditas pangan utama selain beras dan jagung yang telah lama dibudidayakan di Indonesia. Kedelai (*Glycine max* L.) saat ini tidak hanya diposisikan sebagai bahan baku industri pangan, namun juga ditempatkan sebagai bahan baku industri non-pangan. Kedelai (*Glycine max* L.) merupakan salah satu penghasil minyak *edible* tanaman polongan yang paling penting karena nilai gizi yang tinggi (Waqas *et al.*, 2014). Kedelai mengandung protein, minyak, karbohidrat tidak larut, karbohidrat larut, kadar air serta berbagai fungsional bahan seperti *anthocyanin*, isoflavon, saponin, dan serat makanan (Thomas *et al.*, 2003; Bellaloui *et al.*, 2013; Waqas *et al.*, 2014). Semua faktor tersebut membuat kedelai menjadi salah satu tanaman yang dominan dan dibudidayakan di seluruh dunia (Bellaloui *et al.*, 2013). Beberapa produk yang dihasilkan dari kedelai antara lain tempe, tahu, es krim, susu kedelai, tepung kedelai, minyak kedelai, pakan ternak dan bahan baku industri skala besar hingga kecil atau rumah tangga.

Banyaknya manfaat yang diperoleh dari tanaman kedelai dan seiring dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk serta industri pangan berbahan baku kedelai yang berkembang cukup pesat menyebabkan kebutuhan kedelai dari tahun ke tahun semakin meningkat. Peningkatan permintaan tersebut tidak diikuti dengan peningkatan produksi. Diperkirakan tiap tahun rata-rata kebutuhan kedelai mencapai 2,2 juta ton/tahun dan diprediksi akan meningkat setiap tahunnya. Namun, sampai tahun 2016 produksi kedelai diperkirakan sulit beranjak dari kisaran 800-900 ribu ton (Michael, 2016).

Defisit produksi kedelai tersebut dapat disebabkan oleh kondisi lingkungan. Faktor budidaya seperti kondisi tanah, irigasi, suplementasi pupuk, dan perlindungan tanaman dari penyakit

dapat dikendalikan melalui upaya manusia. Namun, pengendalian kondisi lingkungan di kawasan budidaya hampir tidak dapat dilakukan (Chen *et al.*, 2011; Ahmed *et al.*, 2013). Faktor utama kondisi lingkungan salah satunya adalah curah hujan di Indonesia.

Curah hujan memberikan pasokan air pada tanah. Kandungan air tanah tersebut harus cukup untuk perkecambahan, pertumbuhan, pembungaan dan pengisian polong. Akan tetapi jika jumlahnya melebihi rata-rata daya serap lahan, maka akan berpotensi terjadi genangan. Terjadinya stres genangan air didefinisikan ketika pori-pori tanah jenuh air yang menjadi *over* kapasitas tanah setidaknya 20% (Alam *et al.*, 2010). Genangan berdasarkan kondisi pertanaman menjadi dua, yaitu: (1) Kondisi jenuh air (*waterlogging*) dimana hanya akar tanaman yang tergenang air, dan (2) Kondisi bagian tanaman sepenuhnya tergenang air (*complete submergence*) (Van Toai *et al.*, 2001).

Masalah tingginya muka air yang menyebabkan tanaman tergenang merupakan penghalang yang serius bagi peningkatan produktivitas kedelai di lahan budidaya tersebut.

Permasalahan yang terjadi akibat genangan adalah kekurangan O₂ pada tanaman yang terendam. Hal ini merupakan faktor utama yang menyebabkan tanaman kedelai mengalami kerusakan fisiologis dan kerusakan fisik. Dibawah kondisi pertumbuhan normal, akar tanaman mengambil O₂ dari tanah dan kemudian digunakan dalam respirasi mitokondria. Namun, di bawah kondisi stres genangan air, tanaman tidak bisa menyerap cukup O₂ untuk mempertahankan fungsi fisiologis normal. Karena itu, tanaman tidak dapat menghasilkan glukosa dan akhirnya mengalami berbagai masalah metabolisme. Akibat yang lain dari genangan adalah timbulnya cekaman gas yang ditandai dengan (a) defisit O₂, (b) Kelebihan gas CO₂, serta (c) Timbulnya gas etilen yang berlebih. Kekurangan O₂ mempengaruhi permeabilitas membran sel, hubungan air-tanaman, nutrisi mineral, produksi zat pengatur tumbuh dan alokasinya, fotosintesis, respirasi dan alokasi karbohidrat.

Stres genangan air (*waterlogging*) dapat menyebabkan penuaan dini sehingga daun klorosis, nekrosis, dan gugur serta pertumbuhan tanaman terhambat yang pada akhirnya menurunkan hasil (produktivitas). Besarnya penurunan hasil ini juga tergantung pada varietas kedelai yang ditanam, fase pertumbuhan tanaman, lamanya tergenang, tekstur tanah, dan adanya penyakit.

Varietas kedelai yang diamati adalah varietas Grobogan. Varietas ini mempunyai keunggulan yakni umur pendek (76 hari), ukuran polong besar, produksi tinggi, kandungan protein tinggi yakni mencapai 43,9 persen dan daun rontok saat jelang panen (Balai Penelitian Kacang-kacangan dan Umbi-umbian, 2008).

Selain itu, nilai tambah dari kedelai varietas Grobogan adalah tempe dengan bahan dasar kedelai Grobogan tahan lama, tetap segar, gurih dan tidak cepat rusak (Balai Penelitian Aneka Kacang dan Umbi, 2015) sehingga banyak diminati oleh para pengrajin tempe atau produk olahan lain misalnya kripik tempe dan susu kedelai. Kedelai varietas Grobogan telah dijelaskan dapat beradaptasi baik di beberapa kondisi lingkungan tumbuh yang berbeda cukup besar, pada awal musim hujan dan daerah beririgasi baik (Balitkabi, 2011) namun belum dijelaskan lebih lanjut mengenai batas toleransinya. Penggunaan varietas Grobogan ini sangat populer di Jawa Tengah, khususnya di Kabupaten Grobogan, dengan variabilitas kondisi biofisik lahan.

Penelitian mengenai tanaman pangan khususnya kedelai pada genangan masih kurang sehingga informasi mengenai kultivar toleran genangan masih terbatas. Beberapa kultivar kedelai yang telah diteliti dalam budidaya jenuh air (basah) adalah Wilis, Bromo, Petek, Burangrang, Sinabung, Kaba, Anjasmoro, dan Sibayak. Selain itu, Sumber gen kedelai yang toleran genangan diantaranya Lokon (Budi, 2000), Dieng, MLGG 0132, MLGG 0305 (Adie, 1997) serta peka terhadap genangan diantaranya Lumajang bewok dan Tengger (Budi, 2000).

Berdasar latar belakang diatas, maka perlu dilakukan penelitian secara lebih lanjut terhadap batas toleransi dan respon cekaman genangan pada varietas Grobogan dengan

menitikberatkan pada karakter fisiologisnya. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk memberikan informasi kondisi fisiologis dan toleransi tanaman kedelai varietas Grobogan pada saat tercekam. Dimana informasi ini penting untuk pengembangan varietas kedelai tahan genangan.

1.2 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh genangan terhadap karakter fisiologis kedelai (*Glycine max* L.) varietas Grobogan ?
2. Apakah kedelai (*Glycine max* L.) varietas Grobogan toleran terhadap genangan ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian Respon Karakter Fisiologis Kedelai (*Glycine max* L.) Varietas Grobogan Terhadap Cekaman Genangan adalah :

1. Parameter karakter fisiologis yang diukur pada penelitian ini yaitu pertumbuhan kedelai, kadar klorofil, stomata, nitrogen daun dan hormon Etilen.
2. Kedelai (*Glycine max* L.) yang digunakan adalah varietas Grobogan yang didapat dari BALITKABI Malang.
3. Perlakuan yang digunakan adalah *waterlogging* dengan konsentrasi 100%, 150%, dan 200% serta kontrol sebagai pembanding.
4. Penelitian dilakukan secara In Vivo.
5. Perlakuan cekaman genangan dilakukan pada stadia vegetatif.
6. *Gas Chromatography* (GC) yang digunakan adalah HITACHI 263-50.

1.4 Tujuan

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka tujuan dari penelitian Respon Karakter Fisiologis Kedelai (*Glycine max* L.) Varietas Grobogan Terhadap Cekaman Genangan yaitu :

1. Mengetahui respon karakter fisiologis kedelai (*Glycine max* L.) varietas Grobogan terhadap genangan.
2. Mengetahui toleransi kedelai (*Glycine max* L.) varietas Grobogan terhadap genangan.

1.5 Manfaat

Manfaat dari Penelitian Respon Karakter Fisiologis Kedelai (*Glycine max* L.) Varietas Grobogan Terhadap Cekaman Genangan yaitu :

1. Mendapatkan informasi mengenai pengaruh genangan terhadap karakter fisiologis kedelai varietas Grobogan.
2. Sebagai database sehingga dapat menjadi informasi bagi penelitian selanjutnya dalam upaya merakit kultivar kedelai toleran genangan.
3. Dapat menjadi pertimbangan sebagai solusi alternatif untuk memaksimalkan hasil produksi tanaman pangan nasional khususnya kedelai dan menambah pendapatan petani kedelai.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.)

Kedelai merupakan tanaman yang strategis di dunia pertanian. Kedelai (*Glycine max* L.) menjadi komoditas pangan yang telah lama dibudidayakan di Indonesia yang saat ini tidak hanya diposisikan sebagai bahan baku industri pangan, namun juga ditempatkan sebagai bahan baku industri non-pangan.

Kedelai merupakan bahan pangan yang sangat populer di dalam kalangan masyarakat, hampir setiap hari banyak orang mengonsumsi makanan olahan dari kedelai, misalnya: tempe, tahu, susu kedelai, tepung kedelai dan lain-lain. Selain itu, Kedelai juga digunakan untuk berbagai macam keperluan, antara lain makanan ternak, dan untuk bahan industri (Cahyadi, 2007). Apabila ditinjau dari segi harga, kedelai merupakan sumber protein yang termurah sehingga sebagian besar kebutuhan protein nabati dapat dipenuhi dari hasil olahan kedelai. Biji kedelai tidak dapat dimakan langsung karena mengandung tripsine inhibitor. Apabila biji kedelai sudah direbus pengaruh tripsin inhibitor dapat dinetralkan.

Kedelai merupakan salah-satu jenis kacang-kacangan yang dapat digunakan sebagai sumber protein, lemak, vitamin, mineral dan serat. Kacang kedelai mengandung sumber protein nabati yang kadar proteinnya tinggi yaitu sebesar 35% bahkan pada varietas unggul dapat mencapai 40-44%. Selain itu juga mengandung asam lemak essensial, vitamin A dan B yang berguna bagi pertumbuhan manusia dan mineral yang cukup seperti kalsium, fosfor, besi (Suprpto, 1993). Di samping protein, kacang kedelai mempunyai nilai hayati yang tinggi setelah diolah, karena kandungan susunan asam aminonya mendekati susunan asam amino pada protein hewani. Kandungan asam amino penting yang terdapat dalam kedelai yaitu : 1) Isoleucine, 2) Leusin, 3) Lisin, 4) Methionine, 5) Phenylalanine,

6) Threonin, 7) Tryptophane, 8) Valine yang rata-rata tinggi, kecuali Methionine dan Phenylalanine.

Tanaman kedelai merupakan tanaman hari pendek dan memerlukan intensitas cahaya yang tinggi. Penurunan radiasi matahari selama 5 hari atau pada stadium pertumbuhan akan mempengaruhi pertumbuhan dan hasil kedelai (Salisbury dan Ross, 1995). Kedelai merupakan tanaman C3 yang dapat mengalami kehilangan air lebih banyak dibandingkan tanaman C4 seperti jagung dan sorgum, karena tanaman C3 memiliki rasio transpirasi yang lebih tinggi. Tanaman C3 mengalami fotorespirasi yang berdampak pada hasil bersih fotosintesisnya lebih rendah dari tanaman C4. Hasil respirasi yang tergantung pada cahaya, tanaman C3 kehilangan jauh lebih banyak CO₂ daripada yang terjadi pada tanaman C4 sehingga berakibat pada laju fotosintesis bersihnya lebih rendah daripada tanaman C4.

2.1.1 Klasifikasi Kedelai (*Glycine max*)

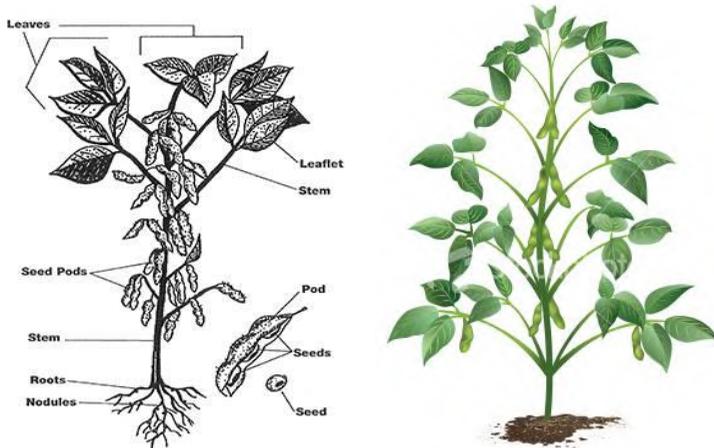
Tanaman Kedelai menurut Rukmana & Yuniarsih (1996) diklasifikasikan sebagai berikut:

Regnum	: Plantae
Divisio	: Spermatophyta
Subdivisio	: Angiospermae
Classis	: Dicotyledonae
Ordo	: Polypetales
Familia	: Leguminoceae
Subfamilia	: Papilionoideae
Genus	: <i>Glycine</i>
Spesies	: <i>Glycine max</i> (L.)

2.1.2 Morfologi Tanaman Kedelai

Tanaman kedelai umumnya tumbuh tegak, berbentuk semak, dan merupakan tanaman semusim. Morfologi tanaman kedelai didukung oleh komponen utamanya, yaitu akar, daun,

batang, polong, dan biji sehingga pertumbuhannya dapat optimal (Adisarwanto, 2005).



Gambar 2.1 Morfologi Kedelai (*Glycine max*).

a. Akar dan Bintil Akar

Akar kedelai mulai muncul dari belahan kulit biji. Calon akar tersebut kemudian tumbuh dengan cepat ke dalam tanah, sedangkan kotiledon yang terdiri dari dua keping akan terangkat ke permukaan tanah akibat pertumbuhan yang cepat dari hipokotil (Hidayat, 1985).

Sistem perakaran kedelai terdiri dari dua macam, yaitu akar tunggang dan akar sekunder (serabut) yang tumbuh dari akar tunggang. Selain itu kedelai juga sering membentuk akar adventif yang tumbuh dari bagian bawah hipokotil. Pada umumnya, akar adventif terjadi karena cekaman tertentu, misalnya kadar air tanah yang terlalu tinggi (Hidayat, 1985).

Tanaman kedelai dapat mengikat nitrogen (N_2) di atmosfer melalui aktivitas bakteri pengikat nitrogen, yaitu *Rhizobium*. Bakteri ini terbentuk di dalam akar tanaman yang diberi nama nodul atau bintil akar. Nodul atau bintil akar

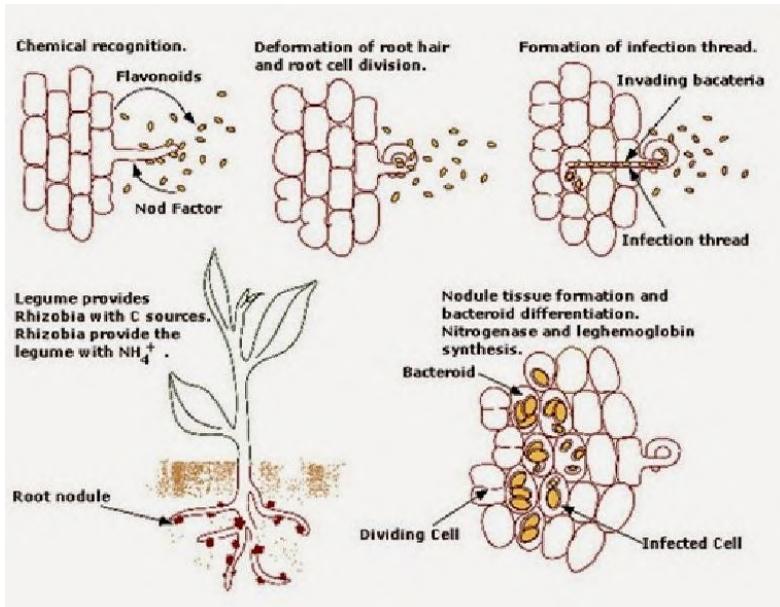
tanaman kedelai umumnya dapat mengikat nitrogen dari udara pada umur 10 – 12 hari setelah tanam, tergantung kondisi lingkungan tanah dan suhu. Proses pembentukan bintil akar sebenarnya sudah terjadi mulai umur 4 – 5 hst, yaitu sejak terbentuknya akar tanaman. Pada saat itu, terjadi infeksi pada akar rambut yang merupakan titik awal dari proses pembentukan bintil akar. Oleh karena itu, semakin banyak volume akar yang terbentuk, semakin besar pula kemungkinan jumlah bintil akar atau nodul yang terjadi.

Kemampuan memfikasi N_2 ini akan bertambah seiring dengan bertambahnya umur tanaman, tetapi maksimal hanya sampai akhir masa berbunga atau mulai pembentukan biji. Setelah masa pembentukan biji, kemampuan bintil akar memfikasi N_2 akan menurun bersamaan dengan semakin banyaknya bintil akar yang tua dan luruh. Di samping itu, juga diduga karena kompetisi fotosintesis antara proses pembentukan biji dengan aktivitas bintil akar (Prasastyawati, 1980).



Gambar 2.2 Akar dan Bintil Akar Kedelai.

Proses pembentukan bintil akar diawali dengan pelepasan senyawa kimia oleh akar tumbuhan yang akan ditangkap oleh bakteri *Rhizobium* tertentu. Selengkapnya tentang proses pembentukan bintil akar adalah sebagai berikut :



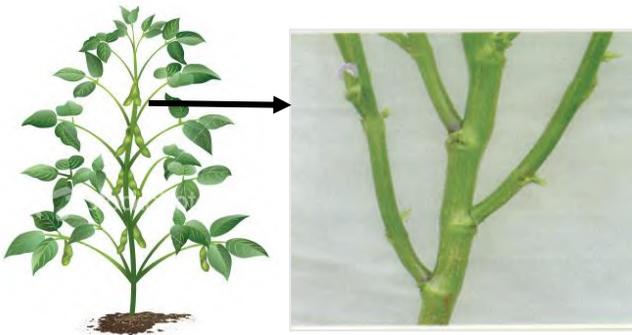
Gambar 2.3 Proses Terbentuknya Bintil Akar pada Tanaman Kedelai.

- Akar tumbuhan akan melepaskan senyawa kimia yang disebut flavonoid ke dalam tanah yang akan ditangkap oleh Rhizobium. Senyawa flavonoid tertentu hanya akan mempengaruhi Rhizobium tertentu pula. Satu jenis tumbuhan umumnya hanya menghasilkan satu jenis flavonoid sehingga hanya dapat bersimbiosis dengan satu jenis Rhizobium.
- Flavonoid yang ditangkap Rhizobium kemudian akan mengaktifkan kelompok gen tertentu yang disebut dengan nod (berasal dari kata nodulasi). Gen tersebut akan aktif menghasilkan enzim yang membantu pembentukan senyawa yang disebut faktor nod. Faktor nod tersebut akan dilepaskan ke lingkungan sekitar dan ditangkap oleh akar tumbuhan, sebagai jawaban atas flavonoid.

- Faktor nod akan mempengaruhi tumbuhan menjulurkan rambut akarnya untuk menangkap *Rhizobium*. Rambut akar akan membentuk invaginasi (penonjolan ke dalam) yang menjadi saluran masuknya bakteri. *Rhizobium* akan masuk ke dalam jaringan rambut akar, menembus hingga korteks dan perisikel, mempengaruhi pembelahan sel, dan membentuk bintil akar. *Rhizobium* akan hidup di dalam sel tertentu dari bintil akar dan membentuk bakteroid. Jaringan bintil akar tumbuh hingga bagian xilem dan floem akar tumbuhan.

b. Batang dan Cabang

Pertumbuhan batang kedelai dibedakan menjadi dua tipe, yaitu tipe *determinate* dan *indeterminate*. Perbedaan sistem pertumbuhan batang ini didasarkan atas keberadaan bunga pada pucuk batang. Pertumbuhan batang tipe *determinate* ditunjukkan dengan batang yang tidak tumbuh lagi pada saat tanaman mulai berbunga. Sementara pertumbuhan batang tipe *indeterminate* dicirikan bila pucuk batang tanaman masih dapat tumbuh daun, walaupun tanaman sudah mulai berbunga. Disamping itu, ada varietas hasil persilangan yang mempunyai tipe batang mirip keduanya sehingga dikategorikan sebagai *semi-determinate* atau *semi-indeterminate*.



Gambar 2.4 Batang dan Cabang Kedelai (Hidayat, 1985).

c. Daun

Umumnya, bentuk daun kedelai ada dua, yaitu bulat (oval) dan lancip (lanceolate). Kedua bentuk daun tersebut dipengaruhi oleh faktor genetik. Daun mempunyai stomata, berjumlah antara 190-320 buah/m². Umumnya, daun mempunyai bulu dengan warna cerah (Hidayat, 1985).



Gambar 2.5 Daun Kedelai.

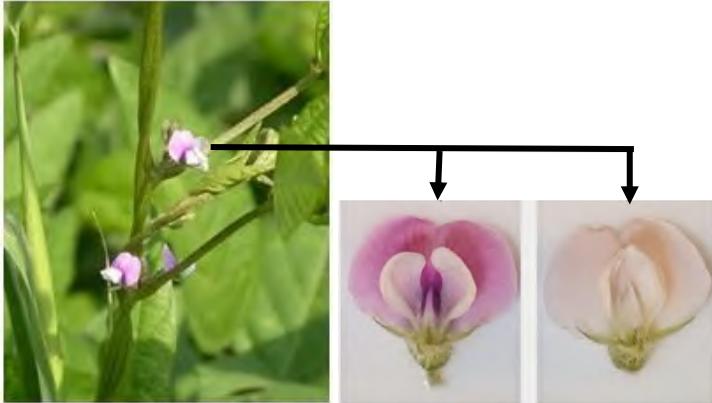
d. Bunga

Tangkai bunga kedelai umumnya tumbuh dari ketiak tangkai daun yang diberi nama rasim. Jumlah bunga pada setiap ketiak tangkai daun sangat beragam, antara 2-25 bunga, tergantung kondisi lingkungan tumbuh dan varietas kedelai. Bunga pertama yang terbentuk umumnya pada buku kelima, keenam, atau pada buku yang lebih tinggi (Hidayat, 1985).

Setiap ketiak tangkai daun yang mempunyai kuncup bunga dan dapat berkembang menjadi polong disebut sebagai buku subur. Tidak setiap kuncup bunga dapat tumbuh menjadi polong, hanya berkisar 20-80%. Jumlah bunga yang rontok tidak dapat membentuk polong yang cukup besar. Rontoknya bunga ini dapat terjadi pada setiap posisi buku pada 1-10 hari setelah mulai terbentuk bunga (Hidayat, 1985).

Periode berbunga pada tanaman kedelai cukup lama yaitu 3-5 minggu untuk daerah subtropik dan 2-3 minggu di daerah tropik, seperti di Indonesia. Jumlah bunga pada tipe batang *determinate* umumnya lebih sedikit dibandingkan pada batang tipe *indeterminate*. Warna bunga yang umum pada

berbagai varietas kedelai hanya dua, yaitu putih dan ungu (Hidayat, 1985).



Gambar 2.6 Bunga Kedelai.

e. Polong dan Biji

Polong kedelai pertama kali terbentuk sekitar 7-10 hari setelah munculnya bunga pertama. Panjang polong muda sekitar 1 cm. Jumlah polong yang terbentuk pada setiap ketiak tangkai antara 1-10. Pada setiap tanaman, jumlah polong dapat mencapai lebih dari 50 hingga ratusan.

Di dalam polong terdapat biji yang berjumlah 2-3 bij. Bentuk biji bervariasi, tergantung pada varietas tanaman, yaitu bulat, agak gepeng, dan bulat telur. Namun demikian, sebagian besar biji berbentuk bulat telur (Hidayat, 1985).

Biji kedelai terbagi menjadi dua bagian utama, yaitu kulit biji dan embrio. Pada kulit biji terdapat bagian yang disebut pusar (hilum) yang berwarna coklat, hitam, atau putih. Pada ujung hilum terdapat mikrofil, berupa lubang kecil yang terbentuk pada saat proses pembentukan biji. Warna kulit biji bervariasi, mulai dari kuning, hijau, coklat, hitam, atau kombinasi campuran dari warna-warna tersebut (Hidayat, 1985).



Gambar 2.7 Polong Kedelai.

2.1.3 Syarat Tumbuh Tanaman Kedelai

Tanah dan iklim merupakan dua komponen lingkungan tumbuh yang berpengaruh pada pertumbuhan tanaman kedelai. Pertumbuhan kedelai tidak dapat optimal bila tumbuh pada lingkungan dengan salah satu komponen lingkungan tumbuh tidak optimal. Hal ini dikarenakan kedua komponen ini harus saling mendukung satu sama lain sehingga pertumbuhan kedelai dapat optimal.

1. Iklim

Unsur-unsur iklim yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman kedelai adalah suhu, panjang hari (*photoperiode*) dan curah hujan.

a. Suhu

Tanaman kedelai dapat tumbuh pada kondisi suhu yang beragam. Suhu tanah yang optimal dalam proses perkecambahan yaitu 30°C. Bila tumbuh pada suhu tanah yang rendah (<15°C), proses perkecambahan menjadi sangat lambat, dapat mencapai 2 minggu. Hal ini dikarenakan perkecambahan biji tertekan pada kondisi kelembaban tanah tinggi. Sementara pada suhu tinggi (>30°C), banyak biji yang mati akibat respirasi air dari dalam biji

yang terlalu cepat. Disamping suhu tanah, suhu lingkungan juga berpengaruh terhadap perkembangan tanaman kedelai. Bila suhu lingkungan sekitar 40°C pada masa tanaman berbunga, bunga tersebut akan rontok sehingga jumlah polong dan biji kedelai yang terbentuk juga menjadi berkurang. Suhu yang terlalu rendah (10°C) dapat menghambat proses pembungaan dan pembentukan polong kedelai. Suhu lingkungan optimal untuk pembungaan bunga yaitu 24 -25°C (Suprpto, 1998).

b. Panjang hari (*photoperiode*)

Tanaman kedelai sangat peka terhadap perubahan panjang hari atau lama penyinaran sinar matahari karena kedelai termasuk tanaman “hari pendek”, artinya tanaman kedelai tidak akan berbunga bila panjang hari melebihi batas kritis, yaitu 15 jam perhari. Oleh karena itu, bila varietas yang berproduksi tinggi dari daerah subtropik dengan panjang hari 14 – 16 jam ditanam di daerah tropik dengan rata-rata panjang hari 12 jam maka varietas tersebut akan mengalami penurunan produksi karena masa bunganya menjadi pendek, yaitu dari umur 50 – 60 hari menjadi 35 – 40 hari setelah tanam. Selain itu, batang tanaman pun menjadi lebih pendek dengan ukuran buku subur juga lebih pendek.

Perbedaan di atas tidak hanya terjadi pada kedelai yang ditanam di daerah tropik dan subtropik, tetapi juga terjadi pada tanaman kedelai yang ditanam di dataran rendah (<20 m dpl) dan dataran tinggi (>1000 m dpl). Umur berbunga pada tanaman kedelai yang ditanam di daerah dataran tinggi mundur sekitar 2-3 hari dibandingkan tanaman kedelai yang ditanam di dataran rendah.

c. Curah Hujan

Hal yang terpenting pada aspek distribusi curah hujan yaitu jumlahnya merata sehingga kebutuhan air pada tanaman kedelai dapat terpenuhi. Jumlah air yang digunakan oleh tanaman kedelai tergantung pada kondisi iklim, sistem pengelolaan tanaman, dan lama periode tumbuh.

Tanaman kedelai dapat tumbuh baik di daerah yang memiliki curah hujan sekitar 100-400 mm/bulan. Sedangkan untuk mendapatkan hasil optimal, tanaman kedelai membutuhkan curah hujan antara 100-200 mm/bulan (Prihatman, 2000).

2. Tanah

Tanaman kedelai mempunyai daya adaptasi yang luas terhadap berbagai jenis tanah. Kedelai dapat tumbuh pada berbagai jenis tanah namun dengan syarat drainase (tata air) dan aerasi (tata udara) tanah cukup baik. Dalam praktek di lapangan, sering digunakan pedoman yaitu apabila tanaman jagung dapat tumbuh dengan baik pada suatu jenis tanah, tanaman kedelai dapat tumbuh baik pada jenis tanah tersebut. Selain itu, tanaman kedelai akan tumbuh dengan baik dan berproduksi tinggi pada tanah yang subur dan gembur, kaya akan humus atau bahan organik dan memiliki pH (derajat keasaman) antara 5,8 – 7,0 serta ketinggian kurang dari 600 m dpl (Firmanto, 2011). Bahan organik yang cukup dalam tanah akan memperbaiki daya olah dan juga merupakan sumber makanan bagi jasad renik, yang akhirnya akan membebaskan unsur hara untuk pertumbuhan tanaman.

Tanah – tanah yang cocok yaitu alluvial, regosol, grumosol, latosol dan andosol. Pada tanah – tanah podzolik merah kuning dan tanah yang mengandung banyak pasir kwarsa, pertumbuhan kedelai kurang baik, kecuali bila diberi tambahan pupuk organik atau kompos dalam jumlah yang cukup (Andrianto dan Indarto, 2004).

2.2 Genangan

Genangan merupakan masalah utama di banyak daerah pertanian di dunia dan kedelai merupakan tanaman yang peka terhadap genangan (Shimamura *et al.*, 2003). Di Indonesia, kedelai umumnya diusahakan di lahan sawah setelah padi. Kondisi tanah yang tergenang (jenuh air) akibat air sisa penanaman padi atau air hujan sering menjadi salah satu penyebab rendahnya produktivitas kedelai di lahan sawah (Adie,

1997). Genangan atau kondisi jenuh air disebabkan oleh kandungan lengas tanah yang berada di atas kapasitas lapang.

Genangan dapat terjadi pada lahan basah alami maupun lahan basah buatan. Notohadiprawiro (1989) mendeskripsikan lahan basah alami sebagai lahan yang karena drainase yang buruk, bersifat basah sementara atau sepanjang waktu. Keadaan ini terjadi karena iklim basah dan berkaitan dengan kedudukan lahan yang berenergi potensial rendah (daerah berketinggian rendah) atau karena bentuk lahan yang berupa cekungan tambat (*retention basin*). Lahan basah buatan yakni lahan yang bentuknya sengaja dibuat sedemikian rupa sehingga dapat menambat banyak air untuk membuat tanah jenuh air atau mempertahankan genangan air pada permukaan tanah selama waktu tertentu. Van Toai *et al.*, (2001) membagi genangan berdasarkan kondisi pertanaman menjadi dua, yaitu: 1) kondisi jenuh air (*waterlogging*) dimana hanya akar tanaman yang tergenang air, dan 2) kondisi bagian tanaman sepenuhnya tergenang air (*complete submergence*).

2.2.2 Faktor-faktor Pengaruh Toleran Genangan Pada Tanaman Kedelai

Toleransi terhadap genangan dapat didefinisikan sebagai kemampuan tanaman untuk mempertahankan hasil optimal pada kondisi tergenang (Van Toai *et al.*, 1994). Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi toleransi kedelai terhadap genangan, yaitu:

1. Varietas. Skrining varietas kedelai yang dilakukan selama dua minggu pada keadaan tergenang menunjukkan penurunan hasil rata-rata 61%, yaitu 39% pada varietas toleran dan 77% pada varietas kurang toleran (Shannon *et al.*, 2005).
2. Fase pertumbuhan tanaman dan lamanya tergenang. Penggenangan pada fase vegetatif kurang berpengaruh terhadap penurunan hasil dibanding kan pada fase generatif (Scott *et al.*, 1989; Oosterhuis *et al.*, 1990; Linkemer *et al.*, 1998; Cramer, 2008). Hal ini diperkuat oleh hasil penelitian

Rhine (2006), bahwa terdapat pengaruh negatif yang nyata antara perlakuan penggenangan dengan fase pertumbuhan kedelai. Pada kondisi tergenang, hasil kedelai menurun 17–43% pada fase vegetatif dan 50–56% pada fase reproduktif (Oosterhuis *et al.*, 1990). Penggenangan karena irigasi selama 1–2 hari tidak menyebabkan pengurangan hasil kedelai, tetapi periode penggenangan yang lama akan mengakibatkan kehilangan hasil (Heatherly dan Pringle, 1991).

3. Tekstur tanah dan Jenis tanah nyata mempengaruhi respon tanaman kedelai terhadap genangan (Rhine, 2006). Pada tanah liat (*clay soil*), kehilangan hasil akibat genangan lebih besar dibandingkan pada tanah lempung berdebu (*silt loam*) (Scott *et al.*, 1989; Rhine, 2006).
4. Derajat kelembapan. Suhu selama penggenangan mempengaruhi ketahanan tanaman terhadap genangan. Suhu tinggi dan sinar matahari menyebabkan tanaman dan mikroba berespirasi lebih cepat sehingga menghabiskan oksigen dan menambah CO₂ (Conley *et al.*, 2008). Sebaliknya pada suhu rendah, cuaca berawan, dan malam hari dapat menambah ketahanan tanaman terhadap genangan.
5. Kehadiran penyakit. Genangan juga memberikan efek tidak langsung terhadap hasil kedelai, yaitu timbulnya penyakit pada akar. Tanah yang tergenang dapat memudahkan tanaman terserang penyakit seperti *Phytophthora* sp. dan *Phytium* sp. Penyakit ini dapat menyebabkan benih mati pada fase perkecambahan (Rhine, 2006).

2.2.3 Respon Fisiologis Tanaman Terhadap Genangan

Pada saat air memenuhi pori-pori tanah, udara didesak keluar, difusi gas berkurang dan senyawa beracun terakumulasi akibat kondisi anaerobik. Semua perubahan tersebut sangat mempengaruhi kemampuan tanaman untuk bertahan hidup. Dalam kondisi tergenang tersebut tanaman melakukan modifikasi metabolisme yang mengarah pada adaptasi metabolisme secara

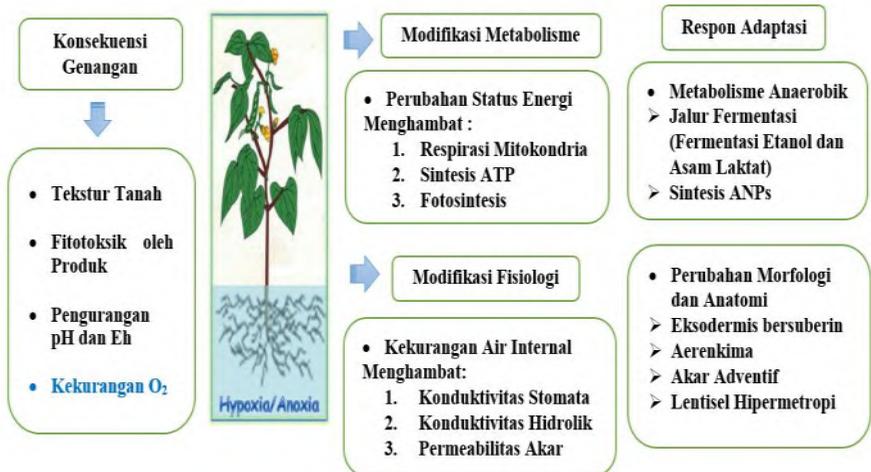
anaerobik dan fisiologi dengan melakukan perubahan morfologi dan anatomi (Gambar 2.8).

Salah satu respon fisiologis awal tanaman terhadap genangan adalah pengurangan konduktansi stomata (Gambar 2.8). Genangan tidak hanya meningkatkan resistensi stomata tetapi juga membatasi penyerapan air, sehingga kemudian mengarah kepada defisit air internal (Pezeshki, 2001).

Faktor-faktor lain seperti penurunan kadar klorofil daun, penebaran dini daun, dan penurunan luas daun juga dapat menyebabkan penghambatan fotosintesis pada tahap berikutnya (Cao dan Conner, 1999). Ketika berkepanjangan, stres dapat menyebabkan penghambatan aktivitas fotosintesis pada jaringan mesofil (Pezeshki *et al.*, 1996), serta penurunan aktivitas metabolik dan translokasi fotoasimilat (Pezeshki, 2001). Dampak dari berkurangnya fotosintesis pada pertumbuhan dan perkembangan tanaman dapat jadi sangat dramatis dan secara bersamaan dapat menyebabkan disfungsi fisiologis seperti penghambatan transportasi air dan perubahan keseimbangan hormon (Gunawardena *et al.*, 2001). Untuk mempertahankan aktivitas metaboliknya, tanaman harus menggunakan cadangan karbohidratnya. Pasokan karbohidrat awal berkorelasi dengan tingkat toleransi terhadap hipoksia/anoksia pada banyak spesies, hal ini dimungkinkan karena keterlibatannya dalam menyediakan energi selama kondisi anaerobik, sehingga tingkat cadangan karbohidrat menjadi faktor penting dari toleransi terhadap genangan dalam jangka panjang (Setter *et al.*, 1997). Sebagai contoh, peningkatan kemampuan untuk memanfaatkan gula melalui jalur glikolisis memungkinkan bibit padi untuk bertahan hidup lebih lama dalam keadaan genangan (Kawano *et al.*, 2009).

Meskipun tanaman memiliki cadangan gula tinggi, namun cadangan gulanya harus tersedia dan mudah dikonversi melalui jalur glikolisis yang efisien. Ketersediaan fotoasimilat bagi sel pada kondisi anaerobik telah diusulkan sebagai salah satu tahap

pembatas bagi tanaman untuk bertahan hidup dalam kondisi tergenang (Pezeshki, 2001).



Gambar 2.8 Keadaan Fisiko-Kimia Utama yang Terjadi Pada Rizosfer Selama Tergenang Air dan Perubahan Metabolisme Dan Fisiologi yang Diikuti Oleh Inisiasi Respon Adaptasi.

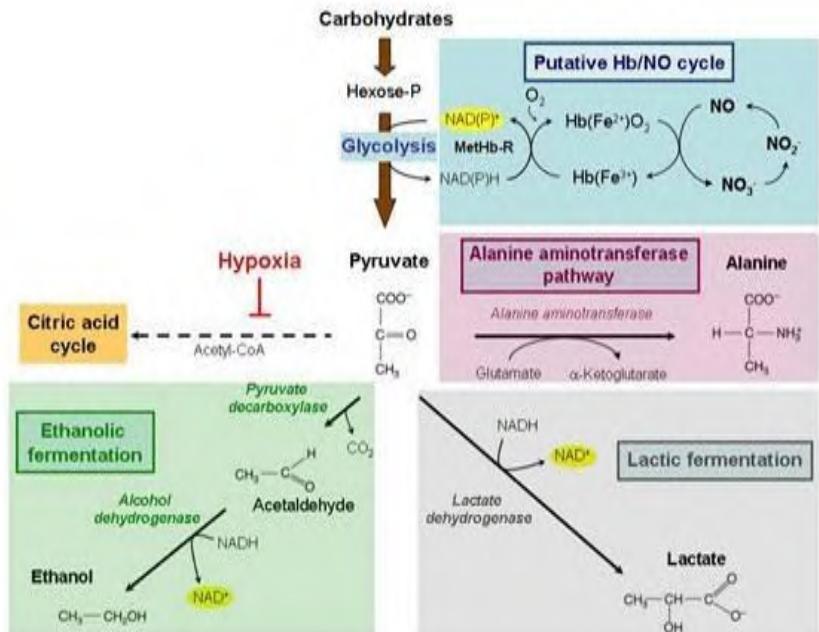
Secara keseluruhan, efek utama genangan air berupa rendahnya keberadaan O₂ di bagian tanaman yang terendam, dikarenakan gas O₂ berdifusi 10.000 lebih cepat di udara dibandingkan di dalam air. Pengaruh terbatasnya O₂ pada metabolisme sel tergantung pada konsentrasinya dan penurunan ketersediaan O₂ secara gradual pada akar memiliki berbagai pengaruh pada metabolisme tanaman: i) Normoxia memungkinkan respirasi aerobik dan metabolisme normal dan sebagian besar ATP dihasilkan melalui fosforilasi oksidatif, ii) Hipoksia terjadi ketika penurunan O₂ yang tersedia mulai menjadi faktor pembatas untuk produksi ATP melalui fosforilasi oksidatif dan, iii) Anoxia ketika ATP hanya dihasilkan melalui glikolisis fermentasi, karena tidak ada O₂ yang tersedia lagi.

Penyediaan energi di bawah kondisi anaerobik sebagian besar dicapai melalui glikolisis. Penyediaannya secara lebih lanjut maka jalur glikolisis, regenerasi NAD^+ , kofaktor dari NADH adalah penting. Piruvat dalam jumlah besar yang dihasilkan dalam glikolisis sebagai produk akhir harus dikonversi ke produk alternatif untuk mendaur ulang NADH menjadi NAD^+ . Fermentasi etanol dan fermentasi laktat adalah proses yang paling penting dimana NADH dapat didaur ulang menjadi NAD^+ selama kekurangan oksigen.

Dalam fermentasi etanol, piruvat adalah substrat piruvat dekarboksilase (PDC) menghasilkan CO_2 dan asetaldehida, yang dikurangi menjadi etanol dengan oksidasi NADH menjadi NAD^+ oleh alkohol dehidrogenase (ADH). Dalam fermentasi laktat, piruvat adalah substrat dehidrogenase laktat (LDH) yang menghasilkan laktat dengan oksidasi NADH menjadi NAD^+ . Efektifitas produksi energi oleh glikolisis dan fermentasi jauh lebih rendah dibandingkan respirasi aerobik. Selain itu, produk akhir dari jalur glikolisis dan fermentasi, seperti etanol, asam laktat dan karbon dioksida menimbulkan bahaya tambahan untuk sel. Hal ini juga dilaporkan bahwa pemeliharaan glikolisis aktif dan induksi metabolisme fermentatif adalah mekanisme adaptif untuk toleransi tanaman untuk anoksia. Sel anoxic mungkin mengalami fermentasi laktat daripada fermentasi etanol pada permulaan anoksia. Namun, akumulasi laktat mempromosikan pengasaman sitoplasma (Roberts *et al.*, 1984). Peningkatan transportasi laktat dari akar ke dalam media sekitarnya diduga dapat membantu untuk menghindari pengasaman sitoplasma (Xia & Saglio, 1992). Selain itu, Penurunan pH sitoplasma menyebabkan aktivasi PDC dan penghambatan LDH (Davies, 1980) menghasilkan pergeseran dari fermentasi laktat ke fermentasi ethanolic (Gambar 2.9).

Dengan demikian, karena kondisi anaerobik berkembang di tanah tergenang air, maka terdapat peningkatan jumlah produk sampingan dari metabolisme fermentasi yang terakumulasi di

lingkungan perakaran dan kadar CO_2 , metana, dan asam lemak volatile meningkat (Pezeshki, 2001). Penurunan energi yang tersedia memiliki konsekuensi yang dramatis pada proses seluler, yang menyebabkan ketidakseimbangan dan/atau kekurangan air dan hara nutrisi (Dat *et al.*, 2006). Selain itu, perubahan lingkungan ini juga dapat membuat tanaman lebih rentan terhadap stres lainnya, khusus terhadap infeksi patogen (Balerdi *et al.*, 2003).



Gambar 2.9 Skema Diagram Jalur Metabolik Utama Pada Saat Tanaman Mengalami Stres Genangan.

Kondisi hipoksia atau anoksia juga menghalangi fiksasi N dan distribusi Nitrogen dan mineral lain sehingga menghambat pertumbuhan akar dan nodulasi. Akibat kandungan Nitrogen dan

mineral ke bagian tajuk tidak mencukupi, daun akan menguning yang akan diikuti oleh pengguguran daun. Scott *et al.* (1989) melaporkan, pengaruh penggenangan ditunjukkan oleh daun yang menguning, pengguguran daun pada buku terbawah, kerdil, serta berkurangnya berat kering dan hasil tanaman.

2.2.4 Mekanisme Toleransi Terhadap Genangan

Mekanisme toleransi terhadap genangan berperan penting dalam mengembangkan genotipe kedelai toleran genangan. Ketahanan tanaman terhadap genangan dapat berupa penghindaran (*avoidance*) kekurangan O₂ dari daun ke akar dan kemampuan tanaman untuk melakukan metabolisme, atau dengan kata lain pada kondisi tersebut respirasi berlangsung secara anaerob (Huang dalam Basra dan Basra, 1997). Dalam kondisi tergenang, tanaman akan mengaktifkan proses fermentasi utama, yaitu etanol, asam laktat, yang akan membentuk alanin dari glutamat dan piruvat (Gambar 2.8) (Dennis *et al.*, 2000). Menurut Van Toai *et al.*, (2003), kedelai merespons kondisi genangan dengan mengaktifkan metabolisme atau melakukan pemulihan secara cepat setelah terjadi cekaman genangan diikuti dengan aklimatisasi (penyesuaian diri).

Menurut Bacanamwo & Purcell (1999), kedelai beradaptasi terhadap genangan dengan mengalokasikan fotosintesis dengan cara mengembangkan akar adventif dan membentuk aerenkim yang bergantung pada fiksasi N₂ (Gambar 2.10). Akar adventif berfungsi menggantikan akar utama (Bacanamwo & Purcell, 1999; Gibberd *et al.*, 2001; Malik *et al.*, 2001). Pembentukan akar khusus ini terjadi ketika sistem perakaran asli tidak mampu memasok air dan mineral yang dibutuhkan tanaman (Mergemann & Sauter, 2000). Selain itu, membusuknya sistem akar utama dapat dianggap sebagai pengorbanan untuk memungkinkan penggunaan energi yang lebih efisien bagi pengembangan sistem akar yang lebih sesuai (Dat *et al.*, 2006).

Akar adventif biasanya terbentuk di dekat pangkal batang atau di wilayah dimana lentisel berlimpah, dan pertumbuhan mereka adalah lateral, sejajar dengan permukaan air/tanah. Kehadiran akar adventif di perbatasan antara permukaan tanah jenuh air dengan atmosfer mencerminkan pentingnya akar ini dalam menggantikan sistem akar yang normal baik di dalam air maupun jauh di permukaan air tanah. Selain itu, kemampuan untuk memproduksi akar adventif umumnya terkait dengan meningkatnya toleransi terhadap genangan dan perkembangan akar adventif ini telah banyak dikaitkan dengan produksi etilen (Voeselek *et al.*, 1993; Mergemann & Sauter, 2000; Steffens *et al.*, 2006).



Gambar 2.10 Adaptasi yang Terjadi Selama Tanaman Tergenang Air.

2.3 Kebutuhan Air pada Tanaman Kedelai

Unsur hara dalam tanah yang diperlukan tanaman harus dilarutkan dalam air sebelum dapat diserap oleh akar tanaman

yang selanjutnya diangkut ke seluruh bagian tanaman. Air diperlukan dalam proses asimilasi dan sebagai pengatur setiap proses metabolisme tanaman, baik secara langsung atau tidak langsung juga dipengaruhi oleh ketersediaan air.

Secara umum kebutuhan air untuk tanaman kedelai, dengan umur panen 90 - 100 hari, berkisar antara 350 - 400 mm, atau rata-rata 3,5 mm per hari. Kebutuhan air tanaman kedelai yang dipanen pada umur 80-90 hari berkisar antara 360-405 mm, setara dengan curah hujan 120-135 mm per bulan. Jumlah air yang dibutuhkan sangat dipengaruhi oleh kemampuan tanah menyimpan air, besarnya penguapan, dan kedalaman lapisan olah tanah (Van Doren & Reicosky, 1987).

Pengairan dilakukan pada awal fase pertumbuhan vegetatif (umur 15-21 hst), saat berbunga (umur 25-35 hst), dan pada saat pengisian polong (umur 55-70 hst), pengairan dilakukan apabila curah hujan tidak mencukupi. Berdasarkan perhitungan Kung dalam Soma atmadja (1985), kebutuhan air tanaman kedelai pada setiap periode tumbuh dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Stadia Tumbuh Tanaman Kedelai

Stadia tumbuh Tanaman Kedelai	Periode (hari)	Kebutuhan air (mm/periode)
Pertumbuhan awal	15	53 - 62
Vegetatif aktif	15	53 - 62
Pembuahan-pengisian polong	35	124 - 143
Kematangan biji	20	70 - 83

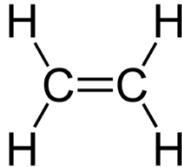
2.4 Hormon Etilen

Etilen adalah hormon tumbuh yang secara umum berlainan dengan Auxin, Gibberellin, dan Cytokinin. Dalam keadaan normal etilen akan berbentuk gas dan struktur kimianya sangat sederhana. Di alam etilen akan berperan apabila terjadi perubahan

secara fisiologis pada suatu tanaman. Hormon ini akan berperan pada proses pematangan buah dalam fase *climacteric*.

Penelitian terhadap etilen, pertama kali dilakukan oleh Neljubow (1901) dan Kriedermann (1975), hasilnya menunjukkan gas etilen dapat membuat perubahan pada akar tanaman. Hasil penelitian Zimmerman *et al.* (1931) menunjukkan bahwa *ethylene* dapat mendukung terjadinya *abscission* pada daun, namun menurut Rodriquez (1932), zat tersebut dapat mendukung proses pembungaan pada tanaman nanas.

Struktur kimia etilen yaitu terdiri dari 2 atom karbon dan 4 atom hidrogen (Gambar 2.11).



Gambar 2.11 Rumus Etilen (C₂H₄).

Etilen adalah senyawa hidrokarbon tidak jenuh (C₂H₄) yang pada suhu kamar berbentuk gas. Senyawa ini dapat menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan penting dalam proses pertumbuhan dan pematangan hasil-hasil pertanian. Selain itu, etilen merupakan :

- Dalam keadaan normal, etilen akan berbentuk gas dan struktur kimianya sangat sederhana sekali.
- Di alam etilen akan berperan apabila terjadi perubahan secara fisiologis pada suatu tanaman.
- Hormon ini akan berperan dalam proses pematangan buah dalam fase klimaterik.
- Mempengaruhi perombakan klorofil.
- Mulai aktif dari 0,1 ppm (ambang batas/*threshold*).
- Dihasilkan jaringan tanaman hidup pada saat tertentu.

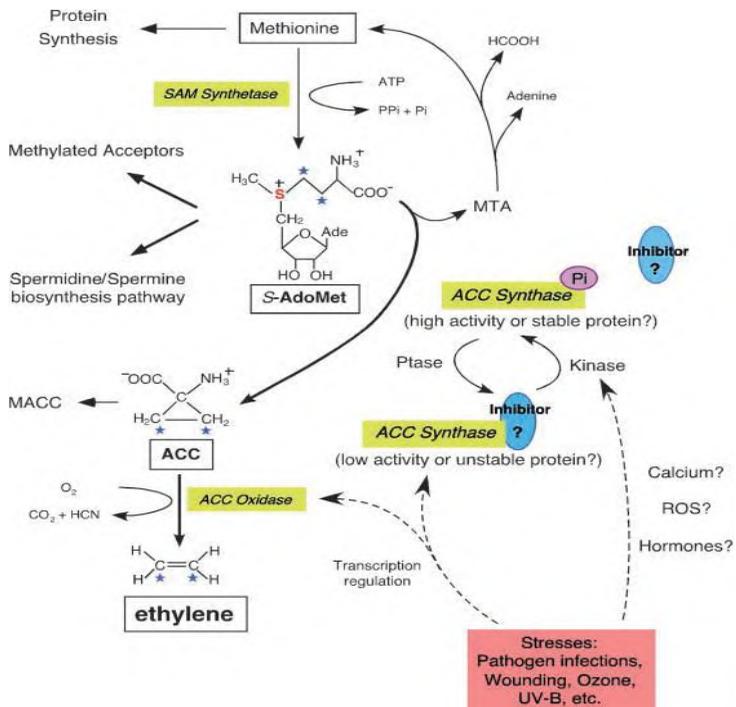
Produksi etilen oleh berbagai organisme sering mudah dilacak dengan kromatografi gas, sebab molekulnya dapat diserap dari jaringan dalam keadaan hampa udara dan karena kromatografi gas sangat peka (Salisbury *et al.*, 1995).

Etilen mempengaruhi banyak aspek pertumbuhan dan perkembangan tanaman termasuk perkecambahan, daun dan penebaran bunga, pematangan buah, dan respon terhadap stres abiotik dan biotik. Etilen dapat menginduksi akar adventif ketika terjadi stres abiotik, salah satunya adalah stres genangan. Dilaporkan bahwa 1 ppm etilen dapat menginduksi akar adventif sebanyak 12.3 pada tanaman *Rumex palustris* (Visser *et al.*, 1996).

2.4.1 Biosintesis Etilen

Etilen diproduksi oleh tumbuhan tingkat tinggi dari asam amino metionin yang esensial pada seluruh jaringan tumbuhan. Produksi etilen bergantung pada tipe jaringan, spesies tumbuhan, dan tingkatan perkembangan. Etilen dibentuk dari metionin melalui 3 proses:

1. S-AdoMet disintesis dari asam amino metionin dengan bantuan S-adoMet sintetase (ADS).
2. S-Adomet dikonversi dengan memecah satu ATP menjadi 1-aminopropane-1-asam karboksilik (ACC) oleh enzim ACC sintase (ACS). Selain ACC, dalam reaksi ini ACC sintase (ACS) juga menghasilkan 5-methylthioadenosine (MTA) yang kemudian diubah menjadi metionin dengan menggunakan siklus metionin (Bleecker & Kende, 2000).
3. ACC kemudian dioksidasi menjadi etilen oleh ACC oksidase dengan hasil samping berupa CO₂ dan menjadi sianida. ACC dapat mengalami malonilasi menjadi malonyl-ACC (MAAC), sebuah jalur untuk mengurangi konsentrasi ACC dan mengurangi produksi etilen (Wang *et al.*, 2002).



Gambar 2.12 Biosintesis Etilen (Yang & Hoffman, 1984; Kende, 1993).

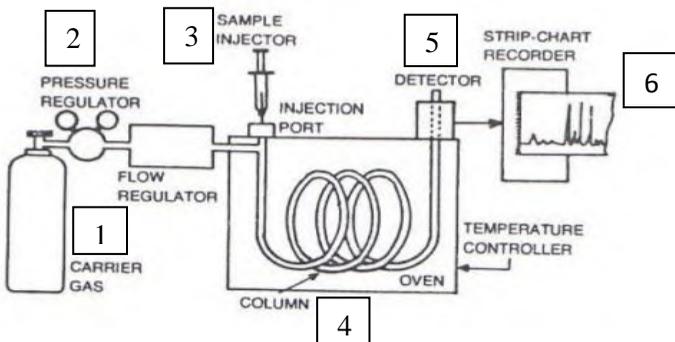
2.6 Gas Chromatography (GC)

Kromatografi gas adalah suatu metode kromatografi pertama yang dikembangkan pada zaman instrumen dan elektronika yang telah merevolusikan keilmuan selama lebih dari 30 tahun. Kromatografi gas dapat dipakai untuk setiap campuran yang sebagian atau semua komponennya mempunyai tekanan uap yang berarti pada suhu yang dipakai untuk pemisahan. Tekanan uap atau keatsirian memungkinkan komponen menguap dan bergerak bersama-sama dengan fase gerak yang berupa gas.

Kromatografi gas merupakan metode yang tepat dan cepat untuk memisahkan campuran yang sangat rumit. Waktu yang

dibutuhkan beragam, mulai dari beberapa detik untuk campuran sederhana sampai berjam-jam untuk campuran yang mengandung 500-1000 komponen didalamnya. Komponen campuran dapat diidentifikasi dengan menggunakan waktuambat (*waktu retensi*) yang khas pada kondisi yang tepat. Waktu retensi adalah waktu yang menunjukkan berapa lama suatu senyawa tertahan di dalam kolom. Waktu retensi diukur dari jejak pencatat pada kromatogram dan serupa dengan volumeambat dalam KCKT dan R_f dalam KLT. Kekurangan utama kromatografi gas adalah tidak dapat digunakan untuk memisahkan campuran dalam jumlah yang besar. Pemisahan pada tingkat mg mudah dilakukan, pemisahan campuran pada tingkat gr mungkin dilakukan, akan tetapi pemisahan pada tingkat pon atau ton sukar untuk dilakukan (Gritter, 1991).

Fase diam pada kromatografi gas dapat berupa zat padat yang dikenal sebagai kromatografi gas-padat (GSC) dan zat cair sebagai kromatografi gas-cair (GLC). Keduanya hampir sama kecuali dibedakan dalam hal cara kerjanya. Pada GSC pemisahan dilakukan berdasarkan adsorpsi sedangkan pada GLC berdasarkan partisi. Kromatografi gas digunakan untuk analisa kualitatif terhadap cuplikan yang komponen-komponennya dapat menguap pada percobaan.



Gambar 2.13 Skema Kromatografi Gas.

Keterangan :

- | | |
|----------------------------|-------------|
| 1. Silinder gas pengangkut | 4. Kolom |
| 2. Pengatur aliran tekanan | 5. Detektor |
| 3. Tempat injeksi cuplikan | 6. Recorder |

2.6.1 Prinsip kerja Kromatografi Gas

Gas pembawa (biasanya digunakan Helium, Argon atau Nitrogen) dengan tekanan tertentu dialirkan secara konstan melalui kolom yang berisi fase diam. Selanjutnya sampel diinjeksikan ke dalam injektor (*injection port*) yang suhunya dapat diatur. Komponen-komponen dalam sampel akan segera menjadi uap dan akan dibawa oleh aliran gas pembawa menuju kolom. Komponen-komponen akan teradsorpsi oleh fase diam pada kolom kemudian akan merambat dengan kecepatan berbeda sesuai dengan nilai K_d masing-masing komponen sehingga terjadi pemisahan. Komponen yang terpisah kemudian akan menuju ke detektor dan akan menghasilkan sinyal listrik yang besarnya proporsional dengan komponen tersebut. Sinyal tersebut lalu diperkuat oleh amplifer dan selanjutnya oleh pencatat (*recorder*) dituliskan sebagai kromatogram berupa puncak (*peak*) (Yazid, 2005).

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Urban Farming, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret – Juni 2016. Analisis pengamatan pertumbuhan dilakukan di Laboratorium Biosains dan Teknologi Tumbuhan jurusan Biologi ITS, analisa hormon etilen di Laboratorium Pengujian Balai Besar Pasca Panen Cimanggu Bogor, Jawa Barat serta analisa nitrogen di Laboratorium Kimia Tanah Universitas Brawijaya.

3.2 Alat, Bahan dan Cara Kerja

3.2.1 Penelitian Pendahuluan Kapasitas Lapang

Bahan yang digunakan meliputi tanah, pupuk organik, arang sekam, air, *polybag* dan aluminium foil. Alat meliputi sekop, bak, timbangan analitik dan oven.

Pengukuran kapasitas lapang bertujuan untuk menentukan volume penyiraman sebagai patokan pemberian taraf penggenangan yaitu dengan cara media tanam dalam *polybag* disiram dengan air sampai menetes (jenuh) kemudian dидiamkan selama kurang lebih 3 hari sampai tidak ada air yang menetes. Selanjutnya, media tanam ditimbang berat basah dan berat keringnya. Berat basah ditimbang setelah tidak ada air yang menetes dari *polybag*. Berat kering ditimbang setelah media tanam dioven pada suhu 105°C sampai diperoleh berat konstan.

Kebutuhan Air berdasarkan Kapasitas Lapangnya dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$KL (\%) = \frac{Tb - Tk}{Tk} \times 100\%$$

Keterangan :

KL : Kapasitas Lapang

Tb : Berat Basah Tanah

Tk : Berat Kering Tanah

(Foth, 1984).

3.2.2 Persiapan Biji

Bahan yang digunakan meliputi aquadest dan biji kedelai varietas Grobogan yang diperoleh dari Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian (BALITKABI), Kendal Payak-Malang. Alat meliputi wadah untuk perendaman.

Langkah yang dilakukan adalah biji kedelai varietas Grobogan direndam selama 6 jam menggunakan aquadest kemudian ditiriskan. Hal ini bertujuan untuk mempercepat proses imbibisi sehingga pertumbuhan tunas lebih cepat.

3.2.3 Penyemaian

Bahan yang digunakan meliputi tanah, pupuk organik, arang sekam, air dan *potray*. Alat meliputi sekop, bak dan timbangan.

Biji yang telah direndam dan ditiriskan selanjutnya ditumbuhkan di *potray* berisi media tanam dengan komposisi 2 kg tanah taman, 0,5 kg arang sekam dan 0,5 kg pupuk organik kemudian disemai hingga muncul 2 daun.

3.2.4 Persiapan Media Tanam

Bahan yang digunakan meliputi tanah, pupuk organik, arang sekam, air, *polybag* dan plastik. Alat meliputi sekop, bak dan timbangan.

Pembuatan media tanam dilakukan dengan menyiapkan tanah taman, pupuk organik dan arang sekam. Setiap *polybag* memiliki komposisi 2 kg tanah taman, 0,5 kg arang sekam dan 0,5 kg pupuk organik sehingga didapatkan berat total sebanyak 3 kg/*polybag*. Media tanam yang telah ditimbang diaduk secara merata untuk selanjutnya dimasukkan kedalam plastik. Plastik yang sudah terisi media kemudian diberi *polybag* dan diatur di lapangan sesuai dengan *lay out* percobaan. Selanjutnya setiap plastik diberi label sesuai perlakuan.

3.2.5 Aklimatisasi Tanaman Kedelai (*Glycine max*)

Proses aklimatisasi tanaman kedelai (*Glycine max*) dilakukan selama 10 hari. Aklimatisasi bertujuan untuk adaptasi tanaman kedelai (*Glycine max*) terhadap media baru.

3.2.6 Pemeliharaan

Pemeliharaan yang dilakukan adalah penyiraman. Penyiraman dilakukan pada saat proses penyemaian dan aklimatisasi secara teratur pada pagi dan sore hari sesuai kebutuhan.

3.2.7 Metode Pengujian

Perlakuan cekaman genangan dilakukan di dalam *Urban Farming* ITS. Tanaman kedelai yang telah diaklimatisasi selama 10 hari selanjutnya diberi perlakuan cekaman genangan sesuai perhitungan yang diperoleh.

Penggenangan dilakukan selama 14 hari pada semua taraf perlakuan dengan cara memberikan air ke dalam masing-masing *polybag* sebanyak konsentrasi yang telah ditentukan berdasar pada hasil penelitian pendahuluan kapasitas lapang, setelah itu diberikan penyangga pada masing-masing *polybag* yang berfungsi untuk menyangga tanaman karena struktur tanah yang jenuh air. Kemudian diukur tinggi genangan menggunakan penggaris sebagai ukuran dalam penambahan air setiap harinya.

3.2.8 Pemanenan

Pemanenan tanaman kedelai dilakukan setelah lebih kurang 14 hari perlakuan cekaman genangan. Tanaman pada tiap-tiap perlakuan diambil dan dibersihkan dari sisa tanah menggunakan air kemudian ditiriskan. Selanjutnya, Tanaman dimasukkan ke dalam plastik *ziplock* dan diberi label. Kemudian disimpan dalam *freezer* untuk selanjutnya di lakukan analisis.

3.3 Parameter Pengamatan

Parameter pengamatan yang diamati meliputi pertumbuhan kedelai (*Glycine max*), kadar klorofil, stomata, analisa N tanaman dan hormon etilen.

3.3.1 Pengamatan Pertumbuhan Kedelai (*Glycine max*)

a) Tinggi tanaman (cm)

Pengukuran terhadap tinggi tanaman dilakukan setiap 2 hari sekali selama 14 hari masa perlakuan cekaman genangan. Tanaman kedelai diukur dari pangkal batang sampai ujung batang atau titik tumbuh.

b) Luas daun

Pengukuran terhadap luas daun dilakukan setelah proses pemberian cekaman genangan selama 14 hari dengan metode gravimetri, yaitu dengan cara menggambar daun yang akan ditaksir luasnya pada selembar kertas. Luas daun dihitung berdasarkan perbandingan berat replika daun dengan berat total kertas. Sampel daun yang digunakan diambil dari buku yang sama pada tiap perlakuan. Adapun rumus perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$LD : \frac{W_r (g)}{W_t (g)} \times LK$$

Keterangan:

LD = luas daun

W_r = berat kertas replika daun (g)

W_t = berat total kertas (g)

LK = luas total kertas

(Sitompul & Bambang, 1995).

c) Panjang akar (cm)

Pengukuran panjang akar dilakukan setelah cekaman genangan 14 hari dari pangkal akar hingga ujung akar terpanjang dengan menggunakan penggaris.

d) Bintil Akar

Pengamatan terhadap bintil akar dilakukan setelah cekaman genangan 14 hari dengan menghitung banyaknya bintil akar yang terdapat pada akar setiap taraf cekaman genangan.

e) Akar Adventif

Pengamatan akar adventif dilakukan setelah cekaman genangan 14 hari dengan menghitung akar adventif yang terbentuk pada akar setiap taraf cekaman genangan.

f) Bobot Basah dan Kering Tanaman

Prosedur pengukuran bobot basah tanaman yaitu pertama tanaman dipotong berdasarkan masing-masing organ meliputi

daun, batang dan akar, kemudian ditimbang menggunakan timbangan analitik. Berat basah tanaman merupakan akumulasi jumlah total dari seluruh organ tanaman. Sedangkan bobot kering dilakukan dengan cara mengeringkan tanaman menggunakan oven terlebih dahulu sampai berat konstan kemudian ditimbang dengan menggunakan timbangan analitik. Berat kering yang didapatkan merupakan produktivitas tanaman.

3.3.2 Kadar Klorofil

Pengukuran kadar klorofil dilakukan pada setiap perlakuan konsentrasi genangan. Daun kedelai ditimbang sebanyak 0,1 gram dengan neraca analitik. Kadar klorofil diukur berdasarkan metode Wintermans & De Mots (1965). Klorofil daun kedelai diekstraksi menggunakan ethanol 96% sebanyak 10 ml kemudian didiamkan selama 24 jam. Selanjutnya ekstrak disaring menggunakan kertas filter whatman 40 dan dimasukkan ke dalam kuvet dan diukur dengan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 649 nm dan 665 nm. Berikut adalah perhitungannya :

$$\text{Rumus Klorofil total} = [20,0 \times A_{649} + 6,10 \times A_{665}]$$

3.3.3 Stomata Daun

Pengamatan stomata dilakukan pada sampel daun masing-masing konsentrasi genangan dengan metode *stomatal printing*. Sampel stomata diambil dari daun adaksial dan abaksial. Daun dibersihkan dengan *tissue* kemudian diberi kuteks bening selanjutnya diberi selotip dan diletakkan pada gelas objek untuk diamati menggunakan mikroskop cahaya. Jumlah stomata yang membuka dan menutup pada setiap preparat dihitung. Setiap preparat stomata diamati 2 bidang pandang.

3.3.4 Analisa Nitrogen (N) Daun

Sampel yang digunakan dalam analisa nitrogen tanaman adalah daun pertama dari titik tumbuh. Metode yang umum untuk menetapkan nitrogen dalam tanaman adalah metode Kjeldahl. Analisa dengan cara Kjeldahl pada dasarnya dapat dibagi menjadi tiga tahapan yaitu proses destruksi, destilasi dan titrasi.

1. Tahap Destruksi

Bahan tanaman daun yang telah dikeringkan di dalam oven pada suhu 110°C selama 24 jam ditimbang 1 g, lalu dimasukkan ke dalam labu Kjeldahl 100 ml, ditambah 30 mg campuran selen, 5 ml H₂SO₄ pekat 96%. Bahan tersebut dipanaskan pada suhu 70°C selama ± 15 menit atau cairan berwarna coklat, kemudian suhu dinaikkan menjadi 140°C selama 15 – 30 menit atau cairan jernih. Proses destruksi sudah selesai apabila larutan menjadi jernih atau tidak berwarna.

2. Tahap Destilasi

Pada tahap destilasi, ammonium sulfat dipecah menjadi ammonium dengan penambahan NaOH sampai alkalis dan dipanaskan.

Isi labu hasil destruksi dikeluarkan dan dipindahkan ke dalam labu penyuling yang telah ditambahkan 50 ml air bebas ion (aquades) dan 20 sampai 30 ml NaOH 30 %. Isi labu penyuling kemudian didestilasi. Labu penyuling dihubungkan dengan alat destilasi untuk menyuling N. Sebelum destilasi dimulai, terlebih dahulu disiapkan erlenmeyer 150 ml sebagai penampung N yang dilepaskan yang telah berisi 25 ml H₃BO₃ 4 % (Asam borat). Destilasi dilakukan sampai volume di dalam erlenmeyer menjadi 150 ml.

3. Tahap Titrasi

Cairan di dalam erlenmeyer dititer dengan HCl 0,02 N. Akhir titrasi ditandai dengan perubahan warna larutan dari biru menjadi merah muda. Selisih jumlah titrasi sampel dan blanko merupakan jumlah ekuivalen nitrogen (Sudarmaji, 1989). Penetapan blanko dilakukan dengan cara yang sama, tetapi tidak menggunakan bahan tanaman. Kandungan nitrogen diperoleh dengan rumus (Lorenz, 1978):

$$\% \text{ Nitrogen} = (t-b) \times N \text{ H}_2\text{SO}_4 \times 0.01401 \times 100/W$$

Keterangan :

t = ml H₂SO₄ untuk sampel

b = ml H₂SO₄ untuk blanko

N = Normalitas H₂SO₄ yang digunakan

W = Berat bahan tanaman yang digunakan.

3.3.5 Hormon Etilen Akar

Hormon Etilen tanaman kedelai yang telah dicekam genangan air selama \pm 14 hari diukur dengan Gas Chromatograph HITACHI 263-50 mengikuti metode Lizada dan Yang (1979).

a. Preparasi Sampel

Total akar segar diambil dari leher akar sepanjang 1 cm dari tinggi genangan (Yamamoto *et al.*, 1995) sebanyak 20 gram dan dimasukkan ke dalam *vaccum aerated tube* lalu diinkubasi selama 6 jam. Satu μ l gas etilen diambil dengan *syringe* untuk diukur dengan kromatografi gas (Arsana *et al.*, 2003) menggunakan detektor *Flame Ionization Detector*. Sampel dipisahkan dengan kolom gas kapiler (30 m x 0,25 μ m). Suhu injektor, kolom, dan detektor masing-masing 110, 70, 110 °C. Gas pembawa berupa He dengan laju aliran 27 ml/menit. Standar yang digunakan yaitu etilen 0,5%.

b. Identifikasi Hormon Etilen Akar

Hormon Etilen diamati berdasarkan kromatogram yang terekam dalam rekorder. Rekorder berfungsi sebagai pengubah sinyal dari detektor yang diperkuat melalui elektrometer menjadi kromatogram yang berupa puncak (*peak*). Kromatogram yang muncul ini berdasarkan *retention time* (RT). *Retention Time* (RT) untuk etilen adalah 1.955 menit (Don, 1998). Dari kromatogram yang diperoleh akan didapatkan jumlah kuantitas konsentrasi etilen akar kedelai dalam satuan unit ppm.

Perbedaan respon tanaman terhadap cekaman genangan ditetapkan berdasarkan kadar hormon etilen yang lebih banyak daripada kontrol.

3.4 Rancangan Penelitian dan Analisa Data

3.4.1 Rancangan penelitian

Percobaan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) satu faktor dengan 6 ulangan. Faktor tersebut adalah penggenangan dengan 4 taraf perlakuan yaitu:

G0 = Tanpa genangan (kontrol)

G1 = Genangan 100%

G2 = Genangan 150%

G3 = Genangan 200%

Setiap perlakuan dikombinasikan sehingga didapatkan 4 kombinasi perlakuan yaitu G_0V_1 , G_1V_1 , G_2V_1 , G_3V_1 . Setiap perlakuan diulang 6 kali sehingga diperoleh 28 pot percobaan.

3.4.2 Analisis Data

Data yang didapat dianalisa secara deskriptif dan statistik. Data yang dianalisa secara deskriptif adalah hormon etilen, kadar klorofil dan nitrogen daun sedangkan analisa pertumbuhan tanaman dan stomata dianalisa secara statistik menggunakan analisis keragaman (ANOVA) *one-way* taraf signifikan (α) 0,05% untuk mengetahui pengaruh perlakuan pada parameter yang diamati. Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut:

H_0 : Genangan tidak berpengaruh terhadap karakter fisiologis kedelai (*Glycine max*) varietas Grobogan .

H_1 : Genangan berpengaruh terhadap karakter fisiologis kedelai (*Glycine max*) varietas Grobogan.

Selanjutnya, apabila H_1 diterima maka dilakukan uji lanjutan yaitu uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) 5% dengan program SPSS 16.0 untuk membandingkan perlakuan genangan yang paling efektif diantara tiap-tiap perlakuan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Cekaman Genangan Terhadap Karakter Fisiologis Kedelai (*Glycine max L.*)

Genangan atau jenuh air merupakan suatu cekaman abiotik yaitu kondisi dimana kandungan massa air tanah berada di atas kapasitas lapang. Genangan dapat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman kedelai serta menimbulkan cekaman aerasi. Hal tersebut dapat menghalangi tanaman dari kebutuhan oksigen (O₂) untuk proses respirasi.

Air dalam jaringan tanaman berfungsi sebagai penyusun utama jaringan yang aktif mengadakan kegiatan fisiologis, selain itu juga berperan penting dalam mengatur turgiditas yang diperlukan untuk pertumbuhan dan pembesaran sel. Peranan ini membuat genangan air secara langsung maupun tak langsung akan mempengaruhi semua proses metabolisme dalam tanaman yang mengakibatkan proses pertumbuhan terganggu. Respon tumbuhan terhadap genangan dapat dilihat pada aktivitas metabolisme, morfologi, fisiologi dan tingkat pertumbuhan.

Pengaruh kelebihan air selama tingkat vegetatif adalah berkembangnya daun-daun yang ukurannya lebih kecil, yang dapat mengurangi penyerapan cahaya, mengurangi sintesis klorofil dan mengurangi aktivitas beberapa enzim (misalnya nitrat reduktase), penurunan tingkat produktivitas (biomassa) tanaman akibat menurunnya metabolisme primer, penyusutan luas daun serta aktivitas fotosintesis. Cekaman genangan juga mempengaruhi rasio stomata yang membuka dan menutup serta menurunkan fisiologis akar (permeabilitas akar, bobot kering akar, jumlah dan efektivitas bintil akar). Selain itu, Kondisi hipoksia atau anoksia juga mempengaruhi fiksasi serta distribusi nitrogen dan mineral lain karena kematian akar dan kekeringan

fisiologis yang menyebabkan perhambatan pertumbuhan akar dan nodulasi.

4.1.1 Pengaruh Cekaman Genangan Terhadap Pertumbuhan Kedelai (*Glycine max L.*) Varietas Grobogan

Cekaman genangan dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman, hal ini dapat dilihat pada hasil pengukuran untuk parameter panjang akar, luas daun, tinggi tanaman dan berat kering masing-masing organ (daun, batang, akar). Secara lebih detail data pengukuran tersebut dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Respon Pertumbuhan Kedelai (*Glycine max L.*) Varietas Grobogan Terhadap Cekaman Genangan

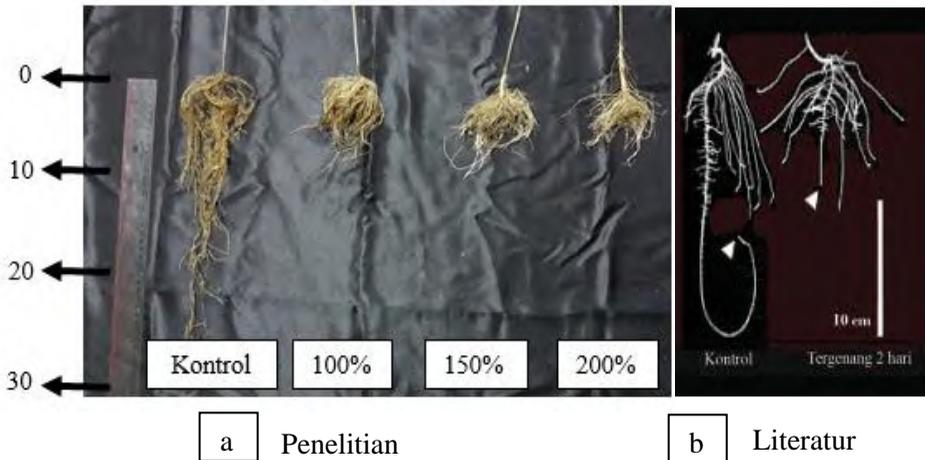
Perlakuan (G)	Panjang Akar (cm)	Tinggi (cm)	Luas Daun (mm ²)	Berat Kering Akar	Berat Kering Batang	Berat Kering Daun
G0	42.850 ^b	24,50	30.19 ^c	2.15 ^b	0.771 ^{bc}	1.421 ^b
G1	20.350 ^a	26,19	25.42 ^b	0.933 ^a	0.838 ^c	1.266 ^a
G2	17.950 ^a	27,14	15.52 ^a	0.428 ^a	0.561 ^{ab}	0.786 ^a
G3	15.183 ^a	25,98	16.57 ^a	0.480 ^a	0.503 ^a	0.731 ^a

Keterangan: Angka yang ditandai huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata dengan uji DMRT pada taraf 5%.

G0 : Kontrol G1 : 100% G2 : 150% G3 : 200%

Air dan oksigen merupakan salah satu faktor yang dapat mengurangi dan merusak pertumbuhan akar apabila keersediaannya berkurang atau berebihan dan secara langsung akan mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Dari kedua kondisi fisik tersebut, air adalah faktor yang sangat dominan. Peningkatan air diatas kapasitas lapang akan menginduksi berbagai masalah pada akar.

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa genangan berpengaruh nyata terhadap panjang akar. Panjang akar tertinggi terdapat pada konsentrasi G0 (kontrol) dan terendah pada konsentrasi G3 (200%). Hasil ANOVA *One Way* (Lampiran 5) menunjukkan perlakuan berpengaruh nyata terhadap panjang akar tanaman kedelai dengan p sebesar 0.000 ($p < 0,05$). Hasil ini kemudian dilanjutkan dengan uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) 5% untuk membandingkan perlakuan genangan yang paling efektif diantara tiap-tiap perlakuan. Perlakuan kontrol berpengaruh nyata terhadap perlakuan genangan G1, G2 dan G3. Panjang akar mulai menurun secara signifikan pada cekaman 100% (G1) sampai dengan cekaman 200% (G3) seperti yang terlihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 (a) Perbandingan Panjang Akar Tanaman Kedelai pada Kontrol dan Cekaman Genangan (100%, 150% dan 200%). (b) Perbandingan Distribusi Akar Kedelai Kontrol dan Tergenang 2 hari (Morita *et al.*, 2004).

Dari hasil tersebut maka dapat dikatakan bahwa perlakuan cekaman genangan (G1, G2, G3) berpengaruh nyata terhadap panjang akar. Hal ini disebabkan karena perakaran merupakan daerah yang sangat peka terhadap genangan air yang berkepanjangan.

Panjang akar yang mengalami penurunan pada saat keadaan tercekam genangan menunjukkan pembelahan atau perpanjangan sel-sel akar terhambat karena ketersediaan energi metabolik yang terbatas. Terhambatnya pembelahan atau perpanjangan sel-sel akar juga diakibatkan oleh menurunnya auksin dan sitokinin. Menurunnya kedua hormon tersebut dikarenakan meningkatnya sintesis hormon etilen pada saat kondisi tergenang (Tabel 4.3). Hormon etilen merupakan inhibitor sintesis hormon auksin dan sitokinin. Menurut Gardner *et al.*, (1991) panjang akar merupakan hasil perpanjangan sel-sel di belakang meristem ujung. Hal ini diduga dapat menyebabkan rendahnya nilai total panjang akar pada tanaman yang mengalami cekaman genangan.

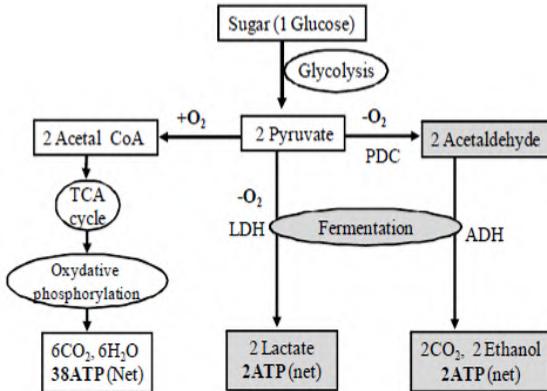
Akar pada kontrol dan perlakuan genangan juga memiliki distribusi akar yang berbeda. Pada perlakuan kontrol (G1), akar melakukan perpanjangan secara horizontal sedangkan akar pada perlakuan genangan memiliki distribusi pola akar yang cenderung ke arah lateral, hal tersebut dikarenakan tanah pada bagian bawah dalam keadaan anoxia sehingga tanaman melakukan adaptasi dengan membentuk akar ke arah lateral untuk menghindari kondisi anoksia (Gambar 4.1b) dan lebih memilih untuk membentuk akar yang cocok untuk kondisi tersebut yaitu dengan membentuk akar adventif yang tumbuh diatas permukaan tanah (Gambar 4.9).

Permasalahan yang muncul akibat penggenangan adalah defisiensi O₂. Hal ini merupakan faktor utama yang menyebabkan

tanaman kedelai mengalami kerusakan fisiologis dan kerusakan fisik. Dibawah kondisi pertumbuhan normal, akar tanaman mengambil O_2 dari tanah dan kemudian digunakan dalam respirasi mitokondria. Namun, di bawah kondisi stres genangan air, tanaman tidak bisa menyerap cukup O_2 untuk mempertahankan fungsi fisiologis normal. Karena itu, tanaman tidak dapat menghasilkan glukosa dan akhirnya akan mengalami berbagai masalah metabolisme. Dampak kekurangan O_2 semakin kompleks yaitu mempengaruhi permeabilitas membran sel, hubungan air-tanaman, nutrisi mineral, produksi zat pengatur tumbuh dan alokasinya, fotosintesis, respirasi dan alokasi karbohidrat.

Permasalahan tersebut berkorelasi langsung dengan akar karena akar merupakan organ yang langsung berkaitan dengan cekaman genangan. Berkelaar (2001) menyatakan bahwa air yang menggenang membuat lingkungan menjadi *hypoxic* bahkan *anoxic* bagi akar dan kondisi tersebut tidak ideal untuk pertumbuhan. Kondisi hipoksia, yaitu ketika O_2 yang tersedia mulai menjadi faktor pembatas untuk produksi ATP melalui fosforilasi oksidatif atau bahkan tanpa adanya O_2 (Anoksia) yaitu ketika ATP hanya dihasilkan melalui glikolisis fermentasi, karena tidak ada O_2 yang tersedia lagi. Kondisi ini dapat menghambat respirasi perakaran. Dalam kondisi tersebut tanaman melakukan suatu adaptasi dengan mengubah jalur respirasi menjadi respirasi anaerob/fermentasi. Fermentasi karbohidrat memungkinkan tanaman untuk memproduksi ATP dalam ketiadaan O_2 dengan konsekuensi pengurangan hasil energi yaitu menghasilkan 2 mol ATP/mol glukosa dari 36 mol yang diproduksi melalui metabolisme oksidatif/aerob. Hal ini dikarenakan pada respirasi anaerob tidak terjadi proses siklus Krebs dan fosforilasi oksidatif (Transport elektron), karena kedua proses tersebut membutuhkan

O₂ (Gambar 4.2). Oleh karena perubahan respirasi perakaran, pertumbuhan dan aktifitas metabolisme lainnya akan turut terganggu.



Gambar 4.2 Perubahan dari Respirasi Aerobik ke Respirasi Anaerobik (Hossain & Sarder, 2011).

Selain itu, Dalam keadaan tergenang meskipun tersedia banyak air namun tanaman mengalami kekeringan fisiologis. Rendahnya kadar O₂ dapat mengurangi konduktivitas hidrolis (L_p) yang berakibat pada penurunan permeabilitas akar. Penurunan L_p dapat dihubungkan dengan molekul aquaporin oleh pH sitosol. Pengaturan aquaporin umumnya dikaitkan dengan penurunan L_p akar karena aquaporin mengendalikan pergerakan air radial dalam akar (Vandeleur *et al.*, 2005). Dengan demikian, rendahnya L_p di seluruh tanaman pada kondisi tergenang air kemungkinan besar terkait dengan hambatan transportasi air oleh aquaporin. Penurunan permeabilitas akar tersebut menyebabkan penghambatan penyerapan nutrisi sehingga terjadi defisiensi

nutrien/toksisitas dan pada akhirnya akan mengurangi pertumbuhan (Najeeb *et al.*, 2015). Aspek pertumbuhan yang menurun akibat genangan salah satunya adalah luas daun.

Luas daun berperan penting dalam proses fotosintesis. Semakin luas suatu daun maka semakin besar cahaya yang diserap daun tersebut dalam proses fotosintesis. Fotosintesis merupakan reaksi dalam pembentukan karbohidrat. Karbohidrat penting karena merupakan energi yang dibutuhkan untuk metabolisme dalam tanaman (Salisbury & Ross, 1992).

Hasil ANOVA *One Way* (Lampiran 6) menunjukkan perlakuan berpengaruh nyata terhadap luas daun tanaman kedelai dengan p sebesar 0.000 ($p < 0,05$). Hasil ini kemudian dilanjutkan dengan uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) 5%. Perlakuan kontrol berbeda nyata dengan perlakuan G1, G2 dan G3 dimana luas daun perlakuan (kontrol) lebih lebar. Sedangkan perlakuan cekaman 150% (G2) dan 200% (G3) berpengaruh tidak nyata terhadap luas daun.

Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa pertumbuhan luas daun menurun seiring dengan meningkatnya cekaman genangan. Terjadi penurunan pertumbuhan luas daun secara signifikan terutama pada cekaman 150% dan 200%.

Hasil ini sesuai dengan literatur yang menyatakan bahwa pengaruh kelebihan air selama tingkat vegetatif daun-daun akan berkembang dengan ukuran yang lebih kecil (Ulsvkov, 1992). Dampak selanjutnya adalah dapat mengurangi penyerapan cahaya, mengurangi sintesis klorofil dan mengurangi aktivitas beberapa enzim (misalnya nitrat reduktase).

Hasil penelitian ini juga didukung dengan pendapat Guang *et al.*, (2012) yang menyatakan bahwa dengan adanya cekaman genangan akan menurunkan pertumbuhan luas daun yang disebabkan karena kemampuan akar dalam menyerap air dan

unsur hara menjadi terhambat akibat adanya kondisi hipoksia atau anoksia sehingga pertumbuhan luas daun menurun.

Faktor lain yang turut berpengaruh adalah sintesis hormon sitokinin. Sitokinin disintesis pada meristem apikal akar, dimana menjadi tempat paling awal menurunnya aktivitas metabolik dan kematian sel akibat cekaman genangan daripada jaringan lain. Menurunnya sintesis sitokinin ini akan menurunkan luas daun genangan (Ulvskov, 1992).

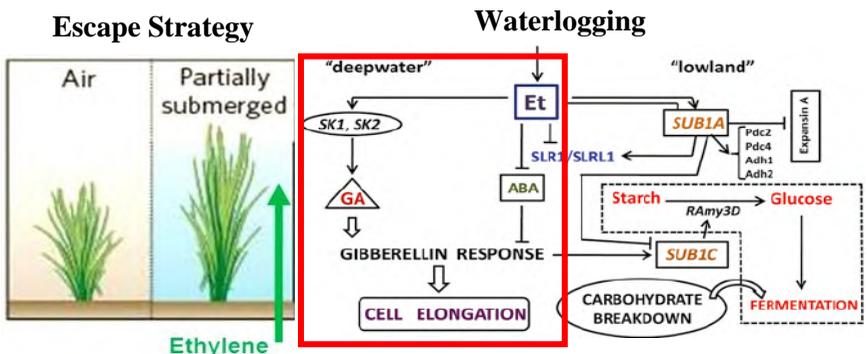
Jika ditinjau dari segi tinggi tanaman. Penggenangan pada kedelai varietas Grobogan berkorelasi negatif terhadap tinggi tanaman. Penggenangan membuat tanaman kedelai varietas Grobogan melakukan strategi pertumbuhan untuk menghindari cekaman tersebut. Salah satu strategi penghindarannya adalah melakukan elongasi batang (Gambar 4.3).



Gambar 4.3 Perbandingan Tinggi Tanaman Kedelai pada Kontrol dan Cekaman Genangan (100%, 150% dan 200%).

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa genangan berpengaruh tidak nyata terhadap tinggi tanaman akan tetapi terdapat kecenderungan bahwa tanaman mengalami pemanjangan batang. Tinggi tanaman tertinggi terdapat pada konsentrasi G3 (150%) dan terendah pada konsentrasi kontrol (G0). Hasil ANOVA *One Way* (Lampiran 7) menunjukkan perlakuan berpengaruh tidak nyata terhadap tinggi tanaman dengan p sebesar 0.772 ($p > 0,05$). Hasil ini tidak dapat dilanjutkan dengan uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) 5%.

Pemanjangan batang ini disebabkan oleh interaksi antara *Giberellin Acid* (GA) dan etilen. Dijelaskan bahwa pertumbuhan cepat internodal dihasilkan dari etilen yang memediasi rasio *endogenous growth promoter* Giberellin (GA) dan *growth inhibitor* (ABA). Pada keadaan *waterlogging* terjadi penurunan indigenous ABA dan peningkatan GA (Kende, 1998). Salah satu fungsi GA adalah merangsang pemanjangan batang, oleh karena itu peningkatan GA ini dapat memacu tinggi tanaman. Mekanisme interaksi etilen dan giberelin sehingga menghasilkan respon pemanjangan batang dapat dilihat pada Gambar 4.4.



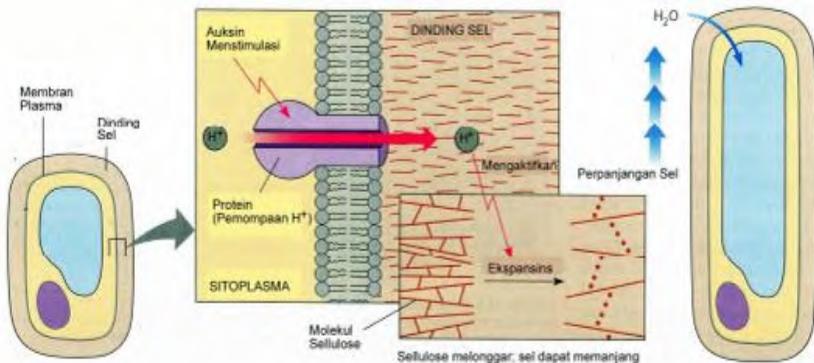
4.4 Mekanisme Interaksi Etilen dan Giberelin Pada Kondisi *Waterlogging*.

Dalam kondisi *waterlogging*, etilen terakumulasi pada tanaman dan menginduksi ekspresi gen SNORKEL (SK1 & SK2). Kedua gen tersebut diketahui berpotensi menjadi regulator positif dari tindakan GA (Fukao & Bailey-Serres, 2008). Produk SNORKEL1 dan SNORKEL2 kemudian memicu ruas elongasi melalui giberelin. Gen SK ini diekspresikan pada helai daun, daun kelopak, dan bagian basal batang, termasuk ruas, di mana respon *waterlogging* terjadi. Oleh karena itu, diketahui bahwa etilen menginduksi perpanjangan batang melalui peran GA.

Selain GA, Auksin juga diketahui dapat memacu pemanjangan batang (Kende *et al.*, 1998). Auksin di sintesis pada daerah meristem apikal tunas ujung. Auksin yang diproduksi di tunas ujung tersebut diangkut ke bagian bawah dan berfungsi mendorong pemanjangan sel batang dengan mengikat reseptor yang dibangun di dalam membran plasma.

Proses auksin dalam pertumbuhan tinggi tanaman kedelai ini berdasarkan suatu hipotesis yang disebut hipotesis pertumbuhan asam (*acid growth hypothesis*) yaitu pemompaan proton membran plasma yang memegang peranan utama dalam respon pertumbuhan sel terhadap auksin. Di daerah perpanjangan tunas, auksin menstimulasi pemompaan proton membran plasma, dan dalam beberapa menit; auksin akan meningkatkan potensial membran (tekanan melewati membran) dan menurunkan pH di dalam dinding sel (Gambar 4.5).

Pengasaman dinding sel ini, akan mengaktifkan enzim yang disebut ekspansin; yang memecahkan ikatan hidrogen antara mikrofibril selulose, dan melonggarkan struktur dinding sel. Penambahan potensial membran akan meningkatkan pengambilan ion ke dalam sel, yang menyebabkan pengambilan air secara osmosis. Pengambilan air, bersama dengan penambahan plastisitas dinding sel, memungkinkan sel untuk memanjang.



Gambar 4.5 Perpanjangan Sel sebagai Respon terhadap Auksin: Hipotesis Pertumbuhan Asam (*Acid Growth Hypothesis*). Sumber : Campbell & Reece, 2002 : 810.

Auksin mendorong pemanjangan sel batang hanya pada konsentrasi tertentu yaitu 0,9 g/l atau pada kisaran konsentrasi antara 10^{-8} M sampai 10^{-4} M. Di atas konsentrasi tersebut auksin akan menghambat pemanjangan sel batang. Pengaruh menghambat ini kemungkinan terjadi karena konsentrasi auksin yang tinggi mengakibatkan tanaman mensintesis hormon lain yaitu etilen yang memberikan pengaruh berlawanan dengan auksin. Etilen pada umumnya berperan sebagai inhibitor pada perpanjangan sel. Oleh karena itu, tinggi tanaman kedelai menurun pada konsentrasi genangan 200%.

Tinggi tanaman yang tidak berbeda signifikan dapat dikorelasikan dengan berat kering batang. Dari data tabel 4.1 dapat dikatakan bahwa meskipun tanaman kedelai varietas Grobogan pada perlakuan cekaman 100% dan 150% lebih tinggi daripada konsentrasi genangan, namun bobotnya tidak lebih besar dari kontrol. Hal ini mengindikasikan bahwa tanaman kontrol bisa

menyimpan hasil metabolisme dengan baik. Dari rasio tajuk-akar (Tabel 4.1) juga dapat diketahui perbedaan alokasi fotosintat pada tanaman kedelai. Penentuan rasio tajuk akar ini berbasis pada bobot kering tajuk (batang dan daun) dengan bobot kering akar. Varietas Grobogan menunjukkan tanggap yang negatif terhadap kondisi cekaman genangan. Hal ini ditunjukkan dengan rasio tajuk-akar ketika perlakuan genangan (G1, G2 dan G3) hasil fotosintat lebih banyak di alokasikan terhadap tajuk. Dimana berat kering batang dan daun lebih besar dibandingkan dengan akar.

4.1.2 Pengaruh Cekaman Genangan Terhadap Nitrogen Daun, Bintil Akar, Kadar Klorofil, Bobot Basah dan Kering Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.) Varietas Grobogan

Cekaman genangan dapat mempengaruhi fisiologi tanaman, hal ini dapat dilihat pada hasil pengukuran untuk parameter nitrogen daun, bintil akar, kadar klorofil, berat basah dan berat kering total tanaman. Secara lebih detail data pengukuran tersebut dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Kadar Klorofil, Berat Basah dan Kering Kedelai (*Glycine max* L.) Varietas Grobogan Terhadap Cekaman Genangan

Perlakuan (G)	Nitrogen Daun (%)	Bintil Akar	Kadar Klorofil (mg/g)	Berat Basah (g)	Berat Kering (g)
G0	2,45	2,66	38,44	7.42 ^c	1,44 ^a
G1	1,31	1,33	28,66	5.14 ^b	1,02 ^{ab}
G2	1,16	0,50	27,64	3.00 ^{ab}	0,57 ^b
G3	1,34	0,33	20,36	2.71 ^a	0,57 ^b

Keterangan: Angka yang ditandai huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata dengan uji DMRT pada taraf 5%. (G0 : Kontrol G1 : 100% G2 : 150% G3 : 200%)

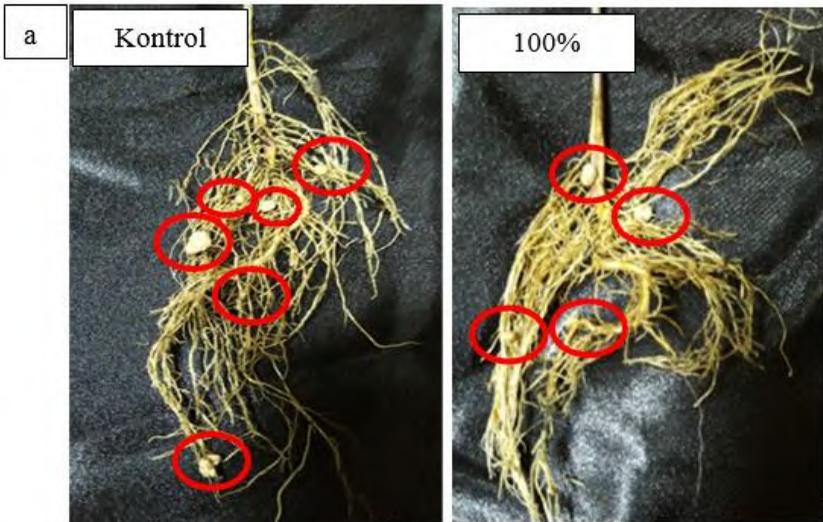
Pada penelitian ini sampel daun untuk pengukuran N didapatkan dari daun muda pada cabang pertama dan kedua. Hal tersebut dilakukan karena berkaitan dengan mobilitas N. Nitrogen diserap dalam bentuk ion NO_3^- dan NH_4^+ (Taiz & Zeiger, 1998) dan merupakan unsur yang sangat mobile (mudah ditranslokasikan) dalam tanaman. Oleh karena itu, gejala kekahatan (kekurangan) N akan nampak pada daun tua karena terjadi relokasi N ke daun yang muda (Taiz & Zeiger, 2010). Disamping itu, tingginya N jaringan mencerminkan adanya konsentrasi protein yang tinggi. Protein yang paling banyak dijumpai adalah Rubisco, yang berperan sebagai katalisator dalam fiksasi CO_2 untuk proses fotosintesis. Menurut Irfan *et al.*, (2010) genangan dapat mengurangi aktivitas Rubisco dan kemampuan fotosintesis sel mesofil.

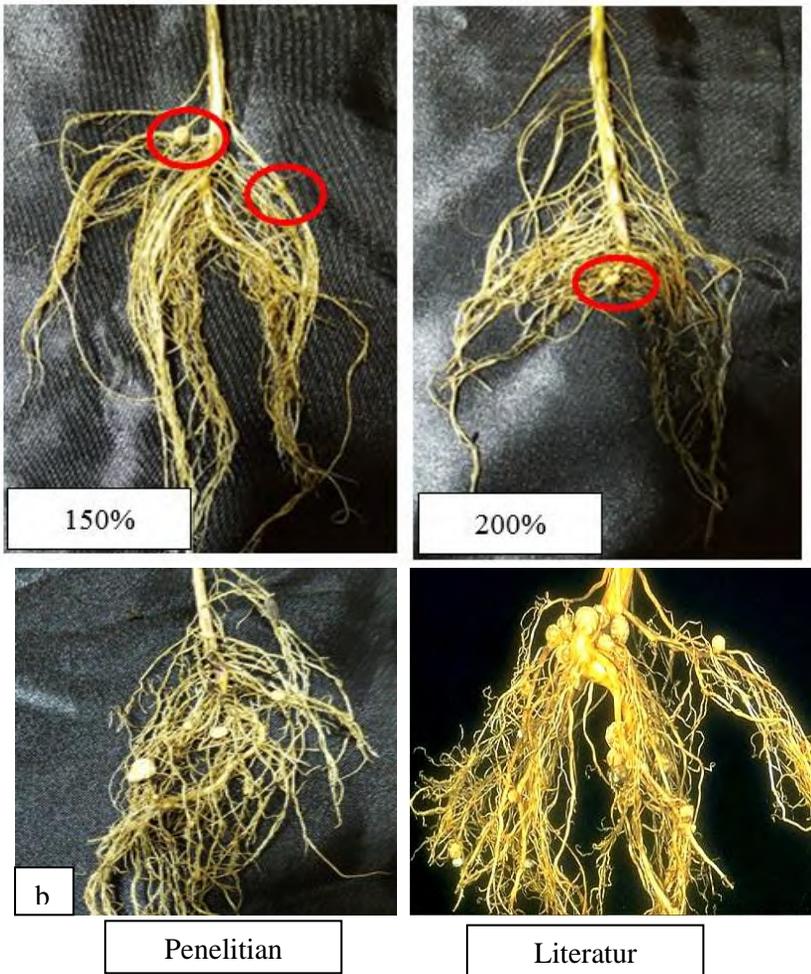
Nitrogen merupakan komponen utama penyusun protein, klorofil, enzim, hormon dan vitamin. Tabel 4.2 menunjukkan bahwa nitrogen daun kedelai kontrol (G0) lebih banyak yaitu mencapai 2,45% dibandingkan dengan perlakuan genangan pada taraf G1 (100%), G2 (150%) dan G3 (200%).

Kandungan nitrogen lebih banyak pada kontrol dibandingkan dengan perlakuan genangan dikarenakan perbedaan penyerapan unsur N. Perbedaan tersebut dapat disebabkan karena akar pada tanaman kontrol dapat menyerap N dengan lebih baik, hal ini kemungkinan didukung oleh kondisi permeabilitas akar yang tidak terganggu, sedangkan pada perlakuan genangan, permeabilitas akar menurun akibat penurunan konduktifitas hidrolik akar, sehingga penyerapan unsur hara N cenderung menurun. Distribusi akar pada tanaman kedelai yang tergenang juga dalam skala mikro dapat mempengaruhi jumlah penyerapan N oleh akar.

Kandungan nitrogen tanaman kedelai berkaitan dengan pembentukan bintil akar. Bintil akar atau nodul akar merupakan simbiosis mutualisme antara akar dengan bakteri dari genus *Rhizobium*. *Rhizobium* yang bersimbiosis dengan kedelai adalah spesies *Rhizobium japonicum* (Adnyana, 2012). Simbiosis ini akan menghasilkan struktur bintil-bintil pada akar yang umumnya terdapat pada tumbuhan jenis polong-polongan (*family Leguminoseae*).

Berdasarkan hasil ANOVA *One Way* (Lampiran 9) diketahui bahwa faktor cekaman genangan tidak berpengaruh terhadap jumlah bintil akar tanaman dengan nilai p sebesar 0,135 ($p > 0,05$). Nilai p lebih besar dari nilai 0,05 sehingga tidak dapat dilanjut ke *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) 5%.





Gambar 4.6 (a) Bintil Akar Kedelai Kontrol dan Cekaman Genangan (100%, 150% dan 200%). (b) Perbandingan Bintil akar Kedelai Penelitian dengan Literatur.

Dari penelitian ini didapatkan bahwa jumlah bintil akar yang terbentuk lebih sedikit dibandingkan dengan bintil akar pada literatur (4.6b). Bintil akar berfungsi untuk menyediakan nitrogen bagi tanaman. *Rhizobium* dalam bintil akar akan memfiksasi nitrogen bebas di udara (N_2) dan mengubahnya menjadi N organik yang dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan. Nitrat mula-mula direduksi menjadi nitrit oleh nitrat reduktase sedangkan gas nitrogen disemat oleh nitrogenase (Kato *et al.*, 2003). Berdasarkan fungsi tersebut maka bakteri *Rhizobium japonicum* akan lebih banyak memfiksasi N pada tanah yang kandungan nitrogennya rendah dan pembentukannya berkurang pada tanah yang kandungan N nya tinggi .

Hal tersebut dikarenakan nitrat yang jumlahnya meningkat didalam tanah meningkatkan penyerapan nitrogen oleh akar sehingga akan menghambat transkripsi gen nitrogenase. Traskripsi ini menyebabkan terhambatnya enzim nitrogenase sehingga aktivitas nitrogenase menurun, akibatnya terjadi penurunan penambatan nitrogen bebas dan pada akhirnya akan menurunkan persentase bintil akar efektif (Ika *et al.*, 2013).

Persentase bintil akar efektif pada tiap perlakuan berhubungan dengan aktivitas penambatan N pada tanaman kedelai dan hal ini berkaitan dengan kandungan leghemoglobin yang ditunjukkan dengan warna kemerah-merahan pada bintil akar yang efektif (Gardner *et al.*, 1991). Jumlah leghemoglobin di dalam bintil berhubungan langsung dengan jumlah nitrogen yang difiksasi oleh bintil akar. Leghemoglobin mengatur pemasokan oksigen ke bakteroid yang diperlukan untuk membentuk energi tingkat tinggi, yaitu ATP yang akan digunakan untuk menambat nitrogen bebas di udara melalui pembentukan enzim nitrogenase (protein yang mengandung Fe dan Mo yang memerlukan Co sebagai aktivatornya). Nitrat yang ada di dalam

tanah bila diabsorpsi ke dalam bintil akar maka akan direduksi menjadi nitrit yang selanjutnya membentuk senyawa NO di dalam leghemoglobin sehingga mencegah pengikatan leghemoglobin dengan O₂ dan menghambat proses penambatan N₂ yang kemudian menurunkan persentase bintil akar efektif (Ika *et al.*, 2013).

Pembentukan bintil akar juga bergantung dengan pH media tanaman dan ketersediaan O₂. pH media tanaman akan menurun pada perlakuan genangan yang tinggi. Toleransi keasaman tanah sebagai syarat tumbuh tanaman kedelai adalah pH 5,8 - 7,0. Pada pH kurang dari 5,5 pertumbuhannya sangat terhambat karena pertumbuhan bakteri bintil akar dan proses nitrifikasi akan berjalan kurang baik (Suprpto, 1992).

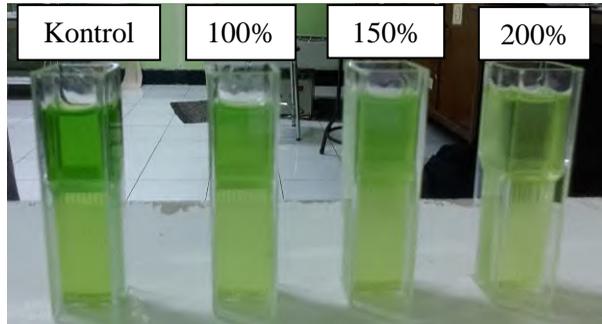
Ketersediaan O₂ juga turut berperan karena bakteri *Rhizobium* yang bersimbiosis dengan kedelai termasuk bakteri aerob. Faktor-faktor tersebut sangat penting dan berpengaruh dalam konversi N-bebas (N₂) oleh organisme.

Hasil tersebut juga sesuai dengan penelitian (Gunho *et al.*, 2008) yang menyatakan bahwa aktivitas nodul dan jumlah nodul pada akar kedelai akan berkurang pada kondisi tergenang. Bintil akar yang menurun dipengaruhi oleh bakteri yang bersimbiosis dengan kedelai yaitu *Rhizobium*. Bakteri *Rhizobium* bersifat aerob. Adapun ciri lainnya adalah gram negatif, berbentuk batang dengan ukuran sekitar 0,5 – 0,9 μm x 1,2 – 3 μm. Bakteri ini banyak terdapat di dalam daerah perakaran tanaman legume dan membentuk hubungan simbiotik inang khusus (Yuwono, 2006). Pada kondisi tergenang, lingkungan perakaran kedelai menjadi anaerob sehingga bakteri *Rhizobium* yang bersifat aerob tidak dapat hidup. Hal ini selanjutnya akan berdampak pada jumlah bintil akar yang terbentuk pada akar kedelai. Proses pembentukan bintil akar dapat dilihat pada gambar 2.3. (Panji, 2016).

Nitrogen yang telah dibentuk oleh bintil akar, pada tahap selanjutnya akan menjadi salah satu komponen penting dalam pembentukan klorofil. Klorofil merupakan komponen kloroplas yang utama dan kandungan klorofil ini relatif berkorelasi positif dengan laju fotosintesis (Li *et al.*, 2006). Klorofil disintesis di daun dan berperan untuk menangkap cahaya matahari dan mengubah energi cahaya menjadi energi kimia. Ada tiga peranan utama klorofil yaitu memanfaatkan energi cahaya matahari, memacu penyerapan CO₂ menjadi karbohidrat, melalui proses anabolisme karbohidrat diubah menjadi protein, lemak, asam nukleat, dan molekul organik lainnya (Hopkins & Hunner, 2008).

Sintesis klorofil dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti cahaya, gula atau karbohidrat, air, temperatur, faktor genetik, unsur-unsur hara seperti N, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, S dan O (Hendriyani & Setiari, 2009). Kandungan klorofil dapat dipakai sebagai indikator yang terpercaya untuk mengevaluasi ketidakseimbangan metabolisme antara fotosintesis dan hasil produksi pada saat kelebihan air (Li *et al.*, 2006). Oleh karena peran tersebut klorofil akan berkorelasi positif terhadap berat kering dari tanaman.

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa genangan berpengaruh terhadap klorofil daun kedelai. Klorofil daun kedelai tanpa perlakuan genangan (kontrol) lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan genangan pada taraf G1 (100%), G2 (150%) dan G3 (200%) (Lampiran 10).



Gambar 4.7 Perbedaan Warna Klorofil Kontrol dan Cekaman Genangan (100%, 150% dan 200%) Hasil Ekstraksi dengan Pelarut Etanol.

Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kandungan klorofil semakin menurun seiring dengan bertambahnya konsentrasi genangan. Penurunan kandungan klorofil berkaitan dengan aktivitas perangkat fotosintesis.

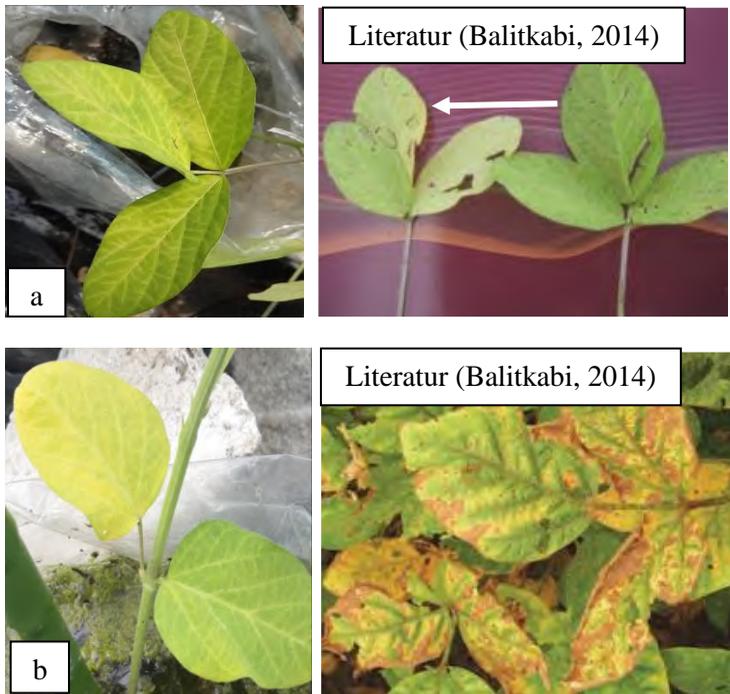
Hasil ini didukung oleh (Visser & Voeselek, 2004) yang menyatakan bahwa pembentukan klorofil dihambat dan terjadi penurunan Rubisco pada saat tanaman tergenang (Kosova *et al.*, 2011). Rubisco berfungsi sebagai katalisator dalam fiksasi CO₂ untuk proses fotosintesis. Hal ini disebabkan karena genangan mempengaruhi aktivitas penyerapan baik unsur hara maupun oksigen untuk kebutuhan tanaman. Menurut Menurut Grichko & Glick (2011) Visser & Voeselek (2004), genangan pada tanah menyebabkan akar tanaman mengalami gangguan dalam respirasi, penyerapan unsur hara dan metabolisme tanaman secara keseluruhan. Unsur hara yang kurang pada tanaman menyebabkan pembentukan klorofil terganggu dan kadar klorofil pada daun menjadi turun.

Selain itu, telah disebutkan sebelumnya bahwa sintesis klorofil dipengaruhi oleh berbagai faktor salah satunya adalah

unsur N dan Mg (Syafi, 2008) namun disisi lain efek yang menjadi kontributor utama dari genangan air adalah pengurangan konsentrasi N, P, K, Ca, dan Mg (Smethurst *et al.*, 2005). Genangan menyebabkan pH media cenderung menurun (masam) sehingga menyebabkan serapan N dan Mg menurun dan aktivitas mikroorganisme tanah *Rhizobium* terganggu.

Nitrogen berfungsi dalam membentuk pigmen-pigmen zat hijau daun. Oleh karena itu, gejala visual kekahatan N pada tanaman kedelai ditunjukkan dengan daun berwarna hijau pucat merata (Marschner, 1986) dan pada kondisi kekahatan yang parah daun berwarna kuning pucat. Pada tanaman kedelai yang tua, daun-daun bagian bawah menunjukkan gejala kuning yang parah dan akhirnya gugur (Gambar 4.8).

Selain Nitrogen, Magnesium (Mg) juga turut berperan dalam berperan dalam penyusunan zat klorofil. Ion Mg^{2+} merupakan inti dari klorofil. Oleh karena itu, kecukupan Mg sangat diperlukan untuk memperlancar fotosintesis. Rumus empiris klorofil a adalah $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$, sedangkan klorofil b adalah $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$. Pigmen tersebut merupakan suatu porifirin yang mengandung cincin dasar terapirol. Keempat cincinnya berikatan dengan ion Mg^{2+} . Gejala visual kahat magnesium (Mg) ditandai dengan klorosis antar tulang-tulang daun, warna berubah menguning. selain itu, terdapat bercak-bercak berwarna kecoklatan (nekrosis), sedangkan tulang daun tetap berwarna hijau atau hijau pucat (Marschner, 1986).



Gambar 4.8 Gejala Daun Kedelai (a) Kahat Nitrogen (N) dan (b) Kahat Magnesium (Mg).

Banyaknya klorofil dapat mempengaruhi laju fotosintesis. Hasil fotosintesis dapat dilihat dari berat basah dan berat kering tanaman serta laju pertumbuhan relatifnya. Hasil pengamatan parameter berat basah dan kering tanaman kedelai dapat dilihat pada tabel 4.2.

Berdasarkan hasil ANOVA *One Way* (Lampiran 11) diketahui bahwa faktor cekaman genangan berpengaruh secara nyata terhadap berat basah dan berat kering tanaman dengan nilai

p berturut-turut yaitu 0.001 dan 0.000 ($p < 0,05$). Nilai p kurang dari nilai 0,05 menunjukkan hipotesa gagal tolak H_0 . Hasil Uji ANOVA dilanjut dengan Uji DMRT 5% yang memberikan hasil bahwa faktor perlakuan cekaman genangan berpengaruh secara nyata pada berat basah dan berat kering tanaman.

Berat basah tertinggi dicapai pada perlakuan kontrol (G0) dan berat basah terendah pada konsentrasi 200% (G3). Hasil ini dikarenakan berat basah dipengaruhi oleh morfologi tanaman. Pada perlakuan kontrol, daun dan akar berkontribusi besar karena ukuran dan panjang yang lebih besar dibandingkan perlakuan genangan G1, G2, dan G3 sehingga mempengaruhi akumulasi air yang tersimpan pada organ tersebut. Air merupakan komponen utama dalam kehidupan tanaman, sekitar 70-90% berat segar tanaman adalah berupa air. Air merupakan media yang baik untuk berlangsungnya reaksi biokimia. Didalam tubuh tanaman, air dapat masuk ke jaringan tanaman melalui proses difusi. Salisbury & Ross (1995) serta Sitompul & Guritno (1995) menyatakan bahwa berat basah tanaman dapat menunjukkan aktivitas metabolisme tanaman dan nilai berat basah tanaman dipengaruhi oleh kandungan air jaringan, unsur hara dan hasil metabolisme. Peningkatan ukuran dan jumlah sel juga pada akhirnya akan meningkatkan berat tanaman.

Produksi tanaman biasanya lebih akurat dinyatakan dengan ukuran berat kering daripada dengan berat basah, karena berat basah sangat dipengaruhi oleh kondisi kelembaban (Sitompul & Guritno, 1995). Berat kering tumbuhan yang berupa biomassa total, dipandang sebagai manifestasi proses-proses metabolisme yang terjadi di dalam tubuh tumbuhan. Biomassa tumbuhan meliputi hasil fotosintesis, serapan unsur hara dan air. Berat kering dapat menunjukkan produktivitas tanaman karena 90% hasil fotosintesis terdapat dalam bentuk berat kering

(Gardner *et al.*, 1991). Hasil fotosintesis (asimilat) ini umumnya disimpan pada batang, buah, biji atau polong. Selain itu disebutkan pula, hasil berat kering merupakan keseimbangan antara fotosintesis dan respirasi. Fotosintesis mengakibatkan peningkatan berat kering tanaman karena pengambilan CO₂ sedangkan respirasi mengakibatkan penurunan berat kering karena pengeluaran CO₂ (Gardner *et al.*, 1991).

Hasil produksi tanaman kedelai ditunjukkan dengan berat kering tanaman kedelai yang didapatkan dengan cara menimbang berat keseluruhan tanaman kedelai yang dipanen (akar, batang dan daun) yang merupakan bobot basah tanaman kemudian dikering ovenkan dengan suhu 105°C sampai didapatkan berat konstan. Berat tersebut merupakan berat kering tanaman. Pengaruh perlakuan genangan terhadap berat kering tanaman dapat dilihat pada Tabel 4.2 yang menunjukkan bahwa berat kering tanaman pada G0 dan G1 lebih besar daripada tanaman yang tergenang 14 hari.

Pada perlakuan 200% (G3) tanaman mulai mengalami penurunan berat kering secara signifikan dibandingkan dengan tanaman kontrol. Menurunnya berat kering tanaman dapat disebabkan menurunnya luas daun, klorofil sebagai organel fotosintesis dan metabolisme primer, oleh kondisi akar yang mengalami kerusakan. Apabila akar mengalami kerusakan akan menghambat penyerapan air dan unsur hara. Apabila penyerapan air dan unsur hara, serta aktifitas fotosintesis terhambat, maka pertumbuhan akan menurun yang berakibat pada rendahnya berat kering. Dari data parameter berat kering diketahui bahwa perlakuan perbedaan perlakuan genangan (100, 150, 200% kapasitas lapang) akan menurunkan akumulasi berat kering tanaman kedelai varietas Grobogan.

Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa tanaman kedelai varietas Grobogan kurang toleran ditanam pada kondisi tergenang, karena dari penelitian didapatkan hasil tanaman kedelai memang masih bertahan pada 14 hari penggenangan namun mengalami penurunan berat hingga 60,41%. Menurut (Adisarwanto & Suhartina, 2001), penurunan hasil kedelai pada kondisi tanah tergenang (jenuh air) berkisar antara 15–25% pada umur 15–30 hari (fase vegetatif). Skrining varietas kedelai yang dilakukan oleh (Shannon *et al.*, 2005) selama 14 hari pada keadaan tergenang menunjukkan penurunan hasil rata-rata 61%, yaitu 39% pada varietas toleran dan 77% pada varietas kurang toleran.

4.1.3 Pengaruh Cekaman Genangan Terhadap Konsentrasi Etilen Akar, Akar Adventif dan Stomata Daun Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.) Varietas Grobogan

Cekaman genangan dapat mempengaruhi fisiologi tanaman dalam hal hormonal dan alokasinya sehingga akan menginduksi pembentukan atau respon suatu jaringan dalam menghadapi cekaman lingkungan tersebut. Hal ini dapat dilihat pada hasil pengukuran untuk parameter konsentrasi etilen akar, akar adventif dan stomata daun. Secara lebih detail data pengukuran tersebut dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Konsentrasi Etilen pada Akar, Akar Adventif dan Stomata daun Kedelai (*Glycine max* L.) Varietas Grobogan Terhadap Cekaman Genangan

Perlakuan (G)	Etilen (ppm)	Akar Adventif	Stomata	
			Membuka	Menutup
G0	3,554	0.00 ^a	29.917 ^b	14.167 ^a
G1	2,424	0.00 ^a	11.667 ^b	21.500 ^b
G2	3,357	7.14 ^b	19.917 ^a	25.167 ^b
G3	14,878	18.00 ^c	15.667 ^a	27.917 ^b

Keterangan: Angka yang ditandai huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata dengan uji DMRT pada taraf 5%.

G0 : Kontrol G1 : 100% G2 : 150% G3 : 200%

Secara umum ditemukan bahwa terjadi banyak mekanisme fisiologis yang dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kondisi stres genangan. Mekanisme fisiologis tersebut diantaranya produksi etilen. Dijelaskan bahwa kondisi hipoksia akan meningkatkan ACC (1-aminopropane-1-asam karboksilik) di akar. ACC merupakan prekursor etilen. Konsentrasi etilen pada masing-masing perlakuan secara detail dapat dilihat pada tabel 4.3.

Berdasarkan hasil pengukuran kadar etilen dengan menggunakan GC didapatkan bahwa konsentrasi etilen tertinggi terdapat pada perlakuan genangan 200%. Akan tetapi, konsentrasi etilen yang diukur tidak dapat dijadikan sebagai acuan/parameter dan dampak/respon tanaman pada kondisi genangan mengingat hanya dilakukan pada 1 tanaman atau tanpa ulangan. Namun lebih jauh, Berdasarkan hasil penelitian Peeters *et al.* (2002), pada tanaman *Rumex palustris* menunjukkan bahwa genangan selama satu jam mengakibatkan peningkatan konsentrasi etilen 20 kali

dari 0.05 $\mu\text{L L}^{-1}$ menjadi 1.0 $\mu\text{L L}^{-1}$ dibandingkan yang tidak tergenang.

Perbedaan konsentrasi etilen pada setiap perlakuan dapat dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal. Faktor internal yang mempengaruhi produksi etilen antara lain: jenis jaringan, spesies, dan tahap perkembangan tumbuhan dan hormon auksin. Produksi etilen terjadi pada tahap perkembangan tertentu seperti perkecambahan, pemasakan buah, pemekaran bunga, dan proses kelayuan daun dan bunga (Ting, 1982). Kondisi eksternal yang mempengaruhi produksi etilen antara lain: stress dari lingkungan banjir (kondisi tergenang), kekeringan, proses pendinginan, adanya luka, jumlah O_2 yang sangat rendah, dan serangan patogen (mikroorganisme) (Wilkins, 1989).

Pada penelitian ini produksi etilen erat kaitannya dengan genangan. Akumulasi etilen di tanah tergenang air dan tanaman terjadi pada konsentrasi dari $10 \text{ cm}^3 \text{ dm}^{-3}$. Akumulasi etilen terjadi terutama pada dua cara, pertama tingkat difusi etilen dari akar ke air 10 kali lebih lambat daripada di udara. Kedua, sintesis etilen meningkat pada sistem akar hipoksia dan dalam pucuk aerobik. Pada awalnya etilen dapat dilepaskan ke saluran internal aerenkim dan kemudian menyebar ke daerah akar. Di akar terjadi peningkatan sintesis ACC (1-amino siklopropana 1- asam karboksilat) yang merupakan prekursor etilen.

Proses pembentukan etilen pada tanaman bermula dari proses biosintesis. Biosintesis etilen dapat dilihat pada Gambar 2.12. Pertama, S-AdoMet yang disintesis dari asam amino metionin dengan bantuan S-adoMet sintetase (ADS). S-Adomet dikonversi dengan memecah satu ATP menjadi 1-aminopropane-1-asam karboksilik (ACC) oleh enzim ACC sintase (ACS). Selain ACC, dalam reaksi ini ACC sintase (ACS) juga menghasilkan 5-methylthioadenosine (MTA) yang kemudian diubah menjadi

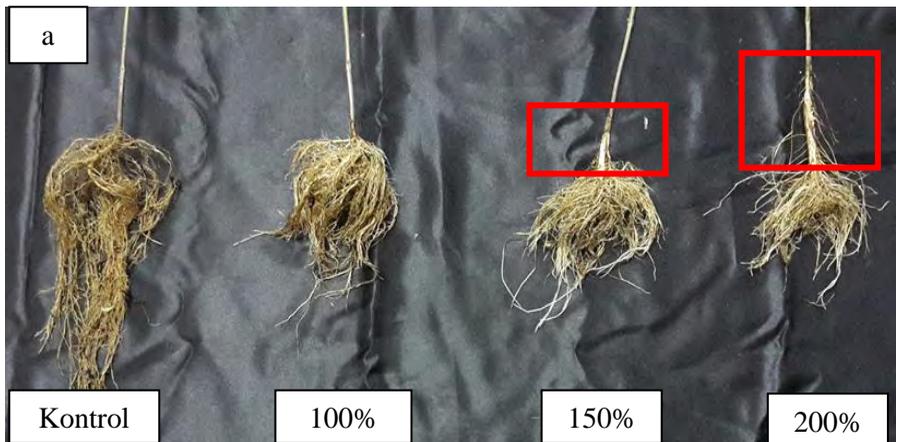
metionin dengan menggunakan siklus metionin (Bleecker & Kende, 2000). Langkah pembentukan ACC tidak membutuhkan oksigen, lebih jauh lagi, akumulasi ACC meningkat dalam kondisi aerob (Kende, 1987), akibatnya jumlah ACC meningkat ke pucuk. Jumlah tertinggi dari akumulasi ACC terjadi di bagian terendah dari batang. ACC kemudian dioksidasi menjadi etilen oleh ACC oksidase (ACO). Namun, ACC oksidase menjadi faktor pembatas dalam kondisi genangan karena konversi ini memerlukan adanya O_2 . Dalam keadaan tergenang sebagian (*waterlogging*) kandungan O_2 dalam akar terbatas bahkan tidak ada. sebagai hasilnya reaksi ini diblokir dalam sistem akar anaerobik. Dalam kondisi tersebut ACC yang terbentuk diangkut dari sistem akar anaerobik melalui xylem menuju bagian pucuk dimana terdapat oksigen sehingga dapat dengan mudah dikonversi menjadi etilen (Bradford & Yang, 1980).

Etilen diketahui memiliki peran dalam formasi aerenkim. Pembentukan aerenkim yang diinisiasi oleh etilen merupakan salah satu dari banyak fitur adaptif tanaman di penggenangan untuk menghindari anaerobiosis dengan meningkatkan ketersediaan oksigen. Aerenkim adalah jaringan lunak dengan ruang interseluler yang besar untuk memberikan jalur internal bagi pertukaran gas antara pucuk aerobik ke akar anaerob (Armstrong & Jackson, 1999). Oksigen dikeluarkan ke akar dan tanah sekitarnya melalui aerenkim tersebut. Akibatnya, lingkungan tanah oksigen kecil yang terbentuk dapat membuat lingkungan aerobik untuk mikroorganisme dan mencegah perkembangan komponen tanah yang berpotensi beracun seperti oksida besi, Cu, dan Mn. Sintesis etilen yang sangat meningkat di akar bawah kondisi hipoksia, simultan dengan pembentukan aerenkim (Visser *et al.*, 1997).

Selain aerenkim, disebutkan pula bahwa etilen dapat memicu pembentukan akar adventif. Hal ini memperkuat bahwa akumulasi etilen akibat dari konversi ACC oleh ACC oksidase terjadi akibat adanya O_2 dari atmosfer.

Cekaman aerasi ketika genangan membuat tanaman kedelai melakukan suatu proses plastisitas. Hasil plastisitas morfologi tanaman pada akar adalah terbentuknya tipe akar yang berbeda dari umumnya, yaitu terbentuknya akar adventif. Hasil pengamatan akar adventif dapat dilihat pada Gambar 4.9.

Berdasarkan hasil ANOVA *One Way* (Lampiran 13) diketahui bahwa faktor cekaman genangan berpengaruh terhadap jumlah akar adventif tanaman dengan nilai $p = 0,000$ ($p < 0,05$). Hasil Uji ANOVA dilanjut dengan Uji DMRT 5% yang memberikan hasil bahwa faktor perlakuan cekaman genangan berpengaruh secara nyata pada akar adventif tanaman selama tergenang. Dalam penelitian ini, dibandingkan antara perlakuan kontrol yang tidak memiliki akar adventif dengan perlakuan genangan. Pada perlakuan G1 (100%) tidak terbentuk akar adventif. Akar adventif secara signifikan meningkat pada G3 diikuti dengan G2 (Tabel 4.3).





Akar Adventif Kedelai

Akar Adventif Tembakau

Gambar 4.9 (a) Perbandingan Akar Adventif Tanaman Kedelai Varietas Grobogan pada Kontrol dan Cekaman Genangan (100%, 150% dan 200%) (b) Visualisasi Akar Adventif pada masing-masing perlakuan dalam Keadaan Tergenang di Media. (c) Perbandingan Akar Adventif pada Kedelai Varietas Grobogan dan Tembakau (Literatur).

Akar adventif adalah akar yang berkembang dari jaringan non-akar, sebagian besar berkembang dari bagian aerial tanaman seperti hipokotil, daun dan batang (Bellini *et al.*, 2014). Pembentukan akar adventif terjadi ketika sistem perakaran asli

tidak mampu memasok air dan mineral yang dibutuhkan tanaman (Mergemann & Sauter, 2000). Selain itu, membusuknya sistem akar utama dapat dianggap sebagai pengorbanan untuk memungkinkan penggunaan energi yang lebih efisien bagi pengembangan sistem akar yang lebih sesuai (Dat *et al.*, 2006).

Akar adventif ketika tergenang terbentuk di dekat pangkal batang dan bagian atas akar mendekati permukaan tanah di mana tekanan oksigen tinggi atau di wilayah di mana lentisel berlimpah. Pertumbuhannya terjadi secara horizontal (diageotropism). Karena posisi akar adventif dekat dengan permukaan air dan terhubung ke batang, dekat dengan pembentukan aerenkim, mereka memiliki lebih banyak akses ke oksigen dibanding sistem akar lama. Ruang udara yang besar antara akar-akar tersebut memungkinkan difusi gas antara akar dan pucuk. Oleh karena itu, kehadiran akar adventif di perbatasan antara permukaan tanah jenuh air dengan atmosfer mencerminkan pentingnya akar ini dalam menggantikan sistem akar yang normal baik di dalam air maupun jauh di permukaan air tanah.

Akar adventif dapat mengurangi pengaruh buruk genangan dengan memperluas area perakaran ke udara, meningkatkan respirasi aerob, dan mengoksidasi rizosfer (Bacanamwo & Purcell, 1999). Pertumbuhan akar adventif yang memungkinkan perakaran menyerap oksigen dari udara merupakan adaptasi morfologi tanaman dalam menghadapi cekaman genangan. Selain itu, kemampuan untuk memproduksi akar adventif umumnya terkait dengan meningkatnya toleransi terhadap genangan dan perkembangan akar adventif ini telah banyak dikaitkan dengan produksi etilen (Voesenek *et al.*, 1993; Mergemann & Sauter 2000).

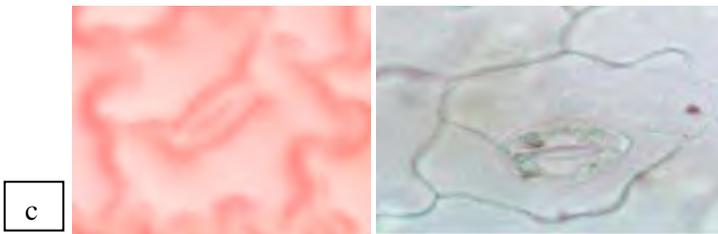
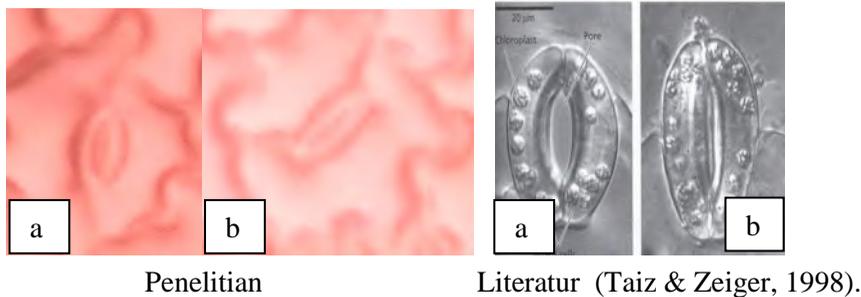
Pembentukan akar adventif terjadi karena adanya interaksi hormon tanaman, yaitu auksin dan etilen (Verstraeten,

2014). Proses ini bermula dari ACC yang di *transport* dari akar ke pucuk melalui xylem kemudian ACC yang kemudian di konversi menjadi etilen (Bradford & Yang, 1980). Etilen tidak ditransportasikan secara aktif pada tanaman tetapi melalui perpindahan secara difusi. Peningkatan etilen akan mengblok basipetal *auxin transport* yang menyebabkan peningkatan konsentrasi auksin di bagian bawah batang yang menghasilkan promosi formasi akar adventif (Ahmed *et al.*, 2013).

Hal ini didukung oleh hasil pengamatan etilen pada penelitian (Tabel 4.3). Difusi auksin menuju akar yang kekurangan oksigen menjadi lambat dan auksin terakumulasi pada pertemuan tunas-akar (*shoot-root*) dimana akar adventif terbentuk. Akar adventif membantu penyerapan air dan unsur hara pada tanaman yang toleran genangan.

Genangan diduga dapat menginduksi penutupan stomata karena adanya *signal* dari akar melalui faktor hormonal. Stomata berperan penting terhadap proses transpirasi serta difusi gas. Hasil pengamatan stomata dapat dilihat pada tabel 4.3.

Berdasarkan Hasil ANOVA *One Way* (Lampiran 14) menunjukkan perlakuan berpengaruh nyata terhadap stomata daun yang membuka dan menutup pada tanaman kedelai dengan *p* berturut-turut sebesar 0.001 dan 0.004 ($p < 0,05$). Hasil ini kemudian dilanjutkan dengan uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) 5%. Tabel 4.3 menunjukkan bahwa perlakuan G0 berpengaruh nyata terhadap perlakuan genangan G1, G2 dan G3. Pada perlakuan genangan rasio stomata yang menutup lebih banyak dibandingkan dengan yang membuka sebaliknya stomata pada tanaman kontrol (G0) memiliki jumlah stomata membuka lebih banyak dibandingkan dengan yang menutup. Sehingga dapat dikatakan bahwa stomata lebih banyak yang menutup seiring dengan bertambahnya konsentrasi genangan.



(Serdar *et al.*, 2011).

Gambar 4.10 Stomata Daun Kedelai a. Stomata Membuka
b. Stomata Menutup. (c) Tipe Stomata Kedelai (*Glycine max*).

Stomata adalah lubang - lubang kecil berbentuk lonjong yang dikelilingi oleh dua sel epidermis khusus yang disebut sel penutup (Kartosapoetra, 1991). Kedelai mempunyai tipe stomata dengan sel penutup berbentuk ginjal. Tipe stomata dari kedelai varietas Grobogan adalah parasitik. Stomata parasitik ditandai dengan jumlah sel tetangga sebanyak 2 buah yang terletak sejajar dengan sumbu sel penutup stoma dan poros. Sel tetangga tipe parasitik dapat dibedakan dengan sel epidermis daun, karena memiliki jumlah, letak, dan tingkat lekukan yang berbeda. Sel tetangga parasitik yang diamati memiliki jumlah lekukan 3-4.

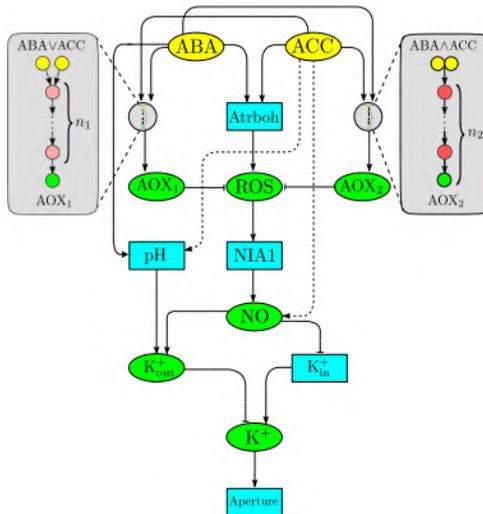
Letak lekukan sel tetangga hanya terdapat pada sisi yang berbatasan dengan sel epidermis, sisi yang berbatasan dengan sel penutup tidak berlekuk (Titik, 2011).

Mekanisme penutupan stomata ketika tergenang dapat disebabkan oleh ABA, Etilen dan ROS. Mekanisme secara detail dapat dilihat pada gambar 4.11. Selama terjadi genangan, ABA dan etilen akan menginduksi enzim Atrboh yang telah diidentifikasi sebagai sumber dari ABA-etilen dalam menginduksi cekaman oksidatif. Cekaman oksidatif terjadi karena terakumulasinya senyawa *Reactive Oxygen Species* (ROS) pada sel penjaga seperti singlet oksigen (1O_2), hidrogen peroksida (H_2O_2), superoksida (O_2^-) dan radikal hidroksil ($^{\cdot}OH$). Senyawa ROS yang reaktif tersebut menyebabkan kerusakan oksidatif pada organel fotosintesis (Prochazkova *et al.*, 2007), organel tersebut adalah kloroplast.

Secara lebih lanjut ROS menyebabkan peningkatan produksi nitrat oksidase (NO) melalui nitrat reduktase 1 (NR1 atau NIA1). Sedangkan peningkatan kadar ROS dan NO mempromosikan pelepasan Ca^{2+} dari ruang intraseluler yang mengarah pada penurunan regulasi ke dalam saluran K^+ . Oleh karena itu, tanaman kedelai akan banyak mengalami kehilangan K^+ karena ABA dan etilen dapat menghambat kerja pompa proton tersebut, sehingga aliran K^+ dalam plasma terhambat dan menyebabkan K^+ merembes keluar, turgor berkurang dan akhirnya stomata menutup. Hal ini sesuai dengan pendapat Salisbury & Ross (1969) yang menyatakan bahwa peranan ABA dan etilen dalam proses penutupan stomata adalah menghambat pompa proton, yang kerjanya mengalirkan proton ke luar sel penjaga. Sedangkan terjadinya aliran masuk K^+ yang cepat ke dalam sel penjaga berakibat akumulasi K^+ , sehingga terjadi penyerapan air secara osmotik pada sel penjaga akibatnya turgor

sel penjaga naik dan stomata terbuka. Kalium (K^+) disimpan dalam jumlah banyak di dalam vakuola sel dan memiliki efek besar pada aktivasi enzim, sintesis protein, fotosintesis, stomata dan hubungan air-tanaman (regulasi turgor dan penyesuaian osmotik) serta sebagai aktivator enzim atau kofaktor (Marschner, 1995).

Selain karena interaksi hormonal, penutupan stomata juga dapat disebabkan oleh kandungan glukosa pada sel tetangga yang tinggi. Konsentrasi glukosa pada sel tetangga yang tinggi dapat menyebabkan potensial air pada sel penutup rendah sehingga menyebabkan molekul H_2O dan ion K^+ keluar. Keluarnya molekul H_2O dan ion K^+ menyebabkan tekanan turgor pada sel penutup menurun dan menyebabkan stomata menutup.



Gambar 4.11 Proses Penutupan Stomata yang Diinduksi oleh ABA, Etilen dan ROS (Beguirisse *et al.*, 2012).

LAMPIRAN

Lampiran 1. Deskripsi Kedelai Varietas Unggul Grobogan

Pengembangan varietas unggul kedelai dengan menggunakan teknologi oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian di beberapa wilayah menunjukkan bahwa dengan sistem budidaya yang tepat dan benar, potensi hasil varietas unggul kedelai dapat direalisasikan di tingkat petani guna mendukung peningkatan produksi nasional. Salah satu varietas unggul kedelai yang telah dilepas pemerintah adalah varietas Grobogan. Berikut adalah deskripsi tanaman kedelai varietas Grobogan :

Dilepas tahun : 2008
Nomor galur : 238/Kpts/SR.12/03/2008
Asal : Grobogan

Sifat Kualitatif

Tipe Pertumbuhan : Determinit
Warna Hipokotil : Ungu
Warna Epikotil : Ungu
Warna Bunga : Ungu
Warna Daun : Hijau Agak Tua
Warna Bulu : Coklat
Warna Kulit Polong : Coklat
Warna Kulit Biji : Coklat
Warna Hilum : Coklat
Bentuk Daun : Lanceolate
Percabangan : -

Sifat Kuantitatif

Umur berbunga (hari) : 30-32
Umur Masak (hari) : ± 76
Tinggi Tanaman (cm) : 50-60
Berat 100 Biji (g) : ± 18
Rata-rata hasil (t/ha) : 2,77

Potensi Hasil (t/ha)	: 3,40
Kandungan Nutrisi	
Protein (%)	: 43,9
Lemak (%)	: 18,4
Daerah Sebaran	: Beradaptasi baik pada beberapa kondisi lingkungan tumbuh yang berbeda cukup besar, pada musim hujan dan daerah beririgasi baik.
Sifat Lain	: Polong masak tidak mudah pecah. Pada saat panen daun luruh 95-100% saat panen >95% daunnya telah luruh.

Lampiran 2. Perhitungan Kapasitas Lapang

Kebutuhan Air berdasarkan Kapasitas Lapangnya dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$KL (\%) = \frac{Tb - Tk}{Tk} \times 100\%$$

Keterangan :

KL : Kapasitas Lapang

Tb : Berat Basah Tanah

Tk : Berat Kering Tanah

(Foth H.D, 1984).

Setelah didapatkan Kapasitas Lapang dengan satuan (%), kemudian dikonversi menjadi satuan milimeter (ml) untuk menentukan banyaknya air (ml) yang ditambahkan dengan menggunakan rumus :

$$\frac{V (ml)}{W (g)}$$

$$\text{ml } 100\% : \text{Kapasitas lapang (w)} = \frac{V}{W}$$

$$(w) = \frac{V}{3.000}$$

$$V = (w) \times 3.000 \\ = \dots\dots\dots \text{ ml}$$

$$\text{ml } 150\% = \frac{150}{100} \times \text{ml } 100\%$$

$$\text{ml } 200\% = \frac{200}{100} \times \text{ml } 100\%$$

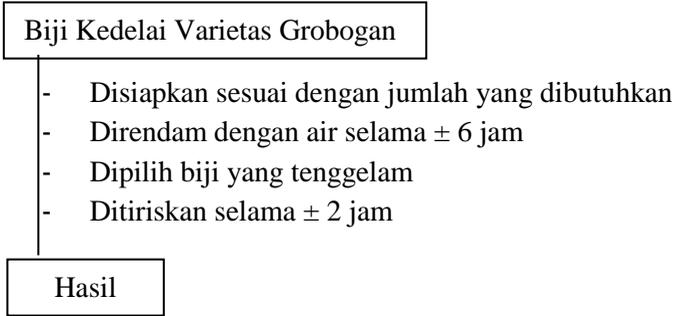
Keterangan :

V : Volume air (ml)

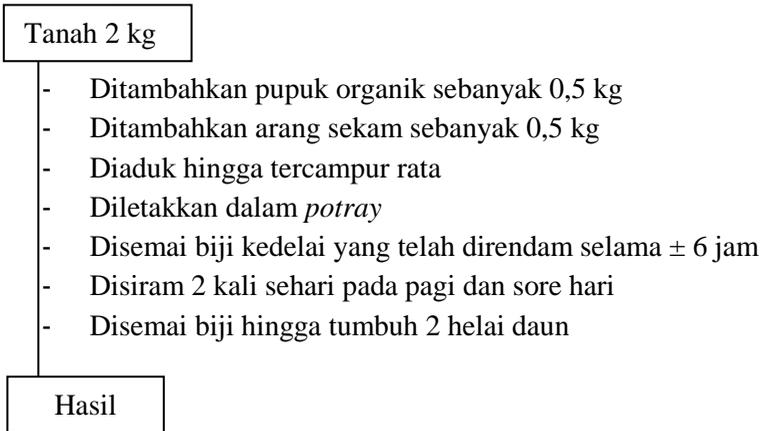
W : Berat tanah (g)

Lampiran 3. Skema Kerja Cara Kerja Penelitian

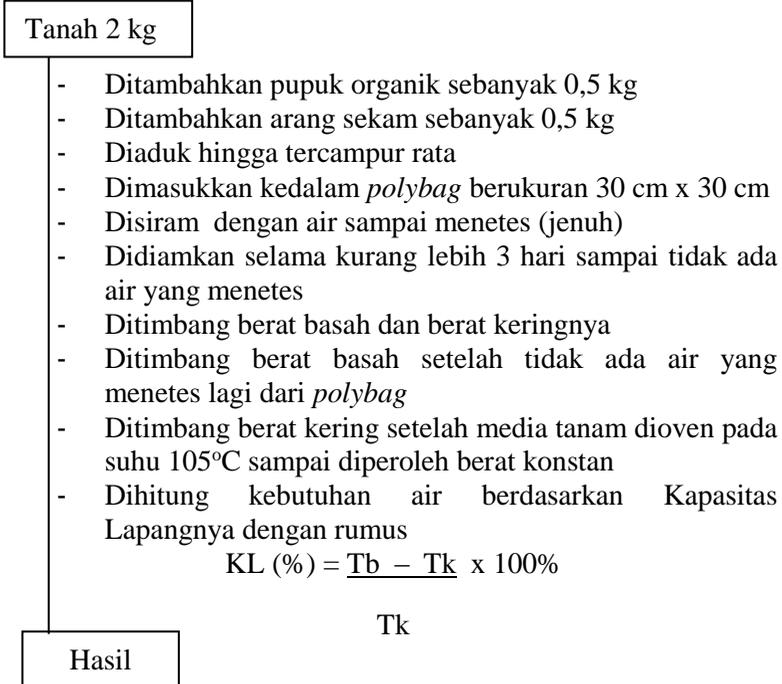
1. Persiapan Biji



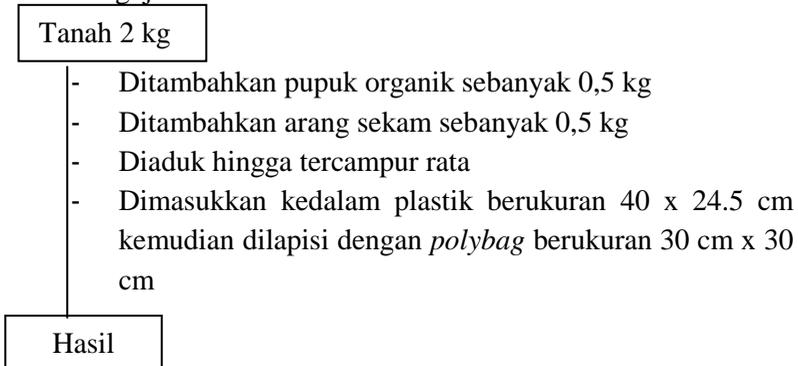
2. Persiapan Media Tanam untuk Penyemaian

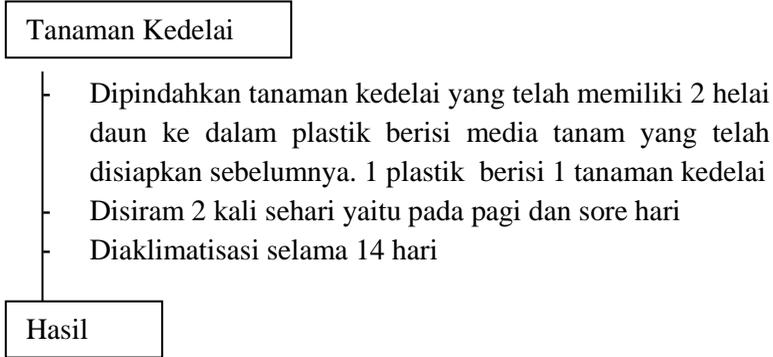
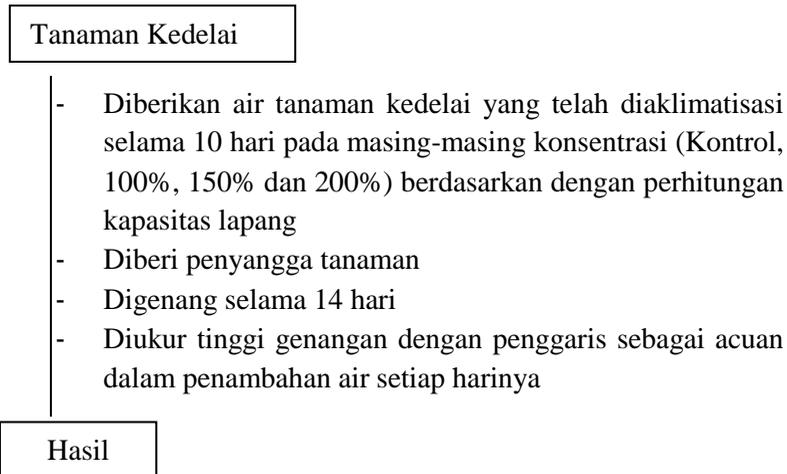


3. Skema Uji Pendahuluan Kapasitas Lapang



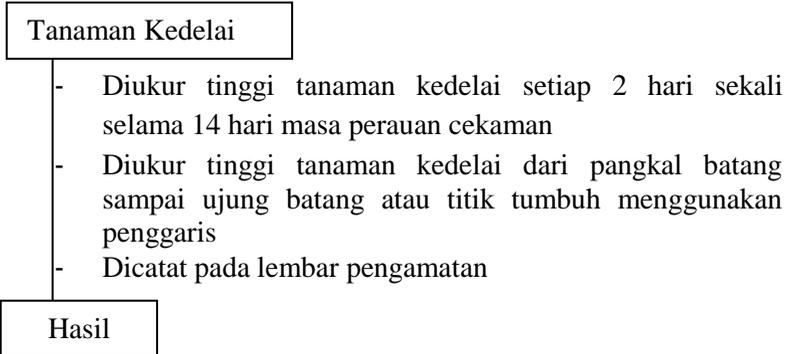
4. Skema Kerja Persiapan Media Tanam untuk Aklimatisasi dan Pengujian



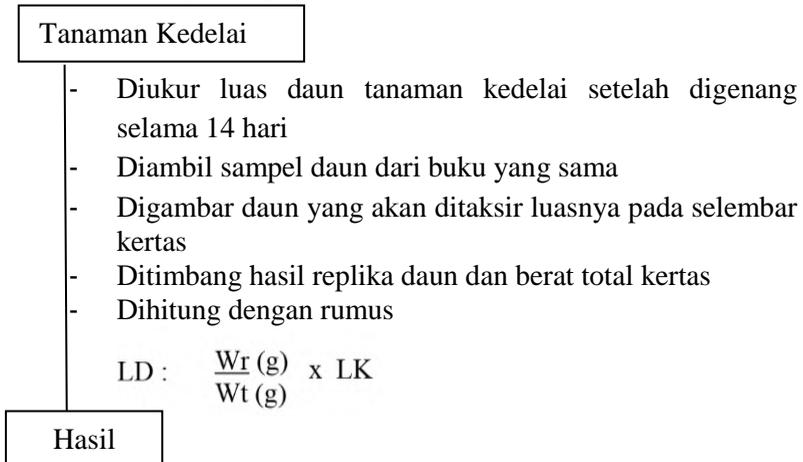
5. Skema Kerja Aklimatisasi Tanaman Kedelai (*Glycine max*)6. Skema Kerja Metode Pengujian Tanaman Kedelai (*Glycine max*) terhadap Genangan

Lampiran 4. Skema Kerja Pengukuran Parameter

1. Skema Kerja Pengukuran Tinggi Tanaman Kedelai



2. Skema Kerja Pengukuran Luas Daun Tanaman Kedelai



3. Skema Kerja Pengukuran Panjang Akar Tanaman Kedelai

Akar Tanaman Kedelai

- Diukur panjang akar tanaman kedelai setelah digenang selama 14 hari
- Diukur panjang akar dengan menggunakan penggaris dari pangkal akar hingga ujung akar terpanjang
- Dicatat dalam lembar pengamatan

Hasil

4. Skema Kerja Perhitungan Bintil Akar Tanaman Kedelai

Bintil Akar Kedelai

- Dihitung bintil akar tanaman kedelai setelah digenang selama 14 hari
- Dihitung bintil akar pada setiap taraf perlakuan
- Dicatat dalam lembar pengamatan

Hasil

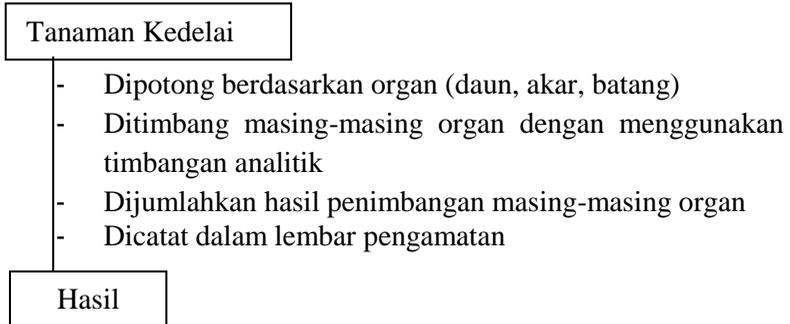
5. Skema Kerja Perhitungan Akar Adventif Tanaman Kedelai

Bintil Akar Kedelai

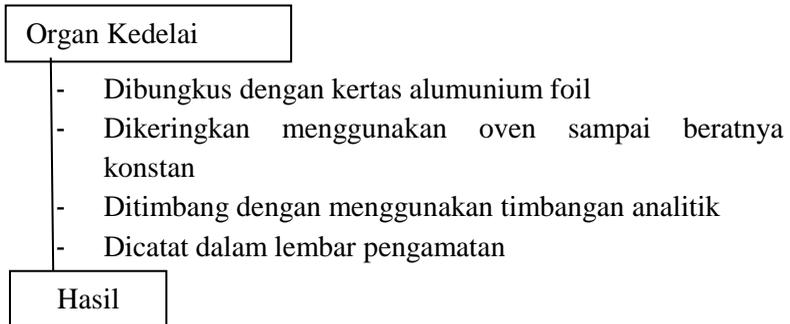
- Dihitung akar adventif tanaman kedelai setelah digenang selama 14 hari
- Dihitung akar adventif pada setiap taraf perlakuan
- Dicatat dalam lembar pengamatan

Hasil

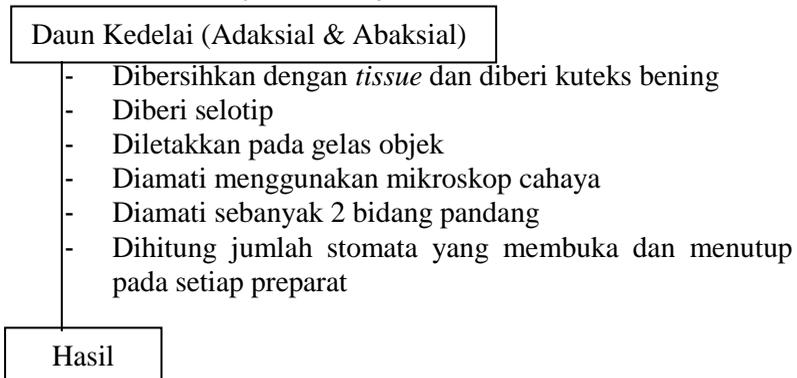
6. Skema Kerja Perhitungan Berat Basah Tanaman Kedelai



7. Skema Kerja Perhitungan Berat Kering Tanaman Kedelai



8. Skema Kerja Perhitungan Densitas Stomata



9. Skema Kerja Perhitungan Kadar Klorofil Tanaman Kedelai

Daun Kedelai

- Ditimbang dengan neraca analitik sebanyak 0,1 gram
 - Diekstraksi menggunakan etanol 96%
 - Ditungup dengan kain hitam dan diidamkan selama 24 jam
 - Disaring menggunakan kertas filter whatman 40
 - Dimasukkan ke dalam kuvet
 - Diukur dengan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 649 nm dan 665 nm
 - Dicatat dalam lembar pengamatan
 - Dihitung klorofil total dengan rumus
- Rumus Klorofil a = $[(13,7 \times A_{665}) - (5,76 \times A_{649})] \times (V/1000) \times (1/W)$
- Rumus Klorofil b = $[(25,8 \times A_{649}) - (7,60 \times A_{665})] \times (V/1000) \times (1/W)$
- Rumus Klorofil total = $[20,0 \times A_{649} + 6,10 \times A_{665}] \times (V/1000) \times (1/W)$

Hasil

10. Skema Kerja Analisa Nitrogen (N) Daun

1. Tahap Destruksi

Daun Kedelai

- Dikeringkan di dalam oven pada suhu 110°C selama 24 jam dan ditimbang 1 g
- Dimasukkan ke dalam labu kjeldahl 100 ml
- Ditambah 30 mg campuran selen, 5 ml H₂SO₄ pekat 96%
- Dipanaskan pada suhu 70°C selama ± 15 menit atau cairan berwarna coklat,
- Dinaikkan menjadi 140°C selama 15 – 30 menit atau cairan jernih

Hasil

2. Tahap Destilasi

Hasil Destruksi

- Dikeluarkan dan dipindahkan ke dalam labu penyuling
- Ditambahkan 50 ml air bebas ion (aquades) dan 20 sampai 30 ml NaOH 30 %.
- Dihubungkan labu penyuling dengan alat destilasi untuk menyuling N
- Disiapkan erlenmeyer 150 ml sebagai penampung N yang dilepaskan yang telah berisi 25 ml H₃BO₃ 4 % (Asam borat)
- Didestilasi sampai volume di dalam erlenmeyer menjadi 150 ml.

Hasil

3. Tahap Titrasi

Hasil Destilasi

- Dititer dengan HCl 0,02 N sampai warna larutan berubah dari biru menjadi merah muda
- Dihitung selisih jumlah titrasi sampel dengan blanko
- Dihitung kandungan nitrogen dengan rumus
$$\% \text{ Nitrogen} = (t-b) \times N \text{ H}_2\text{SO}_4 \times 0.01401 \times 100/W$$

Hasil

11. Skema Pembuatan Blanko

Labu Kjeldahl

- Ditambah 30 mg campuran selen, 5 ml H₂SO₄ pekat 96%
 - Dipanaskan pada suhu 70°C selama ± 15 menit atau cairan berwarna coklat,
 - Dinaikkan menjadi 140°C selama 15 – 30 menit atau cairan jernih
 - Dikeluarkan dan dipindahkan ke dalam labu penyuling
 - Ditambahkan 50 ml air bebas ion (aquades) dan 20 sampai 30 ml NaOH 30 %.
 - Dihubungkan labu penyuling dengan alat destilasi
 - Disiapkan erlenmeyer 150 ml sebagai penampung yang telah berisi 25 ml H₃BO₃ 4 % (Asam borat)
 - Didestilasi sampai volume di dalam erlenmeyer menjadi 150 ml.

Hasil

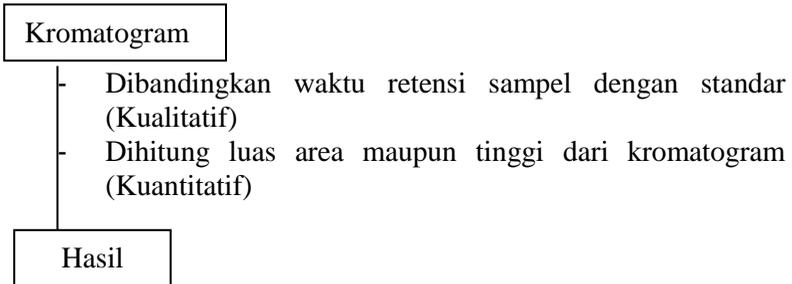
12. Skema Pengukuran Hormon Etilen

Akar Segar

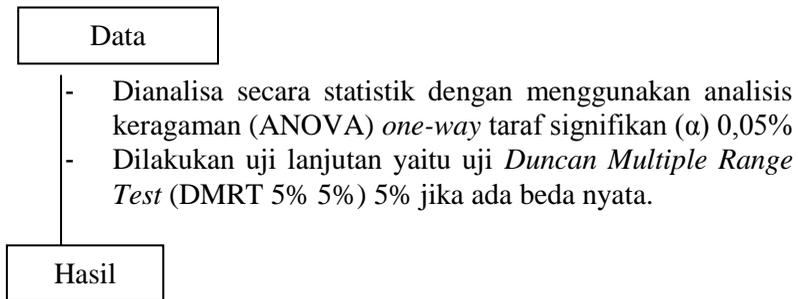
- Diambil dari leher akar sepanjang 1 cm dari tinggi genangan
- Dimasukkan ke dalam *vaccum aerated tube*
- Diinkubasi selama 6 jam
- Diambil satu µl gas etilen dengan *syringe*
- Diukur dengan kromatografi gas menggunakan detektor *Flame Ionization Detector*
- Dipisahkan sampel dengan kolom gas kapiler (30 m x 0,25 µm). Suhu injektor, kolom, dan detektor masing-masing 110, 70, 110 °C, Gas pembawa berupa He dengan laju aliran 27 ml/menit

Hasil

13. Skema Identifikasi Etilen



14. Skema Analisa Data



Lampiran 5. Hasil ANOVA ONE WAY - DMRT 5% Panjang Akar Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.)

ANOVA ONE WAY					
Panjang_Akar					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2897.720	3	965.907	51.596	.000
Within Groups	374.413	20	18.721		
Total	3272.133	23			

Panjang_Akar

Duncan

Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
4	6	15.183	
3	6	17.950	
2	6	20.350	
1	6		42.850
Sig.		.063	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Lampiran 6. Hasil ANOVA ONE WAY - DMRT 5% Luas Daun Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.)

ANOVA ONE WAY

Luas_Daun					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	901.387	3	300.462	15.501	.000
Within Groups	387.660	20	19.383		
Total	1289.047	23			

Luas_Daun

Duncan

Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
3	6	15.52317	
4	6	16.57100	
2	6		25.42817
1	6		30.19000
Sig.		.685	.076

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Lampiran 7. Hasil ANOVA ONE WAY dan Tabel Rata-rata Tinggi Tanaman Kedelai (*Glycine max L.*)

Tinggi_tanaman					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	22.298	3	7.433	.374	.772
Within Groups	396.953	20	19.848		
Total	419.251	23			

	Perlakuan			
Pengulangan	Kontrol (G0)	100% (G1)	150% (G2)	200% (G3)
1	23,77	30,04	35,88	23,38
2	20,95	22,67	24,07	24,55
3	24,37	22,25	29,15	28,25
4	28,62	29,03	15,27	24,4
5	25,87	26,95	31,10	31,00
6	23,42	21,12	27,38	24,29
Rata-rata	24,50	26,19	27,14	25,98

Lampiran 8. Hasil Nitrogen Daun Kedelai (*Glycine max* L.)


KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
 Jalan Veteran Malang - 65143, Jawa Timur, Indonesia
 Telepon : +62341-551611 pes. 207-208; 551663; 565845; Fax. 560011
 website: www.fp.uib.ac.id email: faperta@ub.ac.id
 Telepon Dukan: +62341-566237 WD I: 569984 WD II: 569219 WD III: 569217 KTU: 575741
 JURUSAN : Budidaya Pertanian: 569984 Sosial Ekonomi Pertanian: 580054 Tanaah: 553623
 Hama dan Penyakit Tumbuhan: 575841 Program Pasca Sarjana: 576273

Mohon maaf bila ada kesalahan dalam penulisan: nama, gelar, jabatan dan alamat

Nomor : 141 / UN10.4 / T / PG / 2016

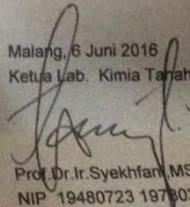
HASIL ANALISIS CONTOH DAUN KEDELAI
 a.n. : Vita Siti Fatimah
 Alamat : Biologi ITS

Terhadap kering oven 105°C

No.Lab	Kode	N.total
		%
TNM 250	KONTROL	2,45
TNM 251	100%	1,31
TNM 252	150%	1,16
TNM 253	200%	1,34



a.n. Dekan
 Ketua Jurusan,
 Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU
 NIP. 19540501 198103 1 006

Malang, 6 Juni 2016
 Ketua Lab. Kimia Tanah

 Prof. Dr. Ir. Syekhfan, MS
 NIP. 19480723 197802 1 001

Lampiran 9. Hasil ANOVA ONE WAY dan Tabel Bintil Akar Tanaman Kedelai (*Glycine max L.*)

ANOVA ONE WAY

Bintil_Akar					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	20.458	3	6.819	2.082	.135
Within Groups	65.500	20	3.275		
Total	85.958	23			

Pengulangan	Perlakuan			
	Kontrol (G0)	100% (G1)	150% (G2)	200% (G3)
1	1	1	0	1
2	0	1	0	0
3	2	1	0	0
4	8	1	0	1
5	5	0	2	0
6	0	4	1	0
Rata-rata	2,666666667	1,333333333	0,5	0,333333333

Lampiran 10. Hasil Perhitungan Kadar Klorofil Daun Kedelai
(*Glycine max* L.)

Perlakuan	Panjang Gelombang	
	649 nm	665 nm
Kontrol (G0)	1,190	2,400
100% (G1)	0,903	1,739
150% (G2)	0,886	1,627
200% (G3)	0,642	1,234

Perhitungan Klorofil :

$$\text{Rumus Klorofil total} = [20,0 \times A_{649} + 6,10 \times A_{665}]$$

Kontrol	:	20,0	x	1,190	+	6,10	x	2,400	=	38,440
100%	:	20,0	x	0,903	+	6,10	x	1,739	=	28,667
150%	:	20,0	x	0,886	+	6,10	x	1,627	=	27,644
200%	:	20,0	x	0,642	+	6,10	x	1,234	=	20,367

Lampiran 11. Hasil ANOVA ONE WAY - DMRT 5% Berat Basah dan Kering Tanaman Kedelai (*Glycine max L.*)

ANOVA ONE WAY					
Berat_Basah					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	107.939	3	35.980	8.712	.001
Within Groups	82.594	20	4.130		
Total	190.533	23			

Berat_Basah

Duncan

Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
4	6	3.30367		
3	6	3.42867		
2	6		6.00117	
1	6			8.46400
Sig.		.916	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

ANOVA ONE WAY

Berat_Kering					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.182	3	1.061	10.585	.000
Within Groups	2.004	20	.100		
Total	5.186	23			

Berat_Kering

Duncan

Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
4	6	.57150		
3	6	.57267		
2	6		1.02417	
1	6			1.44767
Sig.		.995	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Lampiran 12. Hasil Konsentrasi Etilen Pada Akar Kedelai (*Glycine max L.*) Dengan Gas Chromatography (GC)



KEMENTERIAN PERTANIAN
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PERTANIAN

F.05

BALAI BESAR PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PASCAPANEN PERTANIAN
LABORATORIUM PENGUJIAN

Jalan Tentara Pelajar 12
Bogor 16114
Jalan Surotokuntho No. 56
Rawagabus Karawang 41313

Telp. 0251-8321762, 0251-8346367
Fax. 0251-8346367
Telp. 0267-401294
Fax. 0267-402357

LAPORAN PENGUJIAN LABORATORIUM

No. Administrasi /Number	9/LBBPSC/V/16
Nama/Instansi Pengirim/Name	Vita Siti Fatimah
No. Surat Permohonan Number of letter	-
Alamat Pengirim/Address	Jl. Arif Rahman Hakim No. 70 Keputih, Surabaya
Tanggal Penerimaan Sampel/Date of receive	16 Mei 2016
Jenis Produk /Type of product	Akar Kedelai
Unit Kemasan/Packaging unit	Plastik
Berat bersih/Netto	-

No.	Nama Sampel Sample name	Jenis Analisis Type of Analysis	Metode Method	Hasil Result	Satuan Unit
1.	Kontrol	Ethilen (ARA)	GC	3,554	ppm
2.	100 %			2,424	
3.	150 %			3,357	
4.	200 %			14,878	

Bogor, 09 Juni 2016
Manajer Teknis,

Dr. Hcerudin

Laporan ini dilarang diperbanyak tanpa persetujuan tertulis dari Laboratorium Pengujian BBPP Pascapanen Pertanian
Laporan ini hanya berlaku pada contoh yang diuji
Laporan ini merupakan hasil pengujian bukan penelitian
Sisa contoh akan kami simpan selama satu bulan dari tanggal terbit laporan

Lampiran 13. Hasil ANOVA ONE WAY - DMRT 5% Akar Adventif Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.)

ANOVA ONE WAY					
Akar_Adventif					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	877.458	3	292.486	23.572	.000
Within Groups	248.167	20	12.408		
Total	1125.625	23			

Akar_Adventif

Duncan

Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
1	6	.00		
2	6	.00		
3	6		6.83	
4	6			14.67
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Lampiran 14. Hasil ANOVA ONE WAY - DMRT 5% Stomata Daun Kedelai (*Glycine max* L.)

ANOVA ONE WAY

Stomata_Membuka

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1107.375	3	369.125	8.878	.001
Within Groups	831.583	20	41.579		
Total	1938.958	23			

Stomata_Membuka

Duncan

Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
2	6	11.667		
4	6	15.667	15.667	
3	6		19.917	
1	6			29.917
Sig.		.295	.267	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Lampiran 15. Hasil ANOVA ONE WAY - DMRT 5% Berat Kering masing-masing Organ (Daun, Batang, Akar) Kedelai (*Glycine max* L.)

ANOVA ONE WAY

Berat_Kering_Daun

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.134	3	.711	6.581	.003
Within Groups	2.162	20	.108		
Total	4.297	23			

Berat_Kering_Daun

Duncan

Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
4	6	.7317	
3	6	.7867	
2	6		1.2667
1	6		1.4217
Sig.		.775	.424

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

ANOVA ONE WAY

Berat_Kering_Batang

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.469	3	.156	4.057	.021
Within Groups	.771	20	.039		
Total	1.240	23			

Berat_Kering_Batang

Duncan

Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
4	6	.5033		
3	6	.5617	.5617	
1	6		.7717	.7717
2	6			.8383
Sig.		.612	.079	.563

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

ANOVA ONE WAY

Berat_Kering_Akar

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	11.545	3	3.848	11.442	.000
Within Groups	6.727	20	.336		
Total	18.271	23			

Berat_Kering_Akar

Duncan

Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
3	6	.4283	
4	6	.4800	
2	6	.9333	
1	6		2.1500
Sig.		.168	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, maka didapatkan kesimpulan:

1. Tanaman kedelai (*Glycine max* L.) varietas Grobogan yang telah diberi cekaman selama durasi 14 hari menunjukkan respon diantaranya :
 - Tinggi tanaman kedelai varietas Grobogan memiliki kecenderungan bertambah panjang namun secara keseluruhan tidak berbeda nyata.
 - Genangan mengurangi luas daun, panjang akar, nitrogen daun, bintil akar, kadar klorofil, berat basah dan berat kering seiring dengan bertambahnya konsentrasi genangan.
 - Jumlah hormon etilen hasil analisa meningkat ketika terjadi genangan pada taraf cekaman 200%. namun peningkatan etilen dalam penelitian ini tidak dapat dijadikan acuan karena tidak adanya pengulangan.
 - Akumulasi etilen dapat memicu terbentuknya akar adventif.
 - Perlakuan genangan 100% (G1), 150% (G2) dan 200% (G3) menyebabkan rasio stomata daun yang menutup lebih banyak dibandingkan dengan yang membuka sedangkan kontrol memiliki jumlah stomata membuka yang lebih banyak dibandingkan dengan yang menutup.
2. Berdasarkan genangan selama durasi 14 hari pada fase vegetatif, kedelai (*Glycine max* L.) varietas Grobogan memiliki beberapa adaptasi sebagai respon toleransi terhadap genangan yaitu membentuk akar adventif melalui peran etilen. Kemudian melakukan *escape strategy* dengan elongasi nodal. Namun kedelai varietas Grobogan mengalami penurunan berat hingga 60,41% dan pertumbuhannya juga terhambat meskipun masih belum mencapai tahap kematian tanaman sehingga dapat dikatakan kurang toleran genangan.

5.2 Saran

Saran dari penelitian ini adalah dilakukan penggenangan lanjutan pada fase generatif kedelai. Selain itu, dilakukan penambahan fungsi waktu penggenangan sehingga diketahui *limit* ketahanan kedelai varietas Grobogan terhadap genangan sehingga dapat menambah informasi yang dapat digunakan dalam upaya perakitan kedelai toleran genangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adie, M.M. 1997. **Pembentukan Varietas Unggul Kedelai**. hlm. 111–142. Laporan Teknis. Malang: Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian.
- Adisarwanto, T., dan Suhartina. 2001. Tanggap Beberapa Varietas Kedelai Terhadap Kondisi Tanah Jenuh Air. **Penelitian Pertanian** 20: 88–94.
- Adisarwanto, T. 2005. **Kedelai**. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Adnyana, G.M. 2012. Mekanisme Penambatan Nitrogen Udara oleh Bakteri Rhizobium Menginspirasi Perkembangan Teknologi Pemupukan Organik yang Ramah Lingkungan. **Agrotrop**, 2(2) : 145-149.
- Ahmed, F., Rafii, M.Y., Ismail, M.R., Juraimi A.S., Rahim H.A., dan Asfaliza, R. 2013. Waterlogging Tolerance of Crops: Breeding, Mechanism of Tolerance, Molecular Approaches, and Future Prospects. **Biomed Res. Int.** 2013: 963525. 10.1155/2013/963525
- Alam, I., Lee, D.G., Kim, K.H., Park, C.H., Sharmin, S.A., and Lee, H. 2010. Proteome Analysis of Soybean Roots Under Waterlogging Stress at An Early Vegetative Stage. **J. Biosci.** 35, 49–62. 10.1007/s12038-010-0007-5.
- Andrianto, T.T., dan Indarto, N. 2004. **Budidaya dan Analisis Usaha Tani Kedelai**. Yogyakarta: Absolut.
- Armstrong, W.B.R., and Jackson, M.B. 1999. Formation of Aerenchyma And The Processes of Plant Ventilation In Relation

To Soil Flooding and Submergence. **Plant Biology**, vol. 1, no. 3, pp. 274–287.

Arsana, D., Yahya, S., Lontoh, A.P., dan Pane, H. 2003. Hubungan Antara Penggenangan Dini dan Potensi Redoks, Produksi Etilen, dan Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Padi (*Oryza Sativa*) Denga Sistem Tabela. **Buletin Agronomi**. 31(2) : 37-41.

Bacanamwo, M., and Purcell, L.C. 1999. Soybean Root Morphological and Anatomical Traits Associated with Acclimation to Flooding. **Crop Sci**. 39: 143–149.

Bacanamwo, M., and Purcell, L.C. 1999. Soybean Dry Matter and N Accumulation Responses to Flooding Stress, N sources and Hypoxia. **Journal of Experimental Botany** 50, 689-696.

Badan Pusat Statistik Indonesia. **Produksi Kedelai Menurut Provinsi 2011-2015**. Jakarta: Badan Pusat Statistik.

Balai Penelitian Kacang-kacangan dan Umbi-umbian. 2008. **Program Swasembada Kedelai**.

Balai Penelitian Kacang-kacangan dan Umbi-umbian. 2011. **Kedelai Varietas Grobogan**.

Balai Penelitian Kacang-kacangan dan Umbi-umbian. 2015. Varietas Grobogan dan Anjasmoro diminati Pengrajin Tempe <<http://i.litbang.pertanian.go.id>> [13 Oktober 2015].

Balerdi, C.F., Crane, J.H., dan Schaffer, B. 2003. Managing Your Tropical Fruit Grove Under Changing Watertable Levels. **Fact Sheet HS** 957, 1-5.

Bardford, K.I., and Yang, S.P. 1981. Physiological Response of Plants to Waterlogging. **Hort. Sci.** 16(1); 25-28.

Basra, A.S., and R.K. Basra. 1997. **Mechanisms of Environmental Stress Resistance In Plants**. Harwood Academic Publishers. <<http://books.google.co.id>>.

Bellaloui, N., Hu, Y., Mengistu, A., Kassem, M.A., and Abel, C.A. 2013. Effects Of Foliar Boron Application On Seed Composition, Cell Wall Boron, and Seed $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ Isotopes in Water-Stressed Soybean Plants. **Front Plant Sci.** 4:270. 10.3389/fpls.2013.00270.

Bellini, C., Pacurar, D.I., and Perrone, I. 2014. Adventitious Roots And Lateral Roots: Similarities and Differences. *Annu. Rev. Plant Biol.* 65, 639–666.doi: 10.1146/annurev-arplant-050213-035645.

Beguerisse, D., Mercedes, C.H.G., Alessandro, M.L., Mauricio, B., and Radhika, D. 2012. Compound Stress Response In Stomatal Closure: A Mathematical Model of ABA and Ethylene Interaction In Guard Cells. **BMC Systems Biology** 6:146.

Berkelaar, D. 2001. **Sistem Intensifikasi Padi (The System Of Rice Intensification-SRI)**. USA: ECHO, Inc. 17391 Durrance Rd. North Ft. Myers FL. 33917.

Bleecker, A.B., and Kende, H. 2000. **Ethylene: A Gaseous Signal Molecule In Plants** [abstrak]. Di dalam: Annual Review Cell Division Biology. Wisconsin. hlm 16. abstr no PMID: 11031228.

Budi, D.S. 2000. **Toleransi kedelai (Glycine max (L.) Merr.) Terhadap Genangan Air Statis pada Berbagai Fase**

Pertumbuhan. hlm. 207–212. Dalam V.W. Gunawan, N. Sunarlin, T. Handayani, B. Soegiarto, W. Adil, B. Priyanto, dan Suwarno (Ed.). **Prosiding Lokakarya Penelitian dan Pengembangan Produksi Kedelai di Indonesia.** Jakarta: Direktorat Teknologi Lingkungan.

Cahyadi, W. 2007. **Kedelai : Khasiat dan Teknologi.** Jakarta: Bumi Aksara.

Campbell, N. A., and Reece, J.B. 2002. **Biology Sixth Edition.** San Francisco : Pearson Education. Inc. 802-831.

Chen, X.P., Cui, Z.L., Vitousek, P.M., Cassman, K. G., Matson P. A., and Bai, J.S. 2011. Integrated Soil–Crop Management System for Food Security. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 108, 6399–6404. 10.1073/pnas.1101419108.

Conley, S., Esker, P., and Shannon, G. 2008. **Assessing flood Damage To Soybean.** University of Wisconsin Integrated Pest and Crop Management. <<http://ipcm.wisc.edu/WCMNews/tabid/53/EntryId/552/Assessing-Flood-Damage-to-Soybean.aspx>>.

Cramer. 2008. Cultivating Agriculture-Saturated and Flooded Soybean Fields. Kansas State University. **Research and Extension.** <[http:// www. sedgwick.ksu.edu/desktopmodules/viewdocument.aspx?document10=13373](http://www.sedgwick.ksu.edu/desktopmodules/viewdocument.aspx?document10=13373)>.

Dat, J., Folzer, H., Parent, C., Badot, P.M., and Capelli, N. 2006. **Hypoxiastress: Current Understanding and Perspectives.** In: Teixeira da Silva JA (Ed) *Floriculture, Ornamental and Plant Biotechnology: Advances and Topical Issues (Vol 3)*, Global Science Books, Isleworth, United Kingdom, pp664–674.

Davies, D.D. 1980. Anaerobic Metabolism and The Production of Organic Acids. In: D.D. Davies (ed.). **The biochemistry of plants** vol. 2. New York: Academic Press.

Dennis, E.S., Dolferus, R., Ellis, M., Rahman, M.Y., Wu, Hoeren, F.U., Grover, A., Ismond, K.P., Good, A.G., and W.J. Peacock. 2000. Molecular Strategies for Improving Waterlogging Tolerance In Plants. **J. Exp. Bot.** 51: 89–97.

Don, H.K., and Steve A.V. 1998. Analysis of Dissolved Methane, Ethane, and Ethylene in Ground Water by a Standard Gas Chromatographic Technique. **Journal of Chromatographic Science**, Vol. 36.

Firmanto, B.H. 2011. **Praktis Bercocok Tanam Kedelai Secara Intensif**. Bandung: Penerbit Angkasa.

Foth, H.D. 1984. **Fundamentals of Soil Science, Sixth Edition**. Jhon Willey and Sons, Inc, (Terjemahan S. Adisoemarto. Dasar-dasar Ilmu Tanah. Jakarta: Erlangga.

Fukao, T., Xu, K., Ronald, P.C., and Bailey-Serres, J. A Variable Cluster of Ethylene Response Factor-Like Genes Regulates Metabolic and Developmental Acclimation Responses To Submergence In Rice. **Plant Cell** 18, 2021–2034 (2006).

Gardner, F.P., Pearce R.B., dan Mitchell, R. L. 1991. **Fisiologi Tanaman Budidaya**. Terjemahan: Herawati Susilo. Jakarta: UI Press.

Gibberd, M.R., Gray, J.D., Cocks, P.S., and Colmer, T.D. 2001 Waterlogging tolerance among a Diverse Range of Trifolium Accessions Is Related to Root Porosity, Lateral Root Formation and 'aerotropic Rooting. **Annals of Botany** 88, 579-589.

Grichko, V.P., and Glick, B.R. 2001. Ethylene and Flooding Stress In Plants. **Plant Physio Bio Chem.** 39 (1).

Gritter, R.J. 1991. **Pengantar Kromatografi.** Edisi ke-1. Bandung: ITB.

Guang, C., Xiugui, W., Yu, L., and Wenbing, L. 2012. **Effect of Water Logging Stress On Cotton Leaf Area Index and Yield.** *Procedia Engineering* 28:202–209.

Gunawardena, A., Pearce, D., Jackson, M., Hawes, C., and Evans, D. 2001. Characterisation of Programmed Cell Death During Aerenchyma Formation induced By Ethylene Orhypoxiain Roots of Maize (*Zea mays* L.). **Planta** 212, 205-214

Gunho, J., Toshinori, M., Yukihiro, O., and Makie, K. 2008. Effect of Waterlogging On Nitrogen Fixation and Photosynthesis In Supernodulating Soybean Cultivar Kanto 100. **Plant Prod. Sci.** (11): 291–297.

Hendriyani, I.S., dan Setiari, N. 2009. Kandungan Klorofil Dan Pertumbuhan Kacang Panjang (*Vignasinensis*) Pada Tingkat Penyediaan Air Yang Berbeda. **J. Sains & Mat.** Vol. 17 No. 3, Hal 150.

Hidayat, O.D. 1985. **Morfologi Tanaman Kedelai.** Hal 73-86. Dalam S. Somaatmadja *et al.* (Eds.). Bogor: Puslitbangtan.

Hopkins, W.G., and Huner, NPA. 2008. **Introduction to Plant Physiology.** John Wiley & Sons, Inc. The University of Western Ontario.

Hossain, M., and Sarder, N.U. 2011. Mechanisms of waterlogging tolerance in wheat: Morphological and metabolic

adaptations under hypoxia or anoxia. **Australian Journal of Crops Science**. AJCS 5(9):1094-1101.

Ika, D.K., Endah, D.A., and Erma, P. 2013. Pembentukan Bintil Akar Tanaman Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) dengan Perlakuan Jerami pada Masa Inkubasi yang Berbeda. *Jurnal Sains dan Matematika* Vol. 21 (4): 103-107.

Irfan, M.S., and Hayat, Q. 2010. Physiological and Biochemical Changes In Plants Under Waterlogging. **Protoplasma** 24:3-17.

Kartasapoetra, A.G. 1991. **Pengantar Anatomi Tumbuh-Tumbuhan**. Jakarta: Rineka Cipta. Hal: 147.

Kawano, N., Ito, O., and Sakagami, J. 2009. Morphological and Physiological Responses Of Rice Seedlings To Complete Submergence (Flash Flooding). **Annals of Botany**. 103: 161-169. doi:10.1093/aob/mcn 171.

Kende, H. 1993. Ethylene Biosynthesis. *Annu. Rev. Plant Physiol.* **Plant Mol. Biol.** 44, 283–307.

Kende, H. 1998. Deepwater Rice: A Model Plant to Study Stem Elongation. **Plant Physiol.** 118: 1105–1110.

Kende, H., and E. Cohen. *In vivo* 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase activity in internodes of deep water rice: enhancement by submergence and low oxygen levels. 1987. **Plant Physiology**, vol. 84, pp. 282–286, 1987.

Kosova, K., Vitamvas, P., Prasil, I.T., and Renaut, J. 2011. Plant Proteome Changes Under Abiotic Stress—Contribution Of Proteomics Studies To Understanding Plant Stress Response. **J Proteom** 74:1301–1322.

Li, R., Guo, P., Baum, M., Grando, S., and Ceccarelli, S. 2006. Evaluation of Chlorophyll Content and Fluorescence Parameters As Indicators of Drought Tolerance in Barley. **Agricultural Sciences in China**, 5, 751—757.

Linkemer, G., Board, J.E., and Musgrave, M.E. 1998. Waterlogging Effect on Growth And Yield Component In Late-Planted Soybean. **Crop Sci.** (38): 1576–1584.

Lizada, M.C.C., and Yang, S.F. 1979. A Simple Sensitive Assay for 1-Aminocyclopropane-1-Carboxylic Acid. **Anal. Biochem.** 100:140-145.

Lorenz, O., and Maynard, D. 1988. **Handbook for Vegetable Growers**. New York : University of California.

Malik, A.I, Colmer, T.D., Lambers, H., and Schortemeyer, M. 2001. Changes Inphysiological and Morphological Traits of Roots and Shoots of Wheat In Response to Different Depths of Waterlogging. **Australian Journal of Plant Physiology** 28, 1121-1131.

Marschner, H. 1986. **Mineral Nutrition in Higher Plants**. Academic Press Inc, London Ltd. 674p.

Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. second edition. **Annals of Botany** 889pp. London: Academic Press (paperback).

Mergemann, H., and Sauter, M. 2000. Ethylene Induces Epidermal Cell Death at The Site of Adventitious Root emergencein Rice. **Plant Physiology** 124, 609-614.

Michael, Agustinus – detikfinance. 2016. **Ini Kendala Bagi Importir Jalankan Aturan Serap Kedelai Lokal**. <[http://finance.detik.com/read/2016/01/05/200604/3111431/1036/ini-kendala-bagi-importir-jalankan-aturan-serap-kedelai_lokal](http://finance.detik.com/read/2016/01/05/200604/3111431/1036/ini-kendala-bagi-importir-jalankan-aturan-serap-kedelai-lokal)> [16 Februari 2016].

Morita, S., Abe, J., Furubayashi, S., Lux, A., and Tajima, R. 2004. Effect of waterlogging on root system of soybean. New Directions for a Diverse Planet: **Proceedings of the 4th International Crop Science Congress**. Brisbane, Australia, 26 September–1 October 2004. <http://www.cropscience.org.au/icsc2004/poster/2/7/4/743_morita.htm> [13 Juli 2016].

Najeeb, U., Bange, M.P., Tan, D.K.Y., and Atwell, B.J. 2015. Consequences of Waterlogging In Cotton and Opportunities for Mitigation of Yield Losses. **Review: Special Issue: Plant Responses to Low-Oxygen Environments**. AoB PLANTS 7: plv080; doi:10.1093/aobpla/plv080.

Notohadiprawiro, T. 1989. Pola Kebijakan Pemanfaatan Sumber Daya Lahan Basah, Rawa, dan Pantai. **Seminar Ilmiah Dies Natalis ke-25 Universitas Jember 14–15 Juli 1989**. <<http://soil.faperta.ugm.ac.id/tj/1981/1989%20pola.pdf>>.

Oosterhuis, D.M., H.D., Scott, R.E., Hampton., and Wullschleger, S.D. 1990. Physiological Response of Two Soybean (*Glycine max* L. Merr.) Cultivars to Short-term Flooding. Environ. **Exp. Bot.** 30: 85–92.

Panji, T. 2016. Pengertian dan Pembentukan Bintil Akar. <www.edubio.info> [10 Juli 2016].

Peeters, A.J.M., Cox, C.H., Benschop, J.J., Vreeburg, R.A.M., Bou, J., and Voeselek, L.A.C.J. 2002. Submergence Research

Using *Rumex Palustris* As A Model: Looking Back And Going Forward. **J. Exp. Bot.** 53:391-398.

Pezeshki, S.R.. 1996. Plant Response to Flooding. p. 289–321. In: R.E. Wilkinson (Ed.). **Plant-Environment Interactions**. New York: Marcel Dekker Inc.

Pezeshki, S.R. 2001. Wetland Plant Responses to Soil Flooding. **Environmental and Experimental Botany** 46, 299-312.

Prasastyawati, D., dan Rumawas, F. 1980. Perkembangan Bintil Akar *Rhizobium Javonicum* pada Kedelai. **Bul. Agron.** 21(1): 4.

Prihatman, K. 2000. **Tentang Budidaya Pertanian: Kedelai**. Deputi Menegristek Bidang Pendayagunaan dan Pemasyarakatan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi.

Prochazkova, D., and Wilhelmova, N. 2007. Leaf Senescence and Activities of The Antioxidant Enzymes. **Review**. *Biologia Plantarum* 51 (3): 401-406.

Rhine, M.D. 2006. Reaction of Soybean Cultivare to Waterlogged Soil. University Missouri-Columbia Electronic **Thesis and Dissertation** **Archieves**. <<http://edt.missouri.edu/fall2006/Thesis/RhineM-030707-T5258/research.pdf.2006>> [2 February 2016].

Roberts, J.K.M., Callis, J., Wemmer, D., Walbot, V., and Jardetzky, O. 1984. Mechanism of Cytoplasmic pH Regulation In Hypoxic Maize Root Tips And Its Role In Survival Under Hypoxia. **Proc Natl Acad Sci USA**: 81: 3379- 3383.

Rukmana, R., dan Y. Yuniarsih.1996. **Kedelai Budidaya dan Pascapanen**. Yogyakarta: Kanisius. 92 hlm.

- Salisbury, F.B. and Ross, C.W. 1995. **Plant Physiology**. New York: Elsevier Publishing Company.
- Salisbury, F.B., dan Ross, C.W. 1992. Fisiologi Tumbuhan Jilid 3. Terjemahan oleh Diah R. Lukman dan Sumaryono. 1995. Bandung: Penerbit ITB.
- Scott, H.D., De Angulo, J., Daniels, M.B., and Wood, L.S. 1989. Flood Duration Effect on Soybean Growth and Yield. **Agronomy**. 81: 631–636.
- Serdar, M., Neslihan, S.G., Nuran, D., and Seher, G. 2011. Changes In Anatomical and Physiological Parameters of Soybean Under Drought Stress. **Turk J Bot** 35 (2011) 369-377.
- Setter, T.L., and Laureles, E.V. 1996. The Beneficial Effect of Reduced Elongation Growth on Submergence Tolerance In Rice. **J. Exp.Bot.** 47, 1551-1559.
- Shannon, J.G., Stevens, W.E., Wiebold, W.J., McGraw, R.L., Sleper, D.A., and Nguyen, H.T. 2005. Breeding Soybeans For Improved Tolerance to Flooding. **Proc. 35th Soybean Seed Res. Conf. Am. Seed**. Chichago: Trade Assoc.
- Shimamura, S., Mochizuki, T., Nada, Y., and Fukuyama, M. 2003. Formation and Function of Secondary Aerenchyma In Hypocotyl, Roots and Nodules of Soybean (*Glycine Max*) Under Flooded Condition. **Plant Soil**: 351–359.
- Sitompul, S.M., dan Guritno, B. 1995. **Analisis Pertumbuhan Tanaman**. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Smethurst, C.F., Garnet, T., and Shabala, S. 2005. Nutrition and Chlorophyll Fluorescence Responses of Lucerne (*Medicago*

Sativa) to Waterlogging Subsequent Recovery. **Plant Soil**, 270 (1-2): 31-45.

Somaatmadja. 1985. **Peningkatan Produksi Kedelai Melalui Perakitan Varietas**, hal 243-259. Dalam: S. Somaatmadja, M. Ismunadji, Sumarno, M. Syam, S.O. Manurung dan Yuswadi (Eds.). *Kedelai*. 52. Bogor: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan.

Steffens, B., Wang, J., and Sauter, M. 2006. Interactions Between Ethylene, Gibberellin and Abscisic Acid regulate emergence and Growth Rate of Adventitious Roots In Deepwater rice. **Planta** 223,604-612.

Suprpto, H. 1993. **Bertanam Kedelai**. Jakarta: Penebar Swadaya.

Suprpto, H. 1998. **Bertanam Kedelai**. Jakarta: Penebar Swadaya.

Syafi, S. 2008. Respons Morfologis dan Fisiologis Bibit Berbagai Genotipe Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.) terhadap Cekaman Kekeringan. **Tesis**. Bogor: IPB.

Taiz, L., and Zeiger, E. 1998. **Plant Physiology 2nd ed.** USA: Sinauer Associates, Inc. Pub. Sunderland, MA. p. 523.

Taiz, L., and Zeiger, E. 2010. **Plant physiology**. 5th ed. USA: Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.

Thomas, J.M.G., Boote, K.J., Allen, L.H., Gallo-Meagher, M., Davis, J.M. 2003. Elevated Temperature and Carbon Dioxide Effects On Soybean Seed Composition and Transcript Abundance. **Crop Sci**. 43, 1548–1557. 10.2135/cropsci2003.154.

Ting, I. 1982. **Plant Physiology**. Sydney: AddisonWesley Publishing Company, Ontario.

Titik, S., dan Rahmat, P.A. 2011. Bentuk Sel Epidermis, Tipe dan Indeks Stomata 5 Genotipe Kedelai pada Tingkat Naungan Berbeda. **Jurnal Biologi Indonesia** 7 (1): 67-79 (2011).

Ulvskov, P., and Tom, H.N. 1992. Cytokinins and Leaf Development In Sweet Pepper (*Capsicum annuum* L.). **Planta** Volume 188, Issue 1, pp 78–84.

Vandeleur, R., Niemietz, C., Tilbrook, J., and Tyerman, S.D. 2005. Roles of Aquaporins In Root Responses to Irrigation. **Plant and Soil** 274, 141-161.

Van Doren, D.M., and Reicosky, D.C. 1987. Tillage and Irrigation. p. 391-428. In: J.R. Wilcox (Ed) Soybeans: Improvement, production and uses. Second Edition, ASA Pub. **Agronomy Series**, No. 16. Madison, Wisconsin, USA, dalam Sumarno dan A. G. Manshuri, 2007. Persyaratan Tumbuh dan Wilayah Produksi Kedelai di Indonesia. Bogor, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan.

Van Toai, T.T., Beuerlein, A.F., Scjimit thenner, S.K., and Martin, S.K.St. 1994. Genetic Variability for Flooding Tolerance in Soybeans. **Crop Sci**. 34: 1112–1115.

Van Toai, T.T., Martin, S.K.St., Chase, K., Boru, G., Schnipke, V., Schmitthenner, A.F., and Lark, K.G. 2001. Identification of A QTL Associated with Tolerance of Soybean to Soil Waterlogging. **Crop Sci**. 41:1247–1252.

Van Toai, T.T., Yang, Y., Ling, P., Boru, G., Karica, M., Roberts, V., Hua, D., and Bishop, B. 2003. **Monitoring Soybean Tolerance to Flooding Stress by Image Processing Technique.** p. 43–51. In T.T. Van Toai (Ed.). *Digital Imaging and Spectral Techniques: Applications to precision agriculture and crop physiology.* ASA Special Publication No. 66. The American Society of Agronomy, Madison, WI.

Verstraeten, I., Sebastien, S., and Danny, G. 2014. Hypocotyl Adventitious Root Organogenesis Differs From Lateral Root Development. **Review Article.** *Front Plant Sci.* 2014; 5: 495.

Visser, E., Nabben, R., Gerard, M., Bogemann., Cornelis, W.P.M., Blom, C., and Laurentius A.C.J. Voesenek. 1996. Ethylene Accumulation In Waterlogged *Rumex* Plants Promotes Formation of Adventitious Roots. **Journal of Experimental Botany**, Vol. 47, No. 296, pp. 403-410.

Visser, E., Nabben, R., Blom, C., Voesenek, L. 1997. Elongation by Primary Lateral Roots and Adventitious Roots during Conditions of Hypoxia and High Ethylene Concentrations. **Plant, Cell and Environment** 20, 647-653.

Visser, E.J.W., and Voesenek, L.A.C.J. 2004. Acclimation to Soil Flooding—Sensing and Signal-Transduction. **Plant and Soil.** 254:197- 214.

Voesenek, L., Banga, M., Thier, R., Mudde, C., Harren, F., Barendse, G., and Blom, C. 1993. Submergence-induced Ethylene Synthesis, Entrapment, and Growth In Two Plant Species with Contrasting Flooding Resistances. **Plant Physiology** 103,783-791.

Waqas, M., Khan, A.L., Kang, S.M., Kim, Y.H., Lee, I.J. 2014. Phytohormone-Producing Fungal Endophytes and

Hardwood-Derived Biochar Interact to Ameliorate Heavy Metal Stress In Soybeans. **Biol. Fertil. Soils** 50, 1155–1167. 10.1007/s00374-014-0937-4.

Wang, K.L.C., Li, H., and Ecker, J.R. 2002. Ethylene Biosynthesis and Signalling Network. **The Plant Cell**: 131-151.

Wilkins, M.B. 1989. **Fisiologi Tumbuhan**. Cetakan Kedua. Jakarta: Bina Aksara.

Xia, J.H, and Saglio, P.H. 1992. Lactic Acid Efflux As A Mechanism of Hypoxic Acclimation of Maize Root Tips To Anoxia. **Plant Physiol** 100: 40- 46.

Yang, S.F., and Hoffman, N.E. 1984. Ethylene Biosynthesis and Its Regulation in Higher-Plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 35, 155–189.

Yamamoto, F., Sakata, T., and Terazawa, K. 1995. Physiological, Morphological and Anatomical response of *Fraxinus mandshurica* Seedlings to Flooding. **Tree Physiology** 15, 713-719.

Yazid, E. 2005. **Kimia Fisika Untuk Paramedis**. Yogyakarta: Penerbit C.V. Andi Offset.

Yuwono, N.W. 2006. **Pupuk Hayati** Edisi 2. Yogyakarta: UGM.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis adalah mahasiswa jurusan Biologi fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) ITS, memiliki nama lengkap Vita Siti Fatimah, sehari-hari akrab di panggil Vita. Pada 26 Januari 1994 penulis dilahirkan di kota dengan julukan pudak, Gresik. Penulis menyelesaikan pendidikan Tingkat Dasar di SDN Dahanrejo Kebomas Gresik (2006), Madrasah Tsanawiyah (Mts) di Mamba'us Sholihin Suci Manyar Gresik (2009) serta Madrasah Aliyah (MA) di tempat yang sama pada tahun 2012. Penulis diterima meneruskan *study* di kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur kemitraan program PBSB (Program Beasiswa Santri Berprestasi) Kementerian Agama RI dengan menyandang identitas mahasiswa NRP 1512100701. Selama menempuh *study* di ITS, penulis aktif diberbagai organisasi, salah satunya menjadi pengurus organisasi CSSMoRA ITS yaitu organisasi penerima program PBSB yang berada di kampus ITS. Penulis pernah menjadi staff departemen HUMAS dan staff departemen HUBLU CSSMoRA ITS serta menjabat sebagai *Steering Commitee* (SC) kaderisasi mahasiswa baru 2014. Sekretaris dan Bendahara Departemen DAGRI CSSMoRA ITS periode 2015-2016 dan staff departemen kaderisasi LDJ Biologi ITS. Penulis juga pernah menerima penghargaan melalui PKM (Program Kreativitas Mahasiswa) didanai DIKTI pada tahun 2015 di bidang kewirausahaan. Terakhir, Penulis melaksanakan Tugas Akhir di laboratorium Biosains dan Teknologi Tumbuhan dengan tema fisiologi cekaman.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”