

**PENGARUH CEKAMAN LOGAM BERAT KADMIUM (Cd) TERHADAP
PERTUMBUHAN BEBERAPA VARIETAS KACANG HIJAU
(*Vigna radiata* L.)**

SKRIPSI

Oleh:

PUTRI NUR OKTAVIA

NIM. 13620039



JURUSAN BIOLOGI

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM

MALANG

2018

**PENGARUH CEKAMAN LOGAM BERAT KADMIUM (Cd) TERHADAP
PERTUMBUHAN BEBERAPA VARIETAS KACANG HIJAU
(*Vigna radiata* L.)**

SKRIPSI

**Diajukan Kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang
untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:
PUTRI NUR OKTAVIA
NIM. 13620039**

**JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN) MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2018**

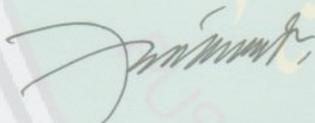
**PENGARUH CEKAMAN LOGAM BERAT KADMIUM (Cd) TERHADAP
PERTUMBUHAN BEBERAPA VARIETAS KACANG HIJAU
(*Vigna radiata* L.)**

SKRIPSI

Oleh:
PUTRI NUR OKTAVIA
NIM. 13620039

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Tanggal 9 Januari 2018

Dosen Pembimbing I



Dr. Evika Sandi Savitri, M.P

NIP.19741018 200312 2 002

Dosen Pembimbing II



Mujahidin Ahmad, M.Sc

NIP.1986 05122016 08011060

Mengetahui,

Ketua Jurusan Biologi



Romaidi, M.Si., D.Sc

NIP. 19810201 200901 1 019

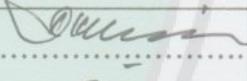
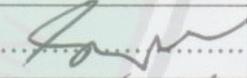
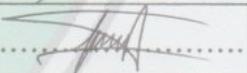
**PENGARUH CEKAMAN LOGAM BERAT KADMIUM (Cd) TERHADAP
PERTUMBUHAN BEBERAPA VARIETAS KACANG HIJAU
(*Vigna radiata* L.)**

SKRIPSI

Oleh:
PUTRI NUR OKTAVIA
NIM. 13620039

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

Tanggal 9 Januari 2018

Penguji Utama	<u>Dr. H. Eko Budi Minarno, M.Pd</u> NIP. 19630114 200003 2 001	
Ketua Penguji	<u>Suyono, M.P</u> NIP. 19671113 199402 2 001	
Sekretaris Penguji	<u>Dr. Evika Sandi Savitri, M.P</u> NIP.19741018 200312 2 002	
Anggota Penguji	<u>Mujahidin Ahmad, M.Sc</u> NIP.1986 05122016 08011060	

Mengetahui,

Ketua Jurusan Biologi



Romaidi, M.Si., D.Sc

NIP. 19810201 200901 1 019

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

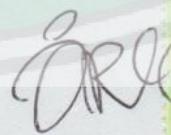
Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Putri Nur Oktavia
NIM : 13620039
Jurusan : Biologi
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Skripsi : Pengaruh Cekaman Logam Berat Kadmium (Cd) terhadap
Pertumbuhan Beberapa Varietas Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 9 Januari 2018

Yang membuat pernyataan,




Putri Nur Oktavia

NIM. 13620039

MOTTO

MAN JADDA WAJADA



HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim....

Karya sederhana ini akan kupersembahkan kepada:

1. Kedua orang tuaku ayah Abdul Wachid, S.H. dan ibu Siti Muchofifah yang selalu menyayangiku, selalu memberikan dorongan semangat, melantunkan do'a untukku setiap saat, dan dengan penuh kesabaran selalu memberi motivasi demi kelancaran dan kesuksesanku untuk meraih cita-cita.
2. Kakakku mas Nahrudin dan mbak Wachda Risalah yang selalu aku sayangi dan selalu memberikan dukungan kepadaku secara tidak langsung serta keponakanku Kenzo Rama Haidar Ar-Rasyid yang selalu membuatku tertawa. Keluargaku yang ada di Sidoarjo yang selalu memberi semangat untuk kesuksesanku.
3. Dining Maziyah sepupuku dan teman sekamar di Malang yang selalu support aku dan selali mendengarkan curhatanku.
4. Moh. Nukman yang selalu sabar mendukung, menyemangati, dan setia menemani selama 3 tahun ini.
5. Tim skripsi "SKRIPSWEET" dan F3 yang selalu berjuang bersama dalam suka maupun duka yakni Henita Silmi Khavata, Novivy Ratna Sari, dan Nabila Farah D.
6. Nuriya Masalahah sahabat terbaikku yang selalu mendengarkan curhatan dan terus mendukungku selama 7 tahun ini.
7. Dan untuk seluruh keluarga Biologi 13 dan keluarga besar yang ada di Malang yang tidak bisa tersebutkan satu persatu, yang selalu menemani, memberi dukungan, dan memberikan motivasi selama mengerjakan tugas akhir ini dan semoga persahabatan ini tidak akan putus.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah yang telah dilimpahkan-Nya sehingga skripsi dengan judul “**Pengaruh Cekaman Logam Berat Kadmium (Cd) terhadap Pertumbuhan Beberapa Varietas Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)**” ini dapat diselesaikan dengan baik. Sholawat serta salam semoga tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah mengantarkan manusia ke jalan kebenaran.

Penyusunan skripsi ini tentu tidak lepas dari bimbingan, bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Abdul Haris, M.Ag, selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Ibu Dr. Sri Harini, M.Si, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Bapak Romaidi, M.Si., D.Sc, selaku Ketua Jurusan Biologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Ibu Dr. Evika Sandi Savitri, M.P dan Bapak Mujahidin Ahmad, M.Sc, selaku dosen pembimbing yang dengan penuh keikhlasan, dan kesabaran telah memberikan bimbingan, pengarahan dan motivasi dalam penyusunan skripsi ini.
5. Ibu Ir. Liliek Harianie, M.P, selaku dosen wali yang telah memberikan saran, nasehat dan dukungan sehingga penulisan skripsi dapat terselesaikan.
6. Dr. Eko Budi Minarno, M.Pd dan Suyono, M.P, selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun sehingga membantu terselesainya skripsi ini.
7. Seluruh dosen, Laboran Jurusan Biologi dan Staf Administrasi yang telah membantu dan memberikan kemudahan, terimakasih atas semua ilmu dan bimbingannya.
8. Kedua orang tuaku Abdul Wachid, S.H dan Siti Muchofifah, yang selalu memberikan do'a, semangat, serta motivasi kepada penulis sampai saat ini.

9. Teman-teman Biologi A dan B, terimakasih telah menjadi sahabat dan keluarga selama 4 tahun perkuliahan, dan seluruh teman-teman Jurusan Biologi angkatan 2013, yang berjuang bersama-sama menyelesaikan studi sampai memperoleh gelar S.Si
10. Semua pihak yang ikut membantu dan memberikan dukungan baik moril maupun materiil dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberi manfaat bagi penulis khususnya, dan bagi para pembaca pada umumnya. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan ilmu yang bermanfaat dan melimpahkan Rahmat dan Ridho-Nya. Amin.

Malang, 9 Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGAJUAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
ABSTRAK	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	7
1.3 Tujuan Penelitian.....	7
1.4 Hipotesis Penelitian.....	7
1.5 Batasan Masalah.....	8
1.6 Manfaat Penelitian.....	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1 Botani Tanaman Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.).....	10
2.1.1 Klasifikasi Tanaman Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.)	10
2.1.2 Morfologi Tanaman Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.)	10
2.1.3 Syarat Tumbuh Tanaman Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.)	14
2.2 Varietas Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.).....	18
2.2.1 Keragaman Genetik	22
2.3 Fisiologi Pertumbuhan Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.)	24

2.4 Cekaman	27
2.5 Logam Berat	28
2.5.1 Karakteristik Kadmium (Cd)	29
2.5.2 Kadmium (Cd) dalam Tanah	32
2.5.3 Kadmium (Cd) dalam Tanaman	33
2.6 Toksisitas Kadmium (Cd) terhadap Tanaman	34
2.6.1 Struktur Klorofil dan Pengaruh Cd dalam Pembentukan Klorofil	37
2.7 Mekanisme Ketahanan Tanaman terhadap Cekaman Kadmium (Cd)	41
2.8 Penelitian tentang Cekaman Kadmium (Cd)	44
BAB III METODE PENELITIAN	46
3.1 Waktu dan Tempat	46
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	46
3.2.1 Alat Penelitian	46
3.2.2 Bahan Penelitian	47
3.3 Rancangan Penelitian	47
3.4 Prosedur Penelitian	49
3.4.1 Persiapan Media Tanam	49
3.4.2 Penanaman Benih	49
3.4.3 Pemupukan	49
3.4.4 Pemberian Perlakuan	50
3.4.5 Pemeliharaan	52
3.5 Parameter Pengamatan Pertumbuhan Kacang Hijau	54
3.6 Teknik Analisis Data	57
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	58
4.1 Pengaruh Kadar Cd terhadap Pertumbuhan Tanaman Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.)	58
4.1.1 Pengaruh Kadar Cd pada Tinggi Tanaman dan Jumlah Daun Tanaman Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.)	58
4.1.2 Pengaruh Kadar Cd pada Rata-rata Luas Daun dan Kadar Klorofil Daun Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.)	60

4.1.3 Pengaruh Kadar Cd pada Berat Kering Akar dan Berat Kering Total Tanaman Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.)	62
4.1.4 Pengaruh Kadar Cd pada Jumlah Bunga dan Jumlah Polong Tanaman Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.)	64
4.1.5 Pengaruh Kadar Cd pada Berat Biji dan Kandungan Cd dalam Biji Tanaman Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.)	66
4.2 Pengaruh Varietas terhadap Pertumbuhan Tanaman Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.)	68
4.2.1 Pengaruh Varietas pada Tinggi Tanaman dan Jumlah Daun Tanaman Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.)	68
4.2.2 Pengaruh Varietas pada Rata-rata Luas Daun dan Kadar Klorofil Daun Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.)	69
4.2.3 Pengaruh Varietas pada Berat Kering Akar dan Berat Kering Total Tanaman Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.)	70
4.2.4 Pengaruh Varietas pada Jumlah Bunga dan Jumlah Polong Tanaman Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.)	71
4.2.5 Pengaruh Varietas pada Berat Biji dan Kandungan Cd dalam Biji Tanaman Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.)	73
4.3 Pengaruh Interaksi Varietas Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.) dan Kadar Cd terhadap Pertumbuhan Tanaman (<i>Vigna radiata</i> L.)	74
4.3.1 Pengaruh Interaksi Varietas dan Kadar Cd pada Tinggi Tanaman dan Jumlah Daun Tanaman Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.)	74
4.3.2 Pengaruh Interaksi Varietas dan Kadar Cd pada Rata-rata Luas Daun dan Kadar Klorofil Daun Tanaman Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.) ...	75
4.3.3 Pengaruh Interaksi Varietas dan Kadar Cd pada Berat Kering Akar dan Berat Kering Total Tanaman Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.)	75
4.3.4 Pengaruh Interaksi Varietas dan Kadar Cd pada Jumlah Bunga dan Jumlah Polong Tanaman Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.)	77
4.3.5 Pengaruh Interaksi Varietas dan Kadar Cd pada Berat Biji dan Kandungan Cd dalam Biji Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.)	78

4.4 Indeks Sensitivitas Tanaman Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.) terhadap Kadar Cd	81
4.5 Skoring Tanaman Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.) terhadap Toleransi Kadar Cd	83
4.6 Kajian Keislaman terkait Hasil Penelitian	84
BAB V PENUTUP	86
5.1 Kesimpulan	86
5.2 Saran.....	86
DAFTAR PUSTAKA	87
LAMPIRAN.....	95



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Hasil Uji Duncan Taraf 5% Pengaruh Kadar Cd pada Tinggi Tanaman dan Jumlah Daun	58
Tabel 4.2 Hasil Uji Duncan Taraf 5% Pengaruh Kadar Cd pada Rata-rata Luas Daun dan Kadar Klorofil Daun	60
Tabel 4.3 Hasil Uji Duncan Taraf 5% Pengaruh Kadar Cd pada Berat Akar dan Berat Kering Total Tanaman	62
Tabel 4.4 Hasil uji Duncan Taraf 5% Pengaruh Kadar Cd pada Jumlah Bunga dan Jumlah Polong.....	64
Tabel 4.5 Hasil Uji Duncan Taraf 5% Pengaruh Kadar Cd pada Berat Biji dan Kandungan Cd dalam Biji	67
Tabel 4.6 Hasil Uji Duncan Taraf 5% Pengaruh Varietas Kacang Hijau pada Rata-rata Luas Daun dan Kadar Klorofil Daun	69
Tabel 4.7 Hasil Uji Duncan Taraf 5% Pengaruh Varietas Kacang Hijau pada Berat Kering Akar dan Berat Kering Total Tanaman	70
Tabel 4.8 Hasil Uji Duncan Taraf 5% Pengaruh Varietas Kacang Hijau pada Jumlah Bunga dan Jumlah Polong	72
Tabel 4.9 Hasil Uji Duncan Taraf 5% Pengaruh Varietas Kacang Hijau pada Berat Biji dan Kandungan Cd dalam Biji	73
Tabel 4.10 Hasil Uji Duncan Taraf 5% Interaksi Varietas dan Kadar Cd pada Tinggi Tanaman	74
Tabel 4.11 Hasil Uji Duncan Taraf 5% Interaksi Varietas dan Kadar Cd pada Berat Kering Akar	76
Tabel 4.12 Hasil Uji Duncan Taraf 5% Interaksi Varietas dan Kadar Cd pada Jumlah Bunga	77
Tabel 4.13 Hasil Uji Duncan Taraf 5% Interaksi Varietas dan Kadar Cd pada Berat Biji dan Kandungan Cd dalam Biji	78
Tabel 4.14 Indeks Sensitivitas Tanaman Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.) terhadap Kadar Cd	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Morfologi kacang hijau (<i>Vigna radiata</i> (L.) Wilczek)	14
Gambar 2.2 Molekul Klorofil	38
Gambar 2.3 Struktur Klorofil a dan Klorofil b	39
Gambar 2.4 Struktur Hemoglobin dan Struktur Klorofil	39
Gambar 4.1 Skoring 1 dan skoring 2 tanaman kacang hijau (<i>Vigna radiata</i> L.) pada umur 4 minggu setelah tanam	83



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Deskripsi Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.)	95
Lampiran 2. Hasil Analisis Tanah sebagai Media Tanam pada Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.)	98
Lampiran 3. Data Hasil Pengamatan Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.).....	99
Lampiran 4. Hasil Analisis Data ANOVA dan Uji Lanjut Duncan	103
Lampiran 5. Dokumentasi Pengamatan pada Tanaman Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.)	116
Lampiran 6. Perhitungan Indeks Sensitivitas Toksisitas Cd	123

ABSTRAK

Putri Nur Oktavia. 2018. Pengaruh Cekaman Logam Berat Kadmium (Cd) terhadap Pertumbuhan Beberapa Varietas Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.). Skripsi, Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: Dr. Evika Sandi Savitri, M.P dan Mujahidin Ahmad, M.Sc.

Kata kunci: Varietas Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.), Kadar Cd

Kacang hijau (*Vigna radiata* L.) merupakan tanaman Leguminosae yang cukup penting di Indonesia. Kacang hijau memiliki sumber protein nabati diantaranya mineral, pro vitamin A dan vitamin B kompleks, di samping itu juga kaya asam askorbat (vitamin C). Produksi kacang hijau di Indonesia setiap tahun terus menurun, sehingga pemerintah melakukan impor untuk memenuhi kebutuhan masyarakat yang tinggi. Salah satu penyebab menurunnya produksi kacang hijau yaitu pencemaran tanah. Di sebagian besar wilayah Indonesia, telah terjadi pencemaran tanah yang disebabkan oleh Cd. Pencemaran tersebut berasal dari pembuangan limbah industri, pertambangan, aplikasi pupuk kimia dan pestisida kimia secara , serta pembuangan limbah rumah tangga ke dalam aliran sungai. Cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan produksi kacang hijau pada tanah yang telah tercemar Cd adalah dengan menggunakan varietas kacang hijau yang toleran terhadap kadar Cd.

Penelitian ini menggunakan RAL dengan 2 faktor yaitu varietas kacang hijau (Kenari, Vima 1, dan Vima 2) dan konsentrasi Cd (0, 0.25, 0.50 dan 0.75 ppm) dengan 12 kombinasi perlakuan dan 3 kali ulangan. Data yang diperoleh dianalisis dengan ANOVA, kemudian diuji lanjut menggunakan uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) dengan taraf signifikansi 5%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi Cd antara 0.25-0.75 ppm menyebabkan terhambatnya tinggi tanaman, jumlah daun, rata-rata luas daun, kadar klorofil, berat kering total tanaman, berat kering akar, jumlah bunga, jumlah polong, dan berat biji pada tanaman kacang hijau. Interaksi varietas Kenari dengan konsentrasi Cd 0.50 ppm pada berat biji menunjukkan adanya toleransi terhadap kadar Cd. Sedangkan hasil indeks sensitivitas kacang hijau terhadap kadar Cd menunjukkan bahwa varietas Kenari dan Vima 1 termasuk kategori toleran dan Vima 2 termasuk kategori peka.

ABSTRACT

Putri Nur Oktavia. 2018. The Effect of Heavy Metal Cadmium (Cd) Stress on Growth of Some Mungbean Varieties (*Vigna radiata* L.). Thesis, Department of Biology Faculty of Science and Technology State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisors: Dr. Evika Sandi Savitri, M.P and Mujahidin Ahmad, M.Sc.

Keywords: Variety of Mungbeans (*Vigna radiata* L.), Level of Cd

Mungbeans (*Vigna radiata* L.) is an important Leguminosae plant in Indonesia. Mungbeans have a source of vegetable protein such as minerals, pro vitamin A and vitamin B complex, in addition it is also rich of ascorbic acid (vitamin C). The production of green beans in Indonesia continuously decrease every year, so the government imports to needs of the community. One of the factors of decreasing mungbean production is soil contamination. In most parts of Indonesia, there has been soil contamination caused by Cd. The pollution comes from industrial waste disposal, mining, chemical fertilizer application and chemical pesticide, and the disposal of household waste into the river. The way to increase the production of mungbeans on Cd contaminated soil is to use mungbean varieties that are tolerant to Cd levels.

This research used RAL with 2 factors: mungbean varieties (Kenari, Vima 1, and Vima 2) and Cd concentration (0, 0.25, 0.50 and 0.75 ppm) with 12 treatment combinations and 3 replications. The data obtained were analyzed by ANOVA, then tested using DMRT (Duncan Multiple Range Test) with 5% significance level.

The results showed that the concentration of Cd between 0.25-0.75 ppm caused stunted plant height, leaf number, average leaf area, chlorophyll content, total dry weight of plant, root dry weight, amount of flower, pod number, and seed weight in mungbean plant. The interaction of Kenari varieties with Cd 0.50 ppm concentration in seed weight indicates tolerance to Cd content. While the results of sensitivity index of mungbeans to the level of Cd showed that the varieties of Kenari and Vima 1 included tolerant category and Vima 2 included sensitive category.

مستخلص

فوتري نور أكتافيا. 2018. آثار قبض معدن كاديوم على نشأة بعض فنون فول الأخضر (فيغنا راديباتال). بحث تكميلي، شعبة علم الحياء، كلية العلوم و التكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. مشرفان: الدكتور إيفيكا ساندي سافيتري الماجستير و مجاهدين أحمد الماجستير.

الكلمة المفتاح: فنون فول الأخضر (فيغنا راديباتال)، مقدار سي دي

فول الأخضر (فيغنا راديباتال) هي زرع فيصلة القرنية مهم جدت في إندونيسيا. لها الموارد البروتين النباتي، منهم: المعدن و برو فيتامين أ و فيتامين ب مركب و غيرها لها حامض الأسكورات (فيتامين سي) إنتاج فول الأخضر في إندونيسيا كل عام ينخفض انخفا شديدا حتى فعلت الحكومة إندونيسيا الإستيراد لسد حاجة مجتمعهم جميعا. واحد من أسبابها هو تلويث الأرض. في بعض منطقة إندونيسيا نتج هذا التلويث عن سي دي. هذا التلويث من قمامات المصانع و قمامات المناجم و استخدام سماد الصناعي و مبيد الصناعي كثيرا و قمامات البيوت إلى سيل النهر. أما الطريق الذي يستطيع أن يحسن إنتاج فول الأخضر في الأرض التلوث هي استخدام فنون فول الأخضر الذي يستطيع أن يسلم مقدار سي دي.

استخدم هذا البحث بطريقة تصميم عشوائي الكامل يعاملين، هما: فنون فول الأخضر (كيناري) فيما الأول و فيما الثاني) و مقدار سي دي (0 و 0.25 و 0.50 و 0.75 ف.ف.م -الأجزاء من مليون- يستخدم ب 12 تركيبا و 3 تكرارا. ثم تحليل البيانات بطريقة تحليل فاريان ثم يفعل التحريات بدنكان اختيار مجموعة متعددة بخمسة في المائة.

أما نتائج البحث فهي أن مقدار سي دي بين 0.25 و 0.75 ف.ف.م -الأجزاء من مليون- يسبب ابتداء نشأة الزرع و عدد الأوراق و عدد الجرب و وزن البذيرات في فول الأخضر. ثم أن تعامل بين كيناري و مقدار سي دي 0.50 ف.ف.م -الأجزاء من مليون- في وزن البذيرات دل على التسامح بينها. و أما نتائج مؤشر الحساسية على مقدار سي دي دل على أن بين فن كيناري و فيما الأول هي لمتسمح، و بين فن كيناري و فيما الثاني هي الحساسة.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Banyak ayat-ayat Al-Qur'an yang menjelaskan tentang tumbuh-tumbuhan, di antaranya tentang penyebutan nama tumbuhan, kebutuhan tumbuhan akan air, pengaruh tanah terhadap tumbuhan, zat klorofil dalam tumbuhan maupun tentang perkembangan tumbuh-tumbuhan (Hendri, 2008). Hal ini menunjukkan bahwa apa yang dibicarakan oleh ilmu pengetahuan mengenai tumbuh-tumbuhan sebenarnya telah diisyaratkan dalam Al-Qur'an 14 abad yang lalu sebelum ilmu pengetahuan berkembang. Allah SWT berfirman dalam QS. An-Nahl ayat 11 yaitu:

يُنَبِّتُ لَكُمْ بِهِ الزَّرْعَ وَالزَّيْتُونَ وَالنَّخِيلَ وَالْأَعْنَبَ وَمِنْ كُلِّ الثَّمَرَاتِ ۚ إِنَّ
فِي ذَلِكَ لَآيَةً لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ ۝ ۱۱

Artinya: “Dia menumbuhkan bagi kamu dengan air hujan itu tanam-tanaman, zaitun, korma, anggur, dan segala macam buah-buahan. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar ada tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang memikirkan” (QS. An-Nahl: 11).

Ayat tersebut di atas menunjukkan bahwa Allah SWT telah menumbuhkan segala macam tanaman dari air. Hal ini menunjukkan adanya kekuasaan yang dimiliki oleh Allah SWT, tetapi hanya dapat dipahami oleh orang-orang yang berpikir (Qurthubi, 2009). Menurut Shihab (2002), pada ayat tersebut menunjukkan bahwa Allah SWT telah menciptakan berbagai jenis tumbuhan

mulai dari yang paling cepat layu sampai yang berumur panjang. Hal ini menunjukkan adanya peranan Allah dalam mengatur kehidupan ini. Betapa tidak, sumber airnya sama, tanah tempat tumbuhnya berada pada satu tempat yang sama, tetapi ragam dan rasanya berbeda-beda dan pada masing-masing tumbuhan yang telah diciptakan tersebut terdapat manfaat yang besar bagi kehidupan manusia.

Jenis tanaman yang telah diciptakan oleh Allah SWT diantaranya yaitu tanaman kacang hijau. Tanaman ini merupakan tanaman Leguminosae yang cukup penting di Indonesia. Kacang hijau sebagai tanaman palawija menduduki tempat ketiga setelah kedelai dan kacang tanah (Somaatmadja, 1998). Kacang hijau memiliki sumber protein nabati diantaranya mineral, pro vitamin A dan vitamin B kompleks, di samping itu juga kaya asam askorbat (vitamin C). Kacang hijau tidak hanya dijadikan bahan makanan, seperti bubur, taoge, makanan bayi, dan kue-kue tetapi juga mulai digunakan sebagai makanan ternak (Rukmana, 1997). Kelebihan kacang hijau dibandingkan tanaman pangan lainnya adalah berumur pendek (genjah), mudah dibudidayakan di lahan kering maupun di lahan basah (sawah), sehingga dapat menyuburkan tanah karena dapat mengikat nitrogen dari udara melalui simbiosis akar dengan bakteri *Rhizobium* sp., sehingga terbentuk nodula (Rukmana, 1997).

Ekspor kacang hijau masih sedikit, tetapi volume impor cenderung meningkat, apabila rata-rata kebutuhan kacang hijau sekitar 2,5 kg perkapita pertahun maka kebutuhan kacang hijau adalah 12.117,28 ton pertahun, sehingga masih terdapat peluang penambahan permintaan (Supeno dan Sujudi, 2002). Perkembangan produksi dan luas panen kacang hijau dalam 10 tahun terakhir

berfluktuasi dan cenderung menurun masing-masing 2,03% dan 0,47%. Selama kurun waktu tiga tahun terakhir produksi kacang hijau terus menurun, sehingga diperlukan impor untuk memenuhi kebutuhan rata-rata 29.443 ton/tahun (Ditjen Tanaman Pangan, 2012 dalam Trustinah, 2014).

Permasalahan yang dihadapi dalam penurunan produksi kacang hijau di Indonesia salah satunya disebabkan oleh adanya pencemaran lingkungan. Menurut Juhriah (2017), Indonesia dikenal dengan kondisi tanah yang subur, namun saat ini kondisi tanah di Indonesia mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena tanah subur di Indonesia banyak yang dimanfaatkan tanpa memikirkan dampak jangka panjang yang dapat ditimbulkan. Contohnya pembangunan areal industri dapat menyebabkan kerusakan atau pencemaran lingkungan salah satunya adalah pencemaran tanah.

Pencemaran tanah adalah keadaan dimana bahan kimia buatan manusia masuk dan merubah lingkungan alami tanah. Komponen penyebab limbah tanah berasal dari limbah domestik, limbah pertanian, dan limbah industri maupun limbah dari tempat penimbunan sampah. Tembaga, timbal, perak, khrom, arsen dan boron adalah zat-zat yang dihasilkan dari proses industri pelapisan logam seperti Hg, Zn, Pb, Cd yang dapat mencemari tanah merupakan zat yang sangat beracun terhadap mikroorganisme. Jika meresap ke dalam tanah akan mengakibatkan kematian bagi mikroorganisme yang memiliki fungsi sangat penting terhadap kesuburan tanah (Amzani, 2012).

Salah satu jenis logam berat yang ada di dalam tanah yang dapat mempengaruhi kesuburan tanah yaitu Cd. Pencemaran logam berat kadmium telah

terjadi di sebagian besar wilayah Indonesia seperti: Sumatera, Jawa, Bali, Kalimantan, Sulawesi, dan Papua. Pencemaran tersebut berasal dari pembuangan limbah industri, pertambangan, aplikasi pupuk kimia dan pestisida kimia secara berlebihan, serta pembuangan limbah rumah tangga ke dalam aliran sungai (Sutrisno, 2015).

Beberapa penelitian terakhir tentang logam Cd yang ada di Indonesia seperti pada hasil penelitian Kurnia *et al.* (2004) dalam Las *et al.* (2006), kandungan berbagai jenis logam berat (Hg, Pb, dan Cd) dalam tanah pada lahan yang terpolusi limbah pabrik di beberapa lokasi di Jawa Barat meningkat sekitar 18–98% dibanding lahan yang belum terkena polusi. Polusi logam berat tersebut, selain menyebabkan kontaminasi pada produk (terutama gabah/beras) juga menurunkan produktivitas tanaman. Hasil penelitian lainnya yaitu Schipper *et al.* (2011) menambahkan bahwa peningkatan penggunaan pestisida dan pupuk anorganik secara berlebihan secara terus menerus dalam kurun waktu lama menyebabkan kontaminasi kadmium pada lahan pertanian semakin meningkat.

Kadmium (Cd) merupakan logam berat pencemar tanah yang bersifat toksin bagi tumbuhan, hewan, maupun manusia. Pencemaran kadmium pada lahan pertanian mulai mendapat perhatian yang serius di beberapa negara, dikarenakan kadmium dapat terserap dalam tanaman yang dikonsumsi oleh manusia. Penyerapan kadmium oleh tanaman bervariasi tidak hanya antar spesies tanaman tetapi juga di antara kultivar (Arao *et al.* 2003). Menurut Ministry of State for Population and Environment Republic of Indonesia and Dalhousie University Canada (1992), batas kritis logam berat Cd dalam tanah yaitu sebesar 0,50 ppm.

Sedangkan batas kritis logam berat Cd pada tanaman menurut Alloway (1995) yaitu sebesar 5-30 ppm.

Adanya kandungan logam Cd pada tubuh tumbuhan dapat menyebabkan beberapa gangguan. Menurut Krantev *et al.* (2008) dalam Tran (2013), toksisitas Cd menyebabkan penghambatan dan kelainan pertumbuhan dalam banyak jenis tanaman. Setelah paparan jangka panjang Cd, akar menjadi berlendir, kecoklatan, dan membusuk; penyusutan tunas dan akar, pengguguran daun, dan klorosis dapat terjadi. Cd yang ditemukan dapat menghambat pembentukan akar lateral sedangkan akar utama menjadi coklat, kaku, dan membelit. Krupa *et al.* (1993) dalam Cho dan Julie (1999) menambahkan bahwa tingginya kandungan logam Cd pada tumbuhan dapat mempengaruhi aktivitas enzim, transpor membran, transpirasi, dan penghambatan pembentukan klorofil yang dapat menyebabkan klorosis pada daun, dan menurunnya laju fotosintesis pada tumbuhan, serta menurunkan produktivitas kacang hijau.

Tanaman kacang hijau dapat ditingkatkan produktivitasnya meskipun pada lahan-lahan yang tercemar logam berat Cd. Hal tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan varietas kacang hijau yang toleran terhadap logam berat Cd. Menurut Trustinah (2014), penggunaan varietas toleran merupakan suatu cara pengendalian yang murah, mudah, dan aman terhadap lingkungan. Varietas kacang hijau sangat beragam dan setiap varietas memiliki sifat yang berbeda-beda. Perbedaan sifat yang dimiliki oleh setiap varietas kacang hijau memungkinkan adanya perbedaan dalam hal ketahanannya terhadap kadar Cd

yang tinggi. Penelitian mengenai varietas kacang hijau yang toleran terhadap kadar Cd yang tinggi masih jarang dilakukan.

Beberapa penelitian tentang pengaruh kadar Cd yang tinggi telah dibahas pada beberapa tanaman, diantaranya yaitu tanaman jagung, eceng gondok, dan sawi. Hasil penelitian Wang *et al.* (2007) pada semaian jagung (*maize seedling*) menunjukkan bahwa pemberian larutan Cd dengan konsentrasi 10^{-4} M secara substansial menurunkan pertumbuhan jagung bahkan menghentikan pertumbuhan akar. Kholidiyah (2010) melaporkan adanya respon biologis dari tanaman eceng gondok meliputi tingkat nekrosis daun, penurunan panjang akar, berat kering akar, nisbah tajuk akar, berat kering batang, dan kadar klorofil daun akibat adanya akumulasi logam berat Cd pada tanaman tersebut. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Susana dan Suswati (2011) menunjukkan gejala klorosis dan kerdil (*stunting*) pada pemberian dosis kadmium sebesar 32 mg/kg pada sawi hijau dan sawi putih.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh cekaman Cd terhadap pertumbuhan beberapa varietas kacang hijau (*Vigna radiata* L.) dan menguji varietas kacang hijau (*Vigna radiata* L.) yang toleran terhadap kadar Cd. Adapun varietas kacang hijau yang diuji meliputi: varietas Kenari, Vima 1, dan Vima 2 yang belum diketahui sifat ketahanan terhadap pencemaran logam berat Cd dan merupakan varietas yang sering digunakan oleh petani.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Apakah konsentrasi Cd berpengaruh terhadap pertumbuhan beberapa varietas kacang hijau (*Vigna radiata* L.)?
2. Apakah interaksi varietas dan konsentrasi Cd menunjukkan adanya toleransi pada kadar Cd?
3. Bagaimana indeks sensitivitas kacang hijau (*Vigna radiata* L.) terhadap kadar Cd?

1.3. Tujuan

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui konsentrasi Cd yang berpengaruh terhadap pertumbuhan beberapa varietas kacang hijau (*Vigna radiata* L.).
2. Mengetahui interaksi varietas dan konsentrasi Cd yang menunjukkan adanya toleransi pada kadar Cd.
3. Mengetahui indeks sensitivitas kacang hijau (*Vigna radiata* L.) terhadap kadar Cd.

1.4. Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Terdapat pengaruh kadar Cd terhadap pertumbuhan beberapa varietas kacang hijau (*Vigna radiata* L.).

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Benih kacang hijau yang dipakai dalam penelitian diperoleh dari BALITKABI (Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian) Malang.
2. Varietas kacang hijau yang digunakan dalam penelitian ini adalah varietas Kenari, Vima-1, dan Vima-2 yang belum diketahui sifat ketahanan terhadap Cd dan sering ditanam oleh petani.
3. Konsentrasi Cd yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0 (kontrol), 0.25 ppm, 0.50 ppm, dan 0.75 ppm dengan 3 kali ulangan tiap perlakuan.
4. Penelitian ini dilaksanakan di *Greenhouse* Universitas Negeri Malang.
5. Tanah yang digunakan diperoleh dari Desa Banjarejo, Kecamatan Pakis, Kabupaten Malang.
6. Parameter yang diamati adalah tinggi tanaman, jumlah daun, kadar klorofil, luas daun, jumlah bunga, jumlah polong, berat biji, berat kering total tanaman, berat kering akar, kadar Cd dalam biji, skoring pertumbuhan tanaman kacang hijau terhadap toleransi kadar Cd.
7. Kacang hijau varietas tertentu dikatakan toleran apabila nilai indeks sensitivitas kadar Cd adalah $< 0,5$ dari pengamatan pada parameter jumlah polong.

1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menambah wawasan dan informasi dalam bidang ilmu biologi tentang pengaruh kadar Cd terhadap pertumbuhan beberapa varietas kacang hijau.
2. Mendapatkan varietas kacang hijau yang toleran terhadap kadar Cd sehingga petani dapat meningkatkan hasil produksi kacang hijau.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Botani Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

2.1.1. Klasifikasi Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

Tanaman kacang hijau merupakan salah satu tanaman semusim yang berdiri tegak, setengah tegak atau kadang-kadang memanjat, tingginya antara 25-130 cm. Tanaman kacang hijau disebut juga *mungbean*, *green gram* atau *golden gram* (Somaatmadja, 1993). Menurut Tjitrosoepomo (1996) taksonomi tanaman kacang hijau (*Vigna radiata* L.) yaitu:

Kingdom: Plantae

Divisi: Spermatophyta

Subdivisi: Angiospermae

Kelas: Dicotyledonae

Ordo: Polypetale

Famili: Leguminosae (Papilionaceae)

Genus: *Vigna*

Species: *Vigna radiata* L.

2.1.2. Morfologi Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

Tanaman kacang hijau (*Vigna radiata* L.) terdiri atas bagian akar, batang, daun, bunga, buah, dan biji.

2.1.2.1. Akar

Tanaman kacang hijau berakar tunggang, dimana akar-akar literal tegak lurus pada akar tunggang. Sistem perakarannya dibagi menjadi 2 yaitu mesophytes dan xerophytes. Mesophytes mempunyai banyak cabang akar pada permukaan tanah dan tipe pertumbuhannya menyebar (*spreading*). Sedangkan xerophytes memiliki sedikit akar cabang dan memanjang ke arah bawah serta akar tunggangnya lebih panjang (Trustinah, 1993 dalam Muafifah, 2006).

2.1.2.2. Batang

Batang tanaman kacang hijau memiliki bentuk bulat dan berbuku-buku. Ukuran batangnya kecil dan berbulu. Percabangannya bermula dari buku terbawah atau di tengah-tengah. Batang dan cabangnya berwarna hijau muda, hijau tua, dan ungu muda. Setiap buku batang menghasilkan satu tangkai daun, kecuali pada daun pertama yang berupa sepasang daun yang berhadapan dan masing-masing daun berupa daun tunggal. Batang kacang hijau tumbuh tegak dengan ketinggian mencapai 1 m. Cabangnya menyebar ke semua arah (Rukmana, 1997).

2.1.2.3. Daun

Kacang hijau termasuk tumbuhan majemuk yang terdiri dari tiga helaian anak daun pada setiap tangkai (*trifoliate*) dan letaknya berseling (*alternate*) (Tjitrosoepomo, 1989). Daun kacang hijau dibedakan menjadi dua macam yaitu daun pertama yang merupakan daun tunggal yang letaknya berhadap-hadapan pada batang utama. Daun berikutnya berseling-seling serta beranak daun tiga, anak daunnya bundar telur sampai delta (5-18 cm x 4-15 cm), biasanya

berpinggiran rata (Somaatmadja, 1993). Daun pertama ini berbentuk oval dengan ujung agak lancip. Daun-daun yang tumbuh di atas daun pertama disebut daun terminal yang terdiri dari tiga helaian daun atau trifoliolate (Trustimah, 1993 dalam Muafifah, 2006). Tangkai daunnya lebih panjang dari pada daunnya sendiri (Fachruddin, 2000).

2.1.2.4. Bunga

Bunga kacang hijau besar berdiameter 1-2 cm terletak pada tandan ketiak yang tersusun atas 5-25 cm kuntum bunga, panjang tandan bunga antara 2-20 cm (Somaatmadja, 1993). Berbentuk seperti kupu-kupu dan berwarna kuning kehijauan atau kuning pucat. Bunganya dapat menyerbuk sendiri dan menghasilkan polong (Yamaguchi, 1998). Bunga kacang hijau bersifat *cleistogami* yaitu bunga mekar setelah terjadi penyerbukan (Trustinah, 1993 dalam Madurita, 2004). Bunganya termasuk jenis hermaphrodit atau berkelamin sempurna. Proses penyerbukan biasanya terjadi pada malam hari sehingga pada pagi hari bunganya akan mekar dan pada sore hari menjadi layu (Purwono, 2005 dalam Muafifah, 2006). Sehingga kemungkinan terjadinya penyerbukan silang sangat rendah yaitu sekitar 4-5% (Fernandez, 1988 dalam Anwari, 2006).

2.1.2.5. Buah

Buah kacang hijau berbentuk polong. Panjang polongnya sekitar 5-16 cm. Setiap polong berisi antara 10-15 biji. Polong kacang hijau berbentuk bulat silindris atau pipih dengan ujung agak runcing atau tumpul. Polong muda berwarna hijau, setelah tua berubah menjadi kecoklatan atau kehitaman (Rukmana, 1997). Biasanya buah berbulu pendek, berbulu atau tanpa bulu,

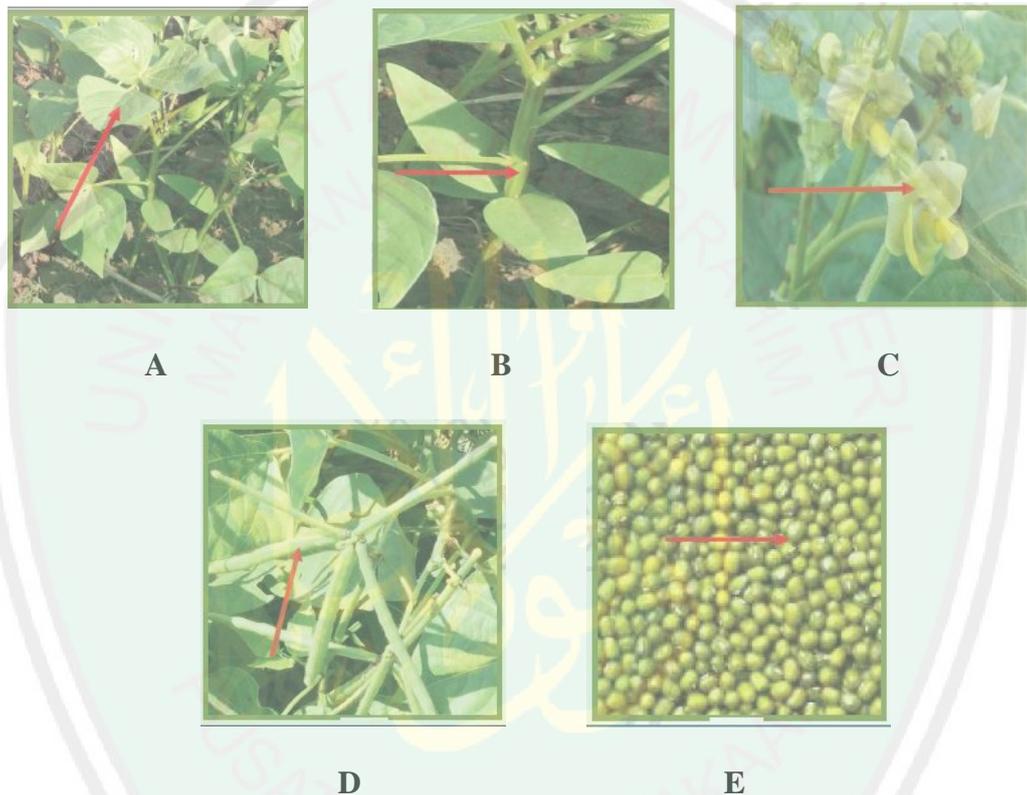
menyebar dan menggantung dan juga seringkali lurus (Somaatmadja, 1993). Trustinah (1993) dalam Muafifah (2006) menambahkan buah atau polong kacang hijau dibedakan menjadi tiga yaitu pendek berukuran 12-13.5 cm, sedang berukuran 15.2-16.8 cm, dan panjang berukuran 18.5-20 cm.

2.1.2.6. Biji

Biji kacang hijau berbentuk bulat. Biji kacang hijau lebih kecil dibandingkan dengan biji kacang tanah atau kacang kedelai yaitu bobotnya hanya sekitar 0.5-0.8 mg). Bijinya berwarna hijau atau kuning, sering kali coklat atau kehitam-hitaman, memiliki kilap (*lustre*) yang kusam atau mengkilap diasosiasikan dengan sisa-sisa dinding polong, hilumnya pipih dan putih. Tipe perkecambahannya yaitu epigeal (Somaatmadja, 1993). Sedangkan hilumnya ada yang cekung dan ada yang tidak cekung (Trustinah, 1993 dalam Muafifah, 2006).

Fase pertumbuhan tanaman kacang hijau terdiri dari fase vegetative dan fase generative. Fase vegetative kacang hijau terjadi pada umur 0-35 hari setelah tanam dan selebihnya adalah fase generative. Selama fase vegetative tanaman telah mengalami beberapa perkembangan mulai dari perkecambahan, penambahan jumlah daun, peningkatan tinggi tanaman yang diikuti dengan penambahan jumlah buku dan peningkatan bobot tanaman. Pada masa vegetative tersebut tanaman belum menghasilkan bunga. Pembungaan pada kacang hijau di mulai sekitar hari ke 34 HST, jumlah bunga yang dihasilkan pada awal pembungaan meningkat dengan lambat, kemudian jumlahnya akan meningkat secara cepat mencapai laju maksimum dan menurun serta mengakhiri masa pembungaannya. Tidak seluruh bunga kacang hijau yang dihasilkan tersebut dapat

menjadi polong, yakni hanya sekitar 23%-25% dari seluruh bunga yang dihasilkan yang menjadi polong, sedangkan sisanya gugur. Lamanya periode berbunga dan jumlah bunga yang dihasilkan juga tidak sama pada setiap varietas (Tustinah, 1993 dalam Madurita, 2004).



Gambar 2.1. Morfologi kacang hijau (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) (Balitkabi, 2016)
Keterangan: A. Daun B. Batang C. Bunga D. Polong E. Biji

2.1.3. Syarat Tumbuh Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

Tanaman kacang hijau (*Vigna radiata* L.) dapat tumbuh dengan subur apabila ditanam pada lingkungan yang memenuhi syarat tumbuh yang sesuai. Salah satu syarat tumbuh tanaman kacang hijau (*Vigna radiata* L.) yang perlu diperhatikan yaitu mencakup keadaan iklim dan tanah, sebagaimana firman Allah SWT dalam Q.S. Al-A'raaf ayat 58 yang berbunyi:

وَالْبَلَدُ الطَّيِّبُ يَخْرُجُ نَبَاتُهُ بِإِذْنِ رَبِّهِ ^ط وَالَّذِي خَبثَ لَا يَخْرُجُ إِلَّا نَكِدًا ۚ
كَذَلِكَ نُصَرِّفُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَشْكُرُونَ ۝٨

Artinya: “Dan tanah yang baik, tanaman-tanamannya tumbuh subur dengan seizin Allah; dan tanah yang tidak subur, tanaman-tanamannya hanya tumbuh merana. Demikianlah Kami mengulangi tanda-tanda kebesaran (Kami) bagi orang-orang yang bersyukur.”

Menurut tafsir Al Aisar, surat Al-A’raaf ayat 58 di atas memuat tentang sebuah pemisalan yang diberikan Allah SWT bagi hamba yang mukmin dan yang kafir, setelah sebelumnya Allah SWT telah menjelaskan kekuasaannya yaitu menghidupkan kembali orang yang telah mati. “Dan tanah yang baik, tanaman-tanamannya yang tumbuh subur dengan seizin Allah...” yaitu setelah Allah SWT menurunkan air padanya. Hal ini merupakan perumpamaan bagi orang mukmin yang hatinya hidup lagi baik. Apabila mendengar ayat yang diturunkan, imannya akan bertambah dan amal shalihnya akan bertambah baik. “Dan tanah yang tidak subur...” yaitu tanah yang buruk dan berkrikil. Menurut Al Jazairi (2007) ketika hujan turun, tanaman-tanamannya hanya tumbuh tidak terawat, merana, tidak subur, susah, dan tidak bagus. Hal ini merupakan perumpamaan bagi orang-orang kafir ketika mendengar ayat-ayat Al-Qur’an, mereka mau menerimanya tetapi tidak memberikan manfaat bagi sikap dan tindakannya, ia tidak berbuat baik dan tidak juga meninggalkan yang buruk.

Makna ayat tersebut juga dapat diartikan bahwa tanah memiliki karakteristik yang berbeda-beda, dimana terdapat tanah yang subur dan juga tanah yang tidak subur. Tanaman kacang hijau dapat tumbuh dengan baik apabila tanahnya subur, karena tanah yang subur merupakan salah satu syarat tumbuh utama bagi pertumbuhan tanaman. Tanah yang subur adalah tanah yang cukup mengandung nutrisi bagi tanaman maupun mikro organisme, dan dari segi fisika, kimia, maupun biologi memenuhi untuk pertumbuhan. Segi fisika dapat dilihat dari tekstur tanah yang juga menentukan tingkat kesuburan tanah dan berhubungan dengan hal-hal seperti: kapasitas menahan air, porositas, kecepatan

infiltrasi, serta pergerakan air dan udara di dalam tanah (Soedarmo dan Djojoprawiro, 1986).

Dari segi kimia mencakup kebutuhan unsur hara makro yang meliputi Ca, Mg, K, N, P, dan S, serta unsur hara mikro yang terdiri dari Fe, Mn, Bo, Cu, Zn, Mo, Cl yang masing-masing jumlah kebutuhannya tidak sama dan diperlukan untuk pertumbuhan tanaman (Salisbury dan Ross, 1992). Sedangkan tanah yang tidak subur yaitu tanah yang tidak mempunyai potensi untuk menumbuhkan tanaman dengan baik sehingga tanaman-tanamannya tidak dapat tumbuh dengan baik. Menurut Setiadi (2001), tanah tidak subur adalah tanah yang sedikit mengandung mineral atau hara yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman.

2.1.3.1. Iklim

Faktor iklim seperti curah hujan, suhu, radiasi matahari, dan kelembaban sangat mempengaruhi pertumbuhan dan produksi tanaman. Tanaman kacang-kacangan membutuhkan air yang cukup selama masa pertumbuhannya (kondisi tanah yang lembab). Kondisi air yang berlebihan (tergenang) tidak baik bagi pertumbuhan tanaman. Apabila air irigasi tidak tersedia, maka curah hujan 100-200 mm/bulan dinilai cukup bagi pertumbuhan tanaman (Arsyad, 2003).

Tanaman kacang hijau dapat ditanam di daerah iklim hangat dan di daerah subtropik. Sebagian besar genotipnya memperlihatkan tanggapan terhadap hari pendek. Kacang hijau adalah tanaman musim hangat dan tumbuh dibawah suhu rata-rata yang berkisar 20-40°C dengan suhu optimumnya 20-30°C (Somaatmadja, 1993).

Pertumbuhan optimum yang tercapai yaitu pada suhu 20-25 °C. Suhu 12-20°C adalah suhu yang sesuai bagi sebagian besar proses pertumbuhan tanaman, tetapi dapat menunda proses perkecambahan benih dan pemunculan biji. Pada suhu yang lebih tinggi dari 30°C, fotorespirasi cenderung mengurangi hasil fotosintesis (Rubatzky dan Yamaguchi, 1998). Pada banyak jenis tanaman, khususnya pada jenis tanaman semusim, suhu dapat memainkan peranan yang sangat penting dalam proses pembentukan dan perkembangan bunga (Barden, Halfacre and Parish, 1987).

2.1.3.2. Tanah

Jenis tanah yang dikehendaki tanaman kacang hijau adalah tanah liat berlempung atau tanah lempung yang banyak mengandung bahan organik, seperti tanah podsolik merah kuning (PMK) dan tanah latosol. Tanaman kacang hijau dapat tumbuh pada ketinggian < 2000 mdpl, dan tumbuh subur pada tanah liat atau liat berpasir yang cukup kering, dengan pH 5.5-7.0 (Rukmana, 1997).

Tanaman kacang hijau hampir dapat tumbuh pada semua jenis tanah yang banyak mengandung bahan organik, dengan drainase yang baik. Akan tetapi, tanah yang paling cocok bagi tanaman kacang hijau adalah tanah liat berlempung atau tanah lempung, misalnya podsolik merah kuning (PMK) dan latosol (Fachruddin, 2000).

Tanah yang mempunyai pH 5.8 merupakan tanah yang paling ideal untuk pertumbuhan tanaman kacang hijau, sedangkan tanah yang sangat asam tidak baik karena penyediaan makanan menjadi terhambat. Tanaman kacang hijau menghendaki tanah dengan kandungan unsur hara seperti fosfor, kalium, kalsium,

magnesium, dan belerang. Unsur hara tersebut cukup penting untuk meningkatkan produksinya (Suprpto, 2007).

Suplai nitrogen di dalam tanah merupakan faktor yang sangat penting dalam kaitannya dengan pemeliharaan atau peningkatan kesuburan tanah. Peranan N terhadap pertumbuhan tanaman adalah sangat jelas, karena senyawa organik di dalam tanaman pada umumnya mengandung N diantaranya yaitu asam-asam amino, enzim dan bahan lainnya yang menyalurkan energi (Buckman dan Brady, 1982). Pori tanah yang lebih besar dapat meningkatkan perkembangan akar dan kemampuan akar dalam menyerap air dan unsur hara yang pada akhirnya dapat mempengaruhi pertumbuhan serta hasil tanaman (Buckman dan Brady, 1982).

Lahan yang akan ditanami tanaman kacang hijau bisa sawah beririgasi, lahan sawah tadah hujan, lahan kering tegalan, serta lahan pasang surut dan lebak. Lahan sawah beririgasi mempunyai keuntungan yaitu lahan yang lebih produktif, ketersediaan air lebih terjamin, biaya produksi relatif rendah (karena tanpa mengolah tanah secara intensif), terhindar resiko erosi, takaran pupuk lebih rendah, dan kualitas biji hasil panen lebih baik (Andrianto dan Indarto, 2004).

2.2. Varietas Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

Keragaman tanaman dapat dipengaruhi oleh faktor genetik dan lingkungan serta interaksi keduanya. Keragaman yang terjadi karena terdapat pengaruh lingkungan sering disebut dengan *non-heritable variation* atau keragaman yang tidak diturunkan. Keragaman yang timbul karena faktor genetik disebut dengan *heritable variation* atau keragaman yang diturunkan. Variasi genetik dapat terjadi karena percampuran materi pemuliaan, rekombinasi genetik yang merupakan

akibat adanya persilangan-persilangan, adanya mutasi ataupun poliploidisasi (Mangoendidjojo, 2003). Ragam lingkungan terjadi karena sifat yang muncul akibat adanya faktor-faktor lingkungan seperti kesuburan tanah, iklim, kelembaban, suhu, dan lain-lain.

Keragaman genetik dapat menjadikan perbedaan sifat pada setiap varietas kacang hijau. Hal tersebut memungkinkan adanya varietas kacang hijau yang tahan terhadap cekaman lingkungan yang disebabkan oleh faktor abiotik. Penggunaan varietas tahan merupakan salah satu cara pengendalian yang murah, mudah, dan aman terhadap lingkungan. Pembentukan varietas kacang hijau selain bertujuan untuk produktivitas juga bertujuan untuk mengantisipasi perubahan lingkungan seperti umur genjah, masak serempak, ketahanan terhadap hama penyakit, dan toleransi terhadap cekaman kekeringan atau salinitas (Trustinah, 2014).

Allah SWT berfirman dalam Q.S. Asy-Syu'ara' ayat 7 yang berbunyi:

أَوَلَمْ يَرَوْا إِلَى الْأَرْضِ كَيْفَ أَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ ۝٧

Artinya: *“Dan apakah mereka tidak memperhatikan bumi, berapakah banyaknya Kami tumbuhkan di bumi itu pelbagai macam tumbuh-tumbuhan yang baik.”*

Berdasarkan tafsir Jalalayn menerangkan: *(Dan apakah mereka tidak memperhatikan)* maksudnya tidak memikirkan tentang *(bumi, berapakah banyaknya Kami tumbuhkan di bumi itu)* alangkah banyaknya *(dari bermacam-macam tumbuhan yang baik)* jenisnya (Al-Mahalli dan As-Suyuti, 2009). Menurut Shihab (1999), adakah mereka akan terus mempertahankan kekufuran dan pendustaan serta tidak merenungi dan mengamati sebagian ciptaan Allah di bumi ini?. Sebenarnya, jika mereka bersedia merenungi dan mengamati hal itu, niscaya mereka akan mendapatkan petunjuk. Kamilah yang mengeluarkan dari bumi ini beraneka ragam tumbuh-tumbuhan yang mendatangkan manfaat dan itu semua hanya dapat dilakukan oleh Tuhan yang Maha Esa dan Maha Kuasa (Shihab, 1999).

Makna ayat tersebut dapat diartikan bahwa Allah SWT telah menciptakan berbagai macam jenis tumbuh-tumbuhan yang baik yaitu yang dapat memberikan manfaat bagi kita, salah satunya yaitu tumbuhan kacang hijau. Kacang hijau memiliki berbagai macam varietas yang mempunyai keunggulan masing-masing. Varietas kacang hijau sudah banyak dikembangkan untuk ketahanan terhadap berbagai macam hama dan penyakit yang banyak menyerang. Menurut Trustinah (2014), dalam kurun waktu 1945-2008 telah dilepas sebanyak 20 varietas unggul kacang hijau dengan karakteristik yang dimilikinya, seperti warna biji hijau kusam atau hijau mengkilap, ukuran biji kecil-sedang, tahan terhadap penyakit embun tepung, bercak daun, dan umur genjah-dalam. Varietas unggul tersebut adalah hasil introduksi, persilangan, mutasi, atau varietas lokal. Varietas kacang hijau sangat beragam dan setiap varietas mempunyai karakteristik yang berbeda-beda. Diantaranya yaitu varietas Kenari, Vima 1, dan Vima 2.

Varietas Kenari dilepas pada tanggal 4 November 1998, dengan nomor galur VC 3012 B berasal dari AVRDC, Taiwan tahun 1987, yang merupakan hasil silang tunggal VC 1178 B x VC 1624. Daya hasil varietas Kenari sekitar 0,83-2,45 t/ha dan hasil rata-ratanya sekitar 1,38 t/ha. Varietas kenari memiliki warna hijau pada hipokotil, epikotil, dan daunnya. Sedangkan bunganya berwarna kuning dengan biji yang berwarna hijau mengkilap. Polong tua varietas Kenari memiliki warna hitam. Varietas Kenari mulai berbunga 50% pada hari ke 35 dan umur polong masak sekitar 60-65 hari dengan bobot 100 biji sekitar 6,7 g. Tinggi tanaman dapat mencapai 55 cm dengan tipe tumbuh determinit. Tanaman kacang

hijau varietas kenari memiliki ketahanan terhadap penyakit bercak dan karat pada daun (Balitkabi, 2016).

Varietas kacang hijau selanjutnya adalah varietas yang diberi nama Vima-1 melalui SK Nomor 833/Kpts/SR.120/6/2008 tanggal 24-6-2008. Varietas kacang hijau tersebut diperoleh melalui persilangan buatan dari tetua jantan VC 1973A dan tetua betina 2750A dan seleksi sistematis sehingga diperoleh galur MMC 157d Kp-1 yang mempunyai sifat umur genjah dan tahan terhadap penyakit embun tepung. Kacang hijau varietas Vima-1 berbeda dengan varietas kacang hijau yang lainnya karena memiliki kulit biji yang kusam. Daya hasil varietas ini yaitu sekitar 1,38 t/ha dengan hasil rata-rata 1,76 t/ha. Warna hipokotil dan daunnya adalah hijau. Umur berbunga 50% pada hari ke 33 dan umur masak 80% pada hari ke 57. Kacang hijau varietas Vima-1 memiliki bunga yang berwarna kuning dengan polong muda yang berwarna hijau dan polong masak yang berwarna hitam. Tinggi tanamannya sekitar 53 cm dengan tipe tanaman yang determinit. Bobot 100 butir sebesar 6,3 g, dengan memiliki kadar protein sebesar 28,02%, kadar lemak sebesar 0,40%, dan kadar pati sebesar 67,62% basis kering (Balitkabi, 2016).

Varietas kacang hijau yang ketiga adalah varietas Vima-2 dengan silsilah MMC 342d-Kp-3-4 yang merupakan persilangan tunggal antara induk varietas Merpati dengan tetua jantan VC 6307A. Daya hasilnya mencapai 2,44 t/ha dan rata-rata hasil 1,80 t/ha, berumur genjah (56 HST), masak serempak, terindikasi toleran terhadap serangan thrips pada fase generatif karena bunganya tidak mudah rontok dan berhasil membentuk polong. Varietas ini memiliki warna hijau pada

batang, daun, tangkai daun, kelopak bunga, dan warna kelopak bunga. Rambut daunnya sedikit dan memiliki warna hijau pada mahkota bunganya, tinggi tanaman dapat mencapai $\pm 64,3$ cm dengan tipe tanaman determinit. Periode berbunganya sekitar 33 hari. Polong muda berwarna hijau, polong tua berwarna hitam dengan posisi polong yang terjurai. Bijinya berwarna hijau mengkilap dengan kadar protein sekitar 22,7% basis kering dan kadar lemak sekitar 0,7% basis kering (Balitkabi, 2016).

2.2.1. Keragaman Genetik

Pada umumnya, tanaman memiliki perbedaan fenotip dan genotip yang sama. Perbedaan varietas cukup besar mempengaruhi perbedaan sifat dalam tanaman. Keragaman penampilan tanaman terjadi akibat dari sifat dalam tanaman (genetik) atau perbedaan lingkungan. Perbedaan susunan genetik merupakan salah satu faktor penyebab keragaman penampilan tanaman (Sitompul dan Guritno, 1995). Keragaman genetik dapat diartikan sebagai variasi gen dan genotip antar dan dalam spesies. Keragaman fenotip yang tinggi disebabkan oleh adanya keragaman yang besar dari lingkungan dan keragaman genetik akibat segregasi. Keragaman yang teramati merupakan keragaman fenotipik yang dihasilkan karena perbedaan genotip (Makmur, 1992).

Munculnya variasi dapat disebabkan oleh dua faktor yaitu faktor lingkungan dan faktor genetik. Apabila faktor genetik memiliki pengaruh lebih kuat daripada faktor lingkungan, maka makhluk hidup pada lingkungan yang berbedapun tidak menunjukkan variasi morfologi (Tanty dkk., 2013). Keragaman suatu populasi yang berasal dari daerah dengan kisaran geografi yang rendah

kemungkinan disebabkan oleh proses adaptasi yang terus-menerus sehingga akan terjadi perubahan-perubahan, baik secara biokimia maupun fisiologisnya. Terjadinya interaksi antara genotip dengan lingkungan yang terus-menerus menyebabkan fenotip yang hampir sama (Indriani dkk., 2008).

Keragaman genetik berasal dari mutasi gen, rekombinasi (pindah silang), pemisahan dan pengelompokan alel secara random selama meiosis, dan perubahan struktur kromosom. Keragaman ini menyebabkan perubahan-perubahan dalam jumlah bahan genetik yang menyebabkan perubahan-perubahan fenotip (Crowder, 1997). Menurut Hickey (1973) dalam Hasanah (2009), tingkat variasi atau keanekaragaman gen, ternyata tidak hanya terdapat pada gen saja, melainkan ada juga faktor lain yang berperan dalam mempengaruhi keanekaragaman gen yaitu lingkungan. Sifat yang muncul pada setiap individu merupakan interaksi antara gen dengan lingkungan. Dua individu yang memiliki struktur dan urutan gen yang sama, belum tentu memiliki bentuk yang sama pula karena faktor lingkungan mempengaruhi penampakan (fenotip) atau bentuk.

Keragaman sebagai akibat dari faktor lingkungan dan keragaman genetik umumnya berinteraksi satu dengan lainnya dalam mempengaruhi penampilan fenotip tanaman. Dalam menilai keragaman genetik dalam spesies selalu dihadapkan pada pertentangan bentuk dari suatu sifat atas karakter tanaman, seperti tinggi dan rendah, pewarnaan, umur tanaman, tinggi dan rendahnya hasil, dan sebagainya. Karakter tersebut ditentukan oleh gen-gen tertentu yang terdapat pada kromosom, interaksi gen-gen atau gen dengan lingkungannya (Makmur, 1992).

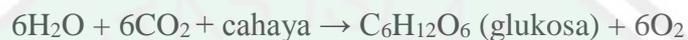
Perbedaan daya tumbuh antar varietas ditentukan oleh faktor genetiknya (Sadjad, 1993). Jumin (2005) menambahkan, dalam menyesuaikan diri, tanaman akan mengalami perubahan fisiologis dan morfologis ke arah yang sesuai dengan lingkungan barunya. Varietas tanaman yang berbeda menunjukkan pertumbuhan dan hasil yang berbeda walaupun ditanam pada kondisi lingkungan yang sama.

2.3. Fisiologi Pertumbuhan Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

Fase pertumbuhan pada tanaman kacang hijau terdiri dari fase vegetatif dan fase generatif. Fase vegetatif kacang hijau terjadi pada saat berumur 0-35 hari setelah tanam, dan dilanjutkan dengan fase generatif. Selama fase vegetatif, tanaman yang telah mengalami beberapa perkembangan mulai dari perkecambahan, penambahan jumlah daun, peningkatan tinggi tanaman yang diikuti dengan peningkatan bobot tanaman. Pada masa vegetatif, tanaman kacang hijau belum menghasilkan bunga (Tursinah, 1993 dalam Madurita, 2004). Sedangkan fase generatif ditandai dengan adanya perkembangan dan pembentukan kuncup bunga dan buah (Harjadi, 1996).

Cahaya merupakan sumber energi dasar yang diperlukan bagi pertumbuhan organisme autotrof seperti tanaman kacang hijau. Produktivitas primer didefinisikan sebagai laju penyinaran energi radiasi matahari melalui aktivitas fotosintesis yang dilakukan produser primer yang mampu memanfaatkan zat-zat anorganik dan merubahnya menjadi bahan organik (Odum, 1971). Cahaya sangat diperlukan tumbuhan untuk melakukan proses fotosintesis. Fotosintesis merupakan proses biokimia untuk memproduksi energi yang terpakai (nutrisi), dimana karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O) dibawah pengaruh cahaya diubah

menjadi persenyawaan organik yang berisi karbon dan kaya energi. Fotosintesis merupakan cara asimilasi karbon, karena dalam fotosintesis karbon bebas dari CO₂ diikat (difiksasi) menjadi gula sebagai molekul penyimpan energi. Reaksi dalam fotosintesis yang menghasilkan glukosa adalah sebagai berikut (Pertamawati, 2010):



Glukosa digunakan untuk membentuk senyawa organik lain seperti selulosa dan juga dapat digunakan sebagai bahan bakar. Proses tersebut berlangsung melalui respirasi seluler. Reaksi yang terjadi pada respirasi seluler secara umum berkebalikan dengan persamaan yang ada di atas. Pada respirasi, gula (glukosa) dan senyawa lain bereaksi dengan oksigen untuk menghasilkan karbon dioksida, air, dan energi kimia (Pertamawati, 2010).

Proses fotosintesis terjadi pada bagian tertentu dari organ tumbuhan. Organ utama tempat berlangsungnya proses fotosintesis adalah daun. Tumbuhan menangkap cahaya menggunakan pigmen yang disebut dengan klorofil, yang memberikan warna hijau pada tumbuhan. Klorofil terdapat dalam organel yang disebut dengan kloroplas, dimana fotosintesis berlangsung tepatnya pada bagian stroma. Meskipun seluruh bagian tubuh tumbuhan yang berwarna hijau mengandung kloroplas, akan tetapi sebagian besar energi dihasilkan di daun (Pertamawati, 2010).

Pola pertumbuhan tanaman bergantung terhadap letak meristem. Meristem apikal yang berada pada ujung akar dan pada pucuk tunas menghasilkan sel-sel untuk tumbuh memanjang. Pemanjangan ini disebut dengan pertumbuhan primer.

Contoh pertumbuhan primer ialah bagian ujung akar yang bertambah panjang dan terbentuknya tunas atau daun pertama. Pada tumbuhan berkayu juga terdapat pertumbuhan sekunder, dimana terdapat aktivitas penebalan secara progresif pada akar dan tunas yang terbentuk sebelumnya oleh pertumbuhan primer. Pertumbuhan sekunder merupakan produk meristem lateral silinder yang terbentuk dari sel-sel yang membelah ke samping di sepanjang akar dan tunas, contohnya adalah bertambah besarnya diameter batang akibat adanya aktivitas kambium (Campbell, 2003).

Pertumbuhan dapat terjadi tanpa perkembangan dan begitu pula sebaliknya perkembangan dapat terjadi tanpa pertumbuhan, akan tetapi keduanya sering tergabung dalam satu proses. Proses perkembangan tidak hanya terjadi perubahan kuantitatif, tetapi juga menyangkut perubahan kualitatif di antara sel, jaringan dan organ yang disebut dengan diferensiasi. Diferensiasi menyangkut perubahan aktivitas fisiologi, susunan biokimia serta struktur dalamnya. Contoh perkembangan pada tumbuhan diantaranya, yaitu terbentuknya daun dan terbentuknya bunga sebagai alat reproduksi. Organ dan jaringan tumbuhan yang mengalami diferensiasi karena (Hasnunidah, 2011):

1. Informasi genetik yang dimiliki oleh tumbuhan diwariskan kepada sel anakan pada saat pembelahan sel. Informasi pada jaringan tertentu tidak diperlukan, tetap ada, akan tetapi dinonaktifkan.
2. Sel anakan mula-mula memperoleh semua informasi genetik, tetapi apabila tidak lagi diperlukan maka akan mengalami degenerasi.

3. Informasi genetik yang diwariskan sama banyak, tetapi pada jaringan tertentu informasi tersebut dapat dilipatgandakan.

2.4. Cekaman

Cekaman ialah kondisi lingkungan yang kurang stabil dan memberi dampak perubahan yang menyimpang dari kondisi optimal pada tumbuhan. Menurut Jacop (1987) dalam Salisbury (1995), cekaman merupakan segala bentuk perubahan kondisi lingkungan yang mungkin dapat menurunkan atau merugikan pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan (fungsi normalnya).

Cekaman (*stress*) dari sudut biologi didefinisikan sebagai faktor lingkungan yang mampu menginduksi ketegangan (*strain*) dan berpotensi dalam menimbulkan kerusakan pada tanaman. Strain ini dapat bersifat elastis atau *reversible* (kembali seperti semula) yaitu apabila cekaman dihentikan dan dapat bersifat plastis atau *irreversible* (tidak dapat kembali seperti semula) yaitu apabila cekaman tidak dihentikan maka tanaman mengalami kerusakan (Soemartono, 1995).

Cekaman pada tanaman dapat diakibatkan oleh kondisi lingkungan yang kurang optimum. Kondisi tersebut berhubungan dengan faktor pembatas atau kisaran toleransi suatu organisme dalam menghadapi lingkungan di sekitarnya. Kisaran toleransi apabila dinyatakan dalam bentuk kurva akan berbeda pada setiap jenis makhluk hidup terhadap faktor-faktor lingkungan yang beda. Keadaan ini berarti bahwa secara fisiologis suatu tanaman dapat memberikan respon terhadap suatu faktor dengan intensitas yang tinggi (Fitter dan Hay, 1991).

Allah SWT berfirman dalam Q.S. al-Hajj ayat 5 yang berbunyi:

.... وَتَرَى الْأَرْضَ هَامِدَةً فَإِذَا أَنْزَلْنَا عَلَيْهَا الْمَاءَ اهْتَزَّتْ وَرَبَتْ وَأَنْبَتَتْ
 مِنْ كُلِّ زَوْجٍ بَهِيجٍ ۝

Artinya: “.... Dan kamu lihat bumi ini kering, kemudian apabila telah Kami turunkan air di atasnya, hiduplah bumi itu dan suburlah dan menumbuhkan berbagai macam tumbuh-tumbuhan yang indah.”

Menurut tafsir Quraish Shihab, ayat ini menjelaskan bahwa bumi yang kalian dapati kering kerontang itu. Apabila telah diturunkan air, maka akan memperlihatkan tanda kehidupan, bergerak, mengembang, permukaannya meninggi akibat air dan udara yang menyela-nyelanya, dan akhirnya memunculkan berbagai jenis tumbuhan yang indah, memukau dan membuat senang siapa saja yang melihatnya (Shihab, 1999).

Secara biologi ayat ini menjelaskan tentang adanya suatu tekanan yang tidak sesuai dengan kebutuhan tanaman atau disebut dengan cekaman. Ayat ini mengemukakan bahwa ketika bumi kering (mengalami cekaman kekeringan) maka tanaman dapat mengalami kematian. Akan tetapi, ketika diturunkan air maka tanaman tersebut akan tumbuh dengan baik dan subur. Itu artinya, semua kondisi yang dapat mengancam keberlangsungan hidup tanaman dikatakan sebagai suatu cekaman.

2.5. Logam Berat

Logam berat adalah unsur logam yang mempunyai massa jenis lebih besar dari 5 g/cm^3 , diantaranya yaitu Cd, Hg, Pb, Zn, dan Ni. Logam berat Cd, Hg, dan Pb dinamakan sebagai logam non esensial dan pada tingkat tertentu menjadi logam beracun bagi makhluk hidup (Subowo *dkk*, 1999). Menurut Connell dan Miller (1995), logam berat merupakan unsur yang mempunyai nomor atom 22-23

dan 40-50 serta unsur golongan laktanida dan aktinida, dan mempunyai respon biokimia yang khas (spesifik) pada organisme hidup.

Penggunaan logam berat dalam berbagai kegiatan sehari-hari secara langsung maupun tidak langsung, baik sengaja maupun tidak di sengaja telah mencemari lingkungan sebagai limbah. Logam-logam berat yang berbahaya dan sering mencemari lingkungan antara lain: merkuri (Hg), timbal (Pb), arsen (As), kadmium (Cd), kromium (Cr), dan nikel (Ni). Logam-logam tersebut diketahui dapat terakumulasi dalam tubuh suatu organisme sebagai racun (Alloway, 1995).

Faktor yang menyebabkan logam berat termasuk dalam kelompok zat pencemar adalah karena adanya sifat-sifat logam berat yang tidak dapat terurai (*non degradable*) dan mudah diabsorpsi. Pemasok logam berat dalam tanah pertanian antara lain: bahan agrokimia (pupuk dan pestisida), asap kendaraan bermotor, bahan bakar minyak, pupuk organik, buangan limbah rumah tangga, industri, dan pertambangan (Alloway, 1995).

2.5.1. Kadmium (Cd)

Kadmium merupakan bahan alami yang terdapat dalam kerak bumi. Kadmium murni berupa logam yang berwarna putih perak dan lunak, namun bentuk ini tak lazim ditemukan di lingkungan. Umumnya kadmium berkombinasi dengan elemen seperti Oksigen (*Cadmium Oxide*), Klorin (*Cadmium Chloride*), atau belerang (*Cadmium Sulfide*). Kebanyakan kadmium (Cd) merupakan produk samping dari pengecoran seng dan timah. Kadmium banyak digunakan dalam berbagai industri, terutama plating logam, pigmen, baterai dan plastik (Achmad, 2004).

Logam berat kadmium sangat banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Logam ini telah digunakan sejak tahun 1950 dan total produksi dunia adalah sekitar 15.000-18.000 pertahun. Prinsip dasar atau prinsip utama dalam penggunaan kadmium adalah sebagai bahan stabilisasi bahan pewarna dalam industri plastik dan pada elektroplating. Namun, sebagian dari substansi logam kadmium ini juga dapat digunakan untuk solder dan alloy-alloynya digunakan pula pada baterai (Palar, 1994).

Kadmium adalah logam yang berwarna putih perak, lunak, lentur, tahan terhadap tekanan, mengkilap, tidak larut dalam basa, mudah bereaksi dan menghasilkan kadmium oksida apabila dipanaskan. Kadmium umumnya terdapat dalam kombinasi dengan klor (Cd klorida) ataupun belerang (Cd sulfid). Kadmium dapat membentuk ion Cd^{2+} yang bersifat tidak stabil. Kadmium memiliki nomor atom 40, berat atom 112,4 g/mol: titik leleh $321^{\circ}C$ dan titik didih $767^{\circ}C$ (Widowati, 2008).

Karakteristik kadmium yang lain adalah apabila dimasukkan ke dalam larutan yang mengandung ion OH^{-} , ion Cd^{2+} akan mengalami pengendapan. Endapan yang terbentuk biasanya berbentuk senyawa terhidratasi yang berwarna putih. Apabila logam kadmium digabungkan dengan senyawa karbonat, fosfat, arsenat dan oksalat-ferro sianat maka akan terbentuk senyawa yang berwarna kuning (Palar, 2008).

Kadmium umumnya ditemukan dalam kondisi yang stabil pada valensi II, seperti CdS. Logam ini mampu membentuk ion dalam senyawa kompleks atau hidroksidanya seperti dengan ammonia $Cd(NH_3)_6^{4-}$ dan sianida $Cd(CN)_4^{3-}$.

Kadmium juga mampu membentuk senyawa *chelate*. Ion Cd yang *insoluble* (tidak larut) dapat terjadi apabila terhidrasi oleh karbonat, arsenat atau fosfat. Di alam, kadmium jarang sekali ditemukan dalam bentuk bebas, biasanya dalam bentuk kadmium oksida, kadmium klorida dan kadmium sulfat (Notodarmojo, 2004).

Logam Kadmium (Cd) mempunyai penyebaran yang sangat luas di alam. Hanya ada satu jenis mineral kadmium yaitu greenockite (CdS) yang selalu ditemukan bersama dengan mineral spalerite (ZnS). Mineral greenockite sangat jarang ditemukan di alam, sehingga dalam eksploitasi logam kadmium biasanya merupakan hasil sampingan dari peristiwa peleburan dan refining bijih-bijih seng (Zn). Pada konsentrat bijih seng terdapat 0,2-0,3% logam kadmium, artinya seng menjadi sumber utama dari logam kadmium (Palar, 1994).

Mineral kadmium dalam tanah antara lain CdO, CdCO₃, Cd(PO₄)₂, dan CdC₁₂. Senyawa-senyawa tersebut terikat pada senyawa organik ataupun oksida, namun yang dominan adalah CdS. Kandungan total kadmium dalam tanah berkisar antara 0,01 sampai dengan 7,00 ppm. Tanah dapat dikatakan tercemar apabila kandungan kadmium mencapai lebih dari 3,0 ppm (Kabata-Pendias & Pendias, 1992).

Pais dan Jones (1997) menerangkan bahwa sumber-sumber kadmium adalah pelapukan bahan mineral tanah, abu vulkanik, pembakaran batu bara, pembakaran sampah, pupuk mineral seperti fosfat, batu kapur, dan limbah. Kadmium bersifat racun dan umumnya terikat pada protein serta senyawa organik lain. Secara kimia, kadmium sangat mirip dengan seng (Zn) dan di alam sering terdapat bersama dengan logam seng, tembaga, dan timbal.

Jumlah normal kadmium dalam tanah yaitu di bawah 1 ppm, tetapi angka tertinggi (1700 ppm) dijumpai pada permukaan sample tanah yang diambil di dekat pertambangan biji seng (Zn). Kadmium lebih mudah diakumulasi oleh tanaman dibandingkan dengan logam berat lain. Logam berat ini bergabung dengan timbal dan merkuri sebagai *the big three heavy metal* yang memiliki tingkat bahaya tertinggi pada kesehatan manusia (Connel dan Miller, 1995).

2.5.2. Kadmium (Cd) dalam Tanah

Kandungan kadmium dalam kerak bumi jumlahnya relatif sangat kecil yaitu sekitar 0,15-0,2 μ g/g (Weast, 1981). Di sisi lain, kandungan kadmium di dalam tanah dapat meningkat karena suatu proses alamiah seperti peristiwa bencana alam (gunung meletus) dan oleh ulah manusia yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan maupun proses pemupukan yang berlebihan (William dan David, 1977).

Sposito (1983) dalam Alloway (1995) menyatakan bahwa bentuk kadmium dalam tanah masam yaitu: Cd²⁺, CdSO₄, dan CdCl⁺, sedangkan pada tanah alkalin yaitu: Cd²⁺, CdCl⁺, CdSO₄ dan CdHCO³⁺. Umumnya kadmium yang bersifat racun adalah bentuk Cd²⁺. Korczak (1989) melaporkan bahwa kadar Cd di dalam tanah tergantung pada pH tanah. Pada pH rendah (<5,5), kadar Cd bebas lebih tinggi dibandingkan dengan tanah yang pH-nya tinggi (>6,5) sehingga mempengaruhi serapan Cd yang diakumulasikan di dalam jaringan tanaman.

Logam kadmium dan bentuk-bentuk persenyawaannya dapat masuk ke lingkungan, terutama dengan adanya efek samping dari aktivitas yang dilakukan oleh manusia. Dapat dikatakan bahwa semua industri yang melibatkan kadmium

dalam proses operasional industri menjadi sumber pencemaran kadmium. Selain itu kadmium juga dapat berasal dari pembakaran sampah rumah tangga dan pembakaran bahan bakar fosil karena secara alami bahan bakar mengandung kadmium, serta penggunaan pupuk fosfat buatan. Secara sederhana dapat diketahui bahwa kandungan kadmium dapat dijumpai di daerah-daerah penimbunan sampah (Palar, 2008).

2.5.3. Kadmium (Cd) dalam Tanaman

Kadmium yang masuk ke dalam jaringan tanaman dari tanah diabsorpsi melalui akar, sedangkan kadmium dari udara tertahan pada permukaan daun. Jumlah kadmium dalam jaringan tanaman sangat bervariasi, tergantung pada spesies tanaman (Winter, 1982). Gejala toksisitas unsur ini pada tanaman sangat sulit dideteksi walaupun tanaman sudah mengakumulasi Cd dalam jumlah besar (Alloway, 1997). Chaney *et al.* dalam Alloway (1997) mengatakan bahwa sulit mendeteksi gejala-gejala yang tampak (*visible symptoms*) akibat toksisitas Cd apabila tanaman pangan telah mengakumulasi sejumlah besar Cd. Toksisitas yang akut dapat menyebabkan klorosis pada daun, layu dan kerdil, tetapi hal ini sangat jarang dijumpai.

Suzuki (1980) melaporkan bahwa kandungan kadmium dalam beras asal Jawa Barat (0,062 $\mu\text{g/g}$) lebih besar daripada beras asal Jawa Tengah (0,030 $\mu\text{g/g}$) atau pun dari Jawa Timur (0,03611 g/g). Kandungan tersebut ternyata masih lebih rendah apabila dibandingkan dengan beras dari tanaman padi yang ditanam berdekatan dengan pabrik tekstil (0,34 $\mu\text{g/g}$). Hasil penelitian mengenai kandungan kadmium pada beras asal Jawa Barat yang dilaporkan oleh peneliti lain

menunjukkan bahwa kandungan yang lebih tinggi, yaitu beras varietas Cisadane (0,14 $\mu\text{g/g}$) dan beras Saigon (0,33 $\mu\text{g/g}$) (Roechan, 1993).

Unsur Cd yang terdapat dalam tanah secara alami dengan kandungan rata-rata rendah yaitu 0,4 mg Cd/kg tanah. Pada tanah yang bebas polusi kandungannya adalah 0,06-1,1 mg/kg. Peningkatan kandungan Cd dapat diperoleh dari asap kendaraan bermotor dan pupuk fosfat yang terakumulasi di dalam tanah. Ion logam berat (Cd^{2+}) merupakan bentuk yang dapat diserap oleh tanaman diantara unsur mineral penting yang dibutuhkan tanaman. Pada umumnya tanaman hanya menyerap sedikit (1-5%) larutan Cd yang ditambahkan ke dalam tanah. Akumulasi dalam jangka waktu yang lama dapat meningkatkan kandungan Cd dalam tanah dan tanaman yang sedang tumbuh (Subowo *et al*, 1999).

Penyerapan Cd dari tanah oleh tanaman dipengaruhi oleh total pemasukan Cd dalam tanah, pH tanah, kandungan Zn, jenis tanaman dan kultivar. Penyerapan Cd akan tinggi pada pH rendah dan menurun pada pH tinggi. Kandungan seng (Zn) yang tinggi dapat mengurangi penyerapan Cd. Jika Cd telah memasuki rantai makanan, maka akan terakumulasi pada konsumen tingkat tinggi yaitu hewan dan manusia. Kadmium sangat membahayakan kesehatan karena pengaruh racun akut dari unsur tersebut sangat buruk. Di antara penderita yang keracunan kadmium mengalami tekanan darah tinggi, kerusakan ginjal, kerusakan jaringan testicular, dan kerusakan sel-sel jaringan darah merah (Subowo *et al*, 1999).

2.6. Toksisitas Kadmium (Cd) terhadap Tanaman

Tingkat serapan kadmium pada tanaman ditentukan oleh konsentrasi kadmium tanah dan oleh ketersediaan biologisnya (bahan organik, eksudat akar,

dan mikoriza, pH dan potensial redoks tanah, suhu, serta konsentrasi unsur lainnya). Penyerapan ion Cd berlangsung dalam kompetisi dengan elemen seperti K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, dan Ni. Kadmium diangkut secara simplastik melalui korteks akar ke stele, kemudian ke tunas melalui xilem, meskipun floem juga terlibat dalam transportasi (Pal *et al.* 2006). Distribusi kadmium dalam tanaman dipengaruhi oleh transportasi dari akar ke tunas melalui xilem, transfer dari bagian xilem ke floem, dan transportasi melalui floem (Riesen dan Feller, 2005).

Akumulasi logam berat dalam tanah berbahaya bagi kebanyakan organisme hidup. Konsentrasi kadmium yang tinggi bersifat karsinogenik, mutagenik, dan berefek teratogenik pada berbagai spesies hewan. Pada tumbuhan, kadmium adalah salah satu logam berat yang paling mudah diserap dan tertranslokasi secara cepat, hal inilah yang menjelaskan mengapa efek racunnya sangat kuat walaupun pada konsentrasi yang relatif rendah. Gejala keracunan yang terjadi pada tanaman antara lain: penghambatan pertumbuhan (menghambat proses perkecambahan dan perkembangan bibit) dan fotosintesis, perubahan aktifitas enzim, menghambat fiksasi nitrogen, gangguan pada hubungan air-tanaman, dan metabolisme ion, dan pembentukan radikal bebas (Pal *et al.* 2006).

Adanya kandungan logam Cd pada tubuh tumbuhan dapat menyebabkan beberapa gangguan. Menurut Krupa *et al.* (1993) dalam Cho dan Julie (1999), tingginya kandungan logam Cd pada tumbuhan dapat mempengaruhi aktivitas enzim, transpor membran, transpirasi, dan penghambatan pembentukan klorofil yang dapat menyebabkan klorosis pada daun dan juga menurunkan laju fotosintesis pada tumbuhan.

Peningkatan konsentrasi dapat menyebabkan terjadinya perpindahan massa sehingga konsentrasi ion-ion Cd yang tinggi dari media tanam berpindah ke konsentrasi yang lebih rendah di dalam jaringan tumbuhan. Ion Cd bersama dengan air akan masuk ke dalam jaringan korteks dan menuju ke jaringan xilem. Keberadaan pita kaspari pada sel-sel endodermis yang bersifat impermeable menyebabkan pengangkutan ion Cd melalui lintasan apoplas tidak dapat berlangsung sepenuhnya dari epidermis ke pembuluh xilem (Salisbury dan Ross, 1995 dalam Rahma, *et al.* 2014).

Pengangkutan ion Cd selanjutnya dikendalikan oleh membran plasma sel-sel endodermis. Membran plasma sel endodermis yang mengendalikan laju pengangkutan dan jenis ion yang akan diangkut ke pembuluh xilem. Di dalam membran tersebut terjadi akumulasi logam berat Cd ke dalam akar melalui bantuan transpor ligand dan selanjutnya akan membentuk transpor logam kompleks. Tumbuhan juga dapat melakukan mekanisme penanggulangan terhadap toksisitas logam dengan cara melakukan lokalisasi logam Cd di dalam organ akar. Ion-ion Cd pada xilem akar bergerak dalam lintasan menuju xilem batang dan juga menuju ke xilem daun (Salisbury dan Ross, 1995 dalam Rahma, *et al.* 2014).

Logam Cd termasuk ke dalam ion-ion logam transisi, sehingga menjadikan Cd bersifat *mobile* di dalam tanah karena ada proses asidifikasi dari rhizosfer dan sekresi khelat oleh akar. Cd akan diserap dan dibawa melalui jalur simplas di akar dari sel menuju ke lapisan endodermal melalui protein transport di membran plasma sel-sel akar. Immobilisasi dan penyimpanan logam berat terjadi terutama di bagian vakuola sel akar. Logam harus dibawa menuju ke xilem secara apoplas

untuk didistribusikan ke bagian daun. Setelah mencapai daun, Cd akan masuk ke dalam sel dan mengaktifasi pembentukan ligan Cd yang disebut fitokhelatin oleh enzim fitokhelatin sintasel (AtPCS1) di dalam sitoplasma (Kaya dkk., 2009).

Kadmium merupakan elemen yang berbahaya bagi tumbuhan dan hewan karena bersifat racun meskipun dalam konsentrasi rendah. Berdasarkan penelitian Yang, dkk (1986) dalam Kholidiyah (2010), umumnya kadmium berefek negatif dalam metabolisme yang melibatkan kerja enzim. Berdasarkan hasil beberapa penelitian lain, kadmium dapat menghambat pertumbuhan benih, perkembangan akar dan organ tumbuhan, dan dapat menyebabkan mutasi kloroplas pada konsentrasi yang sangat tinggi. Selain itu, kadmium juga dapat menyebabkan berkurangnya indeks mitosis sel akar tumbuhan.

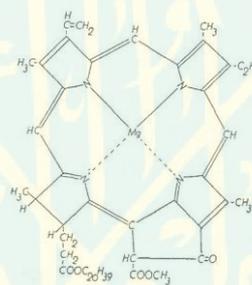
Pendias (1984) dalam Alloway, 1995) menyatakan bahwa keracunan Cd dapat menyebabkan berubahnya permeabilitas membran sel dan terjadinya afinitas dengan gugus fosfat dari ADP dan ATP sehingga berpengaruh terhadap aktivitas fotosintesis. Menurut Mengel dan Kirkby (1982), sifat toksik Cd disebabkan oleh tingginya afinitas Cd pada gugus tiol (SH) di enzim dan protein lain dalam jaringan tanaman. Akibatnya, Cd akan mengganggu aktivitas enzim.

2.6.1. Struktur Klorofil dan Pengaruh Cd terhadap Pembentukan Klorofil

Klorofil merupakan pigmen yang ditemukan di semua daun. Menurut Winarno (2004), klorofil merupakan pigmen berwarna hijau yang terdapat di dalam kloroplas bersama-sama dengan karoten dan xantofil. Harborne (1987) menambahkan, klorofil merupakan katalisator fotosintesis yang penting. Klorofil tersebut terdapat dalam kloroplas dalam jumlah nisbi banyak, sering terikat

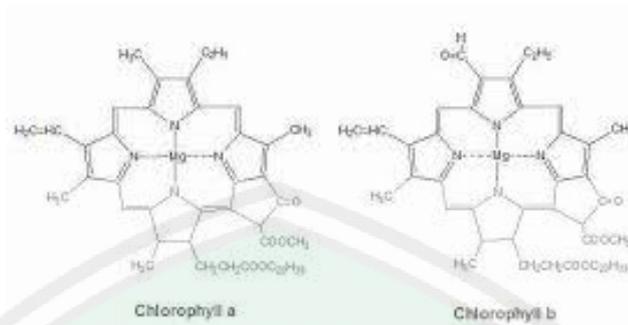
longgar dengan protein, tetapi mudah diekstraksi ke dalam pelarut lipid seperti aseton dan eter.

Klorofil terdiri dari molekul empat cincin pirol, satu dengan lainnya dihubungkan oleh gugus metana (-CH=). Pada inti molekul terdapat atom magnesium yang diikat oleh nitrogen dari dua cincin pirol dengan ikatan kovalen serta oleh dua buah atom nitrogen dari dua cincin pirol lain dengan ikatan koordinat kovalen (Rothemund, 1956), seperti yang telah dicantumkan pada gambar 2.2.



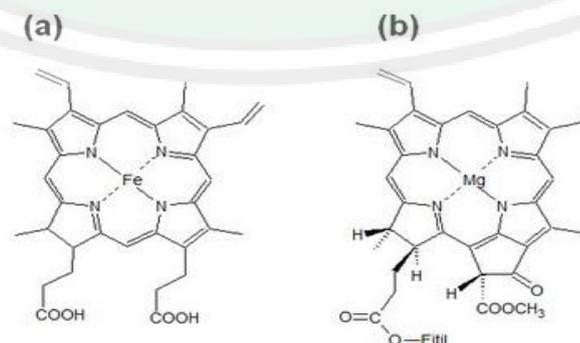
Gambar 2.2. Molekul Klorofil (Rothemund, 1956)

Beberapa tumbuhan mengandung dua pigmen hijau, yaitu klorofil a sebagai *blue-green chlorophyll* dan klorofil b sebagai *yellow-green chlorophyll*. Beberapa tumbuhan lebih banyak mengandung klorofil a daripada klorofil b (Tswett dalam Rothemund, 1956). Kedua klorofil tersebut memiliki perbedaan yang terletak pada struktur klorofil a yang memiliki gugus metil, sedangkan klorofil b memiliki gugus aldehida yang terikat di kanan atas cincin pirol (Harborne, 1987). Struktur klorofil a dan b tertera pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Struktur Klorofil a dan Struktur Klorofil b (Winarno, 2004)

Klorofil pada tanaman disusun oleh besi. Besi tersebut dapat diserap dalam bentuk khelat Fe. Fungsi Fe adalah sebagai penyusun klorofil, sehingga ada korelasi antara ketersediaan Fe dan kadar klorofil dalam tanaman. Kekurangan Fe menyebabkan berkurangnya produksi klorofil (Yuwono, 2008). Berdasarkan strukturnya, klorofil memiliki kesamaan struktur dengan hemoglobin. Rothemund (1956) menyatakan bahwa klorofil dan hemoglobin merupakan porphin yang tersintesis dari *pirol* dan *formaldehid* atau dari *pirol- α -aldehid*. Klorofil dan hemoglobin memiliki perbedaan pada strukturnya yang terletak pada atom pusat molekul masing-masing. Atom pusat klorofil adalah Mg, sedangkan atom pusat hemoglobin adalah Fe.



Gambar 2.4. (a) Struktur Hemoglobin dengan Fe pada Atom pusat, dan (b) Struktur Klorofil dengan Mg pada Atom pusat (Rothemund, 1956)

Menurut Rothemund (1956), suatu persamaan antara klorofil dan hemin tersebut dapat menarik fakta bahwa biokatalis tersebut mengandung suatu atom metal kompleks yang berhubungan dengan molekul pigmen dan terjadi secara alami sebagai *chromo-proteides*, yaitu pigmen dan kombinasi protein hemoglobin yang sesuai dengan klorofil dan unit protein (kloroplastin).

Kadmium (Cd) berpengaruh terhadap pembentukan klorofil. Menurut Monita (2013), keberadaan logam kadmium dapat menimbulkan pengurangan asupan hara yang berguna untuk biosintesis protein, dan menghambat kinerja enzim yang berperan dalam proses biosintesis klorofil yang terjadi di dalam kloroplas. Keberadaan logam Kadmium pada organ daun juga dapat menyebabkan pengurangan asupan unsur hara yang merupakan bahan pembentuk klorofil seperti magnesium (Mg), besi (Fe), dan nitrogen (N) akibat adanya interaksi antar ion (persaingan kapasitas tukar kation).

Keberadaan logam kadmium pada daun juga dapat menyebabkan penurunan enzim yang berperan dalam biosintesis klorofil. Enzim-enzim yang diperlukan dalam proses biosintesis klorofil antara lain *aminolevulinic acid (ALA) dehidratase*, *porphobilinogen deaminase*, dan *protochlorophyllide*. Logam kadmium akan mengikat gugus sulfhidril (-SH) yang terdapat pada enzim tersebut, sehingga fungsi dari enzim tersebut menjadi terganggu atau rusak (Prasad dan Prasad, 1990).

Apabila proses biosintesis tidak dapat berjalan dengan baik, maka akan menghambat pula proses fotosintesis pada tumbuhan. Hal ini dikarenakan logam kadmium selain dapat merusak struktur kloroplas dan menurunkan aktivitas enzim

yang diperlukan dalam biosintesis, dapat pula mengganggu kerja molekul plastoquinone yang terkandung dalam membrane tilakoid kloroplas. Molekul plastoquinone merupakan protein perifer (protein pembantu) yang terikat bebas pada permukaan luminal membran tilakoid. Fungsi molekul tersebut adalah sebagai pembawa elektron yang berperan penting dalam reaksi kimia fotosintesis (Krupa dan Baszynski, 1995 dalam Purbonegoro, 2008).

2.7. Mekanisme Ketahanan Tanaman terhadap Cekaman Kadmium (Cd)

Dalam teori cekaman secara umum, mekanisme ketahanan suatu tanaman terhadap logam berat dapat berupa penghindaran (*avoidance*) dan toleran. Mekanisme penghindaran yang dilakukan tanaman dengan cara membatasi penyerapan logam berat, dan kemudian mengeluarkannya dari jaringan tanaman. Sedangkan tanaman yang melakukan mekanisme toleransi akan mampu mengakumulasi, menyimpan dan kemudian mengimobilisasi logam berat melalui pengikatan bersama asam amino, protein ataupun peptida (Pal *et al.* 2006).

Mekanisme toleransi tanaman terhadap pencemaran logam berat meliputi: selektifitas serapan ion, penurunan permeabilitas atau perubahan struktur dan fungsi membran, imobilisasi ion logam berat pada akar, daun dan biji, deposisi atau penyimpanan ion logam berat dalam bentuk tidak larut sehingga tidak terlibat dalam metabolisme, perubahan pola metabolisme, yaitu peningkatan sistem enzim yang menghambat atau meningkatkan metabolit antagonis atau memotong jalur metabolisme, adaptasi terhadap penggantian logam fisiologis dalam enzim oleh logam berat, dan pelepasan logam berat dari tanaman melalui pencucian lewat daun, gutasi dan ekskresi lewat akar (Kabata-Pendias dan Pendias, 1992).

Salisbury dan Ross (1995) dalam Lestari (2011) menyatakan bahwa spesies tanaman yang tumbuh di lingkungan tercemar logam akan mengalami stres metal dengan membentuk zat fitokhelatin khususnya dibagian akar sebagai mekanisme toleransi yang penting. Fitokhelatin merupakan peptida kecil yang kaya asam amino sistein yang mengandung belerang. Atom belerang dalam sistein ini yang akan mengikat logam berat dari media tumbuh.

Salah satu mekanisme tanaman dalam melawan toksisitas logam berat adalah dengan membentuk enzim antilogam yang khusus. Logam berat yang konsentrasinya lebih banyak di akar sebagian besar ditahan di dalam akar dan hanya sebagian yang ditranslokasikan ke bagian lain dari tanaman seperti batang, daun dan pucuk (Ernest dalam Connell & Miller, 1995). Sedangkan menurut Malone dalam Arisusiloningsih (1986) bahwa tingginya konsentrasi Cd di akar terjadi karena logam berat tersebut terikat pada dinding sel atau diakumulasi di dalam badan golgi sel akar tanaman.

Alloway (2004) dalam Haryati (2012) menyatakan bahwa, penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dibagi menjadi tiga proses diantaranya yaitu: penyerapan (*absorpsi*) logam berat oleh akar, *translokasi* logam berat dari akar ke bagian tumbuhan yang lain, dan *lokalisasi* logam berat pada bagian jaringan tertentu untuk menjaga agar tidak terjadi penghambatan pada proses metabolisme dalam tubuh tumbuhan tersebut. Setelah logam berat diserap oleh akar, proses selanjutnya logam berat diangkut melalui jaringan pengangkut logam berat yang diikat oleh *fitokhelatin*.

Respon tanaman terhadap cekaman kadmium dapat berupa sebagai berikut (Pal *et al.* 2006):

1. Mekanisme eksklusi dan imobilisasi

Mekanisme eksklusi merupakan suatu fungsi sistem pertahanan terhadap kadmium pada tingkat akar. Mekanisme tersebut mampu mencegah kadmium masuk ke dalam sitosol, yang mencakup modifikasi pH rizosfer, eksudasi ikatan asam organik dengan logam, dan pengembangan lapisan lendir yang tebal pada ujung akar. Sedangkan mekanisme imobilisasi yaitu terjadi pada dinding sel atau dengan bantuan karbohidrat ekstraseluler. Kedua mekanisme ini tergantung pada konsentrasi kadmium dan spesies tanaman yang digunakan dalam penelitian.

2. Metabolisme sulfur dan sulfat, serta sintesis *phytochelat*

Ketika terjadi cekaman kadmium, maka jalur lintas asimilasi sulfur dan sulfat teraktivasi yang dapat meningkatkan produksi *phytochelat*. Adanya cekaman kadmium dilaporkan dapat meningkatkan akumulasi *phytochelat* 3–10 kali lebih banyak. *Phytochelat* disebut sebagai komponen utama dalam detoksifikasi logam berat, dan merupakan indikator awal terjadinya cekaman.

3. Akumulasi prolin

Peningkatan akumulasi prolin disebabkan adanya cekaman. Prolin tidak hanya berperan dalam menanggulangi stress osmotik, namun juga berfungsi sebagai sumber C dan N, menstabilkan sintesis protein, dan juga berfungsi sebagai antioksidan dan pengatur pH (Konotop *et al.* 2012).

4. Peningkatan jumlah asam salisilat

Asam salisilat dilaporkan dapat mengurangi efek dari kerusakan membran dan penghambatan perkecambahan dan pertumbuhan yang disebabkan oleh logam berat pada padi (Mishra dan Choudhuri 1999). Sedangkan Metwally *et al.* (2003) menemukan jumlah asam salisilat dua kali lipat dalam akar barley akibat adanya perlakuan kadmium.

2.8. Penelitian tentang Cekaman Kadmium (Cd)

Penelitian tentang toksisitas Cd telah banyak dilakukan pada berbagai jenis tanaman. Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Liang *et al.* (2011) menunjukkan bahwa logam berat Cd dan Cr di temukan pada kawasan pertanian di sepanjang aliran pembuangan limbah di daerah industri Dunhua, China. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa jagung di daerah tersebut tercemar logam Cd dan Cr. Logam Cd terakumulasi pada akar sebesar 0.05 mg/kg, batang 0.02 mg/kg, daun 0.01 mg/kg, dan pada biji 0,01 mg/kg. Penelitian lain tentang cekaman Cd pada tanaman jagung juga dilakukan oleh Ghani (2010). Hasil penelitiannya yaitu menunjukkan bahwa kandungan Cd yang berlebih dalam tanaman jagung dapat menyebabkan reduksi hasil produksi biji jagung maupun bobot kering biomassa total.

Hasil penelitian Sekara *et al.* (2005) menunjukkan bahwa tanaman bit merah (red beet) mampu mengakumulasi sejumlah besar Cd dalam daunnya, sedangkan pada akarnya 2,8 kali lebih kecil dari daun. Pada tanaman labu (pumpkin), akumulasi Cd terbesar berada di daun dan paling sedikit berada di batang serta buahnya. Akumulasi Cd pada bagian akar hampir sama besarnya

dengan bagian di pucuk yaitu daun, batang, dan buah. Tanaman barley mengakumulasi sejumlah besar Cd pada bagian akarnya (Fecenco *et.al*, dalam Sekara *et.al*, 2005). Penelitian Sekara *et.al* (2005) juga menunjukkan bahwa akumulasi Cd pada akar barley 4 kali lebih besar dari bagian malai, dan 7 kali lebih besar dari bagian bijinya. Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa tanaman bit merah, labu, chycory, common bean, sawi putih, parsnip, mengakumulasi Cd terbesar pada bagian daunnya.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret sampai Juni 2017 di beberapa tempat, yaitu pada proses penanaman hingga pemanenan kacang hijau (*Vigna radiata* L.) dilakukan di *greenhouse* Universitas Negeri Malang (UM); analisis tanah di Laboratorium Tanah, Universitas Brawijaya (UB); pengukuran luas daun dilakukan di Laboratorium Genetika, Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang; uji kadar klorofil dilakukan di Laboratorium Agronomi, Universitas Muhammadiyah Malang (UMM); dan uji kandungan kadmium (Cd) pada biji kacang hijau (*Vigna radiata* L.) dilakukan di Laboratorium AAS, Jurusan Kimia, Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1. Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah neraca analitik, penggaris, gunting, gelas ukur, spuit, cetok, gembor, timbangan, polybag ukuran 40 x 40 cm, klorofil meter SPAD, alat tulis, rafia, patok kayu (penyangga), Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS), dan kamera digital.

3.2.2. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air, CdSO_4 , kompos organik, pestisida, aquades, tanah, pasir, fungisida acrobate, pestisida marshal 200 EC, dan benih kacang hijau (*Vigna radiata* L.) yang terdiri dari varietas Kenari, Vima 1, dan Vima 2.

3.3. Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL), karena setiap sampel yang digunakan mendapatkan perlakuan yang sama dan disusun secara faktorial yang terdiri dari dua faktor.

Faktor I: Varietas kacang hijau (A)

A1: kacang hijau varietas Kenari

A2: kacang hijau varietas Vima 1

A3: kacang hijau varietas Vima 2

Faktor II: Dosis pemberian Cd (B)

B0: 0 ppm (kontrol)

B1: 0.25 ppm

B2: 0.50 ppm

B3: 0.75 ppm

Kedua faktor tersebut digabungkan dan didapatkan 12 perlakuan kombinasi sebagai berikut, dimana setiap perlakuan kombinasi dibuat tiga ulangan:

	A1	A2	A3
B0	A1B0	A2B0	A3B0
B1	A1B1	A2B1	A3B1
B2	A1B2	A2B2	A3B2
B3	A1B3	A2B3	A3B4

Keterangan:

- A1B0 : Kacang hijau varietas Kenari tanpa pemberian logam berat Cd 0 ppm (kontrol)
- A2B0 : Kacang hijau varietas Vima 1 tanpa pemberian logam berat Cd 0 ppm (kontrol)
- A3B0 : Kacang hijau varietas Vima 2 tanpa pemberian logam berat Cd 0 ppm (kontrol)
- A1B1 : Kacang hijau varietas Kenari dengan pemberian logam berat Cd 0.25 ppm
- A2B1 : Kacang hijau varietas Vima 1 dengan pemberian logam berat Cd 0.25 ppm
- A3B1 : Kacang hijau varietas Vima 2 dengan pemberian logam berat Cd 0.25 ppm
- A1B2 : Kacang hijau varietas Kenari dengan pemberian logam berat Cd 0.50 ppm
- A2B2 : Kacang hijau varietas Vima 1 dengan pemberian logam berat Cd 0.50 ppm
- A3B2 : Kacang hijau varietas Vima 2 dengan pemberian logam berat Cd 0.50 ppm
- A1B3 : Kacang hijau varietas Kenari dengan pemberian logam berat Cd 0.75 ppm
- A2B3 : Kacang hijau varietas Vima 1 dengan pemberian logam berat Cd 0.75 ppm
- A3B3 : Kacang hijau varietas Vima 2 dengan pemberian logam berat Cd 0.75 ppm

3.4. Prosedur Penelitian

3.4.1. Persiapan Media Tanam

Tanah yang digunakan berasal dari Persawahan Petani di Desa Banjarejo Kecamatan Pakis Kabupaten Malang yang telah digunakan untuk menanam kacang - kacangan sehingga tanah sudah mengandung bakteri *Rhizobium*. Bakteri ini akan hidup di dalam bintil akar dan bermanfaat sebagai pengikat unsur N dari udara. Tanah yang telah diperoleh sebelum digunakan dianalisis terlebih dahulu untuk mengetahui jenis tanah, unsur hara makro (C, N, C/N), dan logam kadmium (Cd). Sebelum digunakan, tanah dikeringanginkan sampai berat stabil dan dimasukkan ke dalam polybag sebanyak 8 kg/polybag.

3.4.2. Penanaman Benih

Benih kacang hijau yang terdiri dari varietas Kenari, Vima 1, dan Vima 2 yang akan ditanam direndam terlebih dahulu dengan air suling selama 30 menit. Setelah itu biji ditanam pada polybag yang telah disediakan dengan lubang tanam sedalam 2 cm sebanyak 5 benih per polybag, kemudian lubang tanam ditutup dengan tanah.

3.4.3. Pemupukan

Pemupukan dilakukan sebelum perlakuan cekaman Cd dengan menggunakan kompos organik. Kompos organik diberikan pada saat pembuatan media tanam dengan cara dicampur tanah dengan perbandingan 1:2.

3.4.4. Pemberian Perlakuan

3.4.4.1. Pembuatan Larutan CdSO₄

Pembuatan larutan dilakukan dengan mengencerkan serbuk CdSO₄ sebanyak 1 g ke dalam beaker glass dan ditambah air sampai 1 liter, didapatkan larutan stok CdSO₄ sebanyak 1000 ppm. Kemudian penggunaan larutannya disesuaikan dengan konsentrasi perlakuan cekaman Cd yang digunakan.

3.4.4.2. Perhitungan Kebutuhan Air pada Kacang Hijau per Hari dalam Polybag Ukuran 40 X 40 cm

Volume air per hari pada kacang hijau fase awal (0-7 HST)	=	Kebutuhan air x luas permukaan
	=	2,0 mm x 40 cm ²
	=	0,0020 m x 0,16 m ²
	=	0,000320 m ³
	=	0,320 L
	=	320 ml
Volume air per hari pada kacang hijau fase vegetatif (7-25 HST)	=	Kebutuhan air x luas permukaan
	=	2,4 mm x 40 cm ²
	=	0,0024 m x 0,16 m ²
	=	0,000384 m ³
	=	0,384 L
	=	384 ml
Volume air per hari pada kacang hijau fase generatif (25-60 HST)	=	Kebutuhan air x luas permukaan
	=	3,6 mm x 40 cm ²
	=	0,0036 m x 0,16 m ²
	=	0,000576 m ³
	=	0,576 L
	=	576

3.4.4.3. Perhitungan Konsentrasi Perlakuan Cekaman Cd mulai 7 HST sampai 25 HST

$$\text{Larutan stok CdSO}_4 = 1000 \text{ ppm}$$

$$\text{Kebutuhan air kacang hijau 7-25} = 384 \text{ ml}$$

HST

$$\text{Kebutuhan Cd 0.25 ppm} = V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$384 \times 0.25 = V_2 \times 1000$$

$$V_2 = \frac{96}{1000}$$

$$V_2 = 0.096 \text{ ml}$$

- sehingga kebutuhan Cd 0.25 ppm adalah 0.096 ml yang dilarutkan dalam 384 ml air

$$\text{Kebutuhan Cd 0.50 ppm} = V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$384 \times 0.50 = V_2 \times 1000$$

$$V_2 = \frac{192}{1000}$$

$$V_2 = 0.192 \text{ ml}$$

- sehingga kebutuhan Cd 0.50 ppm adalah 0.192 ml yang dilarutkan dalam 384 ml air

$$\text{Kebutuhan Cd 0.75 ppm} = V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$384 \times 0.75 = V_2 \times 1000$$

$$V_2 = \frac{512}{1000}$$

$$V_2 = 0.512 \text{ ml}$$

- sehingga kebutuhan Cd 0.75 ppm adalah 0.512 ml yang dilarutkan dalam 384 ml air

3.4.4.4. Penyiraman Pelakuan Logam Berat Cd pada Kacang Hijau

Pemberian perlakuan logam Cd dilakukan setiap 2 hari sekali mulai tanaman berumur 7 HST yaitu dimulai pada fase vegetatif awal dan berhenti pada saat tanaman kacang hijau telah mencapai fase generatif. Ketika tanaman kacang hijau berumur 0-7 HST, penyiraman hanya menggunakan air tanpa pemberian perlakuan cekaman logam Cd. Penyiraman dengan air dilakukan setiap hari hingga kondisi pada permukaan tanah cukup lembab di bagian permukaan tanah (320 ml). Ketika tanaman kacang hijau berumur 7-25 HST, penyiraman dilakukan dengan pemberian cekaman logam Cd yang dilakukan setiap 2 hari sekali, dan berhenti pada fase generatif. Sedangkan penyiraman pada fase generatif hanya menggunakan air sebanyak 576 ml, tanpa pemberian cekaman logam Cd. Penyiraman dilakukan pada pagi hari.

3.4.5. Pemeliharaan

3.4.5.1. Penjarangan

Penjarangan dilakukan pada saat tanaman berumur 5 HST yaitu dipilih tanaman yang pertumbuhannya kurang baik atau abnormal. Penjarangan dilakukan dengan cara mencabut tanaman sehingga pada tiap polybag terdapat 3 tanaman kacang hijau.

3.4.5.2. Penyiangan

Penyiangan yang dilakukan tergantung dengan pertumbuhan gulma. Sunantara (2000) menganjurkan tanaman yang berumur 10-15 HST dan 25-30 HST, dilakukan penyiangan dengan cara mencabut gulma dengan tangan yang terdapat dalam polybag. Hal tersebut dilakukan untuk mengurangi persaingan antara tanaman utama dengan gulma dalam mendapatkan unsur hara dari dalam tanah.

3.4.5.3. Pengendalian Hama dan Penyakit

Pengendalian hama dan penyakit dilakukan dengan cara menyemprotkan fungisida acrobate dan pestisida marshal 200 EC dengan dosis 1 g/l air. Penyemprotan dilakukan secara merata ke seluruh bagian tanaman pada masing-masing polybag saat terlihatnya gejala serangan hama atau penyakit.

3.4.5.4. Panen

Umur panen bervariasi tergantung pada varietas yang ditanam. Panen dapat dilakukan apabila polong berwarna hitam atau coklat serta telah kering dan mudah pecah. Panen dapat dilakukan satu, dua, atau tiga kali tergantung pada varietas yang ditanam.

Hasil panen tersebut langsung dijemur di atas lantai beralaskan terpal atau karung dengan ketebalan 2-3 cm, pembalikan dilakukan setiap 3 jam. Polong yang telah kering dipukul-pukul hingga kulit polong pecah (di dalam karung untuk menghindari kehilangan hasil) dan pemisahan biji dari kulit polong dilakukan dengan nyiru, tampi, atau blower. Biji yang telah bersih kemudian dijemur sampai kering dan disimpan yaitu kadar air 8-9% (Sunantara, 2000).

3.5. Parameter Pengamatan Pertumbuhan Kacang Hijau

Pengamatan untuk pengambilan data dalam penelitian ini meliputi:

1. Pengukuran tinggi tanaman (cm) yang dilakukan pada saat tanaman berumur 15, 30, 45, 60 HST. Dimulai dari leher akar sampai dengan titik tumbuh meristem apikal batang.
2. Perhitungan jumlah daun meliputi seluruh daun yang sudah membuka dengan sempurna dan dilakukan pada saat tanaman berumur 15, 30, 45, dan 60 HST.
3. Perhitungan luas daun dengan menggunakan metode Gravimetri yaitu pada umur 30 HST dengan cara perhitungan sebagai berikut (Sitompul dan Guritno, 1995):

$$LD = \frac{Wr \times Lk}{Wt}$$

Dimana:

LD = Luas daun (cm²)

Wr = Bobot kertas replika daun (gram)

LK = Luas kertas (cm²)

Wt = Bobot seluruh kertas (gram)

4. Perhitungan kadar klorofil saat tanaman telah berumur 30 HST dengan menggunakan klorofil meter SPAD (Rosalina, 2008):
 - a. Memilih daun yang pertumbuhannya optimal.
 - b. Mengukur daging daun dengan menggunakan alat klorofil meter.

- c. Klorofil meter diletakkan pada permukaan daun bagian atas, terutama pada bagian daging daun dan tidak melebihi batas tulang daun.
 - d. Pengukuran diulang sebanyak 3 kali dalam 1 lembar daun.
 - e. Hasil pengukuran dapat dibaca pada display.
5. Perhitungan jumlah bunga. Jumlah bunga dihitung secara keseluruhan pada setiap tanaman dalam polybag.
 6. Penimbangan berat kering total tanaman dilakukan setelah pemanenan.
 7. Penimbangan berat kering akar dilakukan setelah pemanenan.
 8. Jumlah polong dihitung setiap tanaman pada saat panen.
 9. Penimbangan biji dilakukan setelah pemanenan.
 10. Skoring tanaman kacang hijau varietas Kenari, Vima 1 dan Vima 2 terhadap toleransi cekaman Cd pada saat umur 4 minggu setelah tanam dengan skala 1-5 adalah sebagai berikut (Trustinah, 2009):
 - Skor 1: Toleran, pertumbuhan normal, daun hijau, dan subur.
 - Skor 2: Sedikit toleran, pertumbuhan tanaman kurang normal, dan kurang subur.
 - Skor 3: Sedikit rentan, tanaman kurang subur, dan daun menguning.
 - Skor 4: Rentan, tanaman kerdil (ruas batangnya lebih pendek), dan daun menguning.
 - Skor 5: Sangat rentan, tanaman sangat kerdil, daun kecoklatan, dan tanaman mati sebelum berbunga.

11. Perhitungan kadar logam Cd yang terdapat dalam biji kacang hijau (*Vigna radiata* L.) yang sudah kering dengan cara sebagai berikut (Avkopashvili *et al.*, 2017):

- a. Biji dihaluskan dengan menggunakan mortar.
- b. Biji yang sudah dihaluskan kemudian ditimbang sebanyak 2 gram.
- c. Biji yang sudah ditimbang, ditambah dengan akuades sebanyak 20 mL dan 5 mL asam nitrat pekat 65%.
- d. Aduk atau kocok larutan tersebut.
- e. Destruksi menggunakan digester pada suhu 140°C selama 2 jam.
- f. Larutan tersebut didinginkan dan disaring menggunakan kertas whatman 40 ke dalam gelas ukur 25 mL.
- g. Larutan dipindahkan ke dalam labu ukur 25 mL dan ditanda bataskan dengan akuades.
- h. Analisis kandungan kadmium (Cd) menggunakan spektrometer serapan atom model AA240 pada panjang gelombang 324,8 nm.
- i. Hasil analisis dihitung dengan menggunakan rumus perhitungan:

$$\text{Konsentrasi Cd } (\mu\text{g/g}) = \frac{D \times V \times Fp}{W}$$

Dimana:

- D : Konsentrasi sampel mg/L dari hasil pembacaan AAS dikonversi ke satuan $\mu\text{g/L}$
- V : Volume akhir larutan sampel yang disiapkan (mL) harus dirubah ke dalam satuan liter
- Fp : Faktor pengenceran
- W : Berat sampel (gram)

12. Indeks sensitivitas cekaman diukur terhadap luas daun, kadar klorofil, jumlah bunga, jumlah polong, berat kering total tanaman, berat kering akar, dan berat biji. Indeks sensitivitas cekaman logam (S) dihitung mengikuti persamaan Fischer dan Maurer (1978) dalam Suwarti (2013):

$$S = (1 - Y_p / Y) / (1 - X_p / X)$$

Dimana:

- S : Indeks sensitivitas cekaman logam berat
- Y_p : Rata-rata nilai suatu genotip yang mendapat cekaman logam berat Cd
- Y : Rata-rata nilai suatu genotip yang tidak mendapat cekaman logam berat Cd
- X_p : Rata-rata dari seluruh genotip yang mendapat cekaman logam berat Cd
- X : Rata-rata dari seluruh genotip yang tidak mendapat cekaman logam berat Cd

Kriteria untuk menentukan tingkat toleran cekaman logam berat Cd adalah apabila nilai $S < 0,5$ kategori genotip toleran, $0,5 < S < 1,0$ kategori genotip medium toleran, dan $S > 1,0$ untuk genotip peka.

3.6. Teknik Analisis Data

Semua data yang telah diperoleh dianalisis statistik dengan ANOVA. Apabila F hitung $<$ F tabel (Sig $>$ 0,05) berarti tidak terdapat pengaruh pada beberapa varietas kacang hijau (*Vigna radiata* L.) terhadap kadar logam Cd, dan jika F hitung \geq F tabel (Sig $<$ 0,05) berarti terdapat pengaruh pada beberapa varietas kacang hijau (*Vigna radiata* L.) terhadap kadar logam Cd. Jika terdapat pengaruh maka diuji lanjut menggunakan uji DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) dengan taraf signifikansi 0,5.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengaruh Kadar Cd terhadap Pertumbuhan Tanaman Kacang Hijau

(*Vigna radiata* L.)

4.1.1. Pengaruh Kadar Cd pada Tinggi Tanaman dan Jumlah Daun Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

Kadar Cd pada hasil ANOVA memiliki pengaruh terhadap tinggi tanaman dan jumlah daun kacang hijau (*Vigna radiata* L.) pada umur 45 HST, karena nilai Sig. < 0,05. Pengaruh signifikan pada masing-masing kadar Cd terhadap tinggi tanaman dan jumlah daun kemudian diuji lanjut dengan uji Duncan 5%. Berikut merupakan hasil uji lanjut Duncan taraf 5% pada tabel 4.1 mengenai pengaruh kadar Cd pada tinggi tanaman dan jumlah daun kacang hijau (*Vigna radiata* L.).

Tabel 4.1. Hasil Uji Duncan Taraf 5% Pengaruh Kadar Cd pada Tinggi Tanaman dan Jumlah Daun

Kadar Cd (ppm)	Tinggi Tanaman (cm) 45 HST	Jumlah Daun 45 HST
0	47,5333 c	6,4444 b
0,25	40,5556 ab	5,4444 a
0,50	41,3889 b	5,4444 a
0,75	37,5556 a	5,2222 a

Keterangan: Angka dalam satu kolom yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji Duncan 5%

Pemberian Cd berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman dan jumlah daun kacang hijau pada umur 45 HST. Pada tabel 4.1 bagian tinggi tanaman menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi Cd maka semakin menghambat tinggi tanaman. Tinggi tanaman yang tertinggi yaitu sebesar 47,5333 cm dengan

perlakuan 0 ppm Cd dan yang terendah sebesar 37,5556 cm dengan perlakuan 0,75 ppm Cd, akan tetapi perlakuan 0,75 ppm Cd tidak berbeda nyata dengan perlakuan 0,25 ppm Cd dan antara perlakuan 0,25 ppm Cd dengan perlakuan 0,50 ppm Cd juga tidak berbeda nyata. Kadar Cd yang tinggi menyebabkan tinggi tanaman kacang hijau semakin terhambat. Menurut Fitrah (2013) dalam Juhriah (2017), menyebutkan bahwa tingginya akumulasi logam berat dalam organ tanaman bila melebihi batas toleransi akan bersifat toksik hingga akan menghambat laju metabolismenya. Yang, dkk (1986) dalam Kholidiyah (2010) menambahkan, umumnya kadmium berefek negatif dalam metabolisme yang melibatkan kerja enzim. Kadmium dapat menghambat pertumbuhan benih, perkembangan akar dan organ tumbuhan, dan dapat menyebabkan mutasi kloroplas pada konsentrasi yang sangat tinggi. Selain itu, kadmium juga dapat menyebabkan berkurangnya indeks mitosis sel akar tumbuhan.

Pada pengamatan jumlah daun pada umur 45 HST menunjukkan bahwa jumlah daun yang paling banyak yaitu 6,4444 pada kadar Cd 0 ppm dan berbeda nyata dengan kadar Cd 0,25 ppm, 0,50 ppm, dan 0,75 ppm. Sedangkan jumlah daun yang paling sedikit yaitu pada kadar Cd 0,75 ppm sebesar 5,2222 tetapi tidak berbeda nyata dengan kadar 0,25 ppm dan 0,50 ppm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasinya Cd yang diberikan, maka akan semakin menurunkan jumlah daun. Hal ini disebabkan Cd dapat menghambat proses pembelahan sel dan penyerapan Fe. Menurut Noviarini (2015), logam Cd juga dapat menyebabkan abnormalitas seperti patahnya kromosom. Patahnya kromosom dapat mempengaruhi proses pembelahan sel. Zou *et al.*, (2012)

menyatakan jumlah logam Cd yang berlebihan dalam tanaman dapat menyebabkan penurunan serapan unsur hara dan penghambatan berbagai aktivitas enzim. Logam Cd menghambat pertumbuhan dengan menghambat penyerapan hara Ca, mengganggu pembelahan sel serta gangguan fotosintesis.

Doberman dan Fairhurst (2000) menambahkan, apabila tanaman kekurangan Fe maka akan terjadi pengurangan kandungan klorofil dalam daun dan gangguan enzim yang terdapat dalam metabolisme gula. Hal ini dapat menyebabkan gangguan pada proses fotosintesis sehingga hasil fotosintat yang ada menurun. Penurunan jumlah fotosintat tersebut menyebabkan penurunan pada jumlah daun yang dihasilkan.

4.1.2. Pengaruh Kadar Cd pada Rata-rata Luas Daun dan Kadar Klorofil

Daun Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

Kadar Cd memberikan pengaruh signifikan terhadap rata-rata luas daun dan kadar klorofil daun pada umur 30 HST karena nilai Sig. < 0,05. Oleh karena itu, dilakukan uji Duncan 5% untuk mengetahui perbedaan masing-masing perlakuan. Berikut merupakan hasil uji Duncan 5% kadar Cd terhadap rata-rata luas daun dan kadar klorofil daun yang terdapat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil Uji Duncan Taraf 5% Pengaruh Kadar Cd pada Rata-rata Luas Daun dan Kadar Klorofil Daun

Kadar Cd (ppm)	Rata-Rata Luas Daun (cm ²)	Kadar Klorofil (mg/cm ²)
0	23,9633 c	27,5222 b
0,25	20,5989 b	26,0889 a
0,50	18,0356 b	24,5889 a
0,75	15,0000 a	24,9000 a

Keterangan: Angka dalam satu kolom yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji Duncan 5%

Berdasarkan hasil uji Duncan pada tabel 4.2 diketahui bahwa penambahan Cd berpengaruh terhadap rata-rata luas daun dan kadar klorofil tanaman kacang hijau. Pada rata-rata luas daun yang tertinggi ditunjukkan pada perlakuan konsentrasi 0 ppm Cd yaitu sebesar 23,9633 cm² dan berbeda nyata dengan semua perlakuan konsentrasi. Sedangkan rata-rata luas daun terendah ditunjukkan pada perlakuan konsentrasi 0,75 ppm Cd yaitu sebesar 15,0000 cm² yang juga berbeda nyata dengan semua perlakuan. Hasil uji Duncan 5% membuktikan bahwa semakin tinggi konsentrasi Cd yang diberikan, maka akan menyebabkan pertumbuhan luas daun terhambat karena konsentrasi Cd yang tinggi dapat menyebabkan gangguan dalam proses fotosintesis. Perales Vela *et al.* (2007) menjelaskan bahwa terganggunya aktivitas fotosintesis dapat menyebabkan kemampuan sel untuk memperbanyak diri menjadi berkurang. Hal ini menyebabkan pertumbuhan dan penambahan jumlah sel menjadi terhambat.

Pada tabel 4.2 bagian kadar klorofil menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi 0 ppm Cd memiliki kadar klorofil tertinggi yaitu sebesar 27,5222 mg/cm² dan berbeda nyata dengan semua perlakuan konsentrasi. Pada perlakuan konsentrasi 0,75 ppm Cd memiliki kadar klorofil yang paling rendah yaitu sebesar 24,9000 mg/cm², akan tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan 0,25 ppm Cd dan 0,50 ppm Cd. Kadar klorofil pada tanaman kacang hijau mulai menurun seiring dengan penambahan konsentrasi Cd yang diberikan. Hal ini disebabkan konsentrasi Cd yang tinggi dapat menyebabkan kekurangan Fe yang merupakan unsur hara pembentuk klorofil. Menurut Monita (2013), keberadaan logam kadmium pada organ daun dapat menyebabkan pengurangan asupan unsur hara

yang merupakan bahan pembentuk klorofil seperti magnesium (Mg), besi (Fe), dan nitrogen (N) akibat adanya interaksi antar ion (persaingan kapasitas tukar kation).

Keberadaan logam kadmium di daun mampu menghambat sintesis klorofil yaitu berinteraksi dengan kelompok enzim fungsional yang memiliki gugus (-SH) seperti: *aminolevulinic acid (ALA) dehidratase*, *porphobilinogen deaminase*, dan *protochlorophyllide*. Keberadaan logam berat dalam jaringan tumbuhan berhubungan langsung dengan adanya aktivitas *porphobilinogen deaminase* dan *aminolevulinic acid (ALA) dehidratase* yang juga dapat menghambat sintesis porfirin yang merupakan bagian dari struktur klorofil (Prasad dan Prasad, 1990).

4.1.3. Pengaruh Kadar Cd pada Berat Kering Akar dan Berat Kering Total Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

Kadar Cd berpengaruh terhadap berat kering akar dan berat kering total tanaman, karena nilai Sig. < 0,05. Pengaruh signifikan pada masing-masing kadar Cd terhadap berat kering akar dan berat kering total tanaman akan diuji lanjut dengan uji Duncan 5%. Berikut merupakan hasil uji lanjut Duncan taraf 5% telah disajikan pada tabel 4.3 mengenai pengaruh kadar Cd pada berat kering akar dan berat kering total tanaman kacang hijau (*Vigna radiata* L.).

Tabel 4.3. Hasil Uji Duncan Taraf 5% Pengaruh Kadar Cd pada Berat Kering Akar dan Berat Kering Total Tanaman

Kadar Cd (ppm)	Berat Kering Akar (gram)	Berat Kering Total Tanaman (gram)
0	0,21378 d	1,73278 d
0,25	0,12333 c	1,11278 c
0,50	0,07411 b	0,87300 b
0,75	0,04378 a	0,68567 a

Keterangan: Angka dalam satu kolom yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji Duncan 5%

Hasil pada tabel 4.3 menunjukkan bahwa terdapat pengaruh pada berat kering akar dan berat kering total tanaman kacang hijau. Penurunan berat kering akar seiring dengan meningkatnya konsentrasi Cd yang diberikan. Hal tersebut terlihat pada perlakuan Cd konsentrasi 0 ppm (kontrol) yang mempunyai berat kering akar paling tinggi yaitu sebesar 0,21378 gram dan berbeda nyata dengan perlakuan Cd yang lain. Perlakuan konsentrasi Cd yang menunjukkan berat kering akar paling rendah yaitu pada perlakuan konsentrasi Cd 0.75 ppm sebesar 0,04378 gram. Kholidiyah (2010) menjelaskan bahwa terdapat respon biologis dari tanaman yang meliputi tingkat nekrosis daun, penurunan panjang akar, berat kering akar, nisbah tajuk akar, berat kering batang, dan kadar klorofil daun akibat adanya akumulasi logam berat Cd pada tanaman tersebut.

Pada tabel 4.3 tentang berat kering total tanaman juga menunjukkan bahwa semakin tinggi penambahan konsentrasi Cd maka akan semakin menurunkan berat kering total tanaman. Konsentrasi Cd terbesar yaitu 0,75 ppm menyebabkan penurunan berat kering total tanaman yang paling besar dibandingkan yang lainnya yaitu dengan berat kering total tanaman sebesar 0,68567 gram dan berbeda nyata dengan konsentrasi yang lain. Sedangkan perlakuan kontrol (0 ppm Cd) merupakan perlakuan konsentrasi yang mempunyai berat kering total tanaman tertinggi yaitu sebesar 1,73278 gram dan berbeda nyata dengan konsentrasi Cd yang lainnya.

Padmaja *et al.* (1990) dalam John *et al.* (2009) menjelaskan bahwa kadmium dapat menghambat sintesis klorofil dan fotosintesis pada tanaman sehingga dapat berakibat pada pengurangan biomassa tanaman. Monita (2013)

menambahkan bahwa penurunan berat tanaman dapat terjadi karena adanya toksisitas logam kadmium yang dapat menyebabkan antara lain, 1) sulitnya memperoleh air karena pengaruh osmotik yang timbul dari kadar larutan yang berlebih, dimana masalah osmotik dikarenakan ion kadmium yang mencapai kadar larutan yang tinggi, 2) sulitnya memperoleh hara karena adanya kompetisi antara ion-ion, dimana akar-akar tanaman mengabsorpsi ion dari media yang kompleks yang tidak hanya mengandung ion hara esensial, namun juga ion nonessensial dan juga senyawa organik, 3) sulitnya memperoleh CO₂ yang dibutuhkan dalam fotosintesis yang disebabkan karena keberadaan logam kadmium dalam organ daun yang dapat mengganggu proses membuka dan menutupnya stomata.

4.1.4. Pengaruh Kadar Cd pada Jumlah Bunga dan Jumlah Polong Tanaman

Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

Kadar Cd memberikan pengaruh terhadap jumlah polong karena Sig. < 0,05. Perbedaan signifikan pada masing-masing perlakuan dapat diketahui melalui uji lanjut Duncan. Hasil uji lanjut Duncan 5% telah disajikan pada tabel 4.4 tentang pengaruh kadar Cd pada jumlah polong, berat biji, dan kandungan Cd pada biji kacang hijau (*Vigna radiata* L.).

Tabel 4.4. Hasil Uji Duncan Taraf 5% Pengaruh Kadar Cd pada Jumlah Bunga dan Jumlah Polong

Kadar Cd (ppm)	Jumlah Bunga (per tanaman)	Jumlah Polong (per tanaman)
0	8,7778 d	7,8889 b
0,25	6,8889 c	5,4444 a
0,50	6,1111 b	5,3333 a
0,75	5,2222 a	4,7778 a

Keterangan: Angka dalam satu kolom yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji Duncan 5%

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa pemberian berbagai konsentrasi Cd berpengaruh terhadap jumlah bunga dan jumlah polong tanaman kacang hijau. Pada tabel bagian jumlah bunga diketahui bahwa perlakuan 0 ppm Cd mempunyai jumlah bunga paling banyak yaitu 8,7778 bunga dan berbeda nyata dengan semua perlakuan. Sedangkan jumlah bunga terendah terdapat pada perlakuan konsentrasi Cd 0,75 ppm yaitu sebesar 5,2222 bunga dan juga berbeda nyata dengan semua perlakuan konsentrasi Cd yaitu 0 ppm, 0,25 ppm, dan 0,50 ppm. Hasil uji Duncan tersebut menunjukkan bahwa semua perlakuan konsentrasi berbeda nyata, karena huruf dibelakang angka berbeda-beda.

Toksisitas Cd berpengaruh terhadap proses pembentukan bunga pada tanaman. Sheirdil *et al.* (2012) menjelaskan bahwa pada tumbuhan, kadmium adalah salah satu logam berat yang paling mudah diserap dan tertranslokasi secara cepat, hal inilah yang menjelaskan bahwa efek racunnya sangat kuat walaupun pada konsentrasi yang relatif rendah. Gejala keracunan yang terjadi pada tanaman antara lain: penghambatan pertumbuhan (menghambat proses perkecambahan dan perkembangan bibit) dan fotosintesis, perubahan aktifitas enzim, menghambat fiksasi nitrogen, gangguan pada metabolisme ion, dan pembentukan radikal bebas.

Pada tabel 4.4 kolom jumlah polong menunjukkan bahwa semakin tinggi pemberian konsentrasi Cd menyebabkan jumlah polong yang dihasilkan semakin sedikit. Konsentrasi Cd 0,75 ppm merupakan konsentrasi yang paling menghambat pertumbuhan polong sehingga menyebabkan jumlah polong paling sedikit dibandingkan dengan konsentrasi lainnya yaitu sebesar 4,7778 polong. Akan tetapi jumlah polong tersebut tidak berbeda nyata dengan jumlah polong

pada konsentrasi Cd 0,25 ppm dan 0,50 ppm. Sedangkan konsentrasi 0 ppm Cd merupakan konsentrasi yang menghasilkan jumlah polong paling banyak yaitu sebesar 7,8889 polong.

Konsentrasi Cd yang tinggi berdampak pada penurunan unsur hara yang lain, salah satu diantaranya yaitu unsur hara mikro Fe, dimana menurut Das *et al.* (1998) serapan Fe dapat terganggu akibat dari tingginya Cd di media tumbuh. Rosidah (2014) menambahkan bahwa kehadiran Cd dapat mempengaruhi keseimbangan hara mikro dan makro, sehingga cekaman Cd menyebabkan gangguan metabolisme. Beberapa *transporter* seperti: *ATP-metal binding*, *Natural Resistance Associated Macrophase (NRAMP)*, dan *Zinc Transporter (ZIP)* tidak hanya mampu mengikat mineral esensial seperti: Fe dan Zn tetapi juga logam Cd. Pada saat cekaman, konsentrasi Cd yang melimpah dapat menyebabkan selektivitas *transporter* menurun sehingga Cd memblokir pengikatan Fe dan Zn.

4.1.5. Pengaruh Kadar Cd pada Berat Biji dan Kandungan Cd dalam Biji Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

Kadar Cd memberikan pengaruh terhadap berat biji dan kandungan Cd dalam biji karena Sig. < 0,05. Perbedaan signifikan pada masing-masing perlakuan dapat diketahui melalui uji lanjut Duncan. Hasil uji lanjut Duncan 5% telah disajikan pada tabel 4.5 tentang pengaruh kadar Cd pada berat biji, dan kandungan Cd pada biji kacang hijau (*Vigna radiata* L.).

Tabel 4.5. Hasil Uji Duncan Taraf 5% Pengaruh Kadar Cd pada Berat Biji dan Kandungan Cd pada Biji

Kadar Cd (ppm)	Berat Biji (gram/tanaman)	Kandungan Cd dalam Biji (ppm)
0	3,2067 b	0,033671 a
0,25	1,3333 a	0,046878 b
0,50	1,3544 a	0,054489 c
0,75	0,9122 a	0,067000 d

Keterangan: Angka dalam satu kolom yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji Duncan 5%

Berdasarkan tabel 4.5 pada bagian berat biji menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi 0 ppm Cd merupakan konsentrasi yang memiliki berat biji yang paling tinggi dibandingkan konsentrasi yang lain yaitu sebesar 3,2067 gram dan berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi yang lain. Konsentrasi Cd 0.50 ppm memiliki kadar Cd berat biji yang lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi Cd 0,25 ppm dan 0,75 ppm. Sedangkan pada perlakuan konsentrasi Cd tertinggi yaitu 0,75 ppm memiliki berat biji yang paling rendah dibandingkan konsentrasi yang lain yaitu sebesar 0,9122 gram, akan tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi 0,25 ppm dan 0,50 ppm.

Hasil uji Duncan tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi Cd yang diberikan maka berat biji kacang hijau akan lebih sedikit. Hal ini dikarenakan Cd tidak hanya terdistribusi di bagian akar dan daun saja tetapi juga di bagian biji. Yong *et al.* (2008) menjelaskan bahwa penambahan Cd ke dalam media tanam menyebabkan akumulasi Cd pada jaringan tanaman meningkat, yang secara berturut-turut meningkatkan kandungan Cd dalam seluruh bagian tumbuhan. Mendoza-Co'zatl *et al.* (2011) dalam Priyadi (2013) menambahkan

bahwa Cd diangkut melalui pembuluh xylem dan didistribusikan pembuluh floem hingga mencapai biji dalam bentuk X-S-Cd.

Pada tabel 4.5 bagian kandungan Cd dalam biji menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi 0 ppm Cd merupakan konsentrasi yang memiliki kadar Cd dalam biji yang paling rendah dibandingkan konsentrasi yang lain yaitu sebesar 0,033671 ppm dan berbeda nyata dengan semua perlakuan konsentrasi. Sedangkan pada perlakuan konsentrasi Cd tertinggi yaitu 0,75 ppm, kadar Cd dalam bijinya paling tinggi dan berbeda nyata dengan perlakuan yang lain yaitu sebesar 0,067000 ppm.

Menurut badan dunia FAO/WHO, konsumsi kadmium per minggu yang ditoleransikan bagi manusia adalah 400-500 g per orang atau 7 mg per kg berat badan. Kadmium yang terdapat dalam tubuh manusia sebagian besar diperoleh melalui makanan dan tembakau, hanya sejumlah kecil yang berasal dari air minum dan polusi udara (Widaningrum, 2007).

4.2. Pengaruh Varietas terhadap Pertumbuhan Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

4.2.1. Pengaruh Varietas pada Tinggi Tanaman dan Jumlah Daun Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

Semua varietas kacang hijau (*Vigna radiata* L.) setelah diuji dengan menggunakan ANOVA menunjukkan tidak adanya pengaruh yang signifikan terhadap tinggi tanaman dan jumlah daun pada umur 45 HST. Hal ini dikarenakan nilai Sig. > 0,05 sehingga tidak dilakukan uji lanjut Duncan 5%.

4.2.2. Pengaruh Varietas pada Rata-rata Luas Daun dan Kadar Klorofil Daun Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

Varietas kacang hijau (*Vigna radiata* L.) berpengaruh signifikan terhadap rata-rata luas daun dan kadar klorofil daun umur 30 HST karena nilai Sig. < 0,05. Hasil uji ANOVA yang memiliki pengaruh signifikan selanjutnya diuji lanjut Duncan 5% untuk mengetahui perbedaan signifikan pada masing-masing perlakuan. Berikut adalah data hasil uji lanjut Duncan 5% telah disajikan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6. Hasil Uji Duncan Taraf 5% Pengaruh Varietas Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) pada Rata-rata Luas Daun dan Kadar Klorofil Daun

Varietas	Rata-rata Luas Daun (cm ²)	Kadar Klorofil (mg/cm ²)	Jumlah Bunga (per tanaman)
Kenari	20,6125 b	27,3083 c	7,5000 b
Vima 1	21,4517 b	24,1500 a	7,1667 b
Vima 2	16,1342 a	25,8667 b	5,5833 a

Keterangan: Angka dalam satu kolom yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji Duncan 5%

Hasil uji Duncan pada tabel 4.6 terdapat perbedaan huruf di dalamnya, hal tersebut menunjukkan bahwa setiap varietas ada yang berbeda nyata dan ada juga yang tidak berbeda nyata. Pada kolom rata-rata luas daun, varietas Vima 1 menunjukkan rata-rata luas daun tertinggi yaitu sebesar 21,4517 cm² dibandingkan dengan varietas yang lain, akan tetapi varietas ini tidak berbeda nyata dengan varietas Kenari. Sedangkan rata-rata luas daun terendah diperoleh varietas Vima 2 yaitu sebesar 16,1342 cm² dan berbeda nyata dengan varietas Kenari dan Vima 1.

Pada kolom kadar klorofil menunjukkan bahwa varietas Kenari merupakan varietas kacang hijau yang memiliki kadar klorofil tertinggi pada umur 30 HST

yaitu sebesar 27,3083 mg/cm² dan berbeda nyata dengan kadar klorofil pada varietas Vima 1 dan Vima 2. Sedangkan varietas Vima 1 memiliki kadar klorofil paling rendah yaitu sebesar 24,1500 mg/cm² dan juga berbeda nyata dengan kadar klorofil pada varietas Kenari dan Vima 2.

Sedangkan pada kolom jumlah bunga menunjukkan bahwa varietas Kenari memiliki jumlah bunga tertinggi dibandingkan dengan varietas yang lain yaitu sebesar 7,5000, akan tetapi tidak berbeda nyata dengan varietas Vima 1. Sedangkan jumlah bunga terendah diperoleh varietas Vima 2 yaitu sebesar 5,5833 dan berbeda nyata dengan varietas yang lainnya.

4.2.3. Pengaruh Varietas pada Berat Kering Akar dan Berat Kering Total

Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

Varietas kacang hijau memberikan pengaruh terhadap berat kering akar dan berat kering total tanaman kacang hijau (*Vigna radiata* L.) karena nilai Sig. < 0,05. Selanjutnya data yang diperoleh diuji dengan uji lanjut Duncan taraf 5%. Berikut merupakan hasil dari uji lanjut Duncan 5% yang tertera pada tabel 4.7 mengenai pengaruh varietas kacang hijau (*Vigna radiata* L.) pada berat kering akar dan berat kering total tanaman.

Tabel 4.7. Hasil Uji Duncan Taraf 5% Pengaruh Varietas Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) pada Berat Kering Akar dan Berat Kering Total Tanaman

Varietas	Berat Kering Akar (gram)	Berat Kering Total Tanaman (gram)
Kenari	0,14008 c	1,27092 b
Vima 1	0,09050 a	1,05125 a
Vima 2	0,11067 b	0,98100 a

Keterangan: Angka dalam satu kolom yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji Duncan 5%

Berdasarkan hasil uji Duncan (tabel 4.7) pada kolom berat kering akar menunjukkan bahwa varietas Kenari memiliki berat kering akar tertinggi dibandingkan varietas yang lain yaitu sebesar 0,14008 gram dan berbeda nyata dengan berat kering akar pada varietas Vima 1 dan Vima 2. Varietas Vima 2 memiliki berat kering akar yang lebih rendah dibandingkan dengan berat kering akar varietas Kenari yaitu sebesar 0,11067 gram dan berbeda nyata dengan varietas yang lain. Sedangkan varietas Vima 1 memiliki berat kering akar yang paling rendah dibandingkan varietas yang lain yaitu sebesar 0,09050 gram dan berbeda nyata dengan varietas yang lainnya.

Pada tabel 4.7 kolom berat kering total tanaman menunjukkan bahwa varietas kacang hijau yang mempunyai berat kering total tanaman tertinggi yaitu varietas Kenari sebesar 1,27092 gram dan berbeda nyata dengan semua varietas yaitu varietas Vima 1 dan Vima 2. Varietas Vima 1 memiliki berat kering total tanaman yang lebih rendah dibandingkan dengan varietas Kenari yaitu sebesar 1,05125 gram, akan tetapi tidak berbeda nyata dengan varietas Vima 2. Sedangkan varietas Vima 2 memiliki berat kering total tanaman yang paling rendah diantara lainnya yaitu sebesar 0,98100 gram.

4.2.4. Pengaruh Varietas pada Jumlah Bunga dan Jumlah Polong Tanaman

Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

Varietas kacang hijau memberikan pengaruh signifikan terhadap jumlah bunga dan jumlah polong tanaman kacang hijau (*Vigna radiata* L.). Data yang diperoleh kemudian diuji lanjut menggunakan uji lanjut Duncan 5% untuk

mengetahui perbedaan signifikan pada masing-masing perlakuan. Data hasil uji lanjut Duncan 5% telah disajikan pada tabel 4.8.

Tabel 4.8. Hasil Uji Duncan Taraf 5% Pengaruh Varietas Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) pada Jumlah Bunga dan Jumlah Polong

Varietas	Jumlah Bunga (per tanaman)	Jumlah Polong (per tanaman)
Kenari	7,5000 b	6,5833 b
Vima 1	7,1667 b	5,8333 a
Vima 2	5,5833 a	5,1667 a

Keterangan: Angka dalam satu kolom yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji Duncan 5%

Berdasarkan hasil uji Duncan pada tabel 4.8 menunjukkan bahwa varietas berpengaruh terhadap jumlah bunga dan jumlah polong tanaman kacang hijau. Pada kolom jumlah bunga menunjukkan bahwa varietas Kenari memiliki jumlah bunga tertinggi dibandingkan dengan varietas yang lain yaitu sebesar 7,5000, akan tetapi tidak berbeda nyata dengan varietas Vima 1. Sedangkan jumlah bunga terendah diperoleh varietas Vima 2 yaitu sebesar 5,5833 dan berbeda nyata dengan varietas yang lainnya.

Hasil uji Duncan pada tabel 4.8 juga menunjukkan bahwa pengaruh varietas terhadap jumlah polong tanaman kacang hijau yang paling tinggi terdapat pada varietas Kenari yang mencapai 6,5833 polong dan berbeda nyata dengan semua varietas yaitu Vima 1 dan Vima 2. Varietas Vima 1 memiliki jumlah polong yang lebih rendah dibandingkan dengan varietas Kenari, akan tetapi tidak berbeda nyata dengan varietas Vima 2. Sedangkan jumlah polong yang paling rendah terdapat pada varietas Vima 2 sebesar 5,1667 polong.

4.2.5. Pengaruh Varietas pada Berat Biji dan Kandungan Cd dalam Biji

Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

Varietas kacang hijau (*Vigna radiata* L.) memberikan pengaruh terhadap berat biji dan kandungan Cd dalam biji karena Sig. < 0,05. Data tersebut kemudian diuji lanjut dengan uji lanjut Duncan 5% yang hasilnya telah disajikan pada tabel 4.9.

Tabel 4.9. Hasil Uji Duncan Taraf 5% Pengaruh Varietas Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) pada Berat Biji dan Kandungan Cd dalam Biji

Varietas	Berat Biji (gram)	Kadar Cd dalam Biji (ppm)
Kenari	2,0283 a	0,049028 a
Vima 1	1,4875 a	0,048657 a
Vima 2	1,5892 a	0,053933 b

Keterangan: Angka dalam satu kolom yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji Duncan 5%

Berdasarkan hasil uji Duncan (tabel 4.9) menunjukkan bahwa varietas kacang hijau berpengaruh terhadap berat biji dan kandungan Cd dalam biji. Pada kolom berat biji, varietas Kenari memiliki berat biji yang paling tinggi yaitu sebesar 2,0283 gram, akan tetapi tidak berbeda nyata dengan varietas Vima 1 dan varietas Vima 2. Sedangkan varietas kacang hijau yang memiliki berat biji yang paling rendah yaitu varietas Vima 1 sebesar 1,4875 gram dan juga tidak berbeda nyata dengan varietas Kenari dan varietas Vima 2. Menurut Mendoza Co'zatl *et al.*, (2011) Cd terdistribusi ke seluruh bagian tanaman termasuk juga ke dalam jaringan biji.

Pada tabel 4.9 juga menunjukkan bahwa kandungan Cd dalam biji yang paling tinggi terdapat pada varietas Vima 2 yaitu 0,053933 ppm yang berbeda nyata dengan varietas Kenari dan varietas Vima 1. Sedangkan varietas kacang

hijau yang memiliki kadar Cd yang paling rendah yaitu varietas Vima 1 sebesar 0,048657 ppm, akan tetapi tidak berbeda nyata dengan varietas Kenari. Menurut Badan Standardisasi Nasional (2009), batas maksimum cemaran kadmium (Cd) dalam tanaman pangan salah satunya adalah biji yaitu sebesar 0,2 mg/kg.

4.3. Pengaruh Interaksi Varietas Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) dan Kadar Cd terhadap Pertumbuhan Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

4.3.1. Pengaruh Interaksi Varietas dan Kadar Cd pada Tinggi Tanaman dan Jumlah Daun Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

Interaksi antara varietas kacang hijau (*Vigna radiata* L.) dan kadar Cd berpengaruh signifikan terhadap tinggi tanaman kacang hijau pada umur 45 HST karena Sig.< 0,05. Hasil tersebut selanjutnya dilakukan uji Duncan 5%. Sedangkan interaksi antara varietas dan kadar Cd tidak berpengaruh signifikan terhadap jumlah daun kacang hijau pada umur 45 HST karena Sig.> 0,05.

Tabel 4.10. Hasil Uji Duncan Taraf 5% Interaksi Varietas Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) dan Kadar Cd pada Tinggi Tanaman

Varietas	Kadar Cd (ppm)	Tinggi Tanaman (cm) 45 HST
Kenari	0	46,7667 cd
	0,25	44,0000 c
	0,50	42,5000 bc
	0,75	37,0000 ab
Vima 1	0	44,0000 c
	0,25	37,3333 ab
	0,50	40,6667 abc
	0,75	40,3333 abc
Vima 2	0	51,8333 d
	0,25	40,3333 abc
	0,50	41,0000 abc
	0,75	35,3333 a

Keterangan: Angka dalam satu kolom yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji Duncan 5%

Berdasarkan hasil uji Duncan (tabel 4.10) diketahui bahwa interaksi antara varietas kacang hijau dengan konsentrasi Cd yang menunjukkan tinggi tanaman tertinggi pada pengamatan 45 HST yaitu konsentrasi 0 ppm (kontrol) Cd pada varietas Vima 2 sebesar 51,8333 cm. Interaksi perlakuan ini berbeda nyata dengan semua perlakuan konsentrasi yaitu 0,25 ppm, 0,50 ppm, dan 0,75 ppm Cd pada varietas Vima 2 sedangkan interaksi yang memiliki tinggi tanaman terendah yaitu pada perlakuan konsentrasi Cd 0,75 ppm pada varietas Vima 2 sebesar 35,3333 cm, tetapi interaksi perlakuan ini tidak berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi Cd 0,25 ppm dan 0,75 ppm pada varietas Vima 2.

4.3.2. Pengaruh Interaksi Varietas dan Kadar Cd pada Rata-rata Luas Daun dan Kadar Klorofil Daun Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

Interaksi antara varietas kacang hijau (*Vigna radiata* L.) dan kadar Cd tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap rata-rata luas daun dan kadar klorofil daun tanaman kacang hijau (*Vigna radiata* L.) umur 30 HST karena nilai Sig. > 0,05 sehingga pengaruh interaksi varietas kacang hijau dan kadar Cd tidak dilakukan uji lanjut menggunakan uji lanjut Duncan 5%.

4.3.3. Pengaruh Interaksi Varietas dan Kadar Cd pada Berat Kering Akar dan Berat Kering Total Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

Interaksi antara varietas kacang hijau (*Vigna radiata* L.) dan kadar Cd berpengaruh terhadap berat kering akar tanaman kacang hijau (*Vigna radiata* L.) karena Sig. < 0,05. Hasil tersebut kemudian diuji lanjut dengan uji Duncan 5%. Sedangkan interaksi antara varietas dan kadar Cd tidak berpengaruh terhadap berat kering total tanaman kacang hijau (*Vigna radiata* L.) karena Sig. > 0,05.

Tabel 4.11. Hasil Uji Duncan Taraf 5% Interaksi Varietas Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) dan Kadar Cd pada Berat Kering Akar

Varietas	Kadar Cd (ppm)	Berat Kering Akar (gram)
Kenari	0	0,26667 f
	0,25	0,14600 e
	0,50	0,09267 c
	0,75	0,05500 ab
Vima 1	0	0,18333 e
	0,25	0,09133 c
	0,50	0,05033 a
	0,75	0,03700 a
Vima 2	0	0,19133 e
	0,25	0,13265 d
	0,50	0,07933 bc
	0,75	0,03933 a

Keterangan: Angka dalam satu kolom yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji Duncan 5%

Hasil uji Duncan pada tabel 4.11 menunjukkan bahwa perlakuan yang memiliki interaksi antara varietas dan konsentrasi Cd tertinggi terhadap berat kering akar yaitu perlakuan varietas Kenari dengan perlakuan konsentrasi 0 ppm Cd sebesar 0,26667 gram dan berbeda nyata dengan perlakuan yang lain. Sedangkan perlakuan yang memiliki interaksi terendah yaitu perlakuan varietas Vima 1 dengan perlakuan konsentrasi 0,75 ppm Cd yaitu sebesar 0,03700 gram, tetapi perlakuan ini tidak berbeda nyata dengan perlakuan varietas Kenari dengan perlakuan konsentrasi 0,75 ppm Cd, varietas Vima 1 dengan perlakuan konsentrasi 0,50 ppm Cd, dan varietas Vima 2 dengan perlakuan konsentrasi 0,75 ppm Cd.

Kehadiran Cd dalam akar menyebabkan degradasi sel yang mengakibatkan rusaknya sel akar. Pada umumnya, Cd menurunkan toleransi tumbuhan terhadap stres air yang menyebabkan hilangnya tekanan turgor. Gangguan pada xilem oleh Cd mengakibatkan dinding sel mengalami degradasi karena menurunnya proses

transpirasi. Selain itu, logam Cd juga dapat menyebabkan abnormalitas seperti patahnya kromosom. Patahnya kromosom dapat mempengaruhi proses pembelahan sel (Noviarini, 2015). Translokasi Cd dilakukan melalui xylem, sehingga akumulasi banyak ditemukan pada jaringan pengangkut (Liu *et al.* 2010). Kurtyka *et al* (2008) menambahkan bahwa rusaknya sel yang diakibatkan cekaman Cd dapat mengganggu metabolisme sel dalam penyerapan hara esensial.

4.3.4. Pengaruh Interaksi Varietas dan Kadar Cd pada Jumlah Bunga dan Jumlah Polong Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

Interaksi varietas kacang hijau dan kadar Cd berpengaruh signifikan terhadap jumlah bunga kacang hijau karena nilai Sig.< 0,05. Interaksi antara varietas kacang hijau dan kadar Cd yang berpengaruh signifikan terhadap jumlah bunga selanjutnya dilakukan uji Duncan 5%. Sedangkan interaksi varietas kacang hijau dan kadar Cd tidak berpengaruh signifikan terhadap jumlah polong kacang hijau karena nilai Sig.> 0,05 sehingga tidak dilakukan uji lanjut Duncan 5%.

Tabel 4.12. Hasil Uji Duncan Taraf 5% Interaksi Varietas Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) dan Kadar Cd pada Jumlah Bunga

Varietas	Kadar Cd (ppm)	Jumlah Bunga
Kenari	0	10,33331 g
	0,25	7,66667 ef
	0,50	6,33333 bcd
	0,75	5,66667 bc
Vima 1	0	8,66667 f
	0,25	7,66667 ef
	0,50	6,66667 cde
	0,75	5,66667 bcd
Vima 2	0	7,3333 de
	0,25	5,33333 ab
	0,50	5,33333 ab
	0,75	4,33333 a

Keterangan: Angka dalam satu kolom yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji Duncan 5%

Berdasarkan hasil uji Duncan (tabel 4.12) diketahui bahwa interaksi antara varietas kacang hijau dengan konsentrasi Cd yang menunjukkan jumlah bunga tertinggi yaitu konsentrasi 0 ppm (kontrol) Cd pada varietas Kenari sebesar 10,33331. Interaksi perlakuan ini berbeda nyata dengan semua perlakuan konsentrasi Cd pada semua varietas kacang hijau. Sedangkan interaksi yang memiliki jumlah bunga terendah yaitu pada perlakuan konsentrasi Cd 0,75 ppm pada varietas Vima 2 yaitu sebesar 4,33333 dan interaksi perlakuan ini tidak berbeda nyata dengan perlakuan konsentrasi Cd 0,25 ppm dan 0,50 ppm pada varietas Vima 2.

4.3.5. Pengaruh Interaksi Varietas dan Kadar Cd pada Berat Biji dan Kandungan Cd dalam Biji Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

Interaksi antara varietas kacang hijau dan kadar Cd berpengaruh terhadap berat biji dan kandungan Cd dalam biji kacang hijau karena nilai Sig. < 0,05. Hasil tersebut kemudian diuji lanjut menggunakan uji lanjut Duncan 5%.

Tabel 4.13. Hasil Uji Duncan Taraf 5% Interaksi Varietas Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) dan Kadar Cd pada Berat Biji dan Kandungan Cd dalam Biji

Varietas	Kadar Cd (ppm)	Berat Biji (gram)	Kandungan Cd dalam Biji (ppm)
Kenari	0	4,5233 c	0,0300 a
	0,25	1,7867 ab	0,0451 c
	0,50	1,2267 ab	0,0551 e
	0,75	0,5767 a	0,0659 g
Vima 1	0	2,5700 b	0,0345 b
	0,25	0,8800 a	0,0478 cd
	0,50	1,2700 ab	0,0503 d
	0,75	1,2300 ab	0,0616 f
Vima 2	0	2,5267 b	0,0365 b
	0,25	1,3333 ab	0,0477 cd
	0,50	1,5667 ab	0,0580 ef
	0,75	0,9300 a	0,0735 h

Tabel 4.13 di atas menunjukkan bahwa interaksi varietas dan konsentrasi Cd berpengaruh terhadap berat biji dan kandungan Cd dalam biji. Pada kolom berat biji, perlakuan yang memiliki interaksi varietas dan konsentrasi Cd dengan berat biji paling tinggi yaitu pada perlakuan varietas Kenari dengan perlakuan konsentrasi 0 ppm Cd sebesar 4,5233 gram dan berbeda nyata dengan interaksi yang lainnya. Sedangkan perlakuan yang memiliki interaksi varietas dan konsentrasi Cd dengan berat biji paling rendah yaitu pada perlakuan varietas Kenari dengan perlakuan konsentrasi 0,75 ppm Cd sebesar 0,5767 gram, akan tetapi tidak berbeda nyata dengan varietas Kenari konsentrasi 0,25 ppm dan 0,50 ppm Cd, varietas Vima 1 konsentrasi 0,25 ppm, 0,50 ppm, dan 0,75 ppm Cd, serta varietas Vima 2 konsentrasi 0,25 ppm, 0,50 ppm, dan 0,75 ppm Cd.

Varietas Kenari dengan konsentrasi 0,25 ppm dan 0,50 ppm merupakan interaksi yang notasinya sama dan paling mendekati nilai kontrol, sehingga varietas Kenari merupakan varietas yang paling toleran terhadap cekaman Cd. Menurut Dezar (2005) dalam Sutrisno (2015), pencemaran logam berat pada lahan pertanian dapat terserap oleh tanaman dan terakumulasi di bagian akar, daun, buah, maupun di bagian biji (Fang dan Zhu 2014). Akumulasi kadmium (Cd) pada tanaman dapat menghambat penyerapan unsur hara, menghambat distribusi fotosintat, menghambat laju fotosintesis, menghambat aktivitas enzim, meningkatkan senyawa peroksida, dan dapat menyebabkan perubahan genetik.

Pengaruh pencemaran kadmium pada tanaman sulit terdeteksi apabila hanya diukur dari laju pertumbuhan tanaman dan hasil tanaman. Tanaman yang tumbuh pada lahan terkontaminasi kadmium umumnya masih dapat tumbuh

normal, tetapi laju fisiologi tanamannya telah berubah. Perubahan tersebut terlihat pada aktivitas metabolisme dan kandungan kadmium pada jaringan tanaman. Tanaman yang tumbuh pada lahan tercemar kadmium (12 ppm Cd), pertumbuhannya normal tetapi aktivitas enzim seperti *superoxide dismutase* (SOD), *catalase* (CAT), *peroxidase* (POD) mulai menurun (Li *et al.* 2015).

Pada kolom kandungan Cd dalam biji menunjukkan bahwa kandungan Cd dalam biji yang paling besar yaitu pada perlakuan varietas Vima 2 dengan perlakuan konsentrasi 0,75 ppm Cd dan berbeda nyata dengan interaksi yang lain. Sedangkan perlakuan yang memiliki interaksi dengan kadar Cd dalam biji paling sedikit yaitu pada perlakuan varietas Kenari dengan perlakuan konsentrasi 0 ppm Cd dan berbeda nyata dengan interaksi yang lain.

Kadar Cd dalam biji dari berbagai konsentrasi cekaman Cd tersebut masih dalam ambang aman untuk dikonsumsi oleh manusia. Hal tersebut dijelaskan oleh Kurniansyah (1999) dalam Charlena (2004) bahwa rekomendasi pemasukan Cd menurut gabungan FAO/WHO dengan batas toleransi tiap minggunya adalah 420 µg untuk orang dewasa dengan berat badan 60 kg. Pemasukan Cd rata-rata pada tubuh manusia ialah 10-20 % dari batas yang telah direkomendasikan. Unsur Cd dapat mengurangi serapan ion-ion hara karena daya afinitas yang tinggi dari logam berat tersebut pada kompleks pertukaran kation.

4.4. Indeks Sensitivitas Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) terhadap Kadar Cd

Tabel 4.14. Indeks Sensitivitas Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) terhadap Kadar Cd

Varietas	Indeks Sensitivitas											
	Kadar Klorofil	Karakter	Jumlah Bunga	Karakter	Jumlah Polong	Karakter	Berat Biji	Karakter	Berat Kering Total Tanaman	Karakter	Berat Kering Akar	Karakter
Kenari	0,6	MT	1,2	P	1,2	P	1	MT	1	MT	1	MT
Vima 1	0,9	MT	0,7	MT	0,9	MT	1	MT	0,9	MT	1	MT
Vima 2	1,8	P	1	MT	0,9	MT	1,9	P	1,2	P	0,9	MT

Keterangan: Kriteria untuk menentukan tingkat toleran adalah jika nilai $S < 0,5$ kategori genotip toleran, $0,5 < S < 1,0$ kategori genotip medium toleran, dan $S > 1,0$ untuk genotip peka.

Berdasarkan hasil perhitungan indeks sensitivitas tanaman kacang hijau terhadap kadar Cd menunjukkan adanya kelompok varietas kacang hijau yang termasuk ke dalam kategori medium toleran (MT), dan peka (P). Pada tabel 4.14 menunjukkan bahwa indeks sensitivitas varietas kacang hijau pada kadar klorofil varietas Kenari dan Vima 1 termasuk kategori medium toleran karena nilainya masing-masing 0,6 dan 0,9 ($0,5 < S < 1,0$). Sedangkan varietas Vima 2 termasuk kategori peka karena nilainya $> 1,0$ (1,8).

Hasil perhitungan indeks sensitivitas pada jumlah bunga dan jumlah polong, varietas Vima 1 dan Vima 2 termasuk kategori medium toleran, dimana nilai indeks sensitivitasnya yaitu pada jumlah bunga varietas Vima 1 (0,7) dan varietas Vima 2 (1), serta pada jumlah polong varietas Vima 1 dan Vima 2 nilainya 0,9. Sedangkan pada varietas Kenari termasuk kategori peka karena nilai indeks sensitivitas pada jumlah bunga dan jumlah polong $> 1,0$ yaitu sebesar 1,2.

Pada berat biji dan berat kering total tanaman, hasil perhitungan indeks sensitivitas varietas Kenari dan Vima 1 dikelompokkan ke dalam kelompok medium toleran. Hal ini dikarenakan pada pengamatan parameter berat biji dan berat kering total tanaman, nilai indeks sensitivitasnya $0,5 < S < 1,0$ dimana pada berat biji nilainya masing-masing 1 dan pada berat kering total tanaman nilainya 1 (Kenari) dan 0,9 (Vima 1). Sedangkan pada varietas Vima 2 termasuk ke dalam kelompok peka karena untuk pengamatan parameter berat biji dan berat kering total tanaman nilai indeks sensitivitasnya $S > 1,0$ yaitu sebesar 1,9 (berat biji) dan 1,2 (berat kering total tanaman).

Hasil perhitungan indeks sensitivitas pada berat kering akar menunjukkan bahwa semua varietas (Kenari, Vima 1, dan Vima 2) termasuk ke dalam kategori medium toleran. Hal ini dikarenakan nilai indeks sensitivitasnya $0,5 < S < 1,0$ dimana pada varietas Kenari dan Vima 1 masing-masing nilainya 1, sedangkan pada varietas Vima 2 nilainya 0,9. Hasil indeks sensitivitas yang berbeda-beda pada varietas kacang hijau tersebut dikarenakan setiap varietas memiliki kemampuan akumulasi Cd yang berbeda-beda. Menurut Allen (1999), setiap tanaman memiliki kemampuan untuk mengakumulasi logam berat yang berbeda-beda. Sammers dalam penelitian menemukan bahwa kemampuan untuk menerima dan mentranslokasi logam berat terhadap beberapa jenis tanaman berbeda-beda pada masing-masing tanaman (Allen, 1999).

4.5. Skoring Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) terhadap Toleransi Kadar Cd

Berdasarkan hasil evaluasi tanaman kacang hijau pada umur 4 minggu setelah tanam, diketahui bahwa tanaman kacang hijau (*Vigna radiata* L.) memiliki skoring skala 1 dan 2. Adapun kriteria tanaman kacang hijau (*Vigna radiata* L.) yang memiliki skor 1 ataupun skor 2 dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Skoring 1 dan skoring 2 tanaman kacang hijau (*Vigna radiata* L.) pada umur 4 minggu setelah tanam

Berdasarkan hasil pengamatan pada pertumbuhan tanaman kacang hijau (*Vigna radiata* L.) umur 4 minggu setelah tanam dapat diketahui bahwa setiap tanaman memiliki skoring yang berbeda-beda, akan tetapi skoring pada tanaman kacang hijau (*Vigna radiata* L.) yang diamati hanya dalam kisaran skor 1 dan 2. Perlakuan A1B1, A2B1, dan A3B1 memiliki skoring 1 (terlampir pada lampiran 3). Hasil ini menunjukkan bahwa semua varietas toleran terhadap cekaman Cd konsentrasi 0,25 ppm.

Hasil skoring tanaman kacang hijau (*Vigna radiata* L.) terhadap toleransi cekaman Cd pada konsentrasi 0,50 ppm dan 0,75 ppm (terlampir pada lampiran 3) menunjukkan bahwa semua perlakuan memiliki skoring 2. Hal ini menunjukkan

bahwa varietas Kenari (A1), Vima 1 (A2), dan Vima 2 (A3) kurang toleran terhadap kadar Cd dengan konsentrasi 0,50 ppm dan 0,75 ppm. Schmidt (2003) melaporkan bahwa logam berat dengan konsentrasi tinggi dalam tanah mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Jadia dan Fulekar (2009) menambahkan bahwa pada konsentrasi tinggi, logam berat dapat mengganggu proses metabolisme dan menghambat pertumbuhan tanaman, merusak struktur sel karena stres oksidatif yang disebabkan oleh spesies oksigen reaktif.

4.6. Kajian Keislaman terkait Hasil Penelitian

Al-Quran telah menjelaskan bahwa Allah SWT melarang manusia untuk berbuat kerusakan (merusak lingkungan), termasuk kegiatan industri maupun pertanian secara berlebihan yang dapat menghasilkan limbah Cd. Sebagaimana firman Allah SWT dalam surat Al-A'raf ayat 56 yang berbunyi:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ ٥٦

Artinya: *“Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya dan berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik” (QS. Al-A'raf: 56).*

Pada bagian awal ayat di atas menjelaskan bahwa manusia dilarang melakukan kerusakan di muka bumi setelah Allah SWT membuat kemaslahatan dengan menciptakan hal-hal yang bermanfaat dan menunjukkan kepada manusia bagaimana cara mengeksploitasi bumi dan memanfaatkannya, dengan menundukkan bumi itu kepada manusia (Al-Maraghi, 1993). Menurut Shihab (1999), jangan kalian membuat kerusakan di muka bumi yang telah dibuat baik dengan menebar kemaksiatan, kezaliman dan permusuhan. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut akan siksa-Nya dan berharap pahala-Nya. Kasih sayang Allah sangat dekat kepada setiap orang yang berbuat baik, dan pasti terlaksana.

Allah berfirman dalam QS. Ar-Rum ayat 41 yang berbunyi:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ
الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ ٤١

Artinya: “Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia; Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)” (QS. Ar-Rum: 41).

Menurut tafsir Jalalayn yaitu (*Telah tampak kerusakan di darat*) disebabkan terhentinya hujan dan menipisnya tumbuh-tumbuhan (*dan di laut*) maksudnya di negeri-negeri yang banyak sungainya menjadi kering (*disebabkan perbuatan tangan manusia*) berupa perbuatan-perbuatan maksiat (*supaya Allah merasakan kepada mereka*) dapat dibaca *liyudziiqahum* dan *linudziiqahum*; kalau dibaca *linudziiqahum* artinya supaya Kami merasakan kepada mereka (*sebagian dari akibat perbuatan mereka*) sebagai hukumannya (*agar mereka kembali*) supaya mereka bertobat dari perbuatan-perbuatan maksiat (Al-Mahalli dan As-Suyuti, 2009). Shihab (1999) menambahkan bahwa telah terlihat kebakaran, kekeringan, kerusakan, kerugian perniagaan dan ketertenggelaman yang disebabkan oleh kejahatan dan dosa-dosa yang diperbuat manusia. Allah menghendaki untuk menghukum manusia di dunia dengan perbuatan-perbuatan mereka, agar mereka bertobat dari kemaksiatan.

Pencemaran logam berat Cd merupakan salah satu jenis kerusakan yang ada di bumi yang disebabkan oleh ulah manusia. Menurut Sutrisno (2015), pencemaran Cd berasal dari pembuangan limbah industri, pertambangan, aplikasi pupuk kimia dan pestisida kimia secara berlebihan, serta pembuangan limbah rumah tangga ke dalam aliran sungai. Sebagai kholifah di bumi sebaiknya harus selalu menjaga dan merawat bumi dengan baik sehingga terdapat keseimbangan di dalamnya. Kegiatan yang dapat mencemari lingkungan sebaiknya harus diminimalisir seperti kegiatan industri dan pertanian secara berlebihan yang salah satunya dapat menghasilkan limbah Cd. Kadmium (Cd) sangat berbahaya, tidak hanya bagi tumbuhan melainkan juga berdampak pada kesehatan manusia.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Konsentrasi Cd antara 0,25 ppm sampai 0,75 ppm berpengaruh terhadap pertumbuhan beberapa varietas kacang hijau (*Vigna radiata* L.) yang menyebabkan terhambatnya tinggi tanaman, jumlah daun, rata-rata luas daun, kadar klorofil, jumlah bunga, jumlah polong, berat biji, berat kering total tanaman, dan berat kering akar pada tanaman kacang hijau.
2. Interaksi varietas Kenari dengan konsentrasi Cd 0,50 ppm menunjukkan adanya toleransi pada kadar Cd berat biji kacang hijau (*Vigna radiata* L.).
3. Indeks sensitivitas kacang hijau (*Vigna radiata* L.) terhadap kadar Cd menunjukkan bahwa varietas Kenari dan Vima 1 termasuk kategori toleran, sedangkan Vima 2 termasuk kategori peka.

5.2. Saran

Kacang hijau varietas Kenari merupakan varietas yang toleran terhadap kadar Cd dan dapat ditanam pada lahan yang memiliki kadar Cd 0,50 ppm.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah bin Muhammad bin ‘Abdurrahman bin Ishaq Alu Syaikh. 2007. *Tafsir Ibnu Katsir Jilid 3*, Penj. M. Abdul Ghoffar E.M. Jakarta: Pustaka Imam Asy-Syafi’i.
- Achmad, R. 2004. *Kimia Lingkungan. Edisi 1*. Yogyakarta. Andi Offset.
- Al-Jazairi, A.J. 2007. *Aisar At Tafaasir Li Al-Kalaami Al- Aliyyi Al-Kabir*. Terjemahan Nafi Zainuddin dan Suratman. Jakarta: Darus Sunah.
- Allen, B.L. and Hajek, B.F. 1999. Mineral Occurrence in Soil Environment. In Dixon, J.B., and Weed, S.B., eds., *Mineral in Soil Environments*. Madison, WI: Soil Science Society of America, pp.199- 278.
- Alloway, B.J. 1995. *Heavy Metal in Soils*. New York: Blackie Academic and Professional-Chapman and Hall.
- Alloway, B.J. 1997. *Heavy Metal in Soils*. New York: Blackie Academic and Professional-Chapman and Hall.
- Al-Mahalli, I. J. dan As-Suyuti. I. J. 2009. *Tafsir Jalalain Jilid 2*. Bandung: Sinar Baru Algesindo
- Al-Maraghi, Ahmad Mustafa. 1993. *Tafsir Al Maraghi, Juz XIX*. Penj. Bahrn Abubakar, Hery Noer Aly, dan K. Anshori Umar Sitanggal. Semarang: Penerbit Toha Putra Semarang.
- Amzani, F. 2012. *Pencemaran Tanah dan Cara Penanggulangannya*. Jurusan Budidaya Tanaman Pangan, Politeknik Negeri Lampung.
- Andrianto, T.T. dan N. Indarto, 2004. *Budidaya dan Analisis Usaha Tani Kedelai, Kacang Hijau, Kacang Panjang*. Yogyakarta: Absolut.
- Anwari, M. 2006. *Pembentukan Varietas Unggul Kacang Hijau Tahan Penyakit Embun Tepung*. Buletin Palawija No. 12 tahun 2006. <http://www.bal itkabi.litbang.deptan.go.id> Diakses tanggal 1 Februari 2017
- Arao, T., Ae N, Sugiyama M, Takahashi. 2003. Genotypic Differences in Cadmium Uptake and Distribution in Soybeans. *Plant Soil* 251:247-53.
- Arisoesilaningsih, E. 1986. *Pengaruh Timbal dan Kadmium terhadap Pertumbuhan Tanaman Kedelai Glycine Max (L.) Merr*. Tesis. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Arsyad, S. 2003. *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: IPB Press.
- Avkopashvili, G., Marika Avkopashvili, Alexander Gongadze, Manana Tsulukidze, Evgenia Shengelia. 2017. Determination of Cu, Zn, and Cd in Soil, Water and Food Products in the Vicinity of RMG Gold and Copper Mine, Kazreti, Georgia. *Annals of Agrarian Science*. 15: 259-272.

- Badan Standardisasi Nasional. 2009. *Batas Maksimum Cemaran Mikroba dalam Pangan*. SNI. 7388:2009. 41 hlm.
- Balitkabi. 2016. *Teknologi Produksi Kacang-kacangan dan Umbi-umbian*. Malang: Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian.
- Barden, J.A., R.G, Halfacre, and D.J, Parrish, 1987. *Plant Science*. New York: McGraw-Hill Book Co.
- Buckman dan Nyle.C. Brady. 1982. *Ilmu Tanah*. Jakarta: Bhatara Karya Aksara.
- Campbell, R. 2003. *Biologi Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Charlena. 2004. *Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) pada Sayur-sayuran*. Bogor: Program Pascasarjana/S3/ Institut Pertanian Bogor.
- Cho, U dan Julie P. 1999. Distribution and Phytotoxicity of Cadmium in Tomato Seedlings. *Journal of Plant Biology*. 42(1):49-56.
- Connel, D. W. dan Miller, G. J. 1995. *Kimia dan Otoksikologi Pencemaran*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Crowder, L. V. 1997. *Genetika Tumbuhan*. Terjemahan Lilik Kusdiarti. Yogyakarta: UGM Press
- Das, P., Samantaray S. and Rout G. R. 1998. Studies on Cadmium Toxicity in Plants: A Review. *Environmental Pollution*, Vol 98. No.1, page 29-36.
- Dobermann, A. and T. Fairhurst. 2000. Rice Nutrient Disorders and Nutrients Management. Potash and Phosphat Institute of Canada and International Rice Research Onstitute. *Oxford Geographic Printersn Ptc Ltd*. Canada.
- Fachruddin, L. 2000. *Budidaya Kacang-kacangan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Fang, B. and X. Zhu. 2014. High Content of Five Heavy Metals in Four Fruits. *Food Control*. 39:62–67.
- Fitter dan Hay. 1991. *Fisiologi Lingkungan Tanaman*. Terjemahan: Sri Andini dan Purbayanti. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Ghani A. 2010. Toxic Effects of Heavy Metals on Plant Growth and Metal Accumulation in Maize (*Zea mays* L.) *Iranian J Toxic*. 3:326-334.
- Harborne, J.B. 1987. *Metode Fitokimia Penuntun Cara Modern Menganalisis Tumbuhan*. Bandung: ITB.
- Haryati, S. 2012. Determinants of Stock Prices in Dhaka Stock Exchange (DSE), Bangladesh. *European Journal of Developing Country Studies*. 13(3). pp: 13-2.
- Hasanah. 2009. *Analisis Taksonometrik pada Karakter Morfologi Daun Dikotiledone Kelas Magnoliopsida Menggunakan Som Kohonen*. Departemen Ilmu Komputer. Bogor: IPB.

- Hasnunidah, N. 2011. *Fisiologi Tumbuhan*. Bandar Lampung: Univ. Lampung.
- Hendri, A. 2008. *Mukjizat Al-Qur'an*. Jakarta: CV. Artha Rivera
- Indriani, F.C., Sudjindro, A.N., Sugiharto, dan L. Soetopo. 2008. Keragaman Genetik Plasma Nutfah Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) dan Beberapa Spesies yang Sekerabat Berdasarkan Analisis Isozim. *Agritek*. 6 (9). P: 1793-1802.
- Jadia, C. D., and Fulekar, M. H. 2009. Phytoremediation of Heavy Metals: Recent Techniques. *African Journal of Biotechnology*, 8: 921-928.
- John R, Ahmad P, Gadgil K, Sharma S. 2009. Heavy Metal Toxicity: Effect on Plant Growth, Biochemical Parameters and Metal Accumulation by *Brassica juncea* L. *International Journal of Plant Production* 3.
- Juhriah, S.S. 2017. Respon Pertumbuhan Tanaman Jengger Ayam Merah *Celosia plumosa* (Voss) Burv. Pada Tanah Tercemar Logam Berat Kadmium (Cd). *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan* 8 (15) (2017) 22 -28.
- Jumin, H. B. 2005. *Dasar-Dasar Agronomi*. Edisi Revisi. Jakarta: PT. Raja Grafindo Persada.
- Kabata-Pendias A, dan Pendias H. 1992. *Trace Elements in Soils and Plants*. Boca Raton: CRC Pr.
- Kaya, G., Ozcan, C., Dan Yaman, M. 2009. Flame Atomic Absorption Spectrometric Determination of Pb, Cd, and Cu in *Pinus nigra* L. and *Eriobotrya japonica* Leaves Used as Biomonitors in Environmental Pollution. *Bulletin Environmental Contamination Toxicology*. 84:191-196.
- Kholidiyah N, 2010. Respon Biologis Tumbuhan Eceng Gondok (*Eichornia crassipes* Solms) sebagai Biomonitoring Pencemaran Logam Berat Cadmium (Cd) dan Plumbum (Pb) pada Sungai Pembuangan Lumpur Lapindo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo. *Skripsi*. Dipublikasikan. Malang: UIN Maulana Malik Ibrahim.
- Konotop, Y., P. Meszaros, N. Spieß, V. Mistr-kova, B. Pirselova, J. Libantova, J. Moravc-kova, N. Taran, P. Hauptvogel, and I. Matuskova. 2012. Defense Responses of Soybean Roots during Exposure to Cadmium, Excess of Nitrogen Supply and Combinations of These Stressors. *Mol. Biol. Rep.* 39:10077-10087.
- Korczak. 1989. *Fungtional Foods of the East*. Florida: CRC Press.
- Kurtyka R, Małkowski E, Kita A, Karcz W. 2008. Effect of calcium and cadmium on growth and accumulation of cadmium, calcium, potassium and sodium in maize seedlings. *Polish of Environ Study* 17:51-56.
- Las, I., K. Subagyo, dan A.P. Setiyanto. 2006. Isu dan Pengelolaan Lingkungan dalam Revitalisasi Pertanian. *Jurnal Litbang Pertanian* 25 (3): 106-115.

- Lestari, S. 2011. Efektivitas Eceng Gondok (*Echhornia crassipes*) dalam Penyerapan Kadmium (Cd) pada *Leachate* TPA Gunung Tugel. *Molekul. Vol. 6. No. 1. 25-29*
- Li, C., C. Yan, Y. Liu, T. Zhang, S. Wan, dan S. Shan. 2015. Phytotoxicity of Cadmium on Peroxidation, Superoxide Dismutase, Catalase and Peroxidase Activities in Growing Peanut (*Arachis hypogaea* L.). *African J. of Biotech. 14(13):1151–1157.*
- Liang, M.K et al, 2011. *The Appendix in Schwartz's Principles of Surgery, 10th ed.* New York: Mc Graw Hill education.
- Liu, X.P., K. J. Peng, A. G. Wang, C. L. Lian dan Z. G. Shen. 2010. Cadmium Accumulation and Distribution in Populations of *Phytolacca Americana* L. and the Role of Transpiration. *Chemosphere. 78: 1136-114.*
- Madurita. 2004. *Evaluasi Ketahanan 20 Genotip Kacang Hijau (Vigna radiata (L.) Wilczek) terhadap Penyakit Bercak Daun.* Skripsi Jurusan Budidaya Pertanian Program Studi Pemuliaan Tanaman. Malang: Univ. Brawijaya
- Makmur, A. 1992. *Pengantar Pemuliaan Tanaman.* Jakarta: Rineka Cipta.
- Mangoendidjojo. 2003. *Dasar-Dasar Pemuliaan Tanaman.* Yogyakarta: Kanisus.
- Mengel, K and E.A. Kirkby. 1982. *Principles of Plant Nutrition* 3rd edition International Potash Institute. Warblaufen-Bern Switzerland.
- Metwally, A., I. Finkemeier, M. Georgi, and K.J. Dietz. 2003. Salicylic Acid Alleviates the Cadmium Toxicity in Barley Seedlings. *Plant Physiol. 132:272-281.*
- Ministry of State for Population and Environment of Indonesia, and Dalhousie, University Canada. 1992. Environmental Management in Indonesia. *Report on Soil Quality Standards for Indonesia (Interim Report).*
- Mishra, A. and M.A. Choudhuri. 1999. Effects of Salicylic Acid on Heavy Metal-Induced Membrane Deterioration Mediated by Lipoxygenase in Rice. *Biol. Plant. 42:409-415.*
- Monita, R. 2013. Kandungan Klorofil Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*) Akibat Pemberian Logam Kadmium (Cd) pada Berbagai Konsentrasi. *LenteraBio Vol. 2 No. 3.*
- Muafifah. 2006. *Karakteristik Morfologi dan Anatomi Beberapa Genotip dan Hubungannya dengan Hasil Kacang Hijau (Vigna radiata (L.) Wilczek).* Skripsi Jurusan Biologi Tidak Dipublikasikan. Malang: UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Notodarmojo, S. 2004. *Pencemaran Tanah dan Air Tanah.* Bandung: ITB Press.

- Noviarini, W. 2015. Analisa Kerusakan Jaringan Akar Lamun *Thalassia hempricii* yang Terpapar Logam Berat Kadmium (Cd). *Jurnal Sains dan Seni ITS Vol. 4, No.2, (2015) 2337-3520.*
- Odum, E. P. 1971. *Fundamentals of Ecology*. Philadelphia: W.B. Saunders Company Ltd.
- Pais, I dan J. B. Jones. 1997. *The Handbook of Trace Elements*. Florida: St. Lucia Press
- Pal, M., E. Horváth, T. Janda, E. Páldi, and G. Szalai. 2006. Physiological Changes and Defense Mechanisms Induced by Cadmium Stress in Maize. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 169:239-246.
- Palar, H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Palar, H. 2008. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Perales-Vela H.V., Gonzalez M.S., Montes H., Canizares VRO. 2007. Growth, Photosynthetic and Respiratory Responses to Sub-Lethal Copper Concentrations in *Scenedesmus Incrassatulus* (Chlorophyceae). *Chemosphere*, 67: 2274-2281.
- Pertamawati. 2010. Fotoautotrof secara In Vitro. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*, 12 (1): 31-37.
- Prasad DDK, Prasad ARK, 1990. Porphyrin Metabolism in Lead and Mercury Treated Bajra (*Pennisetum typhoideum*) Seedlings. *Journal Biosci*, 14: 271-279.
- Priyadi, S. 2013. Profil Plumbum (Pb) dan Cadmium (Cd) sebagai Kontaminan Dampak Penggunaan Agrokimia serta Remediasi Biji Kedelai Menggunakan *Swelling Agent* pada Khelasi dengan Asam Sitrat. *Jurnal Natur Indonesia* 15(1).
- Purbonegoro, T. 2008. Pengaruh Logam Berat Kadmium (Cd) Terhadap Metabolisme dan Fotosintesis di Laut. *Oseana, Volume XXXIII*.
- Qurthubi, S. I. A. 2009. *Tafsir Al-Qurthubi*. Jakarta: Pustaka Azzam
- Rahma P., Putri N. S., Rahmiana Z., Mai E., Edison M., Amelia, S., Fani A. 2014. Utilization of Soursop (*Annona muricata* Linn) Seeds as Heavy Metals Biosorbent. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 5 (5): 1339-1345.
- Riesen, O and U. Feller. 2005. Redistribution of Nickel, Cobalt, Manganese, Zinc, and Cadmium Via The Phloem in Young and Maturing Wheat. *J. Plant Nutr.* 28:421-30.
- Roechan, 1993. Peranan Kadmium dalam Sistem Tanah-Tanaman pada Padi sawah. *Penelitian Tanaman Pangan.1: 20-31.*

- Rosalina, R. 2008. Pengaruh Konsentrasi dan Frekuensi Penyiraman Air Limbah Tempe sebagai Pupuk Organik terhadap Pertumbuhan dan Hail Tomat (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Skripsi*. UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Rosidah, S. 2014. Uji Toleransi Tanaman Tembakau (*Nicotiana tabacum* L.) terhadap Cekaman Kadmium (Cd), Timbal (Pb), dan Tembaga (Cu) pada Kultur Cair. *Jurnal MIPA 37 (1): 7-15*.
- Rothemund, P. 1956. Hemin and Chlorophyll- The Two Most Important Pigments for Life on Earth. *The Ohio Journal of Science. Vol. LVI. No. 4*.
- Rubatzky, V. E. dan M. Yamaguchi. 1998. *Sayuran Dunia, Prinsip, Produksi dan Gizi, Jilid Kedua*. Penerjemah Catur Herison. Bandung: ITB.
- Rukmana, R. 1997. *Kacang Hijau Budidaya dan Pasca Panen*. Yogyakarta: Kanisius.
- Sadjad, S. 1993. *Kuantifikasi Metabolisme Benih*. Jakarta: Gramedia.
- Salisbury, F.B. and C.W. Ross. 1992. *Plant Physiology. 4th Edition*. Terjemahan: Diah R. Lukman dan Sumaryono. Fisiologi Tumbuhan Jilid I. Bandung: ITB Press.
- Schipper, L.A., G.P. Sparling, L.M. Fisk, M.B. Dodd, I.L. Power, and R.A. Litter. 2011. Rates of Accumulation of Cadmium and Uranium in a New Zealand Hill Farm Soil as a Result of Long-Term Use of Phosphate Fertilizer. *Agriculture, Ecosystems and Environment. 144:95-101*.
- Schmidt, U. 2003. Enhancing Phytoextraction: The effects of chemical soil manipulation on mobility, plant accumulation, and leaching of heavy metals. *Journal of Environmental Quality, 32: 1939-1954*.
- Sekara, A., Poniedzialek M., Ciura J., Jedrszczyk E., 2005. Cadmium and Lead Accumulation and Distribution in the Organ of Nine Crops: Implications for Phytoremediation. *Polish Journal of Environmental Studies, Vol 14, No 4, page 509-516*.
- Setiadi, Y. 2001. Status Penelitian dan Pemanfaatan Cendawan Mikoriza Arbuskula dan Rhizobium untuk Merehabilitasi Lahan Terdegradasi. *Seminar Nasional Mikoriza. 15-16 November 1999. Bogor*.
- Sheirdil, R.A., K. Bashir, R. Hayat and M.S. Akhtar. 2012. Effect of Cadmium on Soybean (*Glycine max* L.) Growth and Nitrogen Fixation. *African J. of Biotech 11 (8):1886-1891*.
- Shihab, M. Quraish. 1999. *Membumikan al-Qur'an*, cet. XX. Bandung: Mizan.
- Shihab, M. Quraish. 2002. *Tafsir al-Misbah; Pesan, Kesan, dan Keserasian al-Qur'an Vol. 5*. Jakarta: Lentera Hati.

- Sitompul S. M. dan B. Guritno. 1995. *Analisis Pertumbuhan Tanaman*. Yogyakarta: Gadjahmada University Prees
- Soedarmo, D. H. dan P. Djojoprawiro. 1986. *Fisika Tanah Dasar*. Bogor: IPB.
- Soemartono. 1995. Cekaman Lingkungan Tantangan Pemuliaan Tanaman Masa Depan. *Prosiding Simposium Pemuliaan Tanaman III Komda. Jawa timur*.
- Somaatmadja, S. 1993. *Proses Sumber Daya Nabati Asia Tenggara I. Kacang-kacangan*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Somaatmadja, S. 1998. *Proses Sumber Daya Nabati Asia Tenggara I. Kacang-kacangan*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Subowo, M., S. Widodo, dan Asep Nugraha. 1999. Status dan Penyebaran Pb, Cd, dan Pestisida pada Lahan Sawah Intensifikasi di Pinggir Jalan Raya. *Prosiding. Bidang Kimia dan Bioteknologi Tanah, Puslittanak, Bogor*.
- Sunantara, I.M.M. 2000. *Teknik Produksi Benih Kacang Hijau. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan (Teknologi Produksi Benih Kacang Hijau)*. Bali: Denpasar.
- Supeno, A. dan Sujudi. 2004. Teknik Pengujian Adaptasi Galur Harapan Kacang Hijau di Lahan Sawah. *Buletin Teknik Pertanian*, 9(1): 20-21.
- Suprpto, H. S. 2007. *Bertanam Kacang Hijau*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Supriyadi, S. 2008. Kandungan Bahan Organik sebagai Dasar Pengelolaan Tanah di Lahan Kering Madura. *Embryo*, 5 (2): 0216-0188.
- Susana, R dan Suswati D. 2011. Ketersediaan Cd, Gejala Toksisitas dan Pertumbuhan 3 Spesies *Brassicaceae* pada Media Gambut yang Dikontaminasi Kadmium. *Jurnal Perkebunan dan Lahan Tropika* 1:9-16.
- Sutrisno. 2015. Pengelolaan Cemaran Kadmium pada Lahan Pertanian Di Indonesia. *Buletin Palawija Vol. 13 No. 1:83-91d*
- Suwarti, R.E. 2013. Pertumbuhan, Hasil dan Indeks Sensitivitas Tanaman Jagung terhadap Cekaman Genangan Air. *Seminar Nasional Serealia*. Balai Penelitian Tanaman Serealia: Universitas Muslim Indonesia.
- Suzuki, 1980. Cadmium, Copper and Zinc in Rice Produced in Java. *Arch. Environm.Contam.* 9:437-449.
- Tanty, Y dkk. 2013. Penggunaan Komponen Genetik, Daya Gabung, dan Segregasi Biji pada Jagung Manis Kuning Kisut. *Jurnal Agrotek Tropika. Vol 1, No. 1. p: 25-31.*
- Tjitrosoepomo, G. 1989. *Morfologi Tumbuhan*. Yogyakarta: UGM Press.
- Tjitrosoepomo, G. 1996. *Taksonomi Tumbuhan (Spermatophyta)*. Yogyakarta: UGM Press.

- Tran, T. A. 2013. Functions and Toxicity of Cadmium in Plants: Recent Advances and Future Prospects. *Turkish Journal of Botany*, 37: 1-13.
- Trustinah, A.K. 2009. Toleransi genotipe kacang tanah terhadap tanah kering masam. *Bul. Palawija*, 28 (3): 183–191.
- Trustinah, R. 2014. Adopsi Varietas Unggul Kacang Hijau di Sentra Produksi. *Iptek Tanaman Pangan*. 9 (1):24-38.
- Wang, M., Zou J., Duan X., Jiang W., Liu D. 2007. Cadmium Accumulation and its Effect on Metal Uptake in Maize (*Zea mays* L). *Journal Bioresource Technology* No. 98. Page 82-88.
- Weast, C. 1981. *Handbook of Chemistry and Physics*. 61st Ed. Cleveland Ohio Chemical Rubber Co.
- Widaningrum. 2007. Bahaya Kontaminasi Logam Berat dalam Sayuran dan Alternatif Pencegahan Cemarannya. *Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian* Vol. 3.
- Widowati, W. 2008. *Efek Toksik Logam Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- William C.H. and David D. J. 1977. Some Effect of the Distribution of Cadmium and Phosphate in the Root Zone on the Cadmium Content of Plants. *Aust. J. Soil Research*.15: 59-68.
- Winarno, F. G. 2004. *Kimia Pangan dan Gizi*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Winter, H. 1982. The Hazards of Cadmium in Man and Animals. *J. App. Toxicol.* 2(2):61-67.
- Yamaguchi, M. 1998. *Sayuran Dunia, Prinsip, Produksi dan Gizi, Jilid Kedua*. Penerjemah Catur Herison. Bandung: ITB.
- Yong, Z., Bo-Han, L., Qing-Ru, Z., Min, Z & Ming, L. 2008. Surfactant Linear Alkylbenzene Sulfonate Effect on Soil Cd Fractions and Cd Distribution in Soybean Plant in Pot Experiment. *Pedosphere* 18(2): 242-247.
- Yuwono, N. W. dan Afandhie R. 2008. *Ilmu Kesuburan Tanah*. Yogyakarta: Kanisius.
- Zhou, J.L., B. Du, Q. Wei, X.C. Wang, P.D. Nguyen, H.H. Ngo W Guo. 2012. Characterization of a Multi-Metal Binding Biosorbent: Chemical Modification and Desorption Studies. *Biosource Technology*. 193: 477-487.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Deskripsi Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

1.1 Varietas Kenari

Dilepas tahun	4 November 1998
SK Mentan	877/Kpts/TP.240/11/98
Nomor galur	VC 3012 B
Asal	Introduksi dari AVRDC, Taiwan
	Tahun 1987, hasil silang tunggal
	VC 1178B x VC 1624
Daya hasil	0,83-2,45 t/ha
Hasil rata-rata	1,38 t/ha
Warna hipokotil	Hijau
Warna epikotil	Hijau
Warna daun	Hijau
Warna bunga	Kuning
Warna biji	Hijau mengkilap
Warna polong tua	Hitam
Tipe tumbuh	Tegak, determinit
Mulai berbunga 50%	35 hari
Umur polong masak	60-65 hari
Tinggi tanaman	55 cm
Bobot 100 biji	6,7 g
Ketahanan terhadap penyakit	Agak tahan penyakit bercak daun
	Toleran penyakit karat daun
Pemulia	M. Anwari, Rudy Soehendi, dan
	Made Jaya Mejaya
Peneliti proteksi	Sumartini

1.2 Varietas Vima 1

Dilepas tahun	24 Juni 2008
SK Mentan	No 833/Kpts/SR.120/6/2008
Nama galur	MMC 157d-Kp-1
Asal	Persilangan buatan tahun 1996
Tetua jantan	VC 1973 A
Tetua betina	VC 2750 A
Daya hasil	1,38 t/ha
Hasil rata-rata	1,76 t/ha
Warna hipokotil	Hijau
Warna daun	Hijau
Umur berbunga 50%	33 hari
Umur masak 80%	57 hari
Warna bunga	Kuning
Warna polong muda	Hijau
Warna polong masak	Hitam
Tinggi tanaman	53 cm
Tipe tanaman	Determinit
Warna biji	Hijau kusam
Bobot 100 butir	6,3 g
Kadar protein	28,02 % basis kering
Kadar lemak	0,40 % basis kering
Kadar pati	67,62 % basis kering
Ketahanan penyakit	Tahan penyakit embun tepung
Pemulia	M.Anwari, Rudi Iswanto, Rudi Soehendi, Hadi Purnomo, dan Agus Supeno
Mfitopatologis	Sumartini

1.3 Varietas Vima 2

Dilepas tahun	2014
SK Mentan	1167/Kpts/SR.120/11/2014
Asal	Persilangan varietas Merpati dengan tetua jantan VC 6307 A
Nama galur	MMC342d-Kp-3-4(GH 6)
Umur	56 hari
Tinggi tanaman	± 64,3 cm
Daya hasil	2,4 ton/ha
Tipe tumbuh	Tegak, determinit
Hasil rata-rata	±1,80 ton/ha
Warna hipokotil	Hijau
Warna batang	Hijau
Warna daun	Hijau
Warna tangkai daun	Hijau
Warna kelopak bunga	Hijau
Rambut daun	Sedikit
Warna mahkota bunga	Hijau
Periode berbunga	33 hari
Jumlah polong per tanaman	12 polong
Jumlah biji per polong	11 biji
Bobot 100 biji	6,6 g
Warna polong muda	Hijau
Warna polong tua	Hitam
Posisi polong	Terjurai
Warna biji	Hijau mengkilap
Kadar protein	±22,7% (basis kering)
Kadar lemak	±0,7% (basis kering)
Ketahanan terhadap penyakit	Agak rentan terhadap penyakit embun tepung, toleran hama thrips
Keterangan	Berumur genjah, masak serempak, polong mudah pecah baik ditanam di dataran rendah sampai dengan sedang (10–450 m dpl)
Pemulia	Rudi Iswanto, M. Anwari, Trustinah, Hadi Purnomo
Peneliti proteksi	Sumartini, Sri Hardaningsih, Sri Wahyuni I ndiati
Pengusul	Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi, Badan Litbang Kementerian Pertanian

Lampiran 2. Hasil Analisis Tanah sebagai Media Tanam pada Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

Peubah Analisis	Hasil Analisis
pH 1:1 H ₂ O KCl 1 N	5,7 4,7
C. Organik (%)	2,56
N. Total (%)	0,22
C/N	12
P. Bray1 (mg kg ⁻¹)	77,33
K (me/100g) NH ₄ OAC1N pH:7	0,3
Bahan Organik (%)	2,69
Cd Total (ppm)	2,7

Lampiran 3. Data Hasil Pengamatan Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)Tabel 1. Tinggi Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) 45 HST

Perlakuan	Ulangan		
	1	2	3
A1B0	44 cm	47 cm	49.3 cm
A1B1	44 cm	43 cm	45 cm
A1B2	43 cm	42 cm	42.5 cm
A1B3	35 cm	36 cm	40 cm
A2B0	43 cm	45 cm	44 cm
A2B1	34 cm	35 cm	43 cm
A2B2	41 cm	43 cm	38 cm
A2B3	35 cm	46 cm	40 cm
A3B0	53.5 cm	56 cm	46 cm
A3B1	35 cm	45 cm	41 cm
A3B2	40 cm	39 cm	44 cm
A3B3	37 cm	33 cm	36 cm

Tabel 2. Jumlah Daun Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) 45 HST

Perlakuan	Ulangan		
	1	2	3
A1B0	6 helai	6 helai	7 helai
A1B1	6 helai	5 helai	6 helai
A1B2	6 helai	5 helai	6 helai
A1B3	5 helai	5 helai	6 helai
A2B0	6 helai	7 helai	7 helai
A2B1	5 helai	6 helai	5 helai
A2B2	5 helai	5 helai	6 helai
A2B3	6 helai	5 helai	6 helai
A3B0	7 helai	6 helai	6 helai
A3B1	5 helai	5 helai	6 helai
A3B2	6 helai	5 helai	5 helai
A3B3	4 helai	5 helai	5 helai

Tabel 3. Rata-rata Luas Daun Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) 30 HST

Perlakuan	Ulangan		
	1	2	3
A1B0	19.62 cm ²	26.70 cm ²	24.43 cm ²
A1B1	21.46 cm ²	24.93 cm ²	20.38 cm ²
A1B2	18.63 cm ²	21.47 cm ²	19.36 cm ²
A1B3	12.61 cm ²	15.17 cm ²	22.59 cm ²
A2B0	23.29 cm ²	26.82 cm ²	24.16 cm ²
A2B1	23.93 cm ²	20.41 cm ²	21.36 cm ²
A2B2	17.47 cm ²	21.30 cm ²	22.05 cm ²
A2B3	15.24 cm ²	17.60 cm ²	23.79 cm ²
A3B0	19.74 cm ²	28.38 cm ²	22.53 cm ²
A3B1	17.89 cm ²	16.42 cm ²	18.61 cm ²
A3B2	16.51 cm ²	13.05 cm ²	12.48 cm ²
A3B3	8.38 cm ²	9.78 cm ²	9.84 cm ²

Tabel 4. Kadar Klorofil Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) 30 HST

Perlakuan	Ulangan		
	1	2	3
A1B0	28.7 mg/cm ²	29.0 mg/cm ²	27.3 mg/cm ²
A1B1	29.5 mg/cm ²	28.6 mg/cm ²	26.3 mg/cm ²
A1B2	26.0 mg/cm ²	24.7 mg/cm ²	25.5 mg/cm ²
A1B3	28.7 mg/cm ²	26.2 mg/cm ²	27.2 mg/cm ²
A2B0	26.3 mg/cm ²	24.8 mg/cm ²	25.1 mg/cm ²
A2B1	23.0 mg/cm ²	24.6 mg/cm ²	26.2 mg/cm ²
A2B2	24.0 mg/cm ²	25.0 mg/cm ²	22.5 mg/cm ²
A2B3	20.0 mg/cm ²	23.3 mg/cm ²	25.0 mg/cm ²
A3B0	26.7 mg/cm ²	30.9 mg/cm ²	28.2 mg/cm ²
A3B1	25.1 mg/cm ²	26.8 mg/cm ²	24.7 mg/cm ²
A3B2	23.8 mg/cm ²	24.8 mg/cm ²	25.0 mg/cm ²
A3B3	24.1 mg/cm ²	25.9 mg/cm ²	23.7 mg/cm ²

Tabel 5. Jumlah Bunga Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

Perlakuan	Ulangan		
	1	2	3
A1B0	11 bunga	10 bunga	10 bunga
A1B1	8 bunga	7 bunga	8 bunga
A1B2	6 bunga	6 bunga	7 bunga
A1B3	6 bunga	6 bunga	5 bunga
A2B0	9 bunga	9 bunga	8 bunga
A2B1	8 bunga	8 bunga	7 bunga
A2B2	7 bunga	6 bunga	7 bunga
A2B3	6 bunga	6 bunga	5 bunga
A3B0	7 bunga	8 bunga	7 bunga
A3B1	6 bunga	5 bunga	5 bunga
A3B2	6 bunga	5 bunga	5 bunga
A3B3	5 bunga	4 bunga	4 bunga

Tabel 6. Jumlah Polong Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) 30 HST

Perlakuan	Ulangan		
	1	2	3
A1B0	10 polong	9 polong	9 polong
A1B1	8 polong	5 polong	6 polong
A1B2	6 polong	5 polong	6 polong
A1B3	6 polong	4 polong	5 polong
A2B0	8 polong	7 polong	8 polong
A2B1	6 polong	5 polong	5 polong
A2B2	5 polong	5 polong	6 polong
A2B3	5 polong	6 polong	4 polong
A3B0	7 polong	7 polong	6 polong
A3B1	5 polong	5 polong	4 polong
A3B2	6 polong	5 polong	4 polong
A3B3	5 polong	4 polong	4 polong

Tabel 7. Berat Biji Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

Perlakuan	Ulangan		
	1	2	3
A1B0	4.99 gram	3.91 gram	4.67 gram
A1B1	3.06 gram	0.89 gram	1.41 gram
A1B2	1.53 gram	0.74 gram	1.41 gram
A1B3	1.10 gram	0.18 gram	0.45 gram
A2B0	2.75 gram	2.15 gram	2.81 gram
A2B1	1.24 gram	0.96 gram	0.44 gram
A2B2	0.67 gram	1.28 gram	1.86 gram
A2B3	1.38 gram	2.01 gram	0.30 gram
A3B0	3.07 gram	2.78 gram	1.73 gram
A3B1	1.29 gram	2.13 gram	0.58 gram
A3B2	2.59 gram	1.28 gram	0.83 gram
A3B3	1.87 gram	0.17 gram	0.75 gram

Tabel 8. Berat Kering Total Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

Perlakuan	Ulangan		
	1	2	3
A1B0	2,378 gram	1,787 gram	1,674 gram
A1B1	1,329 gram	1,433 gram	1,403 gram
A1B2	1,115 gram	0,943 gram	0,893 gram
A1B3	0,873 gram	0,745 gram	0,678 gram
A2B0	1,654 gram	1,576 gram	1,368 gram
A2B1	1,234 gram	0,986 gram	0,974 gram
A2B2	0,918 gram	0,924 gram	0,863 gram
A2B3	0,767 gram	0,697 gram	0,654 gram
A3B0	1,842 gram	1,584 gram	1,732 gram
A3B1	0,965 gram	0,832 gram	0,859 gram
A3B2	0,755 gram	0,764 gram	0,682 gram
A3B3	0,685 gram	0,576 gram	0,496 gram

Tabel 9. Berat Kering Akar Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

Perlakuan	Ulangan		
	1	2	3
A1B0	0,302 gram	0,246 gram	0,252 gram
A1B1	0,156 gram	0,148 gram	0,134 gram
A1B2	0,120 gram	0,090 gram	0,068 gram
A1B3	0,074 gram	0,053 gram	0,038 gram
A2B0	0,189 gram	0,182 gram	0,179 gram
A2B1	0,098 gram	0,086 gram	0,090 gram
A2B2	0,043 gram	0,052 gram	0,056 gram
A2B3	0,036 gram	0,041 gram	0,034 gram
A3B0	0,197 gram	0,192 gram	0,185 gram
A3B1	0,140 gram	0,137 gram	0,121 gram
A3B2	0,093 gram	0,078 gram	0,067 gram
A3B3	0,047 gram	0,034 gram	0,037 gram

Tabel 10. Kadar Cd dalam Biji Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

Perlakuan	Kadar Cu dalam Biji (ppm)
A1B0	0,0283
A1B1	0,0457
A1B2	0,0569
A1B3	0,0672
A2B0	0,0322
A2B1	0,0478
A2B2	0,0496
A2B3	0,0612
A3B0	0,0354
A3B1	0,0463
A3B2	0,0512
A3B3	0,0624

Tabel 11. Skoring Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) terhadap Toleransi Cekaman Cd

Perlakuan	Ulangan		
	1	2	3
A1B0	1	1	1
A1B1	1	1	1
A1B2	2	2	2
A1B3	2	2	2
A2B0	1	1	1
A2B1	2	1	1
A2B2	2	2	1
A2B3	2	2	2
A3B0	1	1	1
A3B1	1	2	1
A3B2	2	2	2
A3B3	2	2	2

Lampiran 4. Analisis Data ANOVA dan Uji Lanjut Duncan

Tabel 12. Analisis Data ANOVA dan Uji Lanjut *Duncan* pada Tinggi Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) 45 HST

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Tinggi45HST

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	679.561 ^a	11	61.778	5.255	.000
Intercept	62775.302	1	62775.302	5.3403	.000
Varietas	26.022	2	13.011	1.107	.347
Konsentrasi	473.374	3	157.791	13.423	.000
Varietas * Konsentrasi	180.165	6	30.028	2.554	.047
Error	282.127	24	11.755		
Total	63736.990	36			
Corrected Total	961.688	35			

a. R Squared = .707 (Adjusted R Squared = .572)

Tinggi45HST

Duncan

Konsentrasi	N	Subset		
		1	2	3
B3	9	37.5556		
B1	9	40.5556	40.5556	
B2	9		41.3889	
B0	9			47.5333
Sig.		.076	.611	1.000

Tinggi45HST

Duncan

Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
A3B3	3	35.3333			
A1B3	3	37.0000	37.0000		
A2B1	3	37.3333	37.3333		
A2B3	3	40.3333	40.3333	40.3333	
A3B1	3	40.3333	40.3333	40.3333	
A2B2	3	40.6667	40.6667	40.6667	
A3B2	3	41.0000	41.0000	41.0000	
A1B2	3		42.5000	42.5000	
A1B1	3			44.0000	
A2B0	3			44.0000	
A1B0	3			46.7667	46.7667
A3B0	3				51.8333
Sig.		.088	.098	.057	.083

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Tabel 13. Analisis Data ANOVA dan Uji Lanjut *Duncan* pada Jumlah Daun Kacang Hijau (*Vigna radiata*) 45 HST

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: JumlahDaun45hst

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	10.306 ^a	11	.937	2.811	.017
Intercept	1144.694	1	1144.694	3.4343	.000
Konsetrasi	8.083	3	2.694	8.083	.001
Varietas	.889	2	.444	1.333	.282
Konsetrasi * Varietas	1.333	6	.222	.667	.677
Error	8.000	24	.333		
Total	1163.000	36			
Corrected Total	18.306	35			

a. R Squared = .563 (Adjusted R Squared = .363)

JumlahDaun45hst

Duncan

Konsetrasi	N	Subset	
		1	2
B3	9	5.2222	
B1	9	5.4444	
B2	9	5.4444	
B0	9		6.4444
Sig.		.449	1.000

Tabel 14. Analisis Data ANOVA dan Uji Lanjut *Duncan* pada Rata-rata Luas Daun Kacang Hijau (*Vigna radiata*) 30 HST

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:LuasDaun

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	657.912 ^a	11	59.810	6.763	.000
Intercept	13548.184	1	13548.184	1.5323	.000
Varietas	196.142	2	98.071	11.090	.000
Konsetrasi	391.347	3	130.449	14.751	.000
Varietas * Konsetrasi	70.422	6	11.737	1.327	.284
Error	212.246	24	8.844		
Total	14418.341	36			
Corrected Total	870.157	35			

a. R Squared = .756 (Adjusted R Squared = .644)

LuasDaun

Duncan

Varietas	N	Subset	
		1	2
A3	12	16.1342	
A1	12		20.6125
A2	12		21.4517
Sig.		1.000	.496

LuasDaun

Duncan

Konsetrasi	N	Subset		
		1	2	3
B3	9	15.0000		
B2	9		18.0356	
B1	9		20.5989	
B0	9			23.9633
Sig.		1.000	.080	1.000

Tabel 15. Analisis Data ANOVA dan Uji Lanjut *Duncan* pada Kadar Klorofil Daun Kacang Hijau (*Vigna radiata*) 30 HST

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:KadarKlorofil

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	124.607 ^a	11	11.328	5.202	.000
Intercept	23916.623	1	23916.623	1.0984	.000
Konsetrasi	47.914	3	15.971	7.335	.001
Varietas	60.002	2	30.001	13.778	.000
Konsetrasi * Varietas	16.692	6	2.782	1.278	.305
Error	52.260	24	2.178		
Total	24093.490	36			
Corrected Total	176.867	35			

a. R Squared = .705 (Adjusted R Squared = .569)

KadarKlorofil

Duncan

Varietas	N	Subset		
		1	2	3
A2	12	24.1500		
A3	12		25.8667	
A1	12			27.3083
Sig.		1.000	1.000	1.000

KadarKlorofil

Duncan

Konsetrasi	N	Subset	
		1	2
B2	9	24.5889	
B3	9	24.9000	
B1	9	26.0889	26.0889
B0	9		27.5222
Sig.		.051	.050

Tabel 16. Analisis Data ANOVA dan Uji Lanjut *Duncan* pada Jumlah Bunga Kacang Hijau (*Vigna radiata*)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:JumlahBunga

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	92.750 ^a	11	8.432	25.295	.000
Intercept	1640.250	1	1640.250	4.9213	.000
Varietas	25.167	2	12.583	37.750	.000
Konsetrasi	61.861	3	20.620	61.861	.000
Varietas * Konsetrasi	5.722	6	.954	2.861	.030
Error	8.000	24	.333		
Total	1741.000	36			
Corrected Total	100.750	35			

a. R Squared = ,921 (Adjusted R Squared = ,884)

JumlahBunga

Duncan

Varietas	N	Subset	
		1	2
A3	12	5.5833	
A2	12		7.1667
A1	12		7.5000
Sig.		1.000	.170

JumlahBunga

Duncan

Konsentrasi	N	Subset			
		1	2	3	4
B3	9	5.2222			
B2	9		6.1111		
B1	9			6.8889	
B0	9				8.7778
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

JumlahBunga

Duncan

Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05						
		1	2	3	4	5	6	7
A3B3	3	4.33333						
A3B1	3	5.33333	5.33333					
A3B2	3	5.33333	5.33333					
A1B3	3		5.66667	5.66667				
A2B3	3		5.66667	5.66667				
A1B2	3		6.33333	6.33333	6.33333			
A2B2	3			6.66667	6.66667	6.66667		
A3B0	3				7.33333	7.33333		
A1B1	3					7.66667	7.66667	
A2B1	3					7.66667	7.66667	
A2B0	3						8.66667	
A1B0	3							10.33331
Sig.		.055	.068	.062	.055	.062	.055	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Tabel 17. Analisis Data ANOVA dan Uji Lanjut *Duncan* pada Jumlah Polong Kacang Hijau (*Vigna radiata*)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:JumlahPolong

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	68.306 ^a	11	6.210	9.314	.000
Intercept	1236.694	1	1236.694	1.8553	.000
Varietas	12.056	2	6.028	9.042	.001
Konsetrasi	51.639	3	17.213	25.819	.000
Varietas * Konsetrasi	4.611	6	.769	1.153	.363
Error	16.000	24	.667		
Total	1321.000	36			
Corrected Total	84.306	35			

a. R Squared = .810 (Adjusted R Squared = .723)

JumlahPolong

Duncan

Varietas	N	Subset	
		1	2
A3	12	5.1667	
A2	12	5.8333	
A1	12		6.5833
Sig.		.057	1.000

JumlahPolong

Duncan

Konsetrasi	N	Subset	
		1	2
B3	9	4.7778	
B2	9	5.3333	
B1	9	5.4444	
B0	9		7.8889
Sig.		.114	1.000

Tabel 18. Analisis Data ANOVA dan Uji Lanjut *Duncan* pada Berat Biji Kacang Hijau (*Vigna radiata*)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: BeratBiji

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	38.185 ^a	11	3.471	6.853	.000
Intercept	104.244	1	104.244	205.808	.000
Varietas	1.983	2	.991	1.957	.163
Konsetrasi	28.300	3	9.433	18.624	.000
Varietas * Konsetrasi	7.901	6	1.317	2.600	.044
Error	12.156	24	.507		
Total	154.585	36			
Corrected Total	50.341	35			

a. R Squared = .759 (Adjusted R Squared = .648)

BeratBiji

Duncan

Varietas	N	Subset
		1
A2	12	1.4875
A3	12	1.5892
A1	12	2.0283
Sig.		.090

BeratBiji

Duncan

Konsetrasi	N	Subset	
		1	2
B3	9	.9122	
B1	9	1.3333	
B2	9	1.3544	
B0	9		3.2067
Sig.		.225	1.000

BeratBiji

Duncan

Interaksi	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
A1B3	3	.5767		
A2B1	3	.8800		
A3B3	3	.9300		
A1B2	3	1.2267	1.2267	
A2B3	3	1.2300	1.2300	
A2B2	3	1.2700	1.2700	
A3B1	3	1.3333	1.3333	
A3B2	3	1.5667	1.5667	
A1B1	3	1.7867	1.7867	
A3B0	3		2.5267	
A2B0	3		2.5700	
A1B0	3			4.5233
Sig.		.085	.055	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Tabel 19. Analisis Data ANOVA dan Uji Lanjut *Duncan* pada Berat Kering Total Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata*)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: BeratKeringTotal

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	6.409 ^a	11	.583	28.001	.000
Intercept	43.644	1	43.644	2.0973	.000
Varietas	.549	2	.274	13.191	.000
Konsetrasi	5.614	3	1.871	89.932	.000
Varietas * Konsetrasi	.246	6	.041	1.972	.110
Error	.499	24	.021		
Total	50.552	36			
Corrected Total	6.908	35			

a. R Squared = .928 (Adjusted R Squared = .895)

BeratKeringTotal

Duncan

Varietas	N	Subset	
		1	2
A3	12	.98100	
A2	12	1.05125	
A1	12		1.27092
Sig.		.245	1.000

BeratKeringTotal

Duncan

Konsetrasi	N	Subset			
		1	2	3	4
B3	9	.68567			
B2	9		.87300		
B1	9			1.11278	
B0	9				1.73278
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Tabel 20. Analisis Data ANOVA dan Uji Lanjut *Duncan* pada Berat Kering Akar Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata*)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: BeratKeringAkar

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.170 ^a	11	.015	72.568	.000
Intercept	.466	1	.466	2.1873	.000
Varietas	.015	2	.007	35.029	.000
Konsetrasi	.149	3	.050	233.306	.000
Varietas * Konsetrasi	.006	6	.001	4.712	.003
Error	.005	24	.000		
Total	.641	36			
Corrected Total	.175	35			

a. R Squared = .971 (Adjusted R Squared = .957)

BeratKeringAkar

Duncan

Varietas	N	Subset		
		1	2	3
A2	12	.09050		
A3	12		.11067	
A1	12			.14008
Sig.		1.000	1.000	1.000

BeratKeringAkar

Duncan

Konstruksi	N	Subset			
		1	2	3	4
B3	9	.04378			
B2	9		.07411		
B1	9			.12333	
B0	9				.21378
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

BeratKeringAkar

Duncan

Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
A2B3	3	.03700					
A3B3	3	.03933					
A2B2	3	.05033					
A1B3	3	.05500	.05500				
A3B2	3		.07933	.07933			
A2B1	3			.09133			
A1B2	3			.09267			
A3B1	3				.13267		
A1B1	3				.14600		
A2B0	3					.18333	
A3B0	3					.19133	
A1B0	3						.26667
Sig.		.179	.052	.301	.274	.508	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Tabel 21. Analisis Data ANOVA dan Uji Lanjut *Duncan* pada Kadar Cd dalam Biji Kacang Hijau (*Vigna radiata*)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:KandunganLogam

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.006 ^a	11	.001	110.773	.000
Intercept	.092	1	.092	1.9814	.000
Varietas	.000	2	.000	22.890	.000
Konsetrasi	.005	3	.002	378.137	.000
Varietas * Konsetrasi	.000	6	2.9615	6.385	.000
Error	.000	24	4.6376		
Total	.098	36			
Corrected Total	.006	35			

a. R Squared = ,981 (Adjusted R Squared = ,972)

KandunganLogam

Duncan

Varietas	N	Subset	
		1	2
A2	12	.048567	
A1	12	.049028	
A3	12		.053933
Sig.		.604	1.000

KandunganLogam

Duncan

Konsetrasi	N	Subset			
		1	2	3	4
B0	9	.033671			
B1	9		.046878		
B2	9			.054489	
B3	9				.067000
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

KandunganLogam

Duncan

Perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05							
		1	2	3	4	5	6	7	8
A1B0	3	.0300							
A2B0	3		.0345						
A3B0	3		.0365						
A1B1	3			.0451					
A3B1	3			.0477	.0477				
A2B1	3			.0478	.0478				
A2B2	3				.0503				
A1B2	3					.0551			
A3B2	3					.0580	.0580		
A2B3	3						.0616		
A1B3	3							.0659	
A3B3	3								.0735
Sig.		1.000	.267	.159	.164	.108	.054	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Lampiran 5. Dokumentasi Pengamatan pada Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

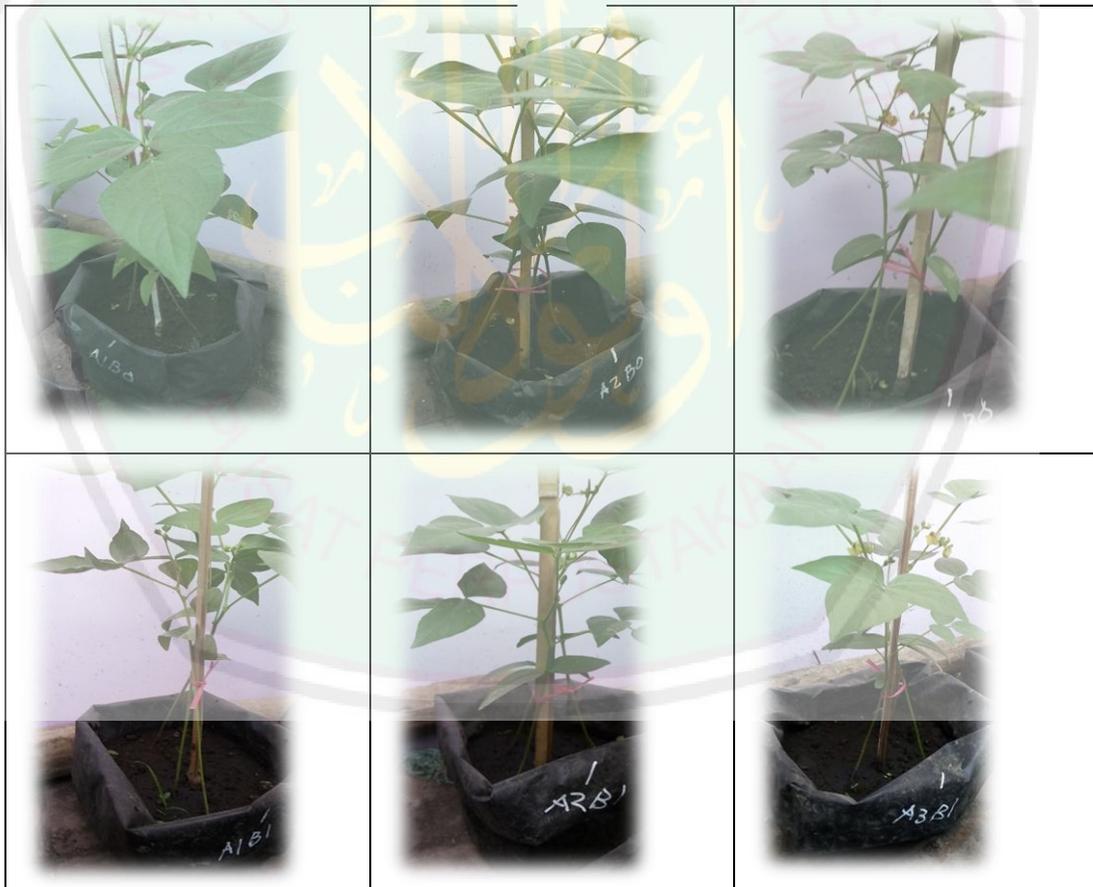
Gambar 1. Pembuatan Media Tanam untuk Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

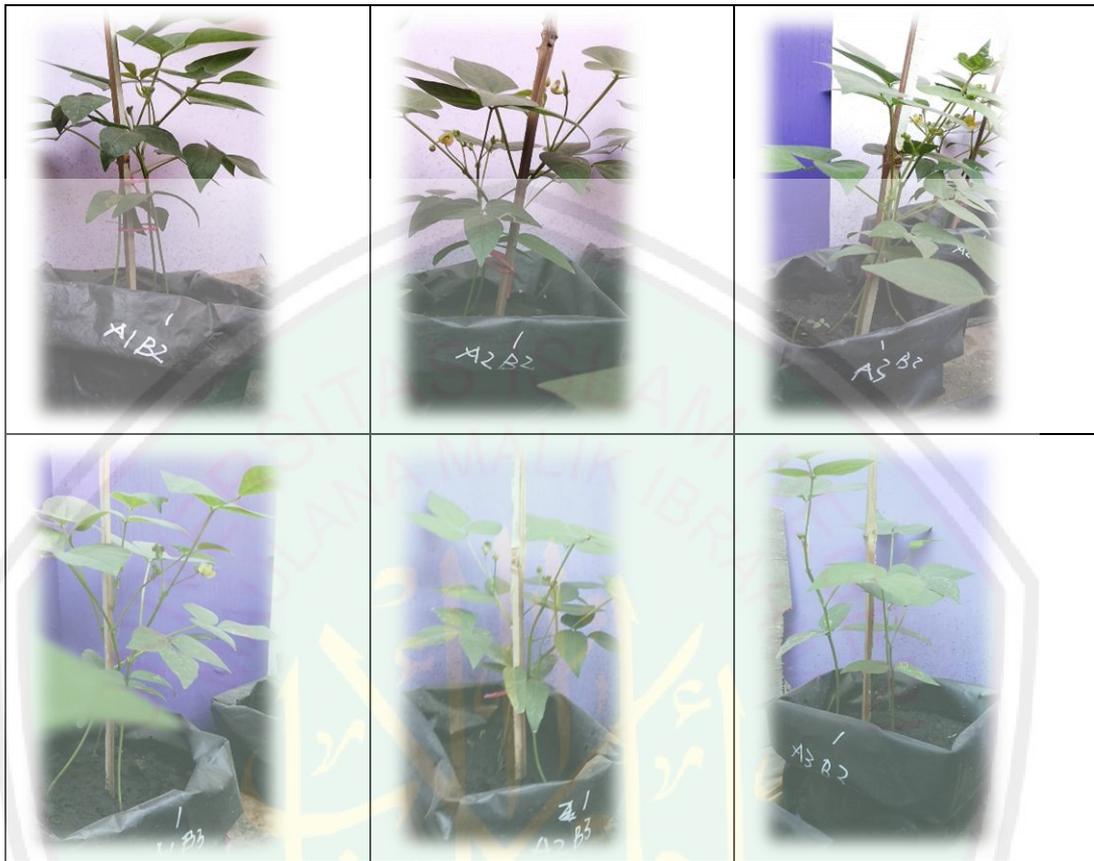


Gambar 2. Perendaman Benih Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)



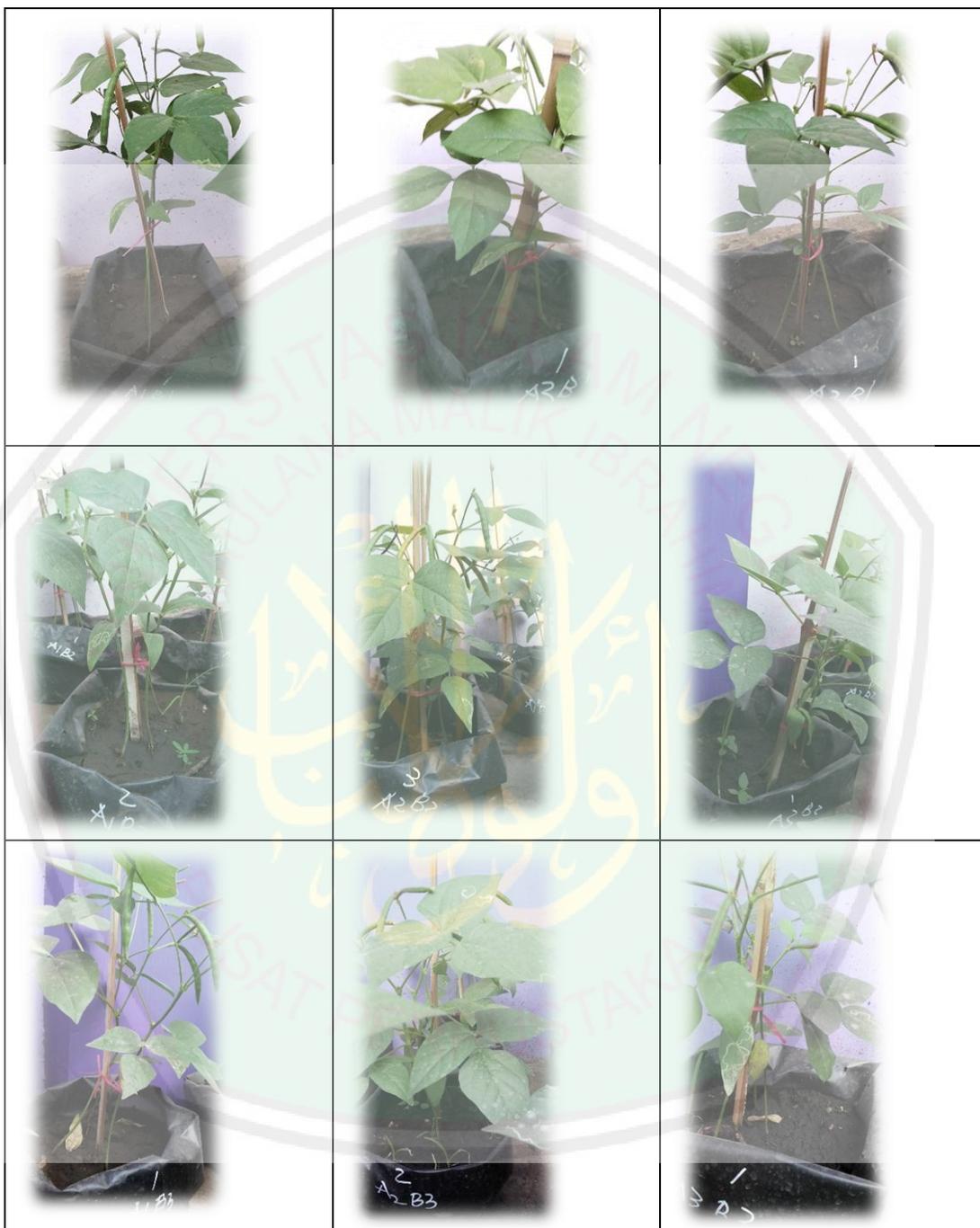
Gambar 3. Perlakuan Cekaman Cd

Gambar 4. Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) 30 HST



Gambar 5. Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) 45 HST





Gambar 6. Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) 60 HST





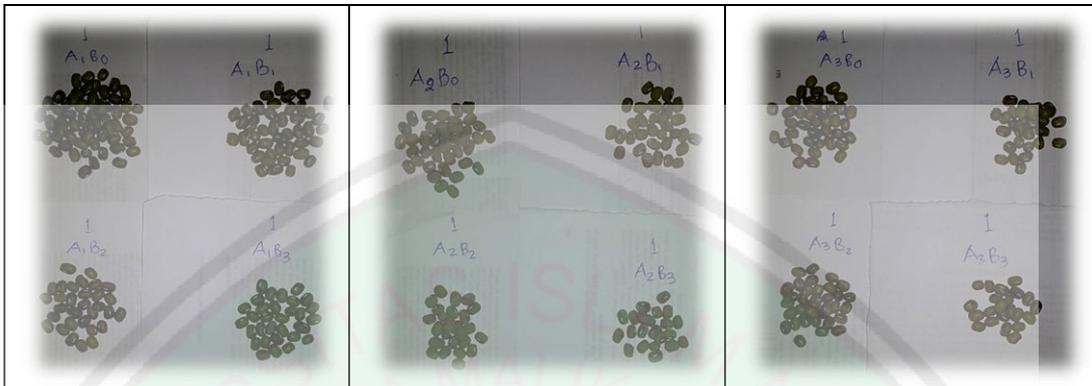
Gambar 7. Uji Luas Daun Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) Umur 30 HST



Gambar 8. Uji Kandungan Klorofil Daun Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.) Umur 30 HST



Gambar 9. Polong Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

Gambar 10. Biji Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

Lampiran 6. Perhitungan Indeks Sensitivitas Toksisitas Cd

5.1 Parameter Kadar Klorofil

Konsentrasi Cd (ppm)	Varietas		
	Kenari	Vima 1	Vima 2
0	28.33	25.40	28.83
0.25	28.13	24.60	25.53
0.50	25.40	23.83	24.53
0.75	27.37	22.77	24.57
Rerata varietas yang tercekam	26.97	23.73	24.88

$$S = \frac{1 - Y_p/Y}{1 - X_p/X}$$

$$Y_p : K = 26.97 \quad Y : K = 28.33 \quad X_p = 25.19$$

$$V1 = 23.73 \quad V1 = 25.40 \quad X = 27.52$$

$$V2 = 24.88 \quad V2 = 28.83$$

<p>Varietas Kenari</p> $S = \frac{1 - Y_p/Y}{1 - X_p/X}$ $= \frac{1 - 26.97/28.33}{1 - 25.19/27.52}$ $= \frac{1 - 0.95}{1 - 0.92}$ $= \frac{0.05}{0.08}$ $= 0,6 \text{ (Medium Toleran)}$	<p>Varietas Vima 1</p> $S = \frac{1 - Y_p/Y}{1 - X_p/X}$ $= \frac{1 - 23.73/25.40}{1 - 25.19/27.52}$ $= \frac{1 - 0.93}{1 - 0.92}$ $= \frac{0.07}{0.08}$ $= 0,9 \text{ (Medium Toleran)}$	<p>Varietas Vima 2</p> $S = \frac{1 - Y_p/Y}{1 - X_p/X}$ $= \frac{1 - 24.88/28.83}{1 - 25.19/27.52}$ $= \frac{1 - 0.86}{1 - 0.92}$ $= \frac{0.14}{0.08}$ $= 1,8 \text{ (Peka)}$
---	---	---

5.2 Parameter Jumlah Bunga

Konsentrasi Cd (ppm)	Varietas		
	Kenari	Vima 1	Vima 2
0	10.33	8.67	7.33
0.25	7.67	7.67	5.33
0.50	6.33	6.67	5.33
0.75	5.67	5.67	4.33
Rerata varietas yang tercekam	6.56	6.67	5.00

$$S = \frac{1-Y_p/Y}{1-X_p/X}$$

$$Y_p : K = 6.56 \quad Y : K = 10.33 \quad X_p = 6.07$$

$$V_1 = 6.67 \quad V_1 = 6.67 \quad X = 8.78$$

$$V_2 = 5.00 \quad V_2 = 5.00$$

Varietas Kenari	Varietas Vima 1	Varietas Vima 2
$S = \frac{1-Y_p/Y}{1-X_p/X}$ $= \frac{1-6.56/10.33}{1-6.07/8.78}$ $= \frac{1-0.64}{1-0.69}$ $= \frac{0.36}{0.31}$ $= 1,2 \text{ (Peka)}$	$S = \frac{1-Y_p/Y}{1-X_p/X}$ $= \frac{1-6.67/8.67}{1-6.07/8.78}$ $= \frac{1-0.77}{1-0.69}$ $= \frac{0.23}{0.31}$ $= 0,7 \text{ (Medium Toleran)}$	$S = \frac{1-Y_p/Y}{1-X_p/X}$ $= \frac{1-5.00/7.33}{1-6.07/8.78}$ $= \frac{1-0.68}{1-0.69}$ $= \frac{0.32}{0.31}$ $= 1 \text{ (Medium Toleran)}$

5.3 Parameter Jumlah Polong

Konsentrasi Cd (ppm)	Varietas		
	Kenari	Vima 1	Vima 2
0	9.33	7.67	6.67
0.25	6.33	5.33	4.67
0.50	5.67	5.33	5.00
0.75	5.00	5.00	4.33
Rerata varietas yang tercekam	5.67	5.22	4.67

$$S = \frac{1-Y_p/Y}{1-X_p/X}$$

$$Y_p : K = 5.67 \quad Y : K = 9.33 \quad X_p = 5.18$$

$$\begin{aligned} V1 &= 5.22 & V1 &= 7.67 & X &= 7.89 \\ V2 &= 4.67 & V2 &= 6.67 & & \end{aligned}$$

Varietas Kenari	Varietas Vima 1	Varietas Vima 2
$S = \frac{1-Yp/Y}{1-Xp/X}$ $= \frac{1-5.67/9.33}{1-5.18/7.89}$ $= \frac{1-0.61}{1-0.66}$ $= \frac{0.39}{0.34}$ $= 1,2 \text{ (Peka)}$	$S = \frac{1-Yp/Y}{1-Xp/X}$ $= \frac{1-5.22/7.67}{1-5.18/7.89}$ $= \frac{1-0.68}{1-0.66}$ $= \frac{0.32}{0.34}$ $= 0,9 \text{ (Medium Toleran)}$	$S = \frac{1-Yp/Y}{1-Xp/X}$ $= \frac{1-4.67/6.67}{1-5.18/7.89}$ $= \frac{1-0.70}{1-0.66}$ $= \frac{0,3}{0,34}$ $= 0,9 \text{ (Medium Toleran)}$

5.4 Parameter Berat Biji

Konsentrasi Cd (ppm)	Varietas		
	Kenari	Vima 1	Vima 2
0	4.52	2.57	2.53
0.25	1.79	0.88	1.33
0.50	1.23	1.27	1.57
0.75	0.58	1.23	0.93
Rerata varietas yang tercekam	2.03	1.49	1.59

$$S = \frac{1-Yp/Y}{1-Xp/X}$$

$$Yp : K = 2.03 \quad Y : K = 4.52 \quad Xp = 1.20$$

$$V1 = 1.49 \quad V1 = 2.57 \quad X = 3.21$$

$$V2 = 1.59 \quad V2 = 2.53$$

Varietas Kenari	Varietas Vima 1	Varietas Vima 2
$S = \frac{1-Yp/Y}{1-Xp/X}$ $= \frac{1-2.03/4.52}{1-1.20/3.21}$ $= \frac{1-0.45}{1-0.37}$ $= \frac{0.55}{0.63}$ $= 0.9 \text{ (Medium Toleran)}$	$S = \frac{1-Yp/Y}{1-Xp/X}$ $= \frac{1-1.49/2.57}{1-1.20/3.21}$ $= \frac{1-0.58}{1-0.37}$ $= \frac{0.42}{0.63}$ $= 0.7 \text{ (Medium Toleran)}$	$S = \frac{1-Yp/Y}{1-Xp/X}$ $= \frac{1-1.59/2.53}{1-1.20/3.21}$ $= \frac{1-0.63}{1-0.37}$ $= \frac{0.37}{0.63}$ $= 0.6 \text{ (Medium Toleran)}$

5.5 Parameter Berat Kering Total Tanaman

Konsentrasi Cd (ppm)	Varietas		
	Kenari	Vima 1	Vima 2
0	1.946	1.533	1.719
0.25	1.388	1.065	0.885
0.50	0.984	0.902	0.734
0.75	0.765	0.706	0.586
Rerata varietas yang tercekam	1.046	0.891	0.735

$$S = \frac{1-Y_p/Y}{1-X_p/X}$$

$$Y_p : K = 1.046$$

$$Y : K = 1.946$$

$$X_p = 0.891$$

$$V1 = 0.891$$

$$V1 = 1.533$$

$$X = 1.733$$

$$V2 = 0.735$$

$$V2 = 1.719$$

Varietas Kenari	Varietas Vima 1	Varietas Vima 2
$S = \frac{1-Y_p/Y}{1-X_p/X}$ $= \frac{1-1.046/1.946}{1-0.891/1.733}$ $= \frac{1-0.538}{1-0.514}$ $= \frac{0.462}{0.486}$ $= 1 \text{ (Medium Toleran)}$	$S = \frac{1-Y_p/Y}{1-X_p/X}$ $= \frac{1-0.891/1.533}{1-0.891/1.733}$ $= \frac{1-0.581}{1-0.514}$ $= \frac{0.419}{0.486}$ $= 0,9 \text{ (Medium Toleran)}$	$S = \frac{1-Y_p/Y}{1-X_p/X}$ $= \frac{1-0.735/1.719}{1-0.891/1.733}$ $= \frac{1-0.428}{1-0.514}$ $= \frac{0.572}{0.486}$ $= 1,2 \text{ (Peka)}$

5.6 Parameter Berat Kering Akar

Konsentrasi Cd (ppm)	Varietas		
	Kenari	Vima 1	Vima 2
0	0.267	0.183	0.191
0.25	0.146	0.091	0.133
0.50	0.093	0.050	0.079
0.75	0.055	0.037	0.039
Rerata varietas yang tercekam	0.098	0.059	0.084

$$S = \frac{1-Y_p/Y}{1-X_p/X}$$

$$Y_p : K = 0.098$$

$$Y : K = 0.267$$

$$X_p = 0.080$$

$$V1 = 0.059$$

$$V1 = 0.183$$

$$X = 0.214$$

$$V2 = 0,084$$

$$V2 = 0.191$$

Varietas Kenari	Varietas Vima 1	Varietas Vima 2
$S = \frac{1-Yp/Y}{1-Xp/X}$ $= \frac{1-0.098/0.267}{1-0.080/0.214}$ $= \frac{1-0.367}{1-0.374}$ $= \frac{0.633}{0.626}$ $= 1 \text{ (Medium Toleran)}$	$S = \frac{1-Yp/Y}{1-Xp/X}$ $= \frac{1-0.059/0.183}{1-0.080/0.214}$ $= \frac{1-0.322}{1-0.374}$ $= \frac{0.678}{0.626}$ $= 1 \text{ (Medium Toleran)}$	$S = \frac{1-Yp/Y}{1-Xp/X}$ $= \frac{1-0.084/0.191}{1-0.080/0.214}$ $= \frac{1-0.440}{1-0.374}$ $= \frac{0,56}{0.626}$ $= 0.9 \text{ (Medium Toleran)}$





BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Putri Nur Oktavia
 NIM : 13620039
 Program Studi : S1 Biologi
 Semester : Ganjil/ ~~Genap~~ TA. 2017 - 2018
 Pembimbing : Dr. Erika Sandi Savitri, M.P
 Judul Skripsi : Pengaruh Cekaman Logam Berat Kadmium (Cd) terhadap Pertumbuhan Beberapa Varietas Kacang Hijau (*Vigna radiata* L.)

No	Tanggal	Uraian Materi Konsultasi	Ttd. Pembimbing
1.	16-01-2017	Jurnal	
2.	06-02-2017	Bab I dan II	
3.	14-02-2017	Revisi Bab I dan II, Bab III	
4.	20-02-2017	Revisi Bab I	
5.	23-02-2017	Revisi Bab I	
6.	28-02-2017	Revisi Bab I dan II	
7.	06-03-2017	Revisi Bab I	
8.	20-12-2017	Revisi Bab I, II, dan III, Bab IV dan V	
9.	15-01-2018	Revisi Bab I - Bab V	

Pembimbing Skripsi,

Dr. Erika Sandi Savitri, M.P
 NIP. 19741018 200312 2 002

Malang, 16 Januari 2018
 Ketua Jurusan,



Romaidi, M. Si., D. Sc
 NIP. 19810201 200901 1 019

