



**EFEK TEMBAGA (Cu) PADA BEDA POTENSIAL LISTRIK
PERMUKAAN DAUN TANAMAN BAWANG MERAH**

SKRIPSI

Oleh:

**SEPTIA NINGSIH WULANDARI
NIM. 071810201043**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2012**



**EFEK TEMBAGA (Cu) PADA BEDA POTENSIAL LISTRIK
PERMUKAAN DAUN TANAMAN BAWANG MERAH**

SKRIPSI

Diajukan guna memenuhi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Fisika (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh:

**SEPTIA NINGSIH WULANDARI
NIM 071810201043**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2012**

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT, tugas akhir/skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua H. Achmad Jumadi dan Hj. Siti Ning Azizah terima kasih atas kasih sayang, doa, pengorbanan dan nasehat-nasehat yang telah diberikan, semoga Allah SWT melimpahkan rahmat dan kasih sayang-Nya;
2. Suami tercinta Achmad Efendy dan Putri tercinta Chalysta NFA, terima kasih atas cinta kasih, canda tawa dan semangat serta dukungan yang tiada henti dalam mengisi hari-hari;
3. Adik tersayang Ary dan Reza, terima kasih atas kasih sayang, perhatian, kesabaran, dukungan, dan do'anya;
4. Keluarga besar di Jember, terima kasih atas dukungan, semangat serta do'anya;
5. Guru-guru dan dosen-dosen, terima kasih telah memberikan ilmu dan membimbing dengan penuh kesabaran dan kasih sayang;
6. Teman-teman Biofisika tersayang Puput, Mb. Puji, Abdus dan Marisa yang telah menjadi teman seperjuangan dan terima kasih telah memberikan senyum keceriaan dan motivasinya;
7. Teman-teman angkatan 2007, terima kasih atas motivasi, dukungan serta persaudaraanya.
8. Almamater tercinta di Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Jember.

MOTTO

Meraih kesuksesan perlu kesabaran dan keuletan, orang yang sukses bukan tidak pernah jatuh, orang sukses adalah yang tidak pernah berfikir dirinya kalah, ketika ia terpukul jatuh (gagal) ia bangkit kembali belajar dari kesalahan dan bergerak maju menuju inovasi yang lebih baik

(Abu Al- Ghifari)

Barang siapa keluar mencari ilmu , niscaya dia di dalam sabilillah (berjuang di jalan ALLAH) hingga dia kembali

(Abu Al-Ghifari)

Orang – orang yang terbaik adalah mereka yang selalu mencoba untuk terus memperbaiki dirinya

(Imam Ghozali)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Septia Ningsih Wulandari

NIM : 071810201043

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul: “*Efek Tembaga (Cu) pada Beda Potensial Listrik Permukaan Daun Tanaman Bawang Merah*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian bersama dosen dan mahasiswa dan hanya dapat dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 2 Januari 2012
Yang menyatakan

(Septia Ningsih Wulandari)
NIM 071810201043

SKRIPSI

EFEK TEMBAGA (Cu) PADA BEDA POTENSIAL LISTRIK PERMUKAAN DAUN TANAMAN BAWANG MERAH

Oleh

Septia Ningsih Wulandari
NIM 071810201043

Dosen Pembimbing Utama : Drs. Yuda Cahyoargo Hariadi, M.Sc, PhD.
Dosen Pembimbing Anggota : Dra. Arry Yuariatun Nurhayati

PENGESAHAN

Skripsi berjudul Efek Tembaga (Cu) Pada Beda Potensial Listrik Permukaan Daun Tanaman Bawang Merah telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada:

Hari :

Tanggal :

Tempat : Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua

Sekretaris

Drs. Yuda Cahyoargo Hariadi, M.Sc, PhD
NIP. 196203111987021001

Dra. Arry Yuariatun Nurhayati
NIP. 196109091986012001

Anggota I

Anggota II

Ir. Misto, MSi
NIP. 195911211991031002

Endhah Purwandari, SSi
NIP. 198111112005012001

Mengesahkan
Dekan FMIPA,

Prof. Drs. Kusno, DEA, PhD.
NIP. 196101081986021001

RINGKASAN

Efek Tembaga (Cu) Pada Beda Potensial Listrik Permukaan Daun Tanaman Bawang Merah; Septia Ningsih Wulandari, 071810201043; 2012: 69 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam; Universitas Jember.

Logam Cu merupakan logam esensial yang jika berada dalam konsentrasi rendah dapat merangsang pertumbuhan organisme sedangkan dalam konsentrasi yang tinggi dapat menjadi penghambat. Pencemaran logam Cu berasal dari industri tekstil (Industri kertas), limbah rumah tangga, pertanian (pestisida dan pupuk melebihi dosis), pelabuhan dan peternakan. Tembaga (Cu) merupakan salah satu logam berat yang bersifat racun terhadap semua tumbuhan pada konsentrasi larutan diatas 0,1 ppm. Kandungan logam berat yang berlebih dapat menyebabkan penurunan pertumbuhan, penurunan produktivitas tanaman, serta dapat menyebabkan kematian. Akumulasi Cu pada tanaman selain menyebabkan tanaman kerdil dan klorosis pada daun juga menyebabkan pengurangan tingkat fotosintesis, perusakan struktur kloroplas, terganggunya proses transport elektron selama fotosintesis, serta berkurangnya kerapatan kloroplas. Kekurangan unsur Cu dapat menyebabkan *Mid Crown Chlorosis* (MCC) atau *Peat Yellow* (Jaringan klorosis berwarna hijau pucat sampai kekuningan, muncul di tengah anak daun muda). Pada manusia keracunan Cu secara kronis menimbulkan penyakit Wilson (kerusakan pada otak serta penurunan kerja pada ginjal dan pengendapan Cu pada kornea mata) dan Kinsky (terbentuknya rambut yang kaku dan berwarna kemerahan pada penderita) juga penyakit Menkes (sindroma rambut keriting atau seperti baja).

Penelitian yang dilaksanakan di Laboratorium Biofisika Jurusan Fisika dan *Green House* Laboratorium Botani Jurusan Biologi Fakultas MIPA Universitas Jember bertujuan untuk mengetahui efek tembaga (Cu) pada beda potensial listrik permukaan daun. Pengukuran yang dilakukan menggunakan lima variasi konsentrasi tembaga (0,04, 10, 50, 100, dan 200 ppm) yang berada dalam tanaman bawang

merah, dimana setiap perlakuan terdapat lima pengulangan. Selain pengukuran beda potensial listrik permukaan daun juga dilakukan pengukuran luas daun dan pengamatan secara visual. Hasil pengukuran kemudian diolah dengan metode statistik *One-Way ANOVA*.

Berdasarkan hasil uji statistik, pada pengukuran beda potensial listrik permukaan daun terjadi perbedaan yang signifikan dari minggu pertama sampai minggu keempat. Pengukuran luas daun juga menunjukkan perbedaan yang signifikan dari minggu pertama sampai keempat. Pada pengamatan visual warna daun tanaman terlihat tidak ada beda signifikan antara kontrol dan perlakuan perminggunya artinya bahwa pengamatan visual warna daun tidak efektif untuk digunakan sebagai indikator dalam menentukan tanaman yang teracuni Cu untuk berbagai konsentrasi Cu. Sedangkan pengukuran beda potensial listrik permukaan daun sedini mungkin sudah dapat dijadikan indikator adanya efek tembaga berdasarkan nilai beda potensial listrik permukaannya. Sehingga hasil pengamatan luas daun dan gejala visual dapat digunakan sebagai data pendukung pada beda potensial listrik permukaan daun.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat, taufiq serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Efek Tembaga (Cu) Pada Beda Potensial Listrik Permukaan Daun Tanaman Bawang Merah”, sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan program strata satu (S1) Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Drs. Yuda Cahyoargo Hariadi, M.Sc, PhD. selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah menyediakan fasilitas peralatan dan bahan untuk terlaksananya penelitian ini serta validitas dan analisis data dan Dra. Arry Yuariatun Nurhayati selaku Dosen Pembimbing Anggota, yang telah meluangkan waktu, pikiran, perhatian, bimbingan dan saran dalam persiapan penulisan proposal sampai terselesaikannya skripsi ini;
2. Ir. Misto, MSi., selaku Dosen Penguji I, Endhah Purwandari, SSi, selaku Dosen Penguji II terima kasih atas saran dan kritik demi kesempurnaan skripsi ini;
3. Dr. Edy Supriyanto, S.Si., M.Si selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama menjadi mahasiswa;
4. Seluruh staf pengajar Jurusan Fisika dan Fakultas Universitas Jember beserta jajarannya yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini;
5. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhirnya penulis menyadari bahwa karya skripsi ini sangat jauh dari kesempurnaan, untuk itu segala kritikan dan saran dari semua pihak sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini.

Jember, Januari 2012

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan	6
1.4 Manfaat	6
1.5 Batasan Masalah	6
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Nutrisi Tanaman	7
2.2 Pencemaran Logam Berat Pada Tanah	8
2.3 Tembaga (Cu)	11
2.3.1 Kelebihan Tembaga / Toksisitas Cu	13
2.3.2 Kekurangan Tembaga / Defisiensi Cu.....	14
2.4 Transport Ion	14

2.5 Fotosintesis dan Faktor yang Mempengaruhinya	18
2.5.1 Fotosintesis	18
2.5.2 Daun Tempat Berlangsungnya Fotosintesis	19
2.5.3 Beberapa Faktor yang Mempengaruhi Fotosintesis	21
2.5.4 Reaksi Terang dan Reaksi Gelap	25
2.6 Beda Potensial Listrik pada Tanaman	26
2.7 Bawang Merah	28
2.7.1 Klasifikasi Bawang Merah	28
2.7.2 Morfologis Bawang Merah	31
2.7.3 Syarat Tumbuh	33
2.7.4 Budidaya Bawang Merah	35
BAB 3. METODE PENELITIAN	
3.1 Tempat dan Waktu	35
3.2 Alat dan Bahan	35
3.3 Tahap-tahap Penelitian	37
3.3.1 Tahap Persiapan	38
3.3.2 Tahap Penanaman	41
3.3.3 Disain Penelitian	41
3.3.4 Tahap Pengambilan Sampel, Pengukuran, dan Pengambilan Data	42
3.3.5 Tahap Analisa Data	43
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHAS	
4.1 Hasil dan Analisa Data	44
4.1.1 Hasil dan Analisa Data Beda Potensial Listrik Permukaan Daun Tanaman Bawang Merah	44
4.1.2 Hasil dan Analisa Data Luas Daun Bawang Merah	48
4.1.3 Hasil Pengamatan Visual Tanaman Bawang Merah	53
4.2 Pembahasan	54

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran.....	61

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2.1 Kandungan logam berat dalam tanah secara alamiah ($\mu\text{g/g}$).....	10
Tabel 2.2 Kisaran umum konsentrasi logam berat pada pupuk, pupuk kandang, kapur, dan kompos (mg/kg).....	11
Tabel 3.1 Komposisi Larutan Hoagland Termodifikasi	37
Tabel 3.2 Tahap-tahap penelitian	38
Tabel 4.1 Nilai rata-rata data hasil pengukuran nilai beda potensial listrik permukaan daun tanaman bawang merah yang diberi perlakuan variasi konsentrasi Cu0,04 ppm, Cu10 ppm, Cu50 ppm, Cu100 ppm, Cu200 ppm (standart error (s.e) dari 5 pengulangan, n=5).	44
Tabel 4.2 Hasil analisa data uji statistik one-way ANOVA beda potensial listrik permukaan daun tanaman Bawang Merah antara tanaman kontrol dengan tanaman perlakuan setiap minggunya.....	47
Tabel 4.3 Nilai rata-rata luas permukaan daun tanaman Bawang Merah \pm standar error (s.e) dari 5 pengulangan yang diberi perlakuan variasi konsentrasi kontrol Cu0,04 ppm, Cu10 ppm, Cu50 ppm, Cu100 ppm, Cu200 ppm	49
Tabel 4.4 Data hasil pengukuran luas daun bawang merah menurut analisa data uji statistik <i>one-way</i> ANOVA antara tanaman kontrol dengan tanaman perlakuan setiap minggunya	51

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1 Jalur Simplas dan Apoplas.....	18
Gambar 2.2 Tempat Berlangsungnya Fotosintesis	20
Gambar 2.3 Anatomi Daun	21
Gambar 2.4 Spektrum Elektromagnetik	23
Gambar 2.5 Pembudidayaan tanaman Bawang Merah di Persawahan yang berada di desa Jorongon Kabupaten Probolinggo	28
Gambar 2.6 Bawang merah varietas Madura, Vietnam, dan bawang Bombay Bawang merah varietas Brebes dan Varietas Biru Probolinggo	30
Gambar 2.7 Bibit Bawang Merah	35
Gambar 3.1 Penyepuhan Kawat AgCl.....	40
Gambar 3.2 Diagram Elektroda Referensi.....	41
Gambar 3.3 Diagram Elektroda Wick	41
Gambar 3.4 Diagram Alat Pengukur Beda Potensial Listrik Daun Tanaman	42
Gambar 4.1 Grafik nilai rata-rata beda potensial listrik permukaan daun tanaman Bawang merah dengan perlakuan yang berbeda tiap minggu dengan standart error masing-masing perlakuan.	46
Gambar 4.2 Grafik nilai rata-rata luas permukaan daun tanaman Bawang merah dengan perlakuan yang berbeda dalam tiap minggu dengan standart error masing-masing perlakuan.	50
Gambar 4.3 Hasil pengamatan visual tanaman bawang merah dengan masing-masing perlakuan Cu dari kiri ke kanan Cu 0,04 ppm, Cu 10 ppm, Cu 50 ppm, Cu 100 ppm, Cu 200 ppm.....	54
Gambar 4.4 Visual daun tanaman bawang merah dengan perlakuan Cu dari kiri ke kanan adalah Cu 200 ppm, Cu 100 ppm, Cu 50 ppm, Cu 10 ppm, Cu 0,04 ppm	55

DAFTAR LAMPIRAN

	Hal
Lampiran A Gambar Alat dan Bahan	70
Lampiran B Tabel Hasil Pengukuran Beda Potensial Listrik Permukaan Daun bawang merah.....	72
Lampiran C Tabel Hasil Pengukuran Luas Daun Bawang Merah	73
Lampiran D Hasil Analisis One-way ANOVA (menggunakan program SPSS)	74
D.1 Perbandingan Nilai Beda Potensial Listrik Permukaan Daun Tanaman Bawang Merah antara Tanaman Kontrol dengan Tanaman Konsentrasi Tembaga (Cu)	74
D.2 Perbandingan Nilai Luas Daun Tanaman Bawang Merah antara Tanaman Kontrol dengan Tanaman Konsentrasi Tembaga (Cu)	82
Lampiran E Gambar Tanaman Bawang Merah	90

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aktivitas manusia dalam memenuhi kebutuhan terkadang menghasilkan dampak negatif terhadap lingkungan. Salah satu dampak negatif akibat aktivitas manusia adalah turunnya kualitas lingkungan hidup. Sebagai contoh turunnya kualitas tanah akibat pencemaran limbah yang dihasilkan oleh manusia, baik limbah rumah tangga, industri, maupun pertanian (Darmono, 1995). Salah satu faktor pencemaran tanah yang paling penting adalah limbah logam berat. Merkuri (Hg), timbal (Pb), tembaga (Cu), kadmium (Cd) dan stronsium (Sr) adalah contoh logam berat (Alloway, 1990).

Logam berat terserap ke dalam jaringan tanaman melalui akar dan daun (stomata), yang selanjutnya akan masuk ke dalam siklus rantai makanan (Alloway, 1990). Mengacu hasil penelitian Ratnaningsih (2004), melalui rantai makanan akan terjadi pemindahan dan peningkatan kadar logam berat pada tingkat trofik (pemangsa) yang lebih tinggi. Apabila terpapar pada organisme, konsentrasi logam berat yang tinggi dapat bersifat toksik dan cenderung terakumulasi di organ vital (Akoto, 2008). Akumulasi tersebut dapat berdampak pada rantai makanan sehingga mempengaruhi kesehatan manusia (El-Kammar, 2009).

Penggunaan pupuk dan pestisida dalam menopang peningkatan produk pertanian maupun perkebunan telah banyak membantu untuk meningkatkan produksi pertanian. Penggunaan pupuk dan pestisida yang melebihi batas dapat meningkatkan kandungan logam berat yang termasuk dalam bahan beracun dan berbahaya (Charlena, 2004). Petani bawang merah di wilayah Probolinggo cenderung menggunakan pupuk dan pestisida secara berlebihan tanpa memperhatikan dosis yang dianjurkan (Baswarsiati dan Nurbanah, 2009) sehingga dapat meningkatkan

kandungan logam berat. Salah satu kandungan logam berat tersebut adalah tembaga (Cu).

Selain penggunaan pupuk yang melebihi dosis yang dianjurkan, petani juga mengairi sawahnya dengan air sekitar pembuangan limbah pabrik di kawasan pabrik Leces Probolinggo dimana limbah pabrik tersebut terdapat kandungan logam berat Cu (tembaga) yang berbahaya apabila dikonsumsi oleh manusia. Industri Kertas dengan proses deinking adalah salah satu industri yang menghasilkan limbah padat yang diklasifikasikan sebagai limbah B3 dari sumber yang spesifik. Pada umumnya limbah padat tersebut mengandung logam berat toksik yang berasal dari tinta yang larut dalam air limbah. Logam berat tersebut adalah Pb, Cr, Cu, Ni, Zn, Cd dan Hg (Gottsching *et al.* (2000)). Karakteristik limbah padat industri kertas baik tanpa maupun dengan proses deinking umumnya mengandung logam Cu cukup tinggi, yaitu dapat mencapai 110 mg/kg yang belum memenuhi persyaratan untuk dibuang ke lingkungan (Notodarmojo, 2005).

Menurut Palar (1994) industri tekstil paling banyak menggunakan logam Cu dalam proses pencucian. Selain berasal dari industri tekstil, pemasukan logam Cu juga berasal dari limbah rumah tangga, pertanian, pelabuhan dan peternakan. Aktifitas manusia dalam hal kegiatan industri tekstil maupun dari limbah rumah tangga merupakan salah satu jalur yang dapat mempercepat peningkatan pencemaran logam Cu. Clark (1989) menyatakan bahwa logam berat Cu dipakai dalam bahan pengawet kayu dan cat anti karat pada lambung kapal.

Irigasi untuk lahan persawahan di Probolinggo tepatnya di area sekitar pabrik kertas Leces menggunakan irigasi limbah plant karena membuat air sangat subur dan dapat meningkatkan hasil pertanian (PT. Kertas Leces, 2010). Di Karanganyar Jawa Tengah, petani mengairi sawahnya dengan limbah cair dari pabrik-pabrik industri. Namun logam beratnya sangat tinggi sehingga akan berbahaya jika dikonsumsi terus-menerus (Suara Merdeka, 2004). Dalam penelitian Dewi (1998), kandungan logam berat yang tinggi pada tanah sawah disebabkan karena tanah yang digunakan sering

menggunakan air limbah untuk pengairan tanamannya karena logam berat bersifat akumulatif di dalam tanah.

Cemaran tembaga (Cu) terdapat pada sayuran dan buah-buahan yang disemprot dengan pestisida secara berlebihan. Penyemprotan pestisida banyak dilakukan untuk membasmi siput dan cacing pada tanaman sayur dan buah (Plantus, 2010). Di Zimbabwe, terdapat peningkatan kekhawatiran publik akan penanaman sayuran di atas tanah yang juga diirigasi dengan air limbah pabrik yang belum diberi perlakuan penjernihan atau diirigasi oleh endapan pembuangan kotoran yang dihasilkan pabrik (Muchuweti *et al.* (2004)). Di Nigeria, efek penggunaan pestisida terhadap kandungan Cd, Pb dan Cu pada 2 spesies bayam (merah dan hijau) telah diukur. Akumulasi tertinggi terdapat pada daun dibandingkan pada batang dan akar (Chiroma *et al.* (2007)). Di Tanzania, empat jenis logam berat (Cd, Co, Pb dan Zn) telah diukur dari beberapa jenis sayuran hijau yang ditanam di sepanjang aliran sungai Sinza dan Msimbazi. Alat yang digunakan adalah *Atomic Absorption Spectrophotometry* (Bahemuka dan Mubofu, 1999).

Logam Cu termasuk logam berat esensial, jadi meskipun beracun tetapi sangat dibutuhkan manusia dalam jumlah yang kecil. Logam ini dibutuhkan sebagai unsur yang berperan dalam pembentukan enzim oksidatif dan pembentukan kompleks Cu-protein yang dibutuhkan untuk pembentukan hemoglobin, kolagen, pembuluh darah dan myelin (Darmono, 1995). Toksisitas yang dimiliki Cu baru akan bekerja bila telah masuk ke dalam tubuh organisme dalam jumlah yang besar atau melebihi nilai toleransi organisme terkait (Palar, 1994). Connel dan Miller (1995) menyatakan bahwa Cu merupakan logam esensial yang jika berada dalam konsentrasi rendah dapat merangsang pertumbuhan organisme sedangkan dalam konsentrasi yang tinggi dapat menjadi penghambat. Pengaruh racun yang ditimbulkan dapat berupa muntah-muntah, rasa terbakar di daerah esofagus dan lambung, kolik, diare yang kemudian disusul dengan hipotensi, nekrosis hati dan koma (Supriharyono, 2000).

Logam Cu berpotensi toksik terhadap tanaman dan berbahaya bagi manusia karena bersifat karsinogenik (Notodarmojo, 2005). Kandungan logam Cu dalam

jaringan tanaman yang tumbuh normal sekitar 5-20 mg/kg, sedangkan pada kondisi kritis dalam media 60-120 mg/kg dan dalam jaringan tanaman 5-60 mg/kg. Pada kondisi kritis pertumbuhan tanaman mulai terhambat sebagai akibat keracunan Cu (Alloway, 1995) dan menurut Suhendrayatna (2001) konsentrasi lebih dari 0,1 ppm dapat menjadi racun terhadap tanaman. Oleh karena itu pengetahuan mengenai sifat dan karakteristik serta potensi toksisitas logam Cu terhadap tanaman sangat dibutuhkan.

Rosmarkam (2001) menyatakan bahwa logam Cu bersifat immobil yang menyebabkan terjadinya akumulasi yang tinggi pada organ daun tanaman. Logam Cu terakumulasi pada kloroplas lebih dari 50% dibandingkan jaringan lain. Agustina (2004) menambahkan bahwa logam Cu dibutuhkan oleh tumbuhan untuk kegiatan metabolisme, diantaranya sebagai transpor elektron pada fotosintesis, kofaktor beberapa enzim dan pembentukan klorofil.

Menurut Lahuddin (2007), Akumulasi Cu pada tanaman selain menyebabkan klorosis pada daun juga menyebabkan pengurangan tingkat fotosintesis, perusakan struktur kloroplas, terganggunya proses transport elektron selama fotosintesis, serta berkurangnya kerapatan kloroplas. Menurut Sagita (2002) akumulasi Cu terlihat tinggi di akar, hal ini dikarenakan akar langsung bersinggungan dengan media tanah terkontaminasi Cu, melalui akar Cu diserap oleh tanaman kemudian didistribusikan ke daun melalui batang.

Mengacu pada penelitian Vassilev *et al.* (2003) menunjukkan bahwa efek tembaga pada tanaman barley mengakibatkan akumulasi tembaga pada akar dan daun. Akumulasi tembaga pada daun akan mengganggu keberadaan Fe dan Mg. Unsur Fe dan Mg ini akan membantu dalam proses pembentukan pigmen fotosintesis. Menurut Tomolescu *et al.* (2004) bahwa efek tembaga sebagai unsur mikro menghambat pertumbuhan awal pembibitan pada tanaman barley dan jagung dengan adanya kenaikan konsentrasi tembaga.

Tembaga penting sebagai koenzim yang dibutuhkan untuk mengaktifkan beberapa enzim tanaman, juga terlibat dalam pembentukan klorofil. Penyerapan

tembaga berlawanan dengan penyerapan zat besi. Jumlah tembaga yang terlalu kecil menyebabkan zat besi terakumulasi dalam tanaman, dan jumlah tembaga yang terlalu banyak menyebabkan gejala klorosis yang terjadi hampir disetiap pertumbuhan baru (Ziddu, 2010). Menurut Daniel *et al* dalam Lahuddin (2007) fungsi Fe antara lain sebagai penyusun klorofil, protein, dan enzim. Toksisitas Cu ini akan menghambat proses fotosintesis dan toksisitas Cu sejalan dengan defisiensi Fe. Defisiensi Fe pada daun akan menyebabkan klorosis pada daun, ditandai dengan menguningnya daun (Salisbury dan Ross, 1995).

Irawati (2009), dalam penelitiannya pada tanaman kangkung dengan perlakuan konsentrasi tembaga (Cu) yang bervariasi pada media tanam dapat memberikan efek nilai beda potensial listrik daun kangkung yang berbeda-beda. Semakin tinggi konsentrasi tembaga (Cu), nilai beda potensial listrik semakin rendah. Konsentrasi tembaga (Cu) yang tinggi juga dapat mempengaruhi terhadap luasan daun kangkung dan terjadi perubahan warna pada daun.

Melihat kondisi lingkungan pertanian yang demikian, diperlukan kajian mengenai kandungan logam berat berbahaya (Cu) yang tersedia dalam tanah dan terserap oleh tanaman sayuran yang biasa dikonsumsi manusia seperti halnya bawang merah (karena komoditas sayuran yang paling dominan di wilayah Probolinggo merupakan tanaman bawang merah), sebagai akibat dari penggunaan pupuk yang berlebihan dan kontaminasi limbah buangan industri. Pengukuran kandungan logam berat tembaga (Cu), ternyata dapat dilakukan dengan metode pengukuran beda potensial listrik. Penelitian yang dilakukan Hariadi dan Shabala (2004), menemukan gejala kekurangan magnesium (Mg) pada tanaman Beans (*Vicia Vaba*) dengan menggunakan metode pengukuran beda potensial listrik pada permukaan daun. Menurut hasil penelitian ini, area daun adalah indikator yang baik dalam mendeteksi kekurangan magnesium. Tembaga (Cu) yang terakumulasi pada bagian daun dapat menghambat proses fotosintesis oleh sebab itu dilakukan penelitian dengan metode pengukuran beda potensial listrik pada permukaan daun. Sehingga dapat

dimungkinkan bahwa efek tembaga (Cu) pada bawang merah juga dapat diamati dengan metode serupa.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan di atas dapat dirumuskan suatu permasalahan yaitu bagaimana efek tembaga (Cu) pada beda potensial listrik permukaan daun tanaman bawang merah?

1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek tembaga (Cu) terhadap beda potensial listrik permukaan daun antara tanaman kontrol (sebagai acuan) dan *treatment* (pemberian konsentrasi tembaga (Cu) yang berbeda).

1.4 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui perbedaan beda potensial listrik permukaan daun pada tanaman yang kelebihan dan cukup tembaga.
2. Mengetahui sedini mungkin jika terjadi keracunan pada tanaman.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah

1. Kondisi media penanaman, suhu, kelembaban udara untuk setiap pengukuran dianggap sama.
2. Tanaman yang akan diteliti adalah salah satu jenis tanaman yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat yaitu bawang merah.
3. Objek yang akan diteliti adalah beda potensial listrik permukaan daun dan luas daun.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nutrisi Tanaman

Nutrisi tanaman sangat diperlukan untuk kelangsungan hidup tanaman yang berasal dari berbagai macam mineral/unsur hara. Berdasarkan kegunaannya dalam aktivitas kehidupan, unsur hara atau mineral (logam) dibagi menjadi dua golongan, yaitu mineral logam esensial dan nonesensial. Logam esensial diperlukan dalam proses fisiologis makhluk hidup untuk membantu kerja enzim atau pembentukan organ, sehingga logam golongan ini merupakan unsur nutrisi penting yang jika kekurangan dapat menyebabkan kelainan proses fisiologis atau disebut penyakit defisiensi mineral. Unsur-unsur mineral esensial dalam tubuh terdiri atas dua golongan, yaitu mineral makro dan mineral mikro. Mineral makro diperlukan untuk membentuk komponen organ di dalam tubuh dalam jumlah yang cukup besar misalnya C, H, O, P, K, N, S, Ca, Mg. Mineral mikro yaitu mineral yang diperlukan dalam jumlah sangat sedikit dan umumnya terdapat dalam jaringan dengan konsentrasi sangat kecil misalnya Fe, I, Cu, Zn, Mn, dan Co. Mineral non esensial adalah logam yang peranannya dalam tubuh makhluk hidup belum diketahui dan kandungannya dalam jaringan sangat kecil. Bila kandungannya tinggi dapat merusak organ tubuh makhluk hidup yang bersangkutan. Disamping dapat mengakibatkan keracunan, logam juga dapat menyebabkan penyakit defisiensi (Darmono, 1995).

Menurut Apandi (1984), unsur yang paling banyak terkandung dalam sayuran adalah kalium, berkisar antara 60 hingga 600 mg per 100 g jaringan. Kalium terutama berasal dari garam-garam asam organik dalam tanah. Kalium terserap oleh tanaman menggunakan ATPase yang berada dalam membran plasma akar sebagai pompa untuk menukar ion hidrogen dari dalam sel dengan ion kalium yang berasal dari luar/di dalam tanah (Leonard, 1983).

Unsur kalsium pada sayuran atau tumbuhan banyak terdapat di bagian dinding sel, terutama “*Middle Lamella*” , yaitu suatu lapisan di antara dinding-dinding sel parenkim yang berdekatan. Pada bagian ini, selain banyak terakumulasi unsur kalsium, juga terdapat zat pektik, polisakarida non selulose dan magnesium (Muchtadi dan Sugiono, 1992). Unsur kalsium sebagian besar berasal dari dalam tanah yang diserap tumbuhan melalui akar lalu masuk melalui endodermis dan diangkut oleh xilem ke bagian yang lain (Baker, 1983). Sayur-sayuran daun mempunyai peran yang lebih besar dalam suplai kalsium bila dibandingkan sayuran jenis lain (Smith, 1982).

Pada sayuran besi (Fe) banyak terakumulasi dalam mitokondria sel tanaman. Pada mitokondria tanaman, atom besi dan sulfur merupakan inti dari enzim feredoksin (Lehninger, 1993).

Millarr dan Heazlewood (2003) mengemukakan bahwa jumlah terbesar dari N dibutuhkan untuk membentuk protein yang digunakan untuk pembentukan protoplasma sel-sel baru, disamping untuk pembentukan klorofil, sitokrom dan sebagai enzim dalam kloroplas dan mitokondria pada daun. Aktivitas metabolisme dalam tanaman harus didukung oleh ketersediaan ATP sebagai sumber energi.

Fosfor merupakan komponen penyusun ATP dan ADP dengan banyaknya mikoriza dalam tanah maka dapat membantu penyerapan unsur ini. Menurut Salisbury dan Ross (1995), aktivitas metabolisme dapat berlangsung dengan baik bila didukung oleh ketersediaan P yang cukup sebagai sumber energi ATP untuk semua proses metabolisme tanaman. Kapasitas fotosintesis meningkat dengan bertambahnya jumlah daun pada tanaman. Hal tersebut didukung pula oleh aktifnya mikoriza dalam membantu penyerapan unsur hara terutama fosfor dan dapat menyebabkan unsur fosfor menjadi tersedia.

2.2 Pencemaran Logam Berat pada Tanah

Mittinen dalam Saeni (1997) mendefinisikan logam berat sebagai unsur-unsur kimia dengan bobot jenis lebih besar dari 5 g/cm^3 , terletak disudut kanan bawah

daftar berkala, mempunyai afinitas yang tinggi terhadap unsur S dan biasanya bernomor atom 22-92 dari periode 3-7 pada tabel periodik. Pada kenyataannya, dalam pengertian logam berat ini dimasukkan pula unsur-unsur metaloid yang memiliki sifat berbahaya seperti logam berat sehingga jumlahnya mencapai lebih kurang 40 jenis. Beberapa logam berat beracun tersebut adalah As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni dan Zn (Wild, 1995). Apabila terpapar pada organisme, konsentrasi logam berat yang tinggi dapat bersifat toksik dan cenderung terakumulasi di organ vital (Akoto, 2008). Akumulasi tersebut dapat berdampak pada rantai makanan sehingga mempengaruhi kesehatan manusia (El-Kammar, 2009).

Menurut Darmono (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. Babich dan Stotzky (1978) mengemukakan bahwa berbagai faktor lingkungan berpengaruh terhadap logam berat yaitu keasaman tanah, bahan organik, suhu, tekstur, mineral liat, kadar unsur lain dan lain-lain. pH adalah faktor penting yang menentukan transformasi logam. Penurunan pH secara umum meningkatkan ketersediaan logam berat kecuali Mo dan Se (Klein dan Trayer, 1995).

Pada tanah semakin halus teksturnya semakin tinggi kekuatannya untuk mengikat logam berat. Oleh karena itu, tanah yang bertekstur liat memiliki kemampuan mengikat logam berat lebih tinggi daripada tanah berpasir. Logam berat mungkin diabsorpsi dan diakumulasikan dalam jaringan hidup. Kemampuan beberapa logam dalam berikatan dengan asam amino mengikuti urutan sebagai berikut $Hg > Cu > Ni > Pb > Co > Cd$ (Hutagalung, 1991).

Kandungan logam berat di dalam tanah secara alamiah sangat rendah, kecuali tanah tersebut sudah tercemar (Tabel 2.1). Kandungan logam dalam tanah sangat berpengaruh terhadap kandungan logam pada tanaman yang tumbuh di atasnya, kecuali terjadi interaksi diantara logam itu sehingga terjadi hambatan penyerapan logam tersebut oleh tanaman. Akumulasi logam dalam tanaman tidak hanya

tergantung pada kandungan logam dalam tanah, tetapi juga tergantung pada unsur kimia tanah, jenis logam, pH tanah, dan spesies tanaman (Darmono, 1995).

Tabel 2.1 Kandungan logam berat dalam tanah secara alamiah ($\mu\text{g/g}$)

Logam	Kandungan (Rata-rata)	Kisaran Non Populasi
As	100	4-10
Co	8	1-40
Cu	20	2-300
Pb	10	2-200
Zn	50	10-300
Cd	0,06	0,05-0,7
Hg	0,03	0,01-0,3

Sumber: Peterson & Alloway (1979) dalam Darmono (1995)

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. Selain itu sumber logam berat dalam tanah berasal dari bahan induk pembentuk tanah itu sendiri, seperti Cd banyak terdapat pada batuan sedimen schales (0,22 ppm berat), Cr pada batuan beku ultrafanik (2,980 ppm berat), Hg pada batuan sedimen pasir (0,29 ppm berat), Pb pada batuan granit (24 ppm berat) (Alloway, 1990).

Pestisida juga memberikan masukan logam berat ke dalam tanah. Serapan pestisida oleh tanaman tergantung pada dosis pemberian pestisida, jenis tanah, dan kemampuan tanaman menyerap pestisida.

Penggunaan pestisida dalam menopang peningkatan produk pertanian maupun perkebunan telah banyak membantu untuk meningkatkan produksi pertanian, namun penggunaan pestisida ini juga memberikan dampak negatif baik terhadap manusia, biota maupun lingkungan. Erin, *et al.* (2001) mendapatkan bahwa terjadi resiko kematian janin dua kali lebih besar bagi ibu yang saat kehamilannya berusia 3-8

minggu tinggal dekat areal pertanian dibandingkan dengan yang tinggal jauh dari daerah pertanian. Penggunaan herbisida klorofenoksi (yang mengandung 2,4-D) telah terbukti mengakibatkan resiko cacat bawaan pada bayi yang dilahirkan oleh ibu-ibu yang bermukim di dekat daerah pertanian (Schreinemachers, 2003).

Pupuk yang digunakan dalam kegiatan pertanian juga merupakan pemasok logam berat dalam tanah. Tabel 2.2 menunjukkan kisaran logam berat yang terdapat di dalam pupuk.

Tabel 2.2 Kisaran umum konsentrasi logam berat pada pupuk, pupuk kandang, kapur, dan kompos (mg/kg)

Unsur	Pupuk Fosfat	Pupuk Nitrat	Pupuk Kandang	Kapur	Kompos
B	5-115	-	0,3-0,6	10	-
Cd	0,1-170	0,05-8,5	0,1-0,8	0,04-0,1	0,01-100
Co	1-12	5,4-12	0,3-24	0,4-3	-
Cr	66-245	3,2-19	1,1-55	10-15	1,8-410
Cu	1-300	-	2-172	2-125	13-3580
Hg	0,01-1,2	0,3-2,9	0,01-0,36	0,05	0,09-21
Mn	40-2000	-	30-969	40-1200	-
Mo	0,1-60	01-7	0,05-3	0,1-15	-
Ni	7-38	7-34	2,1-30	10-20	0,9-279
Pb	7-225	2-27	1,1-27	20-1250	1,3-2240
Sb	<100	-	-	-	-
Se	0,5	-	2,4	0,08-0,1	-
U	30-300	-	-	-	-
V	2-1600	-	-	20	-
Zn	50-1450	1-42	15-566	10-450	82-5894

Sumber: Alloway (1999)

2.3 Tembaga (Cu)

Tembaga (Cu) adalah logam dengan nomor atom 29, massa atom 63,546, titik lebur 1083°C, titik didih 2310°C, jari-jari atom 1,173Å dan jari-jari ion Cu²⁺ 0,96Å.

Tembaga adalah logam transisi (golongan I B) yang berwarna kemerahan, mudah regang dan mudah ditempa (Kundari, 2008).

Palar (1994) mengemukakan bahwa Cu masuk ke dalam tatanan suatu lingkungan akibat aktivitas manusia, seperti buangan industri yang memakai Cu dalam proses produksinya, industri galangan kapal karena digunakannya Cu sebagai campuran bahan pengawet, industri pengolahan kayu, buangan rumah tangga dan lain sebagainya.

Sebagai logam berat, Cu berbeda dengan logam berat lainnya. Logam berat Cu digolongkan dalam logam berat esensial, artinya meskipun logam berat beracun namun masih dibutuhkan oleh tubuh meski dalam jumlah sedikit. Toksisitas Cu baru akan kelihatan apabila logam tersebut masuk ke dalam tubuh organisme dalam jumlah besar atau melebihi nilai ambang batas (NAB) (Edward, 2001). Unsur tembaga diserap oleh akar tanaman dalam bentuk Cu^{++} . Fungsi penting tembaga pada tanaman adalah aktivator dan membawa beberapa enzim. Cu juga berperan membantu kelancaran proses fotosintesis, pembentuk klorofil dan berperan dalam fungsi reproduksi (Dasamuka, 2010).

Tembaga (Cu) dalam konsentrasi tinggi atau rendah bersifat sangat toksik bagi tumbuhan jika berada sebagai satu-satunya unsur dalam larutan. Sebagai fungisida tembaga (Cu) digunakan dalam bentuk serbuk dan *spray*. Tembaga (Cu) juga dibutuhkan oleh beberapa jenis tumbuhan sebagai elemen mikro yang berperan dalam proses respirasi (Fitter, 1982).

Tembaga terdapat luas di dalam makanan. Sumber utama tembaga adalah tiram, kerang, hati, ginjal, kacang-kacangan, unggas, biji-bijian, serelia, dan coklat. Air juga mengandung tembaga dan jumlahnya bergantung pada jenis pipa yang digunakan sebagai sumber air. Kebutuhan tubuh per hari akan Cu adalah 0,05 mg/kg berat badan. Pada kadar tersebut tidak terjadi akumulasi Cu pada tubuh manusia normal. Konsumsi Cu dalam jumlah yang besar dapat menyebabkan gejala-gejala yang akut.

Garam Cu banyak digunakan dalam bidang pertanian, misalnya sebagai larutan “Bordeaux” yang mengandung 1-3% CuSO_4 untuk membasmi jamur pada sayur dan tumbuhan buah. Senyawa CuSO_4 juga sering digunakan untuk membasmi siput sebagai inang dari parasit, cacing, dan juga mengobati penyakit kuku pada domba (Darmono, 1995).

2.3.1 Kelebihan Tembaga / Toksisitas Cu

Kelebihan tembaga biasanya terjadi sebagai akibat tanaman disemprot dengan fungisida tembaga secara berlebihan (Utoro, 2008). Kelebihan tembaga akan berakibat tanaman tumbuh kerdil, percabangan terbatas, pembentukan akar terhambat, akar menebal dan berwarna gelap.

Toksisitas logam Cu pada manusia, khususnya anak-anak, biasanya terjadi karena CuSO_4 . Beberapa gejala keracunan Cu adalah sakit perut, mual, muntah, diare, dan beberapa kasus yang parah dapat menyebabkan gagal ginjal dan kematian (Darmono, 1995).

Pada manusia keracunan Cu secara kronis menimbulkan penyakit Wilson dan Kinsky (Palar, 1994) juga penyakit Menkes (sindroma rambut keriting atau seperti baja) adalah kelainan yang terangkai kromosom X dari absorpsi tembaga usus (Warianto, 2011). Selanjutnya dijelaskan gejala penyakit Wilson ini adalah terjadinya *hepatic cirrhosis*, yakni kerusakan pada otak serta penurunan kerja pada ginjal dan pengendapan Cu pada kornea mata. Penyakit Kinsky dapat diketahui dengan terbentuknya rambut yang kaku dan berwarna kemerahan pada penderita. Sementara pada hewan seperti kerang, bila dalam tubuhnya telah terakumulasi dalam jumlah tinggi maka bagian otot tubuhnya akan berwarna kehijauan. Hal ini dapat dijadikan petunjuk apakah kerang dapat hidup di suatu perairan masih layak dikonsumsi atau tidak.

2.3.2 Kekurangan Tembaga/ Defisiensi Cu

Gejala kekurangan tembaga banyak ditemukan pada bagian daun, terutama daun-daun yang masih muda, tampak layu dan kemudian mati (*die back*), sedang ranting-rantingnya berubah warna pula menjadi coklat dan mati. Ujung daun secara tidak merata sering ditemukan layu, malah kadang-kadang klorosis, sekalipun jaringan-jaringannya tidak ada yang mati. Pada tanaman jeruk kekurangan unsur hara tembaga ini menyebabkan daun berwarna hijau gelap dan berukuran besar, ranting berwarna coklat dan mati, buah kecil dan berwarna coklat. Pada bagian buah, buah-buahan tanaman pada umumnya kecil-kecil warna coklat dan bagian dalamnya didapatkan sejenis perekat (*gum*) (Arief, 2011).

Menurut Andrey (2010), kekurangan unsur Cu dapat menyebabkan Mid Crown Chlorosis (MCC) atau Peat Yellow. Jaringan klorosis berwarna hijau pucat sampai kekuningan, muncul di tengah anak daun muda. Bercak kuning ini akan berkembang diantara jaringan klorosis, daun pendek, kuning pucat kemudian mati.

2.4 Transport Ion

Lingga dalam Katriani *et al.* (2003) mengemukakan bahwa tanah yang bertekstur baik, dengan banyak mengandung mikroorganisme dan kepadatan tanah yang rendah dapat menunjang pertumbuhan akar menembus tanah melalui pori-pori tanah sehingga dapat menyerap air dan hara yang terlarut. Ditambahkan pula oleh Buckman dan Brady (1982) dalam Katriani *et al.* (2003) bahwa pori tanah yang lebih besar akan meningkatkan perkembangan akar menyerap air dan unsur hara yang akhirnya dapat mempengaruhi pertumbuhan serta hasil tanaman.

Sebagian besar unsur hara dibutuhkan tanaman, diserap dari larutan tanah melalui akar, kecuali karbon dan oksigen yang diserap dari udara oleh daun. Penyerapan unsur hara secara umum lebih lambat dibandingkan dengan penyerapan air oleh akar tanaman. Unsur hara dapat kontak dengan permukaan akar melalui 3 cara, yakni (1) difusi dalam larutan tanah (2) secara pasif terbawa oleh aliran air tanah

(3) karena akar tumbuh ke arah posisi hara tersebut, setelah berada pada permukaan akar, unsur hara tersebut dapat diserap oleh tanaman (Lakitan, 1999).

Air dan garam mineral akan diangkut ke daun melalui xilem, komponen utama penyusun xilem adalah trakea dan trakeid, trakea merupakan sel mati karena tidak mempunyai sitoplasma, sel trakeid merupakan sel dasar penyusun xilem, yang terdiri dari sel memanjang yang mengandung lignin (Goldsworthy dan Fisher, 1996).

Air dapat memasuki akar tumbuhan berbunga dengan hanya bergerak di antara sel-sel epidermis dan korteks melalui dinding sel selanjutnya memasuki sel endodermis untuk sampai ke xilem dan menuju ke batang dan daun (Suseno, 1994). Unsur-unsur yang *mobile* seperti nitrogen (N), kalium (K), posfor (P), belerang (S), magnesium (Mg) dan klor (Cl) dapat pindah dari daun-daun yang sudah tua ke daun-daun yang masih muda. Sedangkan unsur-unsur yang *immobile* seperti Ca, Bo, Fe, Mn tidak dapat pindah sehingga ikut gugur bersama daun-daun yang kering.

Lokalisasi, translokasi dan akumulasi merupakan mekanisme penyerapan oleh tanaman ketika mengambil logam, ditinjau dari mekanisme penyerapan. Penyerapan tersebut dapat diartikan bahwa kemampuan tanaman dalam lokalisasi logam pada sel dan jaringan sebagai upaya untuk mencegah keracunan logam terhadap sel dengan menimbun logam di dalam organ tertentu seperti di akar dan dilanjutkan translokasi logam dari akar ke organ lain, yaitu batang dan daun (Priyanto dan Prayitno, 2007). Logam yang diserap dari media oleh sel-sel akar akan mengikuti aliran transpirasi yang diatur oleh penyerapan air dari daun sehingga sebagian besar air dan logam tersebut akan mencapai daun, sedangkan akumulasi logam yang diserap oleh tanaman akan membentuk mekanisme sel akan ikut terserap bersamaan dengan air yang dibutuhkan sebagai nutrisi (Lasat, 2000). Sistem fisiologi tanaman tidak dapat membedakan antara logam berat yang memiliki toksisitas tinggi akibatnya, logam berat dapat berkompetisi dengan logam yang berfungsi sebagai nutrisi pada saat proses pengambilan unsur hara dari media oleh akar (Salisbury & Ross, 1995).

Proses absorpsi racun, termasuk unsur logam berat menurut Soemirat (2003) dapat terjadi lewat beberapa bagian tumbuhan yaitu, (1) akar, terutama untuk zat

anorganik dan zat hidrofilik; (2) daun bagi zat yang lipofilik; (3) dan stomata untuk memasukkan gas. Adapun proses absorpsinya sendiri terjadi seperti pada hewan dengan berbagai mekanisme difusi, hanya istilah yang digunakan berbeda yaitu translokasi. Transpor ini terjadi dari sel ke sel menuju jaringan vaskuler agar dapat didistribusikan keseluruh bagian tumbuhan. Difusi katalitis terjadi dengan ikatan benang sitoplasma yang disebut dengan plasmadesmata. Misalnya transport zat hara dari akar ke daun dan sebaliknya transpor makanan atau hidrat karbon dari daun ke akar.

Tumbuhan memiliki kemampuan untuk menyerap ion-ion dari lingkungannya ke dalam tubuh melalui membran sel. Dua sifat penyerapan ion oleh tumbuhan adalah (1) faktor konsentrasi, yaitu kemampuan tumbuhan dalam mengakumulasi ion sampai tingkat konsentrasi tertentu, bahkan dapat mencapai tingkat yang lebih besar dari konsentrasi ion didalam mediumnya; dan (2) perbedaan kuantitatif akan kebutuhan hara yang berbeda pada tiap jenis tumbuhan. Sel-sel akar tumbuhan umumnya mengandung konsentrasi ion yang lebih tinggi dibandingkan dengan medium disekitarnya (Fitter dan Hay, 1991).

Ada tiga jalan yang dapat ditempuh oleh air dan ion-ion yang terlarut bergerak menuju sel-sel xylem dalam akar, yaitu (1) melalui dinding sel (apoplas) epidermis dan sel-sel korteks; (2) melalui sistem sitoplasma (simplas) yang bergerak dari sel ke sel; (3) melalui sel hidup pada akar, dimana sitosol dari setiap sel membentuk suatu jalur (Rosmarkan dan Nasih, 2002).

Absorpsi unsur hara pada tumbuhan ditentukan oleh berbagai faktor biotik dan abiotik. Faktor biotik antara lain status hormonal, fase pertumbuhan, metabolisme, morfologi tumbuhan, densitas daun, bentuk daun (sempit atau lebar), berbulu atau berlapis, mudah tidaknya menjadi basah, umumnya daun yang muda lebih sulit mengabsorpsi daripada yang sudah tua. Sedangkan faktor abiotik antara lain suhu, sinar atau radiasi, kelembaban dan kualitas tanah (Soemirat, 2003).

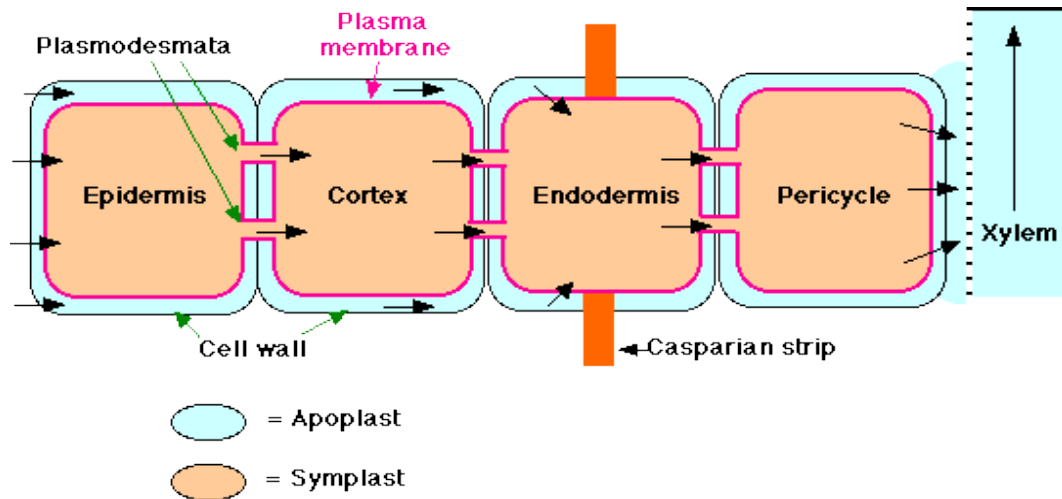
Pengaruh polutan terhadap tumbuhan dapat berbeda tergantung pada macam polutan, konsentrasinya, dan lamanya polutan itu berada. Gejala adanya pencemaran

pada tumbuhan sangat bervariasi dan spesifik. Pada konsentrasi tinggi tumbuhan akan menderita kerusakan akut dengan menampakkan gejala seperti klorosis, perubahan warna, nekrosis dan kematian seluruh bagian tumbuhan. Disamping perubahan morfologi juga akan terjadi perubahan kimia, biokimia, fisiologi dan struktur tumbuhan (Luncang, 2005).

Pengakumulasian logam-logam berat pada tumbuhan juga tidak lepas dari peranan mikroba-mikroba tanah yang membantu tumbuhan dalam mengakumulasi logam berat tersebut. Baik mikroba yang mengkonsumsi logam berat itu sendiri ataupun mikroba yang bersatu dengan jenis tanaman tertentu untuk mengakumulasi logam berat. Sebagian besar logam berat ini merupakan deposit di dinding sel-sel perakaran dan daun (Merian, 1994).

Menurut Ismail (2005), untuk menuju xilem air dan mineral bergerak melalui dua jalur, yaitu:

1. Jalur Simplas terdiri dari sitoplasma sel dalam akar (10%). Air diserap ke dalam sel rambut akar secara osmosis, karena sel mempunyai potensial air (PA) yang lebih kecil dari PA air dalam tanah. Air berdifusi dari epidermis melalui akar ke xilem menuruni gradien PA. Sitoplasma semua sel akar dihubungkan oleh plasmodesmata melalui lubang dalam dinding sel. Air bergerak terus hingga akhirnya mencapai xilem, dan dengan demikian tidak lagi ada osmosis lebih lanjut.
2. Jalur Apoplast terdiri dari dinding sel antar sel (90%). Dinding sel sangat tebal dan terbuka, dengan demikian air dengan mudah berdifusi melalui dinding sel tanpa melintasi membran sel. Jalur apoplast berhenti pada endodermis karena adanya pita kaspari yang kedap air. Pada titik ini air melintasi membran sel secara osmosis dan masuk jalur simplas. Hal ini memungkinkan tumbuhan mengontrol pengambilan air berlebihan ke dalam xilem.



Gambar 2.1: Jalur simplas dan apoplas

Sumber: <http://pratiwi174.blogspot.com/2011/04/tanah-dan-nutrisi.html>

2.5 Fotosintesis dan Faktor yang Mempengaruhinya

2.5.1 Fotosintesis

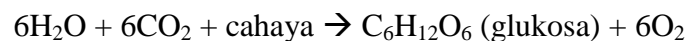
Fotosintesis adalah suatu proses yang hanya terjadi pada tumbuhan yang berklorofil dan bakteri fotosintetik, dimana energi matahari (dalam bentuk foton) ditangkap dan diubah menjadi energi kimia (ATP dan NADPH). Energi kimia ini akan digunakan untuk fotosintesa karbohidrat dari air dan karbon dioksida. Jadi, seluruh molekul organik lainnya dari tanaman disintesa dengan energi dan adanya organisme hidup lainnya tergantung pada kemampuan tumbuhan atau bakteri fotosintetik untuk berfotosintesis (Devlin, 1975).

Menurut Dwijoseputro (1985) fotosintesis adalah proses pembentukan bahan organik dengan bantuan tenaga cahaya matahari. Adanya cahaya matahari, akan mengaktivasi pigmen-pigmen fotosintetik (terutama klorofil) sehingga dihasilkan energi berupa ATP dan NADPH. Energi-energi tersebut akan dimanfaatkan untuk mensintesis karbohidrat sederhana pada reaksi gelap. Karbohidrat yang terbentuk akan diangkut pula ke bagian-bagian organ nonfotosintetik (batang dan akar) dan sebagian akar disimpan dalam bentuk amilum. Unsur oksigen yang dihasilkan akan

dilepas kembali ke udara bebas yang nantinya akan dimanfaatkan oleh manusia dan hewan untuk pernapasan.

Proses fotosintesis terjadi pada kloroplas dimana terdapat setengah juta kloroplas tiap milimeter persegi permukaan daun. Energi cahaya yang diserap klorofil dapat menggerakkan sintesis molekul tanaman di dalam kloroplas. Kloroplas terdapat pada bagian mesofil, yaitu jaringan yang terdapat pada bagian dalam daun. Karbondioksida masuk ke daun dan oksigen keluar melalui stomata. Air yang diserap oleh akar dialirkan ke daun melalui berkas pembuluh. Daun juga menggunakan berkas pembuluh untuk mengirimkan gula ke akar dan bagian-bagian tumbuhan yang tidak berfotosintesis (Campbell *et al.* (2002)).

Reaksi fotosintesis secara ringkas berlangsung sebagai berikut:



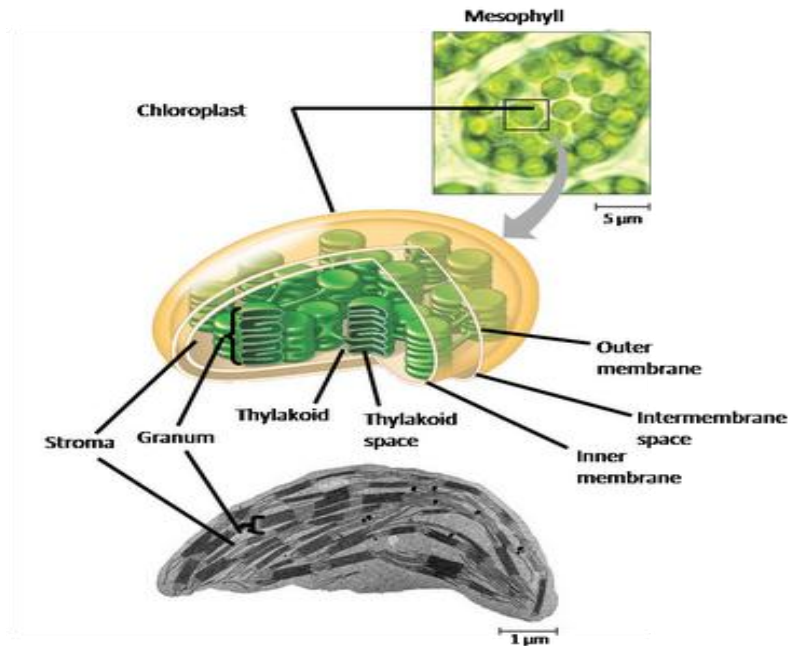
Sebagaimana reaksi oksidasi penghasil energi, yaitu tempat bergantungnya semua kehidupan. Fotosintesis meliputi reaksi oksidasi dan reduksi. Proses keseluruhan adalah oksidasi air (pemindahan elektron disertai pelepasan O_2 sebagai hasil samping) dan reduksi CO_2 untuk membentuk senyawa organik, misalnya karbohidrat (Salisbury dan Ross, 1995).

2.5.2 Daun Tempat Berlangsungnya Fotosintesis

Semua bagian tumbuhan yang berwarna hijau memiliki kloroplas sebagai tempat berlangsungnya fotosintesis. Namun, organ utama fotosintesis adalah daun. Di bagian daun (pembuluh) terdapat bagian yang disebut mesofil. Pada mesofil terdapat jaringan tiang (palisade) dan jaringan bunga karang (spons) yang banyak terdapat kloroplas.

Kloroplas merupakan tempat fotosintesis pada tumbuhan. Kloroplas mengandung pigmen klorofil dan mempunyai membran rangkap (membran luar dan membran dalam). Klorofil merupakan pigmen warna hijau yang menangkap energi cahaya dan mengubahnya menjadi energi kimia. Di dalam kloroplas terdapat stroma,

tilakoid (kantong membran pipih di dalam kloroplas) dan grana (tumpukan tilakoid) (Wilkins, 1992).



Gambar 2.2: Tempat berlangsungnya Fotosintesis (Sumber: Campbell *et al.* (1999))

Di antara sel-sel epidermis daun terdapat pori kecil yang disebut stomata. Fungsi stomata sebagai pengatur penguapan, pengatur masuknya gas CO_2 dari udara dan keluarnya gas O_2 ke udara selama fotosintesis berlangsung dan ke arah sebaliknya pada waktu respirasi berlangsung.

Anatomi daun dapat dibagi menjadi 3 bagian :

1. Epidermis

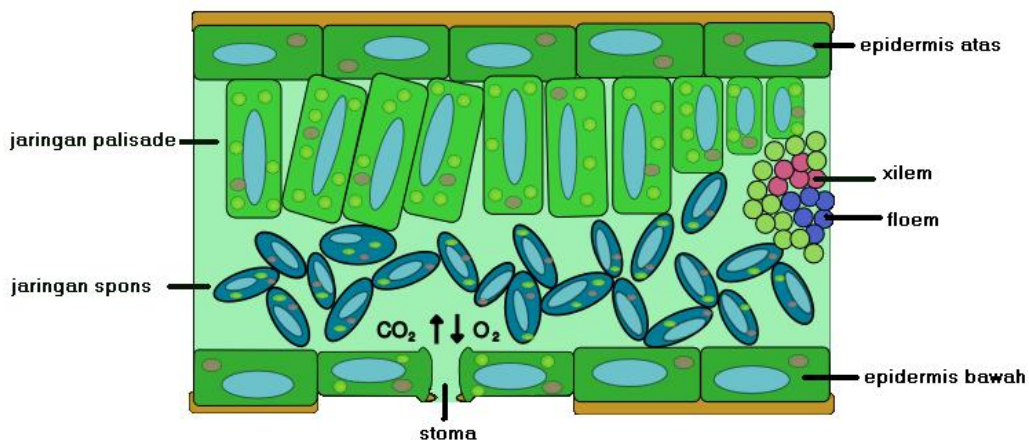
Epidermis merupakan lapisan terluar daun, ada epidermis atas dan epidermis bawah, untuk mencegah penguapan yang terlalu besar, lapisan epidermis dilapisi oleh lapisan lapisan kutikula. Pada epidermis terdapat stoma/mulut daun, stoma berguna untuk tempat berlangsungnya pertukaran gas dari dan ke luar tubuh tumbuhan (Campbell *et al.* (1999)).

2. Parenkim/Mesofil

Parenkim daun terdiri dari 2 lapisan sel, yakni palisade (jaringan pagar) dan spons (jaringan bunga karang), keduanya mengandung kloroplast. Jaringan pagar sel-selnya rapat sedang jaringan bunga karang sel-selnya agak renggang, sehingga masih terdapat ruang-ruang antar sel. Kegiatan fotosintesis lebih aktif pada jaringan pagar karena kloroplastnya lebih banyak daripada jaringan bunga karang (Kimball, 2000).

3. Jaringan Pembuluh

Berkas pembuluh angkut yang terdiri dari xilem atau pembuluh kayu dan floem atau pembuluh tapis. Xilem berfungsi untuk mengangkut air dan garam-garaman yang diserap akar dari dalam tanah ke daun (untuk digunakan sebagai bahan fotosintesis). Sedangkan floem berfungsi untuk mengangkut hasil fotosintesis ke seluruh tubuh tumbuhan (Lakitan, 2007).



Gambar 2.3: Anatomi Daun (Sumber: Campbell *et al.* (1999))

2.5.3 Beberapa Faktor yang Mempengaruhi Fotosintesis

Laju fotosintesis berbagai spesies tumbuhan yang tumbuh pada berbagai daerah yang berbeda seperti gurun kering, puncak gunung, dan hutan hujan tropika, sangat berbeda. Perbedaan ini sebagian disebabkan oleh adanya keragaman cahaya, suhu, dan ketersediaan air, tapi tiap spesies menunjukkan perbedaan yang besar pada kondisi khusus yang optimum bagi mereka. Spesies yang tumbuh pada lingkungan

yang kaya sumber daya mempunyai kapasitas fotosintesis yang jauh lebih tinggi daripada spesies yang tumbuh pada lingkungan dengan persediaan air, hara, dan cahaya yang terbatas. Laju fotosintesis ditingkatkan tidak hanya oleh naiknya tingkat radiasi, tapi juga oleh konsentrasi CO₂ yang lebih tinggi, khususnya bila stomata tertutup sebagian karena kekeringan (Salisbury dan Ross, 1995).

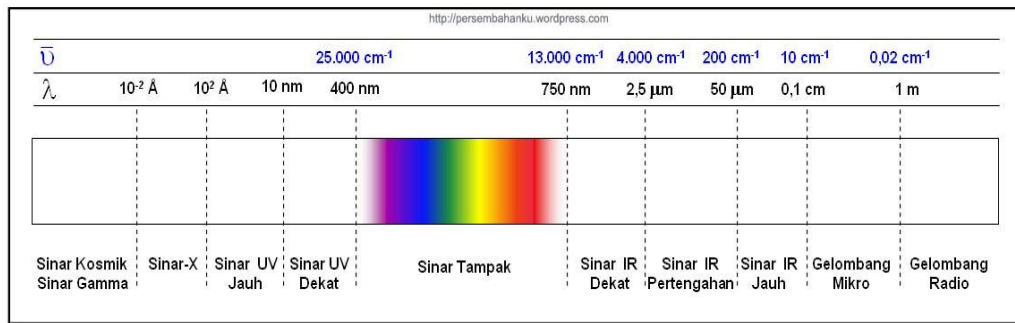
Beberapa faktor yang mempengaruhi fotosintesis yaitu:

a. Cahaya

Cahaya, merupakan sumber energi untuk fotosintesis. Energi cahaya yang diserap oleh tumbuhan tergantung pada intensitas sumber cahaya, panjang gelombang cahaya, dan lama penyinaran. Pada batas-batas tertentu, semakin tinggi intensitas cahaya matahari maka semakin banyak energi cahaya yang diserap oleh klorofil, sehingga laju fotosintesis meningkat. Cahaya matahari dengan intensitas terlalu tinggi akan menimbulkan kerusakan pada klorofil.

Matahari meradiasikan spektrum penuh dari energi elektromagnetik, atmosfer bertindak sebagai jendela aktif, yang membiarkan cahaya tampak lewat dan menyaring sebagian besar fraksi radiasi lainnya. Bagian spektrum yang dapat kita lihat yaitu cahaya tampak juga merupakan radiasi yang menggerakkan fotosintesis. Panjang gelombang yang berada pada kisaran cahaya tampak (380-700 nm). Cahaya tampak terbagi atas cahaya merah (610-700 nm), hijau kuning (510-600 nm), biru (410-500 nm) dan violet (<400 nm). Masing-masing jenis cahaya berbeda pengaruhnya terhadap fotosintesis. Hal ini terkait pada sifat pigmen penangkap cahaya yang bekerja dalam fotosintesis. Pigmen yang terdapat pada membran grana menyerap cahaya yang memiliki panjang gelombang tertentu. Pigmen yang berbeda menyerap cahaya pada panjang gelombang yang berbeda. Kloroplast mengandung beberapa pigmen. Sebagai contoh, klorofil a terutama menyerap cahaya biru-violet dan merah. Klorofil b menyerap cahaya biru dan oranye dan memantulkan cahaya kuning-hijau. Klorofil a berperan langsung dalam reaksi terang, sedangkan klorofil b tidak secara langsung berperan dalam reaksi terang (Campbell *et al.* 2002).

Beberapa peranan jenis cahaya tersebut terhadap fotosintesis, dengan cara mengamati terbentuknya pati pada daun tanaman yang telah disinari dengan jenis cahaya yang berbeda-beda. Daun tanaman yang dapat melakukan proses fotosintesis akan membentuk pati yang dapat dideteksi dengan menggunakan larutan Kalium Iodida (KI). Jika daun tersebut ditetesi dengan larutan KI, maka bagian daun yang mengandung pati akan berwarna biru gelap



Gambar 2.4: Spektrum Elektromagnetik

b. Karbon dioksida

Larches, 1983 dalam Zakaria (1999), menyatakan bahwa pembukaan dan penutupan stomata dikontrol oleh konsentrasi CO_2 internal dan H_2O , konsentrasi CO_2 meningkat dapat mendorong stomata menutup sebagian. Penutupan sebagian stomata pada konsentrasi CO_2 internal tinggi merupakan reaksi tanaman untuk mempertahankan konsentrasi CO_2 pada tingkat yang menguntungkan.

Kadar CO_2 juga menjadi faktor penting. Fotosintesis cenderung meningkat bila kadar CO_2 -nya lebih tinggi. Sebaliknya, keberadaan O_2 justru akan menghambat fotosintesis.

c. Klorofil

Semakin banyak jumlah klorofil dalam daun maka proses fotosintesis berlangsung semakin cepat. Pembentukan klorofil memerlukan cahaya matahari. Kecambah yang ditumbuhkan di tempat gelap tidak dapat membuat klorofil dengan sempurna. Kecambah ini dikatakan mengalami etiolasi, yaitu tumbuh sangat cepat

(lebih tinggi/panjang dari seharusnya) dan batang dan daunnya tampak bewarna pucat karena tidak mengandung klorofil. Umur daun juga mempengaruhi laju fotosintesis. Semakin tua daun, kemampuan berfotosintesis semakin berkurang karena adanya perombakan klorofil dan berkurangnya fungsi kloroplas.

Tumbuhan menangkap cahaya menggunakan pigmen yang disebut klorofil. Pigmen inilah yang memberi warna hijau pada tumbuhan. Klorofil terdapat dalam organel yang disebut kloroplas. Klorofil menyerap cahaya yang akan digunakan dalam fotosintesis. Meskipun seluruh bagian tubuh tumbuhan yang berwarna hijau mengandung kloroplas, namun sebagian besar energi dihasilkan di daun. Di dalam daun terdapat lapisan sel yang disebut mesofil yang mengandung setengah juta kloroplas (Kimball, 2000).

Klorofil terdapat pada membran tilakoid dan perubahan energi cahaya menjadi energi kimia berlangsung dalam tilakoid, sedang pembentukan glukosa sebagai produk akhir fotosintesis berlangsung di stroma. Rumus empiris klorofil adalah $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ (klorofil a) dan $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ (klorofil b) (Subandi, 2008).

Klorofil menyerap semua warna sinar, kecuali sinar hijau. Sinar yang paling banyak diserap untuk fotosintesis adalah sinar merah (± 700 nm) dan biru (± 450 nm). Jenis sinar yang lain juga diserap energinya walaupun dalam tingkat yang lebih rendah. Sinar hijau justru dipantulkan oleh klorofil, sehingga daun tampak berwarna hijau.

d. Ketersediaan Air

Kekurangan air atau kekeringan menyebabkan stomata menutup, menghambat penyerapan karbon dioksida sehingga mengurangi laju fotosintesis (Alfarizy, 2009). Jika kekurangan air, stomata menutup sehingga menghalangi masuknya CO_2 . Semakin banyak gas karbon dioksida maka proses fotosintesis akan menjadi semakin baik.

e. Pengaruh Suhu

Pengaruh suhu terhadap fotosintesis bergantung pada spesies dan kondisi lingkungan tempat tumbuhnya. Spesies yang tumbuh digurun mempunyai suhu

optimum untuk fotosintesis lebih tinggi daripada spesies tumbuhan yang tumbuh ditempat lain. Tanaman seperti jagung dan kedelai yang tumbuh baik pada daerah dataran rendah tropis mempunyai suhu optimum untuk fotosintesis lebih tinggi dibanding tanaman yang lebih sesuai untuk daerah pegunungan yang beriklim lebih sejuk seperti kentang dan kacang kapri. Secara umum suhu optimum untuk fotosintesis setara dengan suhu siang hari pada habitat asal tumbuhan tersebut (Lakitan, 1995).

f. Pengaruh Kadar Oksigen

Kecepatan fotosintesis juga dipengaruhi oleh kadar oksigen dalam atmosfer. Dalam hal ini semakin tinggi kadar oksigen dalam udara maka semakin berkurang kecepatan fotosintesisnya. Pengaruh kadar oksigen ini akan semakin jelas dengan semakin tingginya intensitas cahaya. Bagaimana pengaruh kadar oksigen yang tinggi ini dapat mengurangi kecepatan fotosintesis, belum dapat diketahui dengan pasti (Heddy, 1987).

2.5.4 Reaksi Terang dan Reaksi Gelap

Campbell et al. (2002: 185) menyatakan fotosintesis bukanlah merupakan proses tunggal, tetapi ada dua proses yang masing-masing terdiri dari banyak langkah. Kedua tahap fotosintesis ini dikenal sebagai reaksi terang dan siklus Calvin (Reaksi Gelap).

Tahap pertama dari sistem fotosintesis adalah reaksi terang, yang sangat bergantung kepada ketersediaan sinar matahari. Reaksi terang merupakan penggerak bagi reaksi pengikatan CO₂ dari udara. Reaksi ini melibatkan beberapa kompleks protein dari membran tilakoid yang terdiri dari sistem cahaya (fotosistem I dan II) sistem pembawa elektron, dan kompleks protein pembentuk ATP (enzim ATP sintase). Fotosistem I (PS I) berisi pusat reaksi P700, yang berarti bahwa fotosistem ini optimal menyerap cahaya pada panjang gelombang 700 nm, sedangkan fotosistem II (PS II) berisi pusat reaksi P680 dan optimal menyerap cahaya pada panjang gelombang 680 nm (Raven, 2005). Reaksi terang mengubah energi cahaya menjadi

energi kimia, juga menghasilkan oksigen dan mengubah ADP dan NADP⁺ menjadi energi pembawa ATP dan NADPH.

Reaksi terang terjadi di tilakoid, yaitu struktur cakram yang terbentuk dari pelipatan membran dalam kloroplas. Membran tilakoid menangkap energi cahaya dan mengubahnya menjadi energi kimia. Jika ada bertumpuk-tumpuk tilakoid, maka disebut grana.

Secara ringkas, reaksi terang pada fotosintesis ini terbagi menjadi dua, yaitu fosforilasi siklik dan fosforilasi nonsiklik. Fosforilasi adalah reaksi penambahan gugus fosfat kepada senyawa organik untuk membentuk senyawa fosfat organik. Pada reaksi terang, karena dibantu oleh cahaya, fosforilasi ini disebut juga fotofosforilasi.

Reaksi gelap merupakan reaksi lanjutan dari reaksi terang dalam fotosintesis. Reaksi ini tidak membutuhkan cahaya. Reaksi gelap terjadi pada bagian kloroplas yang disebut stroma. Bahan reaksi gelap adalah ATP dan NADPH, yang dihasilkan dari reaksi terang, dan CO₂, yang berasal dari udara bebas. Dari reaksi gelap ini, dihasilkan glukosa (C₆H₁₂O₆), yang sangat diperlukan bagi reaksi katabolisme. Reaksi ini ditemukan oleh Melvin Calvin dan Andrew Benson, karena itu reaksi gelap disebut juga reaksi Calvin-Benson. Salah satu substansi penting dalam proses ini ialah senyawa gula beratom karbon lima yang terfosforilasi yaitu ribulosa fosfat. Jika diberikan gugus fosfat kedua dari ATP maka dihasilkan ribulosa difosfat (RDP). Ribulosa difosfat ini yang nantinya akan mengikat CO₂ dalam reaksi gelap. Secara umum, reaksi gelap dapat dibagi menjadi tiga tahapan (fase), yaitu fiksasi, reduksi, dan regenerasi. Reaksi gelap ini menghasilkan APG (asam fosfoglisarat), ALPG (fosfogliseraldahid), RDP (ribulosa difosfat), dan glukosa (C₆H₁₂O₆) (Isharmanto, 2011).

2.6 Beda Potensial Listrik Pada Tanaman

Muatan dalam tanaman berupa ion-ion yang berasal dari unsur hara yang diserap melalui membran plasma. Pada membran plasma terjadi pergerakan ion yang disebabkan karena adanya perbedaan potensial dalam tanaman disebut juga

membran potensial. Membran potensial terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi ion didalam dan diluar membran daun tanaman.

Potensial difusi merupakan perbedaan potensial listrik diantara sebuah membran yang memisahkan dua buah larutan garam encer. Potensial difusi ini muncul karena ion-ion yang menembus cenderung membawa muatan listrik melintasi membran pada berbagai kecepatan yang berlainan, tetapi keadaan kedua sisi itu harus dalam keadaan netral, sehingga muncul potensial listrik yang akan memperlambat ion yang bergerak cepat dan mempercepat ion yang bergerak lambat. Ion-ion kemudian bergerak dengan kecepatan yang sama sehingga terjadi keseimbangan ion (Wilkins, 1969). Keseimbangan ion dapat dicapai dari gradien konsentrasi. Persamaan Nernst dapat digunakan untuk mengetahui keseimbangan potensial yang melewati membran sel (Amies, 2006).

Persamaan Nernst yaitu:

$$V_m = \frac{RT}{zF} \ln \frac{[C_{out}]}{[C_{in}]} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana: V_m = selisih potensial kimia total (Volt)

R = Tetapan gas = $8,314 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$

T = Suhu mutlak (K)

z = jumlah muatan ion

F = tetapan Faraday = $96.400 \text{ Joule Volt}^{-1}\text{mol}^{-1}$

C_{out} = konsentrasi ion di luar sel

C_{in} = konsentrasi ion di dalam sel

Persamaan Nernst sangat penting untuk mengetahui elektrofisiologi materi sel membran.

C_{in}/C_{out} menyatakan nisbah dugaan dan konsentrasi ion didalam dan diluar membran pada kesetimbangan $V_m = 0$. Apabila $V_m = 0$ atau $V_m < 0$, maka gradien energi bebas (gradien potensial elektrokimia) memungkinkan berlangsungnya penyerapan melalui pengangkutan pasif. Tetapi apabila gradien itu positif atau $V_m > 0$, maka sel

harus menggunakan energi untuk mengangkut ion ke dalam sel melalui pengangkutan aktif (Salisbury dan Ross, 1995: 171).

2.7 Bawang Merah

2.7.1 Klasifikasi Bawang Merah



Gambar 2.5: Pembudidayaan tanaman bawang Merah di persawahan yang berada di desa Jorongan Kabupaten Probolinggo

Tanaman bawang merah dalam tata nama tumbuhan, termasuk dalam klasifikasi sebagai berikut:

- Kingdom : Plantae (Tumbuhan)
- Subkingdom : Tracheobionta (Tumbuhan berpembuluh)
- Super Divisi : Spermatophyta (Menghasilkan biji)
- Sub divisio : Angiospermae
- Divisi : Magnoliophyta (Tumbuhan berbunga)

Kelas	: Liliopsida (berkeping satu / monokotil)
Sub Kelas	: Liliidae
Ordo	: Liliales
Famili	: Liliaceae (suku bawang-bawangan)
Genus	: Allium
Spesies	: Allium ascalonicum L.
Nama umum	: Bawang merah
Nama Daerah	
Sumatra	: Bawang Beureum
Jawa	: Brambang

Umbi bawang merah terbentuk daripada pangkal daun yang bersatu dan membentuk batang yang berubah bentuk dan fungsinya, membesar dan akhirnya membentuk umbi berlapis. Bawang merah mengandung vitamin C, potassium, serat dan asid Folic. Selain juga mengandungi kalsium, zat besi dan tinggi di dalam protein. Ada dua komponen lain yang tidak kalah penting, sulfur dan flavonoid. Flavonoid dipercayai mengurangkan risiko kanker, penyakit jantung dan kencing manis. Ini disebabkan flavonoid memang memiliki unsur antikanker, antibakteri, antiviral, antialergi, juga cukup efektif memerangi sel kanker hati. Umbi yang nyaris tak pernah absen sebagai bumbu masakan ini mengandungi phenolic lebih banyak dibandingkan bawang putih. Oleh karena, bawang merah dapat membantu proses detoksifikasi. Bawang mampu mengeluarkan antikoagulan yang membantu pencairan darah. Dan juga membantu fungsi otak sehingga mengurangi risiko penyakit Alzheimer's. Memakan bawang merah setiap hari dapat membantu pertumbuhan jaringan tulang dan mengurangkan risiko osteoporosis hingga 20 persen (Tazkiyah, 2008).

Bawang merah memiliki bermacam varietas. Beberapa varietas yang dikenal dipasaran yaitu varietas Madura, Brebes, Philipine, Biru Probolinggo, Vietnam, India (Bombay) yang ditunjukkan pada gambar 2.6 halaman 30.



Gambar 2.6: Bawang merah varietas Madura, Vietnam, dan bawang Bombay
Bawang merah varietas Brebes dan Varietas Biru Probolinggo

Bawang merah varietas Madura juga dikenal dengan nama varietas Sumenep. Bawang merah jenis ini merupakan varietas lokal dan cocok ditanam didataran tinggi maupun dataran rendah. Tanaman varietas Madura tidak mampu berbunga, baik secara alami maupun buatan. Umbi berbentuk lonjong memanjang dan berwarna merah pucat. Produksi umbi basah mencapai 19,3 ton/ha dan dapat menghasilkan umbi kering sekitar 10,1 ton/ha. Tanaman bawang merah varietas ini tahan terhadap penyakit fusarium, bercak ungu dan antraknosa (Pitojo,2003).

Bawang merah varietas Vietnam merupakan varietas impor dan berasal dari negara Vietnam, biasanya ditanam disentra produksi bawang merah seperti Brebes, Cirebon dan Probolinggo. Umbi berbentuk bulat dan berwarna merah tua. Sedangkan bawang merah varietas Bombai berasal dari negara India dengan ciri umbi bulat besar dan berwarna merah agak kekuningan. Bawang merah jenis ini kurang disukai konsumen karena tidak tahan lama setelah digoreng (Supriati dan Herliana, 2010).

Bawang merah varietas Brebes berasal dari kota Brebes, Jawa Tengah. Umbi berbentuk lonjong dan berwarna merah muda. Varietas Brebes ini, tahan terhadap penyakit busuk umbi, namun peka terhadap penyakit busuk daun (Pitojo, 2003). Bawang merah varietas Biru Probolinggo, berasal dari daerah Probolinggo dan ditanam pada musim kemarau dan penghujan. Didaerah Nganjuk dan Kediri bawang merah jenis ini dikenal dengan nama varietas Bauji. Hasil umbi kering bisa mencapai 13,65 ton per hektar dengan jumlah anakan per rumpun lebih dari 10 serta tinggi tanaman di atas 35 cm. Ciri penting dari varietas Biru yaitu daunnya nampak lebih langsing (sempit) dengan warna daun hijau tua, daun tebal, sudut daun kecil (lebih tegak), warna umbi merah keunguan mengkilat, bentuk umbi bulat lonjong dan daun nampak kekar bila ditanam di musim hujan (Sumitro, 2010).

2.7.2 Morfologis Bawang Merah

Bawang merah seperti halnya tanaman yang lainnya mempunyai bagian-bagian yang mendukungnya untuk tetap hidup yang berfungsi sesuai dengan jenis-

jenisnya seperti akar, batang, daun dan buah (umbi) sebagai tempat menyimpan cadangan makanan.

Untuk lebih jelasnya morfologis tanaman bawang merah secara lengkap adalah sebagai berikut :

a. Akar

Tanaman bawang merah memiliki perakaran jenis akar serabut dengan sistem perakaran dangkal dan bercabang, terpencah pada kedalaman antara 15-30 cm didalam tanah (Rukmana, 2002).

b. Batang

Tanaman Bawang merah merupakan tanaman rendah yang tumbuh tegak dengan tinggi antar 15-50 cm dan membentuk rumpun (Wibowo, 1992). Menurut Rukmana (2002), bawang merah memiliki batang sejati atau "*Discus*" yang bentuknya seperti cakram, tipis dan pendek sebagai tempat melekatnya perakaran dan mata tunas (titik tumbuh). Di bagian atas *discus* terbentuk batang semu yang tersusun dari pelepah-pelepah daun. Batang semu yang berada di dalam tanah akan berubah bentuk dan fungsinya menjadi umbi lapis (bulbus), diantara lapisan kelopak bulbus terdapat mata tunas yang dapat membentuk tanaman baru atau anakan, terutama pada spesies bawang merah biasa.

Pada bagian tengah *discus* yang berbentuk cakram terdapat mata tunas utama yang nantinya dari bagian ini dapat muncul bunga. Tunas yang menjadi tempat tumbuhnya bunga ini disebut tunas apikal, sedangkan tunas yang lainnya yang dapat tumbuh menjadi tanaman baru disebut tunas lateral (Wibowo, 1992).

c. Daun

Menurut Rukmana (2002), bentuk daun bawang merah seperti pipa, yaitu bulat kecil memanjang, berlubang, bagian ujungnya meruncing berwarna hijau muda sampai hijau tua, dan letak daunnya melekat pada tangkai yang ukurannya relatif pendek.

Warna hijau muda kelopak daun sebelah luar selalu melingkar dan menutup daun yang ada didalamnya. Beberapa helai kelopak daun terluar (2-3 helai) tipis dan

mengering tetapi cukup liat, kelopak yang memiliki daun yang mengering ini membungkus lapisan kelopak daun yang ada didalamnya yang membengkak. Karena kelopak daunnya membengkak maka bagian ini akan terlihat mengembung membentuk umbi yang merupakan umbi lapis (Wibowo, 1992).

d. Bunga

Tangkai tandan bunga keluar dari tunas apikal yang merupakan tunas utama, tunas ini paling pertama muncul dari dasar umbi melalui ujung-ujung umbi seperti halnya daun biasa. Tangkai tandan bunga pada bagian bawah berbentuk kecil, bagian tengahnya membesar, dan semakin ke atas bentuknya semakin mengecil, selanjutnya pada bagian ujung membentuk kepala yang meruncing seperti mata tombak. Bagian ini dibungkus oleh lapisan daun atau seludang, proses selanjutnya seludang akan membuka sehingga menyerupai payung.

Bunga bawang merah termasuk bunga sempurna, terdiri dari 5-6 benang sari dan sebuah putik. Daun bunga berwarna agak hijau bergaris keputih-putihan atau putih, bakal buah duduk diatas membentuk bangunan segitiga hingga tampak jelas seperti kubah. Bakal buah terbentuk dari 3 daun buah (karpel) yang membentuk sebuah ruang dimana pada setiap ruangnya mengandung 2 bakal biji (ovulum).

Benangsari tersusun membentuk dua lingkaran, yaitu lingkaran luar dan dalam, masing-masing lingkaran mengandung 3 helai benangsari, pada umumnya tepungsari dari benangsari lingkaran dalam lebih cepat dewasa (matang) dibandingkan dengan yang berada dilingkarannya luar. Namun dalam 2-3 hari biasanya semua tepungsari sudah menjadi matang. Biji bawang merah yang masih muda berwarna putih dan setelah tua biji akan berubah menjadi warna hitam (Rahayu dan Berliana, 1999).

2.7.3 Syarat Tumbuh

Produksi yang optimal sesuai yang diharapkan memerlukan beberapa syarat yang harus dipenuhi diantaranya syarat yang berhubungan dengan keadaan alam (lingkungan). Syarat pertumbuhan ini meliputi beberapa faktor yaitu tanah, air, dan

faktor iklim yang terdiri dari angin, curah hujan, cahaya matahari, suhu dan kelembaban.

a. Tanah

Bawang merah menginginkan tanah yang subur, gembur, dan banyak mengandung bahan organik, lempung berpasir atau lempung berdebu. Pada tanah Alluvial dan latosol yang berpasir dapat pula ditanami bawang, yang penting jenis tanah tersebut harus mempunyai struktur bergumpal dan keadaan air tanahnya tidak menggenang (stragnasi). Derajat keasaman tanah (pH) antara 5,5-6,5. pH tanah yang asam (<5,5) garam Aluminium (Al) yang terlarut dalam tanah akan bersifat racun, sehingga tumbuhnya bawang tersebut akan kerdil, sedangkan tanah basa (>6,5) garam Mangan (Mn) tidak dapat digunakan oleh tanaman bawang sehingga umbinya kecil dan hasilnya rendah. Pada tanah gambut (pH<4) memerlukan pengapuran terlebih dahulu supaya umbinya dapat besar. Tanaman bawang merah tidak tahan terhadap curah hujan yang lebat. Tanaman ini tidak senang pada daerah yang berkabut dan yang berangin kencang (taifun) tetapi lebih senang terhadap tiupan angin sepoi-sepoi (Sunardjono dan Soedomo, 1983).

b. Iklim

Selain tanah faktor yang mempengaruhi keberhasilan budidaya bawang merah yang tidak kalah pentingnya adalah faktor iklim. Dalam pertumbuhannya bawang merah menginginkan iklim kering, suhu yang agak panas dan cuaca cerah, terutama yang mendapat sinar matahari lebih dari 12 jam.

Bawang merah tidak tahan kekeringan karena akarnya yang pendek, selama pertumbuhannya dan perkembangan umbi dibutuhkan air yang cukup banyak. Tetapi tanaman bawang merah tidak tahan terhadap tempat yang selalu basah. Bawang merah dari dataran rendah sampai tinggi dengan ketinggian antara 0-900 m dpl dengan curah hujan 300-2500 mm/th dapat tumbuh dengan baik, sedangkan suhu yang diinginkan adalah sekitar 25-30°C dan suhu rata-rata pertahunnya 30°C (Rahayu dan Berliana, 1999).

2.7.4 Budidaya Bawang Merah

a. Pemilihan Bibit



Gambar 2.7 : Bibit bawang merah

Bibit bawang merah (Gambar 2.7) dipilih yang sehat : warna mengkilap, kompak (tidak keropos), kulit tidak luka dan telah disimpan selama 2-3 bulan (70-80 hari) setelah panen. Dengan berat bibit sekitar 5-10 gram dengan diameter 1,5-1,8cm (Susila, 2006).

b. Jarak tanam

Untuk jarak tanam adalah 15cm x 15cm atau 10cm x 20cm (Sihotang, 2010).

c. Pemupukan

Pemupukan dilakukan pada saat penanaman, pada saat berumur 14 hari, dan pada umur 35 hari.

d. Penyiraman

Umur 0-10 hari penyiraman 2x/hari (pagi dan sore), pada umur 11-35 hari 1x/hari (pagi) dan pada umur 36-50 hari 1x/hari (pagi/sore)

e. Panen

Panen dapat dilakukan apabila daun telah mengering lebih dari 70% (Susila, 2006).

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

Proses penelitian dilaksanakan di Laboratorium Biofisika Jurusan Fisika dan *Green House* Laboratorium Botani Jurusan Biologi Fakultas MIPA Universitas Jember. Observasi awal dilaksanakan pada bulan Januari 2011 sampai dengan Juli 2011 dan pengambilan data di mulai pada bulan September 2011 sampai dengan Oktober 2011.

3.2 Alat dan Bahan

Beberapa alat yang digunakan dalam penelitian, antara lain:

1. Elektrometer;
2. Sangkar Faraday;
3. Pipa Kaca Kapiler (*Borosilicate Glass Capillaries*, Havard Apparatus Ltd., Edenbrige, UK);
4. Set LED *bright light* (Elite EL- 024);
5. Timbangan Digital;
6. Kertas Milimeter;
7. Alat pemanas;
8. Beaker Glass;
9. Bejana Erlenmeyer;
10. Kontainer.

Beberapa bahan yang digunakan dalam penelitian, antara lain:

1. Bibit tanaman bawang merah;

2. Air murni (Aquadest);
3. Pipa/ tabung plastik;
4. Bubuk agar-agar murni;
5. Kawat perak murni (*Silver Wire*) dengan diameter $\pm 0,8$ mm;
6. Larutan KCl;
7. Baterai kering 1,5 volt;
8. Sumbu (*cotton*);
9. Larutan Hoagland (tabel 3.1);

Tabel 3.1 Komposisi Larutan Hoagland Termodifikasi

Larutan	Gram/Liter
KNO ₃	202
Ca(NO ₃) ₂ · 4 H ₂ O	236
MgSO ₄ · 7H ₂ O	493
(NH ₄) H ₂ PO ₄	80
FeCl ₃ · 6 H ₂ O	4,8
H ₃ BO ₃	2,86
MnCl ₂	0,81
ZnSO ₄	0,221
Cu SO ₄ · 5H ₂ O	0,051
MoO ₃	0,09
Na ₂ SO ₄	0,12

Sumber: Hariadi dan Sabala (2004 a b); Sabala dan Hariadi (2005)

10. Larutan Cu SO₄ · 5H₂O dengan konsentrasi: 0,04 ppm, 10 ppm, 50 ppm, 100 ppm, dan 200 ppm.

3.3 Tahap-tahap Penelitian

Tahapan penelitian ini digambarkan pada Tabel 3.2 sebagai berikut:

Tabel 3.2 Tahap-tahap penelitian

1. Persiapan				
Persiapan media penanaman, pembuatan elektroda <i>Wick</i> , konstruksi alat untuk pengukuran beda potensial daun tanaman.				
2. Penanaman				
Penanaman bibit bawang merah dengan pemberian perlakuan tembaga (Cu) setelah 2 minggu penanaman. Penyemaian bibit dalam pot dengan 5 perlakuan berbeda (masing masing perlakuan terdiri dari 5 pot). Tiap pot terdiri dari 5 tanaman. Berarti terdapat 25 pot dengan total 125 tanaman.				
Perlakuan 1 Cu= 0,04 ppm 0,00004 g/L Tanaman Kontrol	Perlakuan 2 Cu 10 ppm Cu=0,01 g/L	Perlakuan 3 Cu 50 ppm Cu= 0,05 g/L	Perlakuan 4 Cu 100 ppm Cu= 0,10g/L	Perlakuan 5 Cu 200 ppm Cu= 0,2 g/L
3. Pengambilan Sampel				
a. Pengambilan sampel daun tanaman yang berumur satu minggu b. Meletakkan daun pada bejana yang berisi aquades untuk menghindari dehidrasi pada tanaman c. Meletakkan daun dalam ruangan gelap				
4. Pengambilan Data				
a. Pengukuran beda potensial listrik permukaan daun setiap minggu b. Pengukuran luas daun setiap minggu c. Pengamatan secara visual antara tanaman kontrol dengan perlakuan				
5. Pengolahan Data				
Perbedaan nilai beda potensial listrik permukaan daun dan luas daun antara treatment dan kontrol dihitung dengan uji statistik ANOVA				
6. Hasil				
Membandingkan nilai beda potensial daun, luas daun dan juga pengamatan visual daun antara tanaman kontrol dengan perlakuan.				
7. Kesimpulan				

3.3.1 Tahap Persiapan

Beberapa tahapan yang akan dilakukan dalam tahap persiapan ini, antara lain:

a. Persiapan media penanaman

Pasir yang sudah dicuci dan kemudian disterilkan dengan cara dipanaskan, digunakan sebagai media tumbuh tanaman. Pasir ditempatkan kedalam kontainer yang kemudian ditambahkan larutan Hoagland. Pemberian larutan Hoagland dijaga tetap konstan pada saat mulai penanaman sampai dengan akhir penanaman dengan cara penambahan larutan setiap kali dibutuhkan. Penggantian total larutan dilakukan setiap minggu sekali untuk menjaga kesegaran larutan Hoagland pada media tanam.

b. Pembuatan Elektroda

1) Pembuatan Elektroda Wick

a) Pembuatan kaca kapiler

Pipa kaca kapiler (*Borosilicate glass capillaries*), GC 150-10, Havard apparatus Ltd, Edenbridge, UK dengan diameter luar 1,5 mm dan diameter dalam 0,86 mm, diletakkan pada *Puller* dengan elemen pemanas tepat pada bagian tengahnya kemudian disambungkan dengan sumber tegangan dari trafo jenis *step-down*. Bagian ujung atas pipa kaca kapiler dijepit dengan penjepit dan ujung bawahnya digantung dengan sebuah beban. Pada saat trafo dihidupkan maka elemen pemanasnya akan memanaskan bagian tengah pipa kaca kapiler sehingga akan tertarik oleh beban, sehingga pipa kapiler terpisah menjadi dua bagian dengan masing-masing mempunyai ujung yang runcing dengan diameter 10 μm . Pipa kaca kapiler dengan ujung runcing ini digunakan sebagai bahan utama pembuatan elektroda Wick.

b) Pengisian 1 % Agar-agar dalam 1M KCl pada pipa kaca kapiler

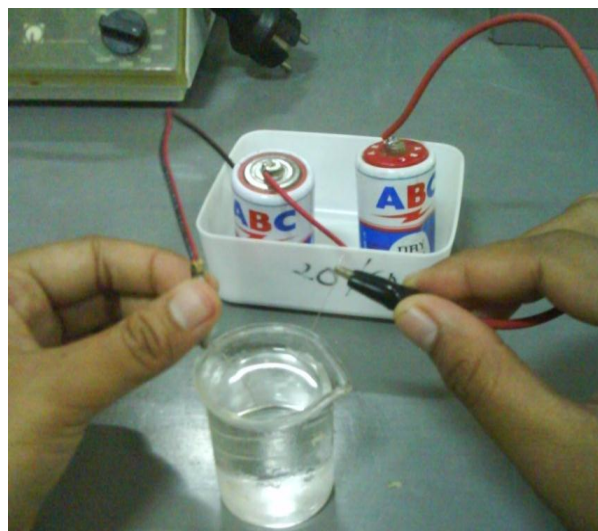
Dalam tabung enlemenyer, 1 % agar-agar dalam 1M KCl dibuat dengan mencampur 100 ml larutan 1M KCl dengan 1 gram bubuk agar-agar kemudian di didihkan secara perlahan dan diaduk sehingga tercampur dengan merata. Pipa kaca kapiler dengan ujung yang runcing diletakkan dalam bejana Erlenmeyer kosong dengan bagian ujung yang runcing terletak pada bagian dasar tabung. Campuran 1%

agar-agar dan 1M KCl yang masih hangat dimasukkan dalam bejana sedikit demi sedikit, sehingga campuran tersebut akan bersamaan masuk kedalam pipa kaca kapiler. Teknik ini juga untuk menghindari adanya gelembung udara dalam pipa kaca kapiler. Bejana pipa kapiler yang berisi campuran 1% agar-agar dan 1M KCl tersebut kemudian didinginkan.

c) Penyepuhan Kawat Ag/AgCl

Dalam penyepuhan kawat perak, alat dan bahan yang dibutuhkan antara lain kawat perak (Ag), larutan 1M KCl, baterai kering 1,5 volt sebagai sumber arus dan *beacker glass*. Tahap-tahap yang harus dilewati dalam penyepuhan kawat ini antara lain:

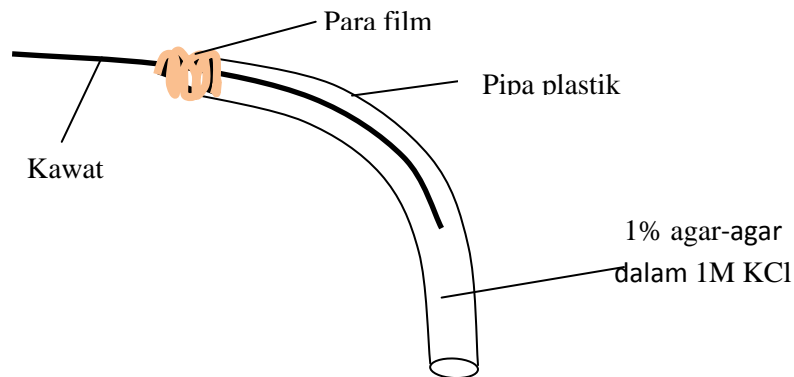
- (1) Kawat Ag dipotong sekitar 3 cm, dengan melepas lapisan Teflon pada kawat tersebut.
- (2) Potongan kawat perak kemudian dihubungkan dengan kutub positif dan potongan kawat perak lain dihubungkan dengan kutub negative dari baterai kering 1,5 volt kemudian dicelupkan kedalam larutan 1M KCl. Proses penyepuhan berlangsung sekitar 2 menit, yaitu sampai kawat perak yang dihubungkan dengan kutub positif baterai terlapisi oleh ion Cl^- .
- (3) Kawat perak yang sudah disepuh dipakai sebagai kawat elektroda wick.



Gambar 3.1 Penyepuhan kawat AgCl

d) Pembuatan Elektroda Referensi

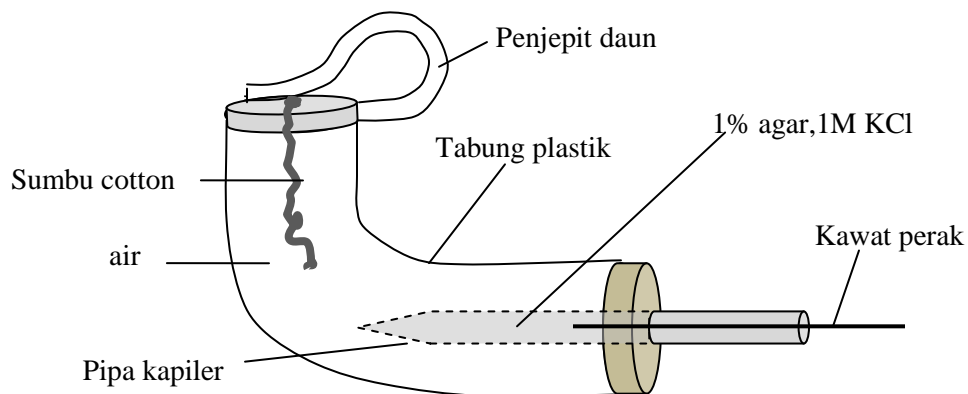
Elektroda referensi dibuat dengan menggunakan pipa plastik sepanjang 5 cm dengan diameter 2 mm yang berisi dengan 1% agar-agar dalam 1M KCl, dan disisipi dengan kawat perak yang sudah disepuh, kemudian ditutup dengan parafilm.



Gambar 3.2 Diagram Elektroda Referensi (Sumber: Hariadi dan Sabala, 2004 b)

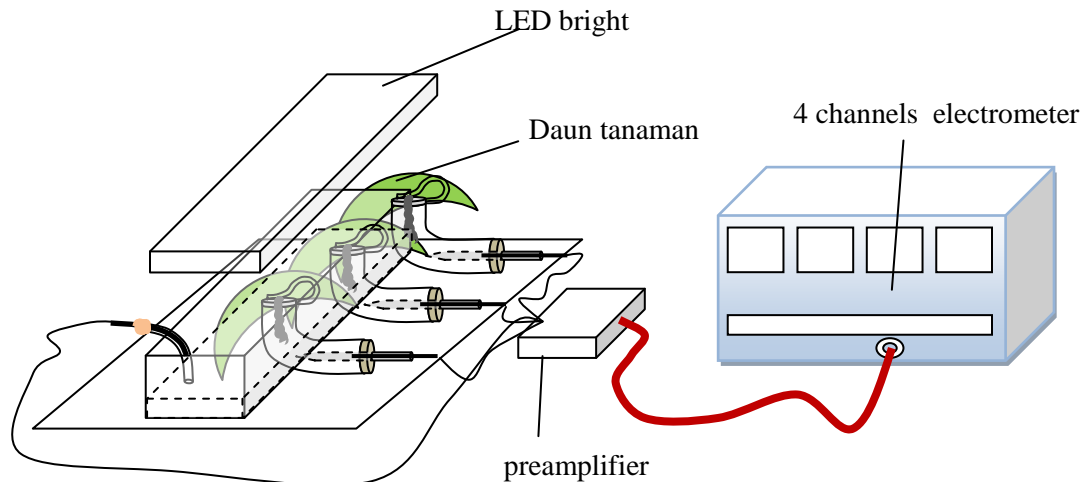
e) Kontruksi Elektroda Wick

Kawat perak yang sudah disepuh dimasukkan dalam pipa kaca kapiler yang berisi 1% agar-agar dalam 1M KCl, kemudian dimasukkan kedalam tabung plastik khusus untuk elektroda wick yang berisi sumbu *cotton*.



Gambar 3.3 Diagram Elektroda Wick (Sumber: Hariadi dan Sabala, 2004 b)

2) Kontruksi Alat Pengukuran Beda Potensial Listrik Daun Tanaman



Gambar 3.4 Diagram Alat Pengukur Beda Potensial Listrik Daun Tanaman

(Sumber: Hariadi dan Sabala, 2004 b)

3.3.2 Tahap Penanaman

Umbi bawang merah dipilih yang berbobot antara 5-10 gram dengan umur bibit 70-80 hari setelah tanam. Selanjutnya umbi ditanam pada kontainer yang berisi pasir dan larutan Hoagland sebagai media tanamnya. Penanaman dilakukan sebanyak 5 macam perlakuan yang berbeda dengan menggunakan larutan Hoagland yang dimodifikasi dengan perbedaan utama pada penambahan konsentrasi Cu antara lain: 0,04 ppm (kontrol), 10 ppm (kadar rendah), 50 ppm (kadar menengah pertama), 100 ppm (kadar menengah kedua), 200 ppm (kadar tinggi). Setiap perlakuan diulang dengan 5 (lima) kali pengulangan (replikasi) yang berarti ada 25 pot penanaman dengan total tanaman 125 tanaman (5 tanaman per pot).

3.3.3 Disain Penelitian

Disain Penelitian yang digunakan adalah RAL (Rancangan Acak Lengkap), dimana variasi (keragaman) dari bahan-bahan, percobaan, tempat ataupun ruang percobaan relatif kecil dan pengaruh lingkungan relatif homogen. Perlakuan

ditempatkan atau diberikan pada satuan-satuan percobaan secara random (acak). Semua satuan percobaan menerima perlakuan yang sama, kecuali perlakuan (*treatment*) perbedaan penambahan konsentrasi Cu-nya.

3.3.4 Tahap Pengambilan Sampel, Pengukuran dan Pengambilan Data.

a. Pengambilan Sampel

Sampel daun diambil dari daun tanaman yang berumur satu minggu. Sampel daun diambil dari daun pada posisi ke-3 atau ke-4 dari pucuk batang utama. Daun diambil sampai pangkal tangkai daun. Pangkal daun diletakkan pada bejana yang berisi *aquades* untuk menghindari terjadinya dehidrasi. Pengambilan sampel dilakukan pada semua perlakuan, kemudian sampel diletakkan dalam ruangan gelap selama 30 menit agar sampel tersebut beristirahat dari aktivitasnya dan tidak mengalami stress.

b. Pengukuran Luas Daun

Pengukuran luas daun dilakukan dengan menjumlah luas total daun dari setiap tanaman. Metode yang diterapkan untuk mengukur luas daun adalah dengan mengukur panjang x lebar x faktor koreksi. Faktor koreksi diperoleh dari perbandingan antara panjang x lebar pada penggaris dengan jumlah luasan (mm^2) daun yang terukur dari kertas millimeter blok. Sampel daun diambil secara acak dengan menganggap semua bentuk daun homogen. Total luas daun tanaman dari setiap perlakuan diukur setiap minggu. Untuk pengukuran pertama dilakukan setelah tanaman berumur 2 (dua) minggu.

c. Pengukuran Beda Potensial

Pengukuran beda potensial permukaan daun tanaman dilakukan dengan menggunakan elektrometer, dimana pengukuran tersebut dilakukan satu minggu sekali. Pengukuran beda potensial daun tanaman dilakukan dalam sangkar faraday, yang dibuat dari alumunium dan dihubungkan dengan ground. Pada saat pengukuran daun dilakukan penyinaran terhadap daun tersebut dengan LED dengan durasi waktu 15 menit on-off untuk mendapatkan nilai beda potensial

yang tepat. Pengukuran dilakukan pada waktu yang sama dalam setiap pengukuran daun setiap harinya.

3.3.5 Tahap Analisa Data

Data hasil pengukuran nilai beda potensial permukaan daun dan luas daun tanaman ditabelkan dalam setiap minggu, kemudian masing-masing data ditampilkan dalam bentuk grafik dengan program excel untuk membandingkan antara perlakuan dengan kontrol. Grafik yang akan diperoleh adalah grafik beda potensial listrik permukaan daun sebagai data utama dan grafik luas permukaan daun sebagai data pendukung. Kedua data selanjutnya dianalisis menggunakan one-way ANOVA (*one-way of variance*, analisis varian satu arah). Adapun hipotesis yang digunakan untuk uji lanjut One-way ANOVA dalam penelitian yaitu:

a. Beda Potensial Listrik Daun

H_0 (hipotesis awal) yaitu tidak ada perbedaan nilai beda potensial listrik permukaan daun pada tanaman yang diberi perlakuan dengan tanaman kontrol ; H_1 (hipotesis alternatif) yaitu ada perbedaan nilai beda potensial listrik permukaan daun antara tanaman kontrol dan tanaman yang diberi perlakuan; bila $F_{hitung} > F_{tabel}$ dan $P_{hitung} < P_{tabel}$ berarti H_0 ditolak, dan apabila $F_{hitung} < F_{tabel}$ dan $P_{hitung} > P_{tabel}$ berarti H_0 diterima dengan nilai F_{tabel} sebesar 5,32 dengan $P_{tabel} = 0,05$.

b. Luas Permukaan Daun

H_0 (hipotesis awal) yaitu tidak ada perbedaan nilai luas permukaan daun pada tanaman yang diberi perlakuan dengan tanaman kontrol; H_1 (hipotesis alternatif) yaitu ada perbedaan nilai luas permukaan daun antara tanaman kontrol dan tanaman yang diberi perlakuan; bila $F_{hitung} > F_{tabel}$ dan $P_{hitung} < P_{tabel}$ berarti H_0 ditolak, dan apabila $F_{hitung} < F_{tabel}$ dan $P_{hitung} > P_{tabel}$ berarti H_0 diterima dengan nilai F_{tabel} sebesar 5,32 dengan $P_{tabel} = 0,05$.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil dan Analisa Data

4.1.1 Hasil Pengukuran dan Analisa Data Beda Potensial Listrik Permukaan Daun Tanaman Bawang Merah

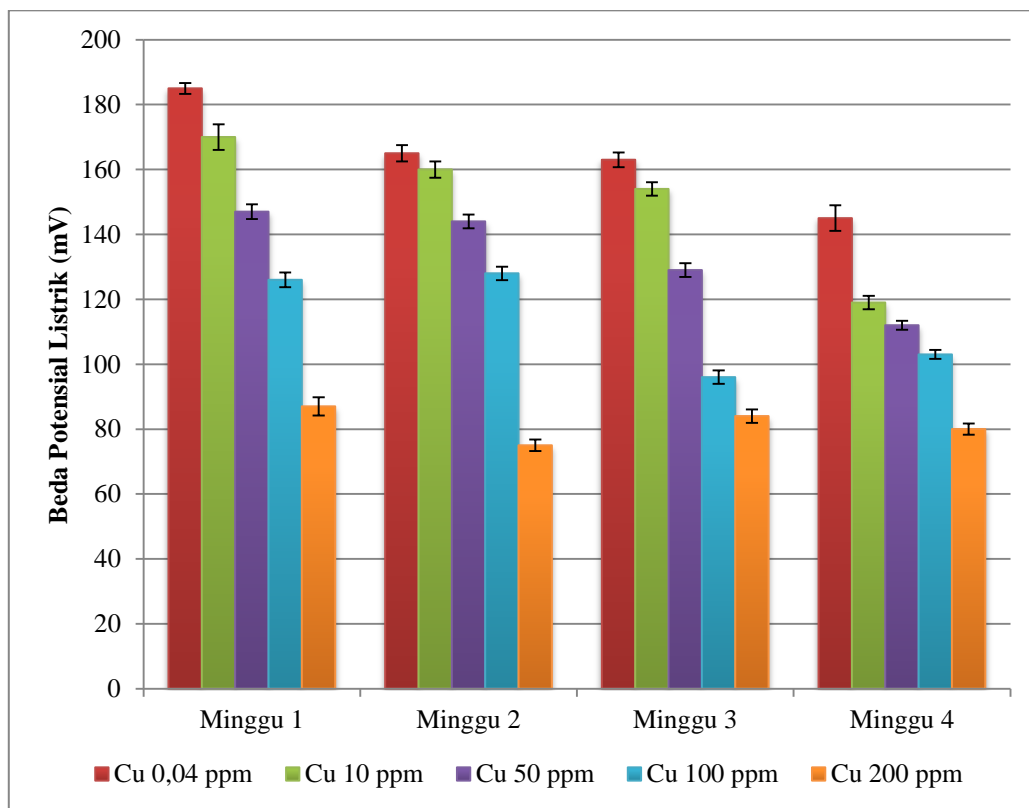
Penelitian terhadap tanaman bawang merah dengan variasi perlakuan telah diperoleh hasil berupa beda potensial listrik setiap minggunya dengan variasi konsentrasi tembaga (0,04, 10, 50, 100 dan 200 ppm). Pengukuran beda potensial listrik permukaan daun tanaman bawang merah dilakukan setiap seminggu sekali selama 4 minggu. Nilai beda potensial listrik permukaan daun antara tanaman kontrol dengan perlakuan yang diuji dengan statistik *One-Way* ANOVA menghasilkan perbedaan yang signifikan antara tanaman kontrol dengan masing-masing *treatment*.

Hasil pengukuran dan nilai rata-rata hasil pengukuran beda potensial listrik permukaan daun tanaman dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan grafik nilai beda potensial listriknya dapat dilihat pada Gambar 4.1.

Tabel 4.1 Nilai rata-rata data hasil pengukuran nilai beda potensial listrik permukaan daun tanaman bawang merah yang diberi perlakuan variasi konsentrasi Cu0,04 ppm, Cu10 ppm, Cu50 ppm, Cu100 ppm, Cu200 ppm (standart error (s.e) dari 5 pengulangan, n=5).

Tanaman	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
	V ± s.e (mV)	V ± s.e (mV)	V ± s.e (mV)	V ± s.e (mV)
Cu 0,04 ppm	185±1,68	165±2,50	163±2,24	145±3,95
Cu 10 ppm	170±3,95	160±2,50	154±2,09	119±2,09
Cu 50 ppm	147±2,24	144±2,09	129±2,09	112±1,37
Cu 100 ppm	126±2,24	128±2,09	96±2,09	103±1,37
Cu 200 ppm	87±2,85	75±1,77	84±2,09	80±1,77

Nilai rata-rata beda potensial listrik permukaan daun tanaman bawang merah untuk tanaman kontrol Cu0,04 mempunyai *range* antara $145\pm 3,95$ mV sampai $185\pm 1,68$ mV, untuk tanaman dengan perlakuan Cu10 memiliki *range* antara $119\pm 2,09$ mV sampai $170\pm 3,95$ mV, untuk tanaman dengan perlakuan Cu50 memiliki *range* antara $112\pm 1,37$ mV sampai $147\pm 2,24$ mV, untuk tanaman dengan perlakuan Cu100 memiliki *range* antara $96\pm 2,09$ mV sampai $128\pm 2,09$ mV dan untuk tanaman dengan perlakuan Cu200 memiliki *range* antara $75\pm 1,768$ mV sampai $87\pm 2,85$ mV. Pada setiap perlakuan terjadi penurunan beda potensial listrik permukaan daun setiap minggunya, semakin besar konsentrasi tembaga pada media tanamnya maka beda potensial listriknya juga semakin menurun.



Gambar 4.1 Grafik nilai rata-rata beda potensial listrik permukaan daun tanaman Bawang merah dengan perlakuan yang berbeda dalam tiap minggu dengan standart error masing-masing perlakuan.

Hasil analisa dengan statistik *one-way* ANOVA untuk membedakan beda potensial tanaman kontrol dengan perlakuan dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil analisa data uji statistik *one-way* ANOVA beda potensial listrik permukaan daun tanaman Bawang Merah antara tanaman kontrol dengan tanaman perlakuan setiap minggunya

Pengukuran	Perbandingan Tanaman	F	P
Minggu ke-1	Cu0,04 dengan Cu10	15,000	0,005
	Cu0,04 dengan Cu50	222,154	0,000
	Cu0,04 dengan Cu100	580,167	0,000
	Cu0,04 dengan Cu200	1067,111	0,000
Minggu ke-2	Cu0,04 dengan Cu10	3,333	0,105
	Cu0,04 dengan Cu50	51,882	0,000
	Cu0,04 dengan Cu100	119,043	0,000
	Cu0,04 dengan Cu200	1080,000	0,000
Minggu ke-3	Cu0,04 dengan Cu10	10,800	0,011
	Cu0,04 dengan Cu50	154,133	0,000
	Cu0,04 dengan Cu100	598,533	0,000
	Cu0,04 dengan Cu200	832,133	0,000
Minggu ke-4	Cu0,04 dengan Cu10	42,250	0,000
	Cu0,04 dengan Cu50	77,786	0,000
	Cu0,04 dengan Cu100	126,000	0,000
	Cu0,04 dengan Cu200	281,667	0,000

Berikut adalah analisa data untuk membedakan antara tanaman kontrol dengan perlakuan setiap minggunya berdasarkan uji test *One-way* ANOVA

Minggu ke 1

Berdasarkan hasil uji analisis *One-way* ANOVA diketahui bahwa antara kontrol dengan semua perlakuan terjadi perbedaan yang signifikan karena nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ dan $P_{hitung} < P_{tabel}$ dengan nilai $F_{tabel} = 5,32$ dan $P_{tabel} = 0,05$. Perbandingan

beda potensial listrik tanaman Cu kontrol dengan beda potensial listrik tanaman masing-masing perlakuan yaitu Cu10 diperoleh nilai $F=15,000$ dan $P=0,005$ dimana $F_{hitung}>F_{tabel}$ dan $P_{hitung}<P_{tabel}$, Cu50 didapatkan nilai $F=222,154$ dan $P=0,000$ dimana $F_{hitung}>F_{tabel}$ dan $P_{hitung}<P_{tabel}$, Cu100 diperoleh nilai $F=580,167$ dan $P=0,000$ dimana $F_{hitung}>F_{tabel}$ dan $P_{hitung}<P_{tabel}$, Cu200 diperoleh nilai $F=1067,111$ dan $P=0,000$ dimana $F_{hitung}>F_{tabel}$ dan $P_{hitung}<P_{tabel}$.

Minggu ke 2

Menurut hasil uji test *One-way* ANOVA menunjukkan bahwa beda potensial listrik tanaman Cu kontrol dibandingkan dengan beda potensial listrik tanaman masing-masing perlakuan yaitu Cu10 dengan nilai $F=3,333$ dan $P=0,105$ dimana $F_{hitung}<F_{tabel}$ dan $P_{hitung}>P_{tabel}$, Cu50 dengan nilai $F=51,882$ dan $P=0,000$ dimana $F_{hitung}>F_{tabel}$ dan $P_{hitung}<P_{tabel}$, Cu100 dengan nilai $F=119,043$ dan $P=0,000$ dimana $F_{hitung}>F_{tabel}$ dan $P_{hitung}<P_{tabel}$, Cu200 dengan nilai $F=1080,000$ dan $P=0,000$ dimana $F_{hitung}>F_{tabel}$ dan $P_{hitung}<P_{tabel}$. Pada minggu kedua antara tanaman kontrol dengan perlakuan Cu10 tidak menunjukkan perbedaan signifikan karena $P_{hitung}>P_{tabel}$ dan $F_{hitung}<F_{tabel}$, sedangkan pada Cu50, Cu100 dan Cu200, masing-masing menunjukkan perbedaan yang signifikan dilihat dari nilai $P_{hitung}<P_{tabel}$ dan $F_{hitung}>F_{tabel}$ dengan nilai $F_{tabel}=5,32$ dan $P_{tabel}=0,05$.

Minggu ke 3

Berdasarkan uji test statistik *One-way* ANOVA menunjukkan bahwa beda potensial listrik tanaman Cu0,04 (kontrol) dibandingkan dengan beda potensial listrik tanaman masing-masing perlakuan yaitu Cu10 dengan nilai $F=10,800$ dan $P=0,011$ dimana $F_{hitung}>F_{tabel}$ dan $P_{hitung}<P_{tabel}$, Cu50 dengan nilai $F=154,133$ dan $P=0,000$ dimana $F_{hitung}>F_{tabel}$ dan $P_{hitung}<P_{tabel}$, Cu100 dengan nilai $F=598,533$ dan $P=0,000$ dimana $F_{hitung}>F_{tabel}$ dan $P_{hitung}<P_{tabel}$, Cu200 dengan nilai $F=832,133$ dan $P=0,000$ dimana $F_{hitung}>F_{tabel}$ dan $P_{hitung}<P_{tabel}$. Pada minggu ketiga antara tanaman Cu0,04 dengan perlakuan Cu10, Cu50, Cu100 dan Cu200, masing-masing menunjukkan

perbedaan signifikan dilihat dari nilai F dan P dimana $P_{hitung} < P_{tabel}$ dan $F_{hitung} > F_{tabel}$ dengan nilai $F_{tabel}=5,32$ dan $P_{tabel}=0,05$.

Minggu ke 4

Pada minggu terakhir, berdasarkan uji test *One-way* ANOVA antara beda potensial kontrol dibandingkan dengan beda potensial tiap perlakuan dan dilihat dari nilai F dan P yang dihasilkan yaitu Cu10, Cu50, Cu100 dan Cu200, masing-masing menunjukkan perbedaan signifikan dengan nilai $P_{hitung} < P_{tabel}$ dan $F_{hitung} > F_{tabel}$ dengan nilai $F_{tabel}=5,32$ dan $P_{tabel}=0,05$. Beda potensial listrik tanaman Cu kontrol dibandingkan dengan beda potensial listrik tanaman masing-masing perlakuan yaitu Cu10 dengan nilai $F=42,250$ dan $P=0,000$ dimana $F_{hitung} > F_{tabel}$ dan $P_{hitung} < P_{tabel}$, Cu50 dengan nilai $F=77,786$ dan $P=0,000$ dimana $F_{hitung} > F_{tabel}$ dan $P_{hitung} < P_{tabel}$, Cu100 dengan nilai $F=126,000$ dan $P=0,000$ dimana $F_{hitung} > F_{tabel}$ dan $P_{hitung} < P_{tabel}$, Cu200 dengan nilai $F=281,667$ dan $P=0,000$ dimana $F_{hitung} > F_{tabel}$ dan $P_{hitung} < P_{tabel}$.

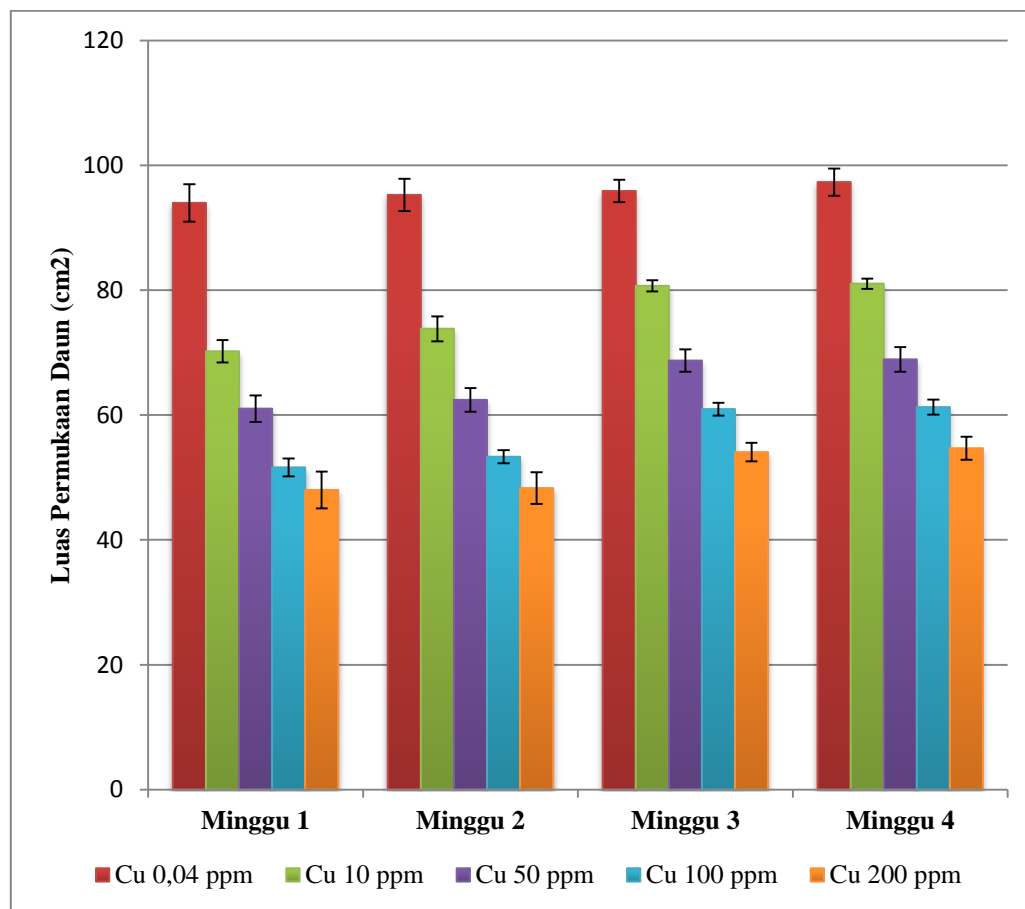
4.1.2 Hasil dan Analisa Data Luas Daun Bawang Merah

Hasil pengukuran dan nilai rata-rata hasil pengukuran beda potensial listrik permukaan daun tanaman dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan grafik nilai beda potensial listriknya dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Tabel 4.3 Nilai rata-rata luas permukaan daun tanaman Bawang Merah \pm standar error (s.e) dari 5 pengulangan yang diberi perlakuan variasi konsentrasi kontrol Cu0,04 ppm, Cu10 ppm, Cu50 ppm, Cu100 ppm, Cu200 ppm

Tanaman	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
	L \pm s.e (cm ²)	L \pm s.e (cm ²)	L \pm s.e (cm ²)	L \pm s.e (cm ²)
Cu 0,04 ppm	86,68 \pm 2,99	95,25 \pm 2,61	100,24 \pm 2,84	97,31 \pm 2,16
Cu 10 ppm	70,2 \pm 1,78	70,83 \pm 3,19	80,68 \pm 0,89	81,03 \pm 0,82
Cu 50 ppm	61,01 \pm 2,11	61,42 \pm 1,91	68,72 \pm 1,78	68,91 \pm 1,98
Cu 100 ppm	51,61 \pm 1,45	53,31 \pm 1,06	60,95 \pm 1,02	61,26 \pm 1,23
Cu 200 ppm	47,99 \pm 2,94	48,29 \pm 2,55	54,05 \pm 1,49	54,68 \pm 1,83

Nilai rata-rata luas daun untuk tanaman kontrol Cu0,04 mempunyai range antara $86,68 \pm 2,99 \text{ cm}^2$ sampai $97,31 \pm 2,16 \text{ cm}^2$, untuk tanaman dengan perlakuan Cu10 memiliki range antara $70,2 \pm 1,78 \text{ cm}^2$ sampai $81,03 \pm 0,82 \text{ cm}^2$, untuk tanaman dengan perlakuan Cu50 memiliki range antara $61,01 \pm 2,11 \text{ cm}^2$ sampai $68,91 \pm 1,98 \text{ cm}^2$, untuk tanaman dengan perlakuan Cu100 memiliki range antara $51,61 \pm 1,45 \text{ cm}^2$ sampai $61,26 \pm 1,23 \text{ cm}^2$ dan untuk tanaman dengan perlakuan Cu200 memiliki range antara $47,99 \pm 2,94 \text{ cm}^2$ sampai $54,68 \pm 1,83 \text{ cm}^2$. Semakin besar konsentrasi tembaga pada media tanamnya maka luas daun juga semakin menurun.



Gambar 4.2 Grafik nilai rata-rata luas permukaan daun tanaman Bawang merah dengan perlakuan yang berbeda dalam tiap minggu dengan standart error masing-masing perlakuan.

Hasil analisa dengan statistik *one-way* ANOVA untuk membedakan luas daun tanaman kontrol dengan perlakuan dapat dilihat pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Data hasil pengukuran luas daun bawang merah menurut analisa data uji statistik *one-way* ANOVA antara tanaman kontrol dengan tanaman perlakuan setiap minggunya

Pengukuran	Perbandingan Tanaman	F	P
Minggu ke-1	Cu0,04 dengan Cu10	58,102	0,000
	Cu0,04 dengan Cu50	101,598	0,000
	Cu0,04 dengan Cu100	203,278	0,000
	Cu0,04 dengan Cu200	150,208	0,000
Minggu ke-2	Cu0,04 dengan Cu10	9,199	0,016
	Cu0,04 dengan Cu50	128,682	0,000
	Cu0,04 dengan Cu100	276,850	0,000
	Cu0,04 dengan Cu200	207,396	0,000
Minggu ke-3	Cu0,04 dengan Cu10	72,489	0,000
	Cu0,04 dengan Cu50	145,235	0,000
	Cu0,04 dengan Cu100	361,810	0,000
	Cu0,04 dengan Cu200	405,116	0,000
Minggu ke-4	Cu0,04 dengan Cu10	61,811	0,000
	Cu0,04 dengan Cu50	117,112	0,000
	Cu0,04 dengan Cu100	262,796	0,000
	Cu0,04 dengan Cu200	282,906	0,000

Berikut adalah analisa data untuk membedakan antara kontrol dengan perlakuan setiap minggunya berdasarkan uji statistik *One-way* ANOVA

Minggu ke 1

Menurut uji test *One-way* ANOVA mengindikasikan bahwa luas daun tanaman Cu kontrol dibandingkan dengan luas daun tanaman masing-masing perlakuan yaitu Cu10 dengan nilai $F=58,102$ dan $P=0,000$ dimana $F_{hitung} > F_{tabel}$ dan $P_{hitung} < P_{tabel}$, Cu50 dengan nilai $F=101,598$ dan $P=0,000$, Cu100 dengan nilai $F=203,278$ dan $P=0,000$ dimana $F_{hitung} > F_{tabel}$ dan $P_{hitung} < P_{tabel}$, Cu200 dengan nilai

$F=150,208$ dan $P=0,000$ dimana $F_{hitung}>F_{tabel}$ dan $P_{hitung}<P_{tabel}$. Pada minggu pertama ini, antara tanaman kontrol dengan perlakuan Cu10, Cu50, Cu100 dan Cu200, masing-masing mempunyai perbedaan signifikan, dilihat dari nilai F dan P yang dihasilkan dimana $P_{hitung}<P_{tabel}$ dan $F_{hitung}>F_{tabel}$ dengan nilai $F_{tabel}=5,32$ dan $P_{tabel}=0,05$.

Minggu ke 2

Berdasarkan uji test *One-way* ANOVA menunjukkan bahwa luas daun tanaman Cu0,04 (kontrol) dibandingkan dengan luas daun tanaman masing-masing perlakuan yaitu Cu10 dengan nilai $F=9,199$ dan $P=0,000$ dimana $F_{hitung}>F_{tabel}$ dan $P_{hitung}<P_{tabel}$, Cu50 dengan nilai $F=128,682$ dan $P=0,000$ dimana $F_{hitung}>F_{tabel}$ dan $P_{hitung}<P_{tabel}$, Cu100 dengan nilai $F=276,850$ dan $P=0,000$ dimana $F_{hitung}>F_{tabel}$ dan $P_{hitung}<P_{tabel}$, Cu200 dengan nilai $F=207,396$ dan $P=0,000$ dimana $F_{hitung}>F_{tabel}$ dan $P_{hitung}<P_{tabel}$. Pada minggu kedua ini, antara tanaman kontrol dengan perlakuan Cu10, Cu50, Cu100 dan Cu200, masing-masing mempunyai beda signifikan dilihat dari nilai F dan P dimana $P_{hitung}<P_{tabel}$ dan $F_{hitung}>F_{tabel}$ dengan nilai $F_{tabel}=5,32$ dan $P_{tabel}=0,05$.

Minggu ke 3

Pada minggu ketiga, berdasarkan uji test *One-way* ANOVA antara luas daun tanaman kontrol dibandingkan dengan luas daun tiap perlakuan dan dilihat dari nilai F dan P yang dihasilkan yaitu Cu10, Cu50, Cu100 dan Cu200, masing-masing menunjukkan perbedaan signifikan dengan nilai $P_{hitung}<P_{tabel}$ dan $F_{hitung}>F_{tabel}$ dengan nilai $F_{tabel}=5,32$ dan $P_{tabel}=0,05$. Luas daun tanaman Cu kontrol dibandingkan dengan luas daun tanaman masing-masing perlakuan yaitu Cu10 dengan nilai $F=72,489$ dan $P=0,000$ dimana $F_{hitung}>F_{tabel}$ dan $P_{hitung}<P_{tabel}$, Cu50 dengan nilai $F=145,235$ dan $P=0,000$ dimana $F_{hitung}>F_{tabel}$ dan $P_{hitung}<P_{tabel}$, Cu100 dengan nilai $F=361,810$ dan $P=0,000$ dimana $F_{hitung}>F_{tabel}$ dan $P_{hitung}<P_{tabel}$, Cu200 dengan nilai $F=405,116$ dan $P=0,000$ dimana $F_{hitung}>F_{tabel}$ dan $P_{hitung}<P_{tabel}$. Pada minggu ketiga, antara tanaman

kontrol dengan perlakuan Cu10, Cu50, Cu100 dan Cu200 mempunyai perbedaan yang signifikan, dilihat dari nilai $P_{hitung} < P_{tabel}$ dan $F_{hitung} > F_{tabel}$ dengan nilai $F_{tabel} = 5,32$ dan $P_{tabel} = 0,05$.

Minggu ke 4

Menurut hasil uji test *One-way* ANOVA menunjukkan bahwa luas daun tanaman Cu 0,04 (kontrol) dibandingkan dengan luas daun tanaman masing-masing perlakuan yaitu Cu10 dengan nilai $F = 61,811$ dan $P = 0,000$ dimana $F_{hitung} > F_{tabel}$ dan $P_{hitung} < P_{tabel}$, dimana Cu50 dengan nilai $F = 117,112$ dan $P = 0,000$ dimana $F_{hitung} > F_{tabel}$ dan $P_{hitung} < P_{tabel}$, Cu100 dengan nilai $F = 262,796$ dan $P = 0,000$ dimana $F_{hitung} > F_{tabel}$ dan $P_{hitung} < P_{tabel}$, Cu200 dengan nilai $F = 282,906$ dan $P = 0,000$ dimana $F_{hitung} > F_{tabel}$ dan $P_{hitung} < P_{tabel}$. Pada minggu keempat, antara tanaman kontrol dengan perlakuan Cu10, Cu50, Cu100 dan Cu200 mempunyai perbedaan signifikan dilihat dari nilai F dan P dimana $P_{hitung} < P_{tabel}$ dan $F_{hitung} > F_{tabel}$ dengan nilai $F_{tabel} = 5,32$ dan $P_{tabel} = 0,05$.

4.1.3 Hasil Pengamatan Visual Tanaman Bawang Merah



Minggu ke-1



Minggu ke-2



Minggu ke-3



Minggu ke-4

Gambar 4.3 Hasil pengamatan visual tanaman bawang merah dengan masing-masing perlakuan Cu dari kiri ke kanan Cu 0,04 ppm, Cu 10 ppm, Cu 50 ppm, Cu 100 ppm, Cu 200 ppm.

Hasil Pengamatan Visual Daun Tanaman Bawang Merah



Minggu 1



Minggu 2



Minggu 3



Minggu 4

Gambar 4.4 Visual daun tanaman bawang merah dengan perlakuan Cu dari kiri ke kanan adalah Cu 200 ppm, Cu 100 ppm, Cu 50 ppm, Cu 10 ppm, Cu 0,04 ppm.

Hasil pengamatan visual daun tanaman bawang merah ditunjukkan pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 pada halaman 54 dan 55. Pada gambar tersebut terlihat bahwasanya gejala visual tanaman bawang merah pada minggu pertama menunjukkan bahwa pada tanaman dengan perlakuan Cu0,04, Cu10 dan Cu50 masih dalam keadaan sehat sedangkan pada tanaman dengan perlakuan Cu100 dan Cu200 pada ujung-ujung daun sedikit menguning.

Pada minggu kedua, tanaman dengan perlakuan Cu0,04 dan Cu10 memiliki daun yang masih berwarna hijau segar. Berbeda dengan perlakuan Cu50 dan Cu100 yang pada bagian ujung daunnya sedikit menampilkan warna kekuningan, sedangkan pada tanaman perlakuan Cu200 pada bagian ujung daunnya sudah berwarna kuning kecoklatan dengan bintik-bintik kuning pada badan daun.

Hasil pengamatan visual pada minggu ketiga, terlihat bahwasannya warna daun pada Cu0,04 dan pada Cu10 masih berwarna hijau. Namun daun pada Cu0,04 berwarna hijau lebih tua dibandingkan dengan daun tanaman Cu10. Sedangkan pada tanaman perlakuan Cu50, Cu100 dan Cu200 masing-masing tanaman memiliki ujung daun yang menguning dan pada bagian badan daun terdapat bintik-bintik kuning dan pada Cu200 memiliki bintik-bintik kuning yang lebih banyak dibandingkan daun perlakuan lainnya.

Berdasarkan pengamatan visual pada minggu terakhir, perlakuan Cu0,04 dan Cu10 memiliki warna hijau tetapi pada tanaman Cu10 terdapat bintik-bintik kuning pada badan daunnya. Pada tanaman Cu50 hingga Cu200 terjadi klorosis (bercak menguning) diantara tulang-tulang daun yang terlihat jelas.

4.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil dan analisis penelitian didapatkan bahwa pemberian perlakuan tembaga dengan kadar ppm berbeda terhadap tanaman bawang merah, memberikan hasil rata-rata nilai beda potensial listrik yang berbeda pula (Tabel 4.1). Perubahan hasil rata-rata beda potensial listrik permukaan daun mengindikasikan adanya efek dari setiap perlakuan terhadap pertumbuhan tanaman. Melalui pengukuran dan hasil analisis didapatkan juga bahwa pemberian perlakuan tembaga berbeda juga menunjukkan nilai rata-rata luas daun yang berbeda pula (Tabel 4.3). Hasil ini juga mengindikasikan bahwa perubahan hasil nilai rata-rata luas daun dapat menjadi indikator pendukung terhadap efek perlakuan tembaga terhadap pertumbuhan tanaman. Pengamatan visual menunjukkan bahwa setiap perlakuan tembaga yang berbeda memberikan efek visual daun bawang merah yang berbeda.

Di dalam penelitian ini telah didapatkan nilai range rata-rata beda potensial listrik permukaan daun tanaman bawang merah untuk pertumbuhan optimal yang berada pada *range* 145 mV-185 mV, dan tanaman dalam kondisi stress Cu yang berada antara 75 mV-87 mV. Pada setiap perlakuan terjadi penurunan beda potensial listrik permukaan daun setiap minggunya, semakin besar konsentrasi tembaga pada media tanamnya maka beda potensial listriknya juga semakin menurun. Apabila dibandingkan dengan tanaman *broadbean* pada penelitian Hariadi dan Shabala (2004) untuk pertumbuhan optimal yang berada pada *range* 120,00 mV-160,00 mV, dan tanaman dalam kondisi stress Mg yang berada antara 40,00 mV-60,00 mV, menunjukkan hasil yang berbeda. Hasil ini berbeda dengan penelitian Hariadi dan Shabala dikarenakan efek perlakuan Cu berbeda dengan efek perlakuan Mg. Selain jenis perlakuan yang digunakan berbeda, jenis tanaman yang digunakan juga berbeda dimana karakteristik setiap tanaman berbeda. Menurut Tisdale (1993), rentang toleransi ini disebabkan karena absorpsi akar, panjang akar, jumlah bulu akar, bentuk logam berat yang tersedia dalam media.

Pada penelitian ini, berdasarkan grafik beda potensial listrik permukaan daun (grafik pada Gambar 4.1) pada minggu pertama terlihat untuk semua perlakuan

mempunyai nilai beda potensial listrik yang berbeda, semakin besar konsentrasi tembaga maka beda potensial listriknya semakin menurun. Pada minggu kedua, terjadi penurunan nilai beda potensial listrik permukaan daun dari masing-masing perlakuan dibandingkan dengan minggu pertama, terkecuali untuk perlakuan Cu100 yang nilai beda potensialnya bertambah naik. Pada minggu ketiga, terjadi penurunan nilai beda potensial listrik permukaan daun dari masing-masing perlakuan dibandingkan minggu sebelumnya, terkecuali untuk perlakuan Cu200 yang nilai beda potensialnya bertambah naik. Pada minggu keempat, nilai beda potensial listrik permukaan daun mengalami penurunan dari minggu sebelumnya (lihat grafik 4.1). Nilai beda potensial listrik terendah terdapat pada minggu keempat, dimungkinkan pada tanaman semakin bertambah umurnya, unsur hara pada media tanam semakin berkurang yang diakibatkan oleh kompetisi atau persaingan antar tanaman. Berdasarkan hasil nilai beda potensial listrik permukaan daun tanaman yang didapatkan pada minggu ke-1, ke-2, ke-3, ke-4 terjadi perbedaan yang signifikan.

Membran plasma memegang peranan penting dalam pengangkutan ion dari lingkungan luar menuju ke dalam sel tanaman. Dengan adanya perubahan transport ion di dalam dan di luar sel menyebabkan adanya aktivitas salah satunya enzim ATPase pada gerbang saluran ion sehingga menimbulkan beda potensial listrik permukaan daun yang berpengaruh terhadap kelangsungan hidup tanaman. Sesuai dengan persamaan Nernst jika konsentrasi ion yang keluar (C_{out}) lebih besar dari pada konsentrasi ion di dalam (C_{in}) berdampak pada beda potensial listrik permukaan daun semakin tinggi (Spalding *et al*, 1992). Menurut penelitian (Marschner *et al*, 1995 dalam Hariadi dan Shabala, 2004) besarnya respon elektrik pada cahaya mengakibatkan memuncaknya beda potensial listrik permukaan daun (lihat Gambar 4.1). Secara umum diketahui bahwa di dalam klorofil terdapat jaringan yang sangat peka terhadap cahaya ditunjukkan dengan kemampuan dapat mengetahui variasi cahaya karena adanya perubahan dalam potensial listrik permukaan daun.

Semakin banyak racun yang telah diserap oleh tanaman maka aktivitas transport ionnya terganggu akibatnya nilai beda potensial listriknya semakin

menurun. Apabila tanaman tidak dapat menahan logam berat yang telah diberikan, tanaman akan mengalami stres yang berat, serta dapat menimbulkan kematian sehingga pada perlakuan ini konsentrasi tembaga mengganggu jalannya aktivitas membran sel terutama pada transport ionnya. Apabila transport ion pada tanaman terganggu maka mempengaruhi fotosintesis seperti pendapat Ouzounidou *et al* (1992) dalam Nicholls dan Mal (2003) jika pengangkutan ion-ion terganggu akan mengganggu aktivitas pada tanaman tersebut yaitu pada proses fotosintesis terutama transport elektron. Transport ion dari lingkungan luar sel menuju ke dalam sel tanaman melalui membran. Sehingga besarnya nilai beda potensial listrik juga dipengaruhi fotosintesis (Nicholls dan Mal, 2003). Hal ini juga tergantung pada faktor yang mempengaruhi laju fotosintesis, misalnya cahaya. Hal ini sependapat dengan Prins *et al.* (1980) yang menyatakan bahwa membran potensial sangat sensitif tergantung banyaknya intensitas cahaya yang digunakan dalam fotosintesis.

Pada tabel hasil uji *one-way* ANOVA (tabel 4.2), pada minggu pertama terjadi beda antara tanaman kontrol dengan semua perlakuan. Pada minggu kedua, antara tanaman kontrol dengan Cu10 tidak terjadi beda signifikan sedangkan antara tanaman kontrol dengan Cu50, Cu100, Cu200, masing-masing mempunyai perbedaan signifikan. Pada minggu ketiga, antara tanaman kontrol dengan semua perlakuan mempunyai beda yang signifikan dan pada minggu keempat juga terjadi perbedaan signifikan antara tanaman kontrol dengan semua perlakuan. Hal ini dikarenakan konsentrasi tembaga yang diberikan sudah semakin banyak dan berpengaruh pada transport ion tanaman bawang merah.

Tembaga (Cu) merupakan salah satu logam berat yang bersifat racun terhadap semua tumbuhan pada konsentrasi larutan diatas 0,1 ppm (Suhendrayatna, 2001). Logam berat yang terserap, menurut Connel & Miller (1995), dapat menyebabkan toksik pada tumbuhan. Kandungan logam berat yang berlebih dapat menyebabkan penurunan pertumbuhan, penurunan produktivitas tanaman, serta dapat menyebabkan kematian. Selain itu adanya logam berat tersebut, menurut Barber dalam Connell & Miller (1995), dapat menyebabkan terbatasnya jumlah fosfor, kalium, dan besi yang

ada di dalam jaringan akar, yang akibatnya akan memperlambat pertumbuhan akar dan perkembangan jaringan meristem. Fitter & Hay (1991) menyatakan bahwa ion logam seperti Cu^{2+} , Zn^{2+} , dan Ni^{2+} dapat mengganggu kerja enzim, sehingga mengganggu proses metabolisme pada tanaman, dan berpengaruh terhadap pembentukan sel-sel dan jaringan tanaman, khususnya pada jaringan meristem. Akibat adanya gangguan kerja pada jaringan meristem, maka akan menghambat pembentukan dan perpanjangan organ tanaman, khususnya batang. Menurut Salisbury dan Ross (1995), Toksisitas Cu dapat menghambat proses fotosintesis dan toksisitas Cu sejalan dengan defisiensi Fe. Defisiensi Fe pada daun akan menyebabkan klorosis pada daun yang ditandai dengan menguningnya daun. Agustina (2004) menyatakan, Berkurangnya proses fotosintesis juga diakibatkan oleh berkurangnya unsur besi karena besi berfungsi sebagai penghasil klorofil.

Konsentrasi tembaga juga mempengaruhi luas permukaan daun karena nilai luas daun antara tanaman kontrol dengan tanaman perlakuan tembaga lainnya terjadi perbedaan yang signifikan. Dari minggu pertama hingga minggu keempat, terlihat bahwasannya semakin besar konsentrasi tembaga maka nilai rata-rata luas permukaan daun tanaman bawang merah semakin menurun. Hal ini dikarenakan telah terjadi akumulasi logam berat. Akibat konsentrasi tembaga yang tinggi, menurut Dwijoseputro (1994), dapat mengurangi pembentukan klorofil yang berakibat terganggunya proses fotosintesis yang akan berpengaruh buruk terhadap jumlah daun dan luas daun. Menurut Sarwono (1994), Menurunnya luas daun dapat dipengaruhi oleh menurunnya kandungan klorofil. Penurunan kandungan klorofil mengakibatkan penurunan laju proses fotosintesis sehingga hasil proses fotosintesis juga berkurang. Terhambatnya asupan hasil fotosintesis kepada sel-sel apikal akan menyebabkan terhambatnya pembelahan dan pemanjangan sel sehingga mempengaruhi pertumbuhan luas permukaan daun (Sembiring dan Endah, 2006).

Berdasarkan uji *One Way* ANOVA pada luas permukaan daun dimana terjadi beda yang signifikan antara tanaman kontrol (Cu0,04) dengan masing-masing perlakuan Cu10, Cu50, Cu100 dan Cu200 yaitu dari minggu pertama hingga minggu

keempat. Sehingga pengukuran luas daun ini juga bisa digunakan sebagai indikator pendukung untuk mengetahui efek tembaga pada tanaman.

Pada minggu pertama secara visual tanaman masih tampak sehat, Pada minggu kedua pada Cu100 dan Cu200 ujung daunnya mulai menguning dan terdapat bintik putih kekuningan pada badan daun. Pada minggu ketiga mulai Cu10 hingga Cu200 terjadi klorosis (bercak menguning) diantara tulang tulang daun, ini terjadi hingga minggu keempat. Menurut Maksymiec (1997), hal ini dikarenakan tembaga bersifat toksis dan pada konsentrasi yang tinggi merusak tilakoid yang merupakan struktur kloroplas. Cook *et al*,1997 dalam Nicholls dan Mal (2003) menambahkan bahwasannya penyerapan tembaga yang berlebihan bersifat racun pada tanaman, sehingga menghambat pertumbuhan tanaman dan klorosis.

BAB 5. PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada tanaman bawang merah diketahui besarnya nilai beda potensial listrik permukaan daun pada tanaman semakin besar konsentrasi tembaga maka potensial listriknya semakin menurun. Berdasarkan hasil nilai beda potensial listrik permukaan daun tanaman yang didapatkan pada minggu ke-1, ke-2, ke-3, ke-4 terjadi perbedaan yang signifikan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat diketahui besarnya nilai rata-rata luas daun bahwasanya semakin besar konsentrasi tembaga maka nilai rata-rata luas permukaan daun tanaman bawang merah semakin menurun. Hasil uji lanjut statistik nilai luas daun antara tanaman kontrol dengan masing-masing *treatment* juga menunjukkan perbedaan yang signifikan.

Pada pengamatan visual warna daun tanaman terlihat tidak ada beda signifikan antara kontrol dan perlakuan perminggunya artinya bahwa pengamatan visual warna daun tidak efektif untuk digunakan sebagai indikator dalam menentukan tanaman yang teracuni Cu untuk berbagai konsentrasi Cu. Sedangkan pengukuran beda potensial listrik permukaan daun sedini mungkin sudah dapat dijadikan indikator adanya efek tembaga berdasarkan nilai beda potensial listrik permukaan daunnya. Sehingga hasil pengamatan luas daun dan gejala visual dapat digunakan sebagai data pendukung pada beda potensial listrik permukaan daun.

5.2 SARAN

Untuk mengetahui lebih dini tanaman yang tidak sehat akibat pencemaran tembaga, sebaiknya menggunakan metode pengukuran beda potensial listrik permukaan daun untuk mendapatkan hasil yang pengukuran lebih efektif dibandingkan pengukuran lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, L. 2004. *Dasar Nutrisi Tanaman*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Akoto, O., Bruce, T. N., Darkol, G. 2008, *Heavy metals pollution profiles in streams serving the Owabi reservoir*, African Journal of Environmental Science and Technology, Vol. 2, No. 11, pp. 354-359. (Diakses tanggal 2 Februari 2011).
- Alloway, B.J. 1990. *Heavy metals in soils*. John Wiley and Sons, Inc. New York, ISBN 0470215984.
- Andrey, 2010. *Peranan Unsur Hara Pada Kelapa Sawit*.
www.andreysubiantoro.jigsy.com (Diakses tanggal 7 April 2011).
- Apandi, M. 1984. *Tekhnologi Buah dan Sayur*. Penerbit Alumni: Bandung.
- Arief, 2011. *Kekurangan Unsur Hara Pada Tanaman*.
pupukcairtunjangria@yahoo.com (Diakses tanggal 23 April 2011).
- Babich, H dan Stotzky, G. 1978. *Effect of Cadmium On The Biota: Influent of Enviromental Factors*. Edv. Appl. Microbiol.
- Bahemuka, T.E. and E.B. Mubofu. 1999. *Heavy metals in edible green vegetables grown along the sites of the Sinza and Msimbazi rivers in Dar es Salaam, Tanzania*. J of food Chemistry. Vol 66(1):63-66. July 1999.
- Baker, K.F. and R.J.Cook. 1983. *Biological Control of Plant Patogens*. The American society. St. Paul, Minnesota.
- Baswarsiati dan Nurbanah, 2009. *Budidaya Bawang Merah dan Penanganan Permasalahannya*. BPTP Jawa Timur. Diakses tanggal 24 Agustus 2011.
- Campbell, Neil A. dkk. 2003. *Biologi*. Jakarta: Erlangga.
- Charlena. 2004. *Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) pada Sayur-sayuran*. Falsafah Sains. Program Pasca Sarjana S3 IPB. Posted tgl 30 Desember 2004. [http:// www.google.co.id](http://www.google.co.id). Diakses tanggal 13 Februari 2011.
- Chiroma, T.M., B.I. Abdulkarim, and H.M. Kefas. 1997. *The impact of pesticide application on heavy metal (Cd, Pb and Cu) levels in Spinach*. Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies. ISSN 1583-1078. Vol 11: 117-122.

- Citra, 2010. *Tanah dan Nutrisi*. [http://pratiwi174.blogspot.com/2011/04/tanah dan nutrisi.html](http://pratiwi174.blogspot.com/2011/04/tanah-dan-nutrisi.html).
- Clark, R.B. 1989. *Marine pollution*. Oxford: Clarendon Press
- Connel, D.W. and Miller, G.J. 1995. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. UI Press Jakarta.
- Darmono. 1995. *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. UI Press: Jakarta.
- Dasamuka, 2010. *Dinding Zulkarnain*.
<http://politikana.com/baca/2010/11/13/dinding-dzulqarnain.html>
- Devlin, Robert M. 1975. *Plant Physiology Third Edition*. New York: D. Van Nostrand.
- Dewi, 1998. *Kajian Pemanfaatan Air Limbah Industri Kawasan Jaten Karanganyar Terhadap Pertumbuhan dan Serapan Logam Berat pada Berbagai Organ Tanaman Padi*. Caraka Tani Vol 13: ISSN 0854-3984.
- Dwidjoseputro, D. 2002. *Pengantar Fisiologi Tumbuhan*. Penerbit PT. Gramedia. Jakarta. Pp. 66-106.
- Edward, 2001. *Kandungan Logam Berat Cu dan Zn dalam Air Laut dan Sedimen Di Perairan Teluk Santong , Pulau Sumbawa NTB*. Jurnal Toksikologi Indonesia vol 2 no.1 48-53. Balitbang Lingkungan Laut P30-LIPI: Jakarta.
- El-Kammar, A. M., Ali, B. H., El-Badry, A.M. 2009. *Environmental Geochemistry of River Nile Bottom Sediments Between Aswan and Isna. Upper Egypt*. Journal of Applied Sciences Research (INSI net Publication). Vol. 5(6). pp. 585-594. *Environment*. Norway : Cabi Publishing.
- Erin, M. B., Hertz-Picciotto, I., and Beaumont, J.J. 2001. *Fetal Deaths Linked to Living Close to Agricultural Pesticide Use During Weeks 3-8 of Pregnancy*. *Epidemiology*, 12(2) : 1-5
- Fitter, H dan Hay, R.K.M. 1991. *Fisiologi Lingkungan Tanaman*. Gajah Mada University Press: Yogyakarta.
- Goldsworthy dan Fisher. 1996. *Fisiologi Tanaman Budidaya Tropik*. Gajah Mada. University Press: Yogyakarta.

- Gottsching, L. & Pakarinen, H. 2000. *Recycled Fiber and Deinking*. Finland : Papermaking Science and Technology.
- Hariadi, Y dan Shabala, S. 2004a. *Screening Broad Bean (Vicia faba) for Magnesium Deficiency I. Visual Deficiency Symptoms and Plant Nutrition Status*. Continuing Australia Journal Of Plant Physiology **31**(5): 529-537.
- Hariadi, Y dan Shabala, S. 2004b. *Screening Broad Bean (Vicia faba) for Magnesium Deficiency II. Photosynthetic Performance and leafbioelectrical Responses*. Australia: *Fungsional Plant Biology* **31**: 539-549.
- Hutagalung, H.P. 1991. *Pencemaran Laut Oleh Logam Berat*. Puslitbang Oceanologi. Status Pencemaran Laut dan Teknik Pemantaunya. LIPI: Jakarta.
- Irawati. 2009. *Efek Tembaga (Cu) Terhadap Beda Potensial Listrik Permukaan Daun Kangkung*. Jember: FMIPA Universitas Jember.
- Ismail, 2008. *Fisiologi Tumbuhan*. Makassar: UNM
- Katriani M, Ramly dan Jumriah, 2003. *Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kacang Tanah pada Berbagai Dosis Bokashi Pupuk Kandang Ayam*. J. Agrivigor **3** (2) : 128-135.
- Kimball.J.K.1983. *Biologi Jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- Klein, D.A dan Trayer, J.S. 1995. *Interaction Between Soils Micronial Community and Organomettalic Compaunds*. Marcell Dekker Inc: New York and Bassel.
- Kundari, 2008. *Tinjauan Kesetimbangan Adsorpsi Tembaga dalam Limbah Pencuci PCB dengan Zeolit*. Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta, 25-26 Agustus 2008. ISSN 1978-0176.
- Lahuddin, 2007. *Aspek Unsur Mikro Dalam Tanah*. Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar Tetap. Universitas Sumatra Utara.
- Lakitan, B. 2004. *Dasar-dasar fisiologi Tumbuhan*. Jakarta : Penerbit PT. Raja Grafindo Persada.
- Lasat, M.M. 2003. *The Use of Plants for the Removal of Toxic Metals from Contaminated Soil*. American Association for the Advancement of Science Environmental Science and Engineering Fellow.
- Lehninger, A.L. 1993. *Dasar-dasar Biokimia*. Penerbit Erlangga: Jakarta.

- Leonard, J. 1983. *Physiological Functions of Mineral*. Academy Press Inc: New York.
- Luncang. 2005. *Ekosistem Wilayah Pesisir*. Lintas Koservasi. [http://.mailto \[project email\]. com](http://.mailto[projectemail].com) (8 Maret 2011).
- Maksymiec. 1997. *Effect Of Cooper On Cellular Proseses In Higher Plants*. *Photoshytetica* **34** (3): 321-342.
- Merian, E.1994. *Toxic Metal In The Environment*. VCH Verlagsgeselischatt mbh: Weinheim.
- Millarr, A.H. and J. L. Heazlewood, 2003. *Genomic and Proteomic Analysis of Mitochondrial Carrier Proteins in Aradobsis*. *Plant Physiology*. **4** (2): 45-54.
- Muchtadi, T dan Sugiono. 1992. *Petunjuk laboratorium Pengetahuan Bahan Pangan*. Pusat Antar Universitas Pangan Gizi: Bogor.
- Muchuweti. M., J.W. Birkett, E. Chinyanga, R. Zvauya, M.D. Scrimshaw and J.N. Lester. 2004. *Heavy metal content of vegetables irrigated with mixtures of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: Implications for human health*. *J. of Agriculture, Ecosystem & Environment*, **112** (1): 41-48.
- Nicholls, Aand T.K.Mal. 2003. *Effects of Lead and Cooper exposure on Growth of An Invasive Weed, Lythrum Salicaria L. (Purple Loosestrife)*. *Ohio journal Of Science*, Vol.**103** (5), pp. 129-133.
- Notodarmojo, S. 2005. *Pencemaran Media dan Air Media*. Penerbit ITB.
- Palar, H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. PT Rineka. Jakarta.
- Pitojo, Setijo. 2003. *Penangkaran Benih Bawang Merah*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Plantus, 2010. *Kebun Sayur di Pinggir Jalan Berbahaya*. <http://anekaplanta.wordpress.com> (Diakses 8 Juni 2011).
- Prins, H. B. A.,Harper,J. R., Higinbotham, N. 1980. *Membran Potentials of Valisneria Leaf Cell and Their Relation to Photosyntesis*. *Journal of Plant Physiologi* **65**: 1-5.

- Priyanto, B.; Priyatno, J. *Fitoremediasi sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khusus Logam Berat*.
<http://lfl.bppt.tripod.com/sublab/lflora.htm>. [8/4/2011].
- PT. Kertas Leces, 2010. *Kebijakan Lingkungan*.
http://www.kertasleces.co.id/index.php?option=com_content&view=article&id=3&Itemid=77&lang=id (Diakses tgl 13-04-2011).
- Raven, Peter H, Ray F. Evert, Susan EE. 2005. *Biology of Plants*, 7th Edition. New York: W.H. Freeman and Company Publishers. Hal. 119-127.
- Rosmarkam, A dan Nasih W.Y. 2002. *Ilmu Kesuburan Tanah*. Penerbit Kanisius: Yogyakarta.
- Rossiana, Nia. 2004. *Penurunan Kandungan Logam Berat dan Pertumbuhan Tanaman Sengon (Paraserianthes falcataria l (Nielsen) Bermikoriza dalam Medium Limbah Lumpur Minyak hasil Ekstraksi*. FMIPA Padjadjaran: Bandung.
- Rukmana, R. 1994. *Bawang Merah: Budidaya dan Pengelolaan Pascapanen*. Penerbit Kanisius, Yogyakarta. 72p.
- Sabala, S dan Hariadi, Y. 2005. Effect of Magnesium Availability on the Activity of Plasma membrane ion transporters and Light Induced Responses from Broad Bean Leaf Mesophyll. Australia: *Planta* **221**:56-65.
- Saeni, M. S. 1989. *Kimia Lingkungan*. Pusat Antar Universitas Ilmu Hayati. IPB: Bogor.
- Saeni. 1997. *Penentuan Tingkat Pencemaran Logam Berat Dengan Analisis Rambut*. Orasi Ilmiah. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam IPB. Bogor.
- Sagita, W.A. 2002. *Uji Kemampuan Akumulasi Logam Kadmium dar Media oleh Rumput Gagajahan (Panicum maximum Jacq)*. Skripsi S1 Biologi ITB.
- Salisbury, Frank B. dan Ross, Cleon W. 1995. *Fisiologi Tumbuhan*. Bandung: ITB.
- Sarwono, Hardjowigeno. 1995. *Ilmu Tanah*. Penerbit Akademia Pressindo. Jakarta
- Schreinemachers, D. M. 2003. *Birth Defects Higher in Babies Born to Families Living near Farming Areas using Pesticides*. Environmental Health Perspectives Volume **111**(9):1259-1264

- Sembiring, S dan Endah, S. 2006. *Akumulasi Pb dan Pengaruhnya pada Kondisi daun Swietenia Macrophylus King*.
http://www.sith.itb.ac.id/profile/databuendah/publications/7.%Ebinthalina_IA_TPI2006.pdf (diakses 15 Oktober 2011)
- Shingles, R. Larry E. Wimmer, Richard E Mc Carty. 2004. *Cooper Transport Across Pea Thylakoid Membranes*. *Plant Physiology*, Vol.135, pp: 145-151.
- Sihotang, Benidiktus. 2010. *Budidaya Bawang Merah*.
http://www.ideelok.com/budidaya_tanaman/bawang_merah (Diakses 2 Juli 2011).
- Sitompul, S.N & B. Guritno. 1995. *Analisis Pertumbuhan Tanaman*. Universitas Gadjah Mada Press. Yogyakarta.
- Smith, D.B. 1982. *Heavy Metals and Degenerative Disease*. Didalam John Rose. 1982. *Nutrition and Killer Disease*. Noyes Publication. Park Ridge. New Jersey.
- Soemirat, J. 2003. *Toksikologi Lingkungan*. Gajah Mada University Press: Yogyakarta.
- Spalding, E. P., Slayman, C. L., Goldsmith, M. H. M., Gradmann, D., Bertl, A. 1992. *Ion Channel In Arabidopsis Plasma Membrane*. *Journal of Plant Physiology* **99**: 96-102.
- Suara Merdeka, 2004. *Karanganyar Tercemar Logam Berat*
<http://m.suaramerdeka.com> (Diakses tgl 13-04-2011).
- Suhendrayatna. 2001. *Bioremoval Logam Berat dengan Menggunakan Mikroorganisme: Suatu Kajian Kepustakaan*
<http://www.shatybio.transdigit.com>. Diakses tgl 18 Oktober 2011).
- Sumitro, 2010. *Budidaya Bawang Merah dan Penanganan Permasalahannya*.
<http://mitrobawang.blogspot.com> (Diakses 17 Oktober 2011).
- Supriati dan Herliana, 2010. *Bertanam 15 sayuran Organik dalam Pot*. Penebar Swadaya: Jakarta.
- Supriharyono, 2000. *Pelestarian dan Pengelolaan Sumber Daya Alam di Wilayah Pesisir Tropis*. Gramedia Pustaka Utama: Jakarta.

- Suseno, S. 1993. *Lidah Buaya Penyembuh Luka di Amerika*. Majalah Trubus November 1993. No. 42.
- Susila, Anas. 2006. *Panduan Budidaya Tanaman Sayuran*. Bagian Produksi Tanaman Departemen Agronomi dan Pertanian. Institut Pertanian Bogor: Bogor.
- Tisdale, S.L., W.L. Nelson, J.D. Beaton, and J.L. Havlin. 1993. *Soil Fertility and Fertilizers, 5th ed.* Macmillan Publishing Co., New York, NY, USA.
- Tomulescu, I.M., Edith Mihaela Radoviciul, Vasilica Viorica Merca, Adela Dana Tuduce. 2004. *Effect Of Cooper, Zinc and Lead and Their Combination On The Germination Capacity Of Two Cereals*. Journal Of Agricultural Sciences.
- Utoro, Putut. 2008. *Unsur Hara Tanaman*.
www.Minimax.com (Diakses tgl 12 maret 2011)
- Vassilev, Lidon. F, Ramalho. J. C., Do Ceu matos. M, Da Graca. 2003. *Effect of Excess Cu On Growth And Photosynthesis Of Barley Plants. Implication With a Screening Test For Cu Tolerance*. Journal Of Central European Agriculture, Vol. 4(2003) No:3.
- Wahyanto, Toto. 2003. *Pengaruh Konsentrasi IAA dan BA terhadap Pertumbuhan Eksplan Bawang Merah (Allium Ascalonicum l.) secara In Vitro*. Universitas Sebelas Maret: Solo.
- Warianto, Chaidar. 2011. *Unsur dalam Metabolisme Tubuh Manusia*
<http://yukiicettea.blogspot.com/2009/12/biochemistry-tembaga-cu.html>
(Diakses tgl 9 April 2011)
- Wild, A. 1995. *Soils and The Environment: An Introduction*. Cambridge University Press: Great Britain.
- Wilkins. 1969. *Fisiologi Tanaman*. Jakarta: Bina Angkasa.
- Zakaria, B., 1999. *Aktivitas Fotosintesis dan Rubisco Tanaman yang Diberi Metanol pada Berbagai Tingkat Cekaman Air*. Kasus pada Tanaman Kapas di Lahan Sawah Tadah Hujan. Pascasarjana: Makassar.
- Ziddu, 2010. *Nutrisi Tanaman*.
<http://membangunkebunkelapasawit.webs.com/nutrisitanaman.htm> (Diakses tgl 20-03-2011)