



**PENGARUH RADIASI *EXTREMELY LOW FREQUENCY*  
*MAGNETIC FIELD* TERHADAP DAYA HANTAR LISTRIK  
(NILAI pH) SEBAGAI INDIKATOR KADALUARSA  
EDAMAME**

**SKRIPSI**

Oleh

**Emi Ariyani**

**NIM 150210102079**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA  
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2019**



**PENGARUH RADIASI *EXTREMELY LOW FREQUENCY*  
*MAGNETIC FIELD* TERHADAP DAYA HANTAR LISTRIK  
(NILAI pH) SEBAGAI INDIKATOR KADALUARSA  
EDAMAME**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir salah satu syarat untuk menyelesaikan  
program studi pendidikan fisika (S1)  
dan mencapai gelar sarjana

Oleh:

**Emi Ariyani**

**NIM 150210102079**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA  
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2019**

## PERSEMBAHAN

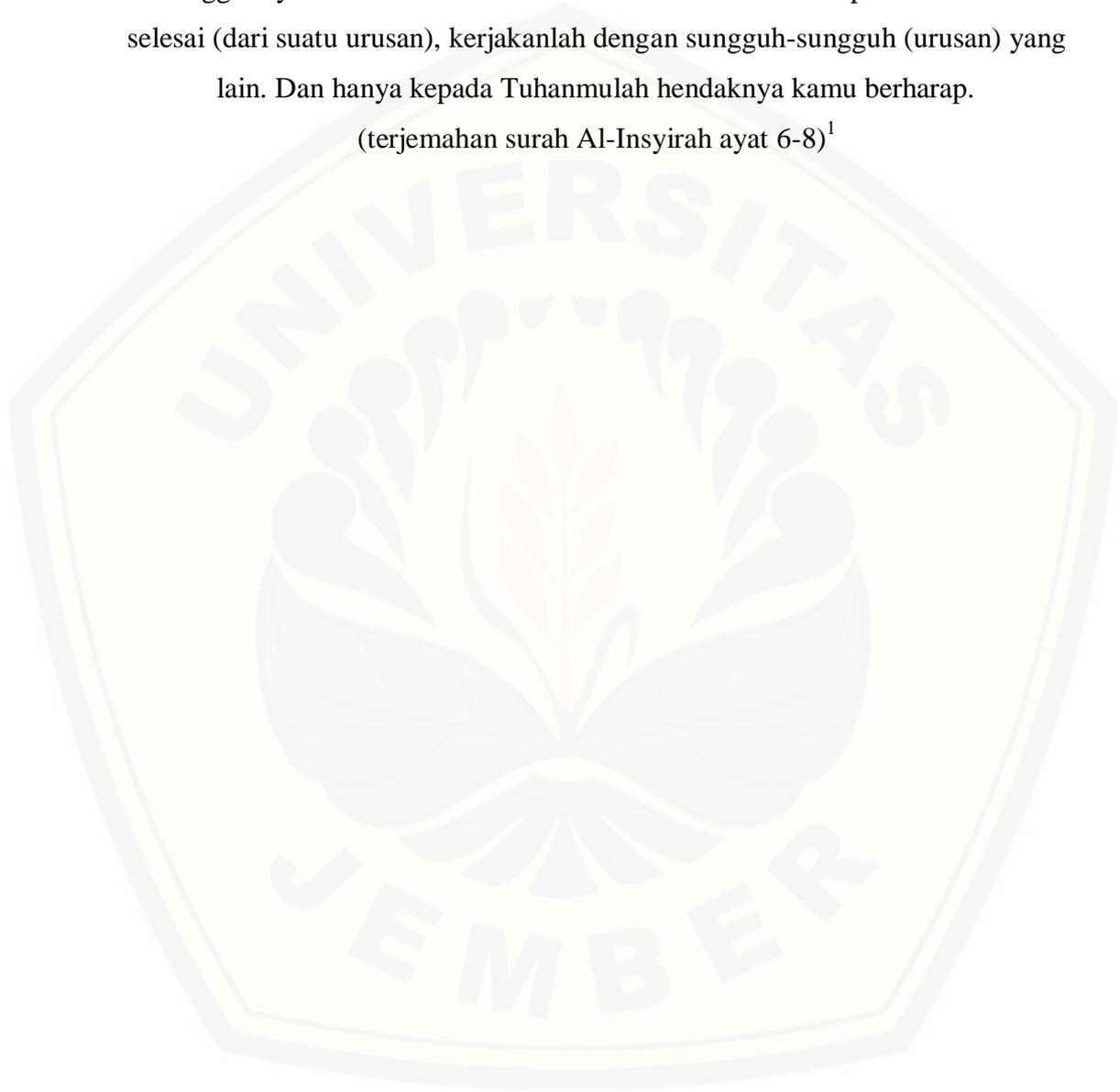
Saya persembahkan skripsi ini untuk:

1. Ibunda Nuraini, Ayahanda Abdurrahman, kakakku Hafifa dan Durotul Qomariyah, serta seluruh keluargaku tercinta. Terimakasih atas segala doa, kasih sayang, dan dukungan yang selalu mengiringi setiap langkahku dalam menuntut ilmu;
2. Guru-guru sejak TK hingga SMA serta dosen-dosenku yang dengan ikhlas telah membimbing dan memberikan ilmu;
3. Kemenristekdikti yang telah mendukung penuh pendidikan sarjana saya melalui program BIDIK MISI
4. Almamater Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;

### MOTTO

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain. Dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap.

(terjemahan surah Al-Insyirah ayat 6-8)<sup>1</sup>



---

\*) Lajnah Pentashih Mushaf Al-Qur'an Departemen Agama Republik Indonesia. 2007. *Al-Qur'an Dan Terjemahannya Special for Woman*. Jakarta: Sy9ma Creative Media Corp.

**PERNYATAAN**

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Emi Ariyani

NIM :150210102079

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi saya yang berjudul “Pengaruh Radiasi *Extremely Low Frequency Magnetic Field* terhadap Daya Hantar Listrik (Nilai pH) sebagai Indikator Kadaluarsa Edamame” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada instansi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 29 Mei 2019

Yang menyatakan,

Emi Ariyani

NIM 150210102079

**SKRIPSI**

**PENGARUH RADIASI *EXTREMELY LOW FREQUENCY*  
*MAGNETIC FIELD* TERHADAP DAYA HANTAR LISTRIK  
(NILAI pH) SEBAGAI INDIKATOR KADALUARSA  
EDAMAME**

Oleh

Emi Ariyani

NIM 150210102079

Pembimbing:

Pembimbing I : Dr. Sudarti, M.Kes

Pembimbing II : Dr. Sri Handono Budi P., M.Si

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Pengaruh Radiasi *Extremely Low Frequency Magnetic field* terhadap Daya Hantar Listrik (Nilai pH) sebagai Indikator Kedaluarsa Edamame” karya Emi Ariyani telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Rabu, 29 Mei 2019

tempat : Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Sekretaris,

**Dr. Sudarti, M.Kes**  
NIP. 19620123 198802 2 001

**Dr. Sri Handono Budi P., M.Si**  
NIP. 19641230 199320 1 001

Anggota I,

Anggota II,

**Drs. Bambang Supriadi, M.Sc**  
NIP. 19680710 199302 1 001

**Drs. Singgih Bektiarso, M.Pd**  
NIP. 19610824 198601 1 001

Mengesahkan

Dekan,

**Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D**  
NIP. 19680802 199303 1 004

## RINGKASAN

**Pengaruh Radiasi *Extremely Low Frequency Magnetic Field* terhadap Daya Hantar Listrik (Nilai pH) sebagai Indikator Kadaluarsa Edamame;** Emi Ariyani; 150210102079; 94 Halaman; Program Studi Pendidikan Fisika; Jurusan Pendidikan MIPA; Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan universitas Jember.

Perkembangan teknologi menyebabkan semakin meningkatnya penggunaan alat-alat elektronik dalam kehidupan sehari-hari. Hal ini secara tidak langsung mempengaruhi peningkatan intensitas radiasi gelombang elektromagnetik dalam berbagai frekuensi, salah satunya adalah *Extremely Low Frequency (ELF)*. Gelombang elektromagnetik jenis ini banyak dihasilkan oleh penggunaan peralatan listrik yang menggunakan prinsip arus AC. *Extremely Low Frequency (ELF)* berada pada frekuensi antara 0 hingga 300 Hz. Hal ini membuat banyak penelitian dari berbagai bidang yang dilakukan untuk mengkaji efek dari medan magnet ELF diantaranya adalah bidang kedokteran, pertanian, dan pangan. Bahkan, peneliti mulai mengkaji pengaruh dari pemberian radiasi medan magnet ELF dengan intensitas 800  $\mu\text{T}$  dan 1000  $\mu\text{T}$  terhadap Daya Hantar Listrik edamame, pH edamame, dan kualitas fisik (warna, aroma, dan lendir) edamame sebagai indikator kadaluarsa edamame. Sehingga, hal ini dapat berpengaruh terhadap peningkatan teknologi pengawetan pada bahan pangan hasil pertanian yang memiliki masa simpan yang relatif rendah apabila disimpan pada suhu ruang.

Jenis penelitian yang digunakan adalah jenis penelitian eksperimen dengan desain penelitian *randomized subjects post test only control group design* yang terdiri dari kelompok kontrol dan kelompok eksperimen. Kelompok eksperimen pada penelitian ini merupakan kelompok yang diberi perlakuan berupa paparan medan magnet ELF terbagi menjadi dua kelompok yakni kelompok eksperimen I (800  $\mu\text{T}$ ) dan kelompok eksperimen II (1000  $\mu\text{T}$ ) masing-masing kelompok dipapar selama 30 menit dan 60 menit. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium ELF Pendidikan Fisika Universitas Jember dan di Laboratorium Biokimia Program Studi Kimia Universitas Jember.

Kualitas edamame dapat dilihat dari kondisi fisik dan sifat fisiknya. Kondisi fisik edamame bisa dilihat dari pengamatan kondisi fisik warna, aroma, serta lendir dan uap airnya. Sedangkan, sifat fisiknya dapat dilihat dari pH dan daya hantar listriknya. Semakin lama penyimpanan edamame maka akan mengalami penurunan kualitas kondisi fisik maupun sifat fisiknya. Begitu juga dengan sifat fisiknya semakin lama penyimpanan maka tingkat keasamannya relatif meningkat akibat produksi asam pada proses pembusukan. Peningkatan keasaman ini mengakibatkan nilai pH edamame mengalami penurunan sehingga produksi ion  $H^+$  meningkat, penambahan ion ini tentunya mengakibatkan ion-ion yang sebelumnya sudah terkandung dalam bahan juga akan mengalami penambahan sehingga nilai daya hantar listrik (DHL) bahan akan meningkat. Dengan adanya teknologi penghasil medan magnet ELF arus induksi yang dihasilkan akan menghambat produksi bakteri asam karena arus induksi ini mampu menyebabkan perubahan kecepatan gerakan ion  $Ca^{2+}$  ekstraseluler melewati membran sel. Apabila jumlah ion  $Ca^{2+}$  masuk ke dalam sel berlebihan atau kurang dari jumlah yang dibutuhkan oleh sel maka akan dapat menghambat pertumbuhan sel atau bahkan menyebabkan kerusakan pada sel. Selain itu, ELF juga berpengaruh terhadap aktivitas air di dalam sel.

Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui bahwa sifat fisik yakni nilai pH dan kondisi fisik edamame mengalami penurunan pada setiap pemeriksaannya. Sedangkan, nilai DHL edamame mengalami kenaikan pada setiap pengukurannya. Semakin besar intensitas ( $\geq 700 \mu T$  hingga  $1000 \mu T$ ) dan lama paparan medan magnet ELF berpengaruh terhadap perubahan sifat fisik dan kondisi fisik dari edamame. Semakin besar intensitas ( $\geq 700 \mu T$  hingga  $1000 \mu T$ ) dan lama paparan medan magnet ELF semakin menekan penurunan nilai pH dan menekan kenaikan nilai DHL edamame. Begitu juga dengan kondisi fisiknya, semakin besar intensitas dan lama paparan medan magnet ELF semakin baik kondisi fisiknya dibandingkan dengan kelompok kontrol.

## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Radiasi *Extremely Low Frequency Magnetic Field* terhadap Daya Hantar Listrik (Nilai pH) sebagai Indikator Kadaluarsa Edamame”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Prof. Drs. Dafik, M.Sc.,Ph.D., selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan,
2. Dr. Dwi Wahyuni, M.Kes., selaku ketua Jurusan Pendidikan MIPA,
3. Drs. Bambang Supriadi, M.Sc., selaku Ketua Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Jember;
4. Drs. Trapsilo Prihandono, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik;
5. Dosen Pembimbing Utama, Dr. Sudarti, M.Kes., dan Dosen Pembimbing Anggota, Dr. Sri Handono Budi Prastowo, M.Si., yang telah meluangkan waktu, pikiran, perhatian, dan pengarahan demi terselesainya skripsi ini;
6. Dosen Penguji Utama, Drs. Bambang Supriadi, M.Sc., dan Dosen Penguji Anggota, Drs. Singgih Bektiarso, M.Pd., yang telah memberikan saran dan masukan yang bermanfaat;
7. Drs. Alex Harijanto, M.Si., selaku Kepala Laboratorium dan Erni Midiawati, S.Si. selaku Laboran yang telah memberikan izin dalam peminjaman alat untuk penelitian;
8. Bapak Edy Zen Yuliantoko selaku bagian divisi *Quality Assurance* PT. Mitratani Dua Tujuh jember yang telah mengizinkan dan membantu penulis untuk menggunakan edamame produksi PT. Mitra Tani Dua Tujuh jember sebagai bahan utama penelitian ini;
9. Ibunda Nuraini, Ayahanda Abdur Rahman, kakakku Hafifa dan Durotul Qomariyah, keponakanku tersayang Bilqhis, Feby, Qaiz, Elsy, serta seluruh

keluargaku tercinta. Terimakasih atas segala doa, kasih sayang, dan dukungan yang selalu mengiringi setiap langkahku dalam menuntut ilmu;

10. Guru-guru sejak TK hingga SMA serta dosen-dosenku yang dengan ikhlas telah membimbing dan memberikan ilmu;
11. Kemenristekdikti yang telah mendukung penuh pendidikan sarjana saya melalui program BIDIK MISI
12. Teman-temanku Ainun, Dini, Nelly, Silvi, Yunita, Sulam, Fiona, Mbak Ifah, Mbak Riska ,dan Mbak Umay yang telah menjadi penyemangat ketika lelah;
13. Teman-teman seperjuangan Pendidikan Fisika angkatan 2015 semoga kita senantiasa selalu dalam lindungan-Nya;
14. Semua pihak yang membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Besar harapan penulis apabila segenap pembaca memberikan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Jember, Mei 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN MOTTO .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PEMBIMBINGAN .....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>vi</b>
<b>RINGKASAN.....</b>	<b>vii</b>
<b>PRAKATA .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	5
1.4 Manfaat Penelitian .....	5
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Gelombang Elektromagnetik .....	6
2.1.1 Definisi Gelombang Elektromagnetik .....	6
2.1.2 Medan Magnet dan Medan Listrik .....	7
2.1.3 Persamaan Maxwel tentang Gelombang Elektromagnetik .....	9
2.2 Gelombang Elektromagnetik <i>Extremely low frequency</i> (ELF).....	13
2.2.1 Definisi Gelombang Elektromagnetik <i>Extremely low frequency</i> (ELF) .....	13
2.2.2 Karakteristik Gelombang Elektromagnetik ELF.....	14
2.3 Daya Hantar Listrik .....	15
2.4 Edamame .....	20
2.5 Derajat Keasaman (pH) .....	23
2.6 Masa simpan .....	24
2.7 Pemanfaatan Medan Magnet dalam Bidang Pangan .....	25
2.8 Kerangka Konseptual .....	28
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	30

3.2 Jenis dan Desain Penelitian.....	30
3.2.1 Jenis Penelitian .....	30
3.2.2 Desain Penelitian .....	31
3.3 Variabel Penelitian .....	34
3.2.1 Klasifikasi Variabel Penelitian .....	34
3.2.2 Definisi Operasional Variabel Penelitian.....	34
3.4 Alat dan Bahan .....	35
3.5 Populasi dan Sampel Penelitian .....	35
3.5.1 Klasifikasi Variabel Penelitian .....	35
3.5.2 Sampel Penelitian .....	36
3.6 Teknik Pengumpulan Data.....	36
3.7 Prosedur Penelitian .....	38
3.7.1 Tahap Persiapan.....	38
3.7.2 Tahap Perlakuan .....	39
3.7.3 Tahap Penyimpanan.....	40
3.7.4 Flowchart Prosedur Penelitian.....	41
3.8 Teknik Penyajian Data .....	42
3.9 Teknik Analisis Data .....	42
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Hasil Penelitian .....	44
4.1.1 Deskripsi Data Hasil Pemeriksaan pH Edamame .....	45
4.1.2 Deskripsi Data Hasil Pemeriksaan DHL Edamame .....	48
4.1.3 Deskripsi Data Pemeriksaan Kondisi Fisik Edamame .....	52
4.2 Hasil Analisis Data .....	60
4.2.1 Analisis Data pH Edamame .....	60
4.2.2 Pengaruh pH edamame terhadap Daya Hantar Listrik Edamame .....	63
4.2.3 Analisis Data Kondisi Fisik Edamame .....	65
4.3 Pembahasan .....	69
<b>BAB 5. PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan .....	75
5.2 Saran .....	76
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>77</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>81</b>

**DAFTAR TABEL**

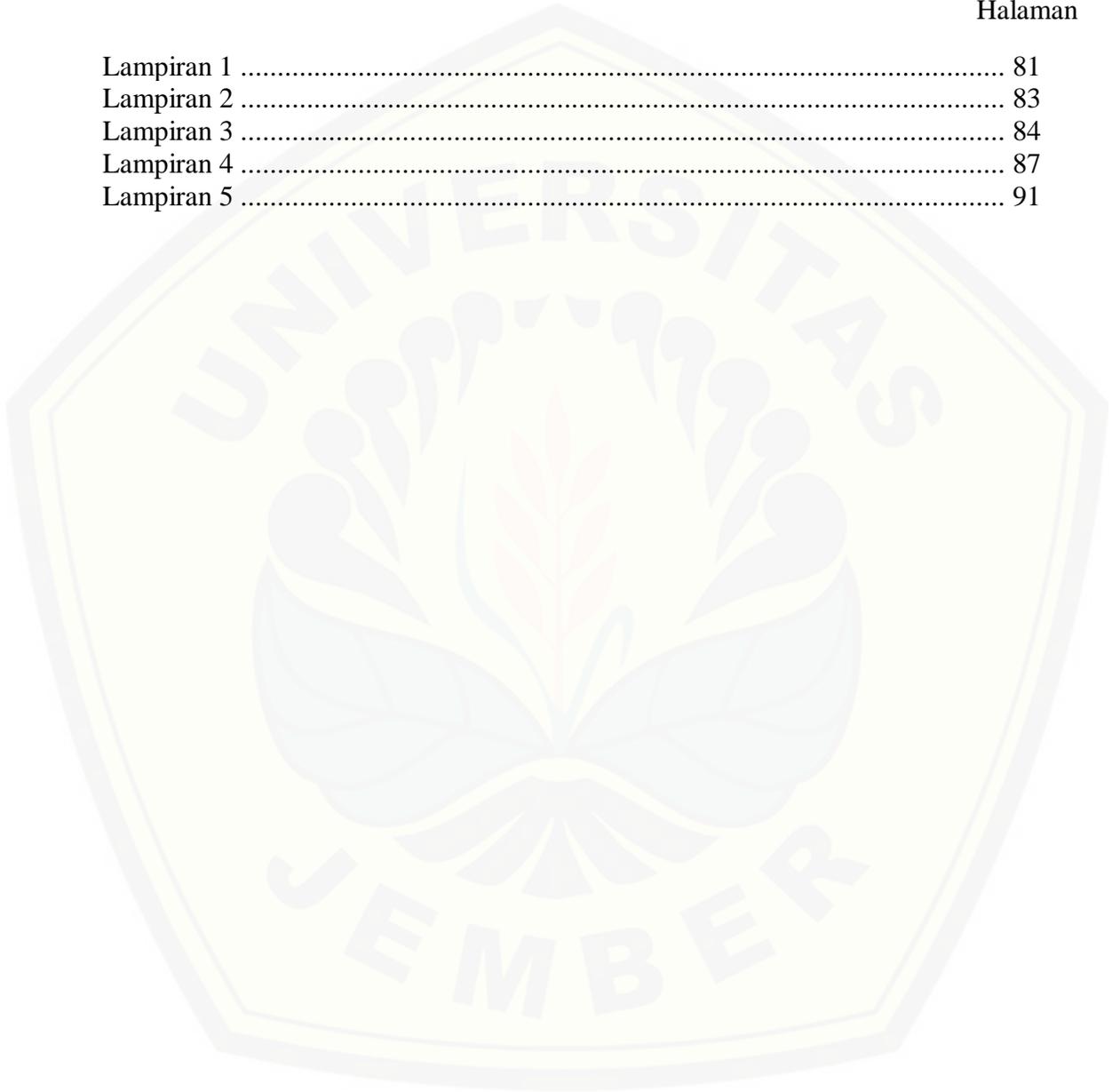
	Halaman
2.1 Karakteristik Medan Listrik dan Medan Magnet .....	8
2.2 Penelitian terdahulu tentang pemanfaatan medan magnet ELF dalam bidang pangan.....	24
3.1 Data hasil penelitian.....	43
4.1 Rata-rata pH edamame kelompok kontrol pada pemeriksaan ke-1 .....	45
4.2 Rata-rata pH edamame kelompok kontrol dan eksperimen pada pemeriksaan pada hari ke-4, ke7, dan ke-10 .....	46
4.3 Rata-rata DHL edamame kelompok kontrol pada pemeriksaan ke-1 .....	49
4.4 Rata-rata DHL edamame kelompok kontrol dan eksperimen pada pemeriksaan pada hari ke-4, ke7, dan ke-10 .....	49
4.5 Rata-rata warna edamame kelompok kontrol pada pemeriksaan ke-1 .....	53
4.6 Rata-rata warna edamame kelompok kontrol dan eksperimen pada pemeriksaan pada hari ke-4, ke7, dan ke-10 .....	53
4.7 Rata-rata lendir edamame kelompok kontrol pada pemeriksaan ke-1 .....	56
4.8 Rata-rata lendir edamame kelompok kontrol dan eksperimen pada pemeriksaan pada hari ke-4, ke7, dan ke-10 .....	56
4.9 Rata-rata aroma edamame kelompok kontrol pada pemeriksaan ke-1 .....	58
4.10 Rata-rata aroma edamame kelompok kontrol dan eksperimen pada pemeriksaan pada hari ke-4, ke7, dan ke-10 .....	58
4.11 Hasil uji normalitas menggunakan uji <i>Nonparametric Test One Sample K-S</i> .....	60
4.12 Hasil uji <i>One Way Anova</i> .....	61
4.13 Hasil uji <i>Anova Multiple Comparisons Post Hoc</i> .....	62
4.14 Hasil uji regresi linear hasil nilai pH Edamame terhadap DHL edamame .	64

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Perambatan gelombang elektromagnetik yang terdiri dari medan listrik $\vec{E}$ dan medan magnet $\vec{B}$ .....	8
2.2 Edamame segar .....	20
2.3 Kerangka konseptual paparan medan magnet ELF terhadap edamame .....	29
3.1 Desain Penelitian .....	31
3.2 <i>Conductivity Meter</i> .....	37
3.3 <i>ELF Magnetic Field Sources</i> .....	39
3.4 <i>EMF Tester</i> .....	40
3.5 Alur Penelitian .....	42
4.1 Diagram pengaruh paparan medan magnet ELF terhadap pH edamame pada H+4 setelah panen .....	46
4.2 Diagram pengaruh paparan medan magnet ELF terhadap pH edamame pada H+7 setelah panen .....	47
4.3 Diagram pengaruh paparan medan magnet ELF terhadap pH edamame pada H+10 setelah panen .....	50
4.4 Diagram DHL edamame pada H+4 setelah panen .....	51
4.5 Diagram DHL edamame pada H+7 setelah panen .....	52
4.6 Diagram DHL edamame pada H+10 setelah panen .....	50
4.7 Diagram hasil pengukuran warna kulit edamame .....	54
4.8 Diagram hasil pemeriksaan lendir edamame .....	56
4.9 Diagram hasil pemeriksaan aroma edamame .....	58

**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
Lampiran 1 .....	81
Lampiran 2 .....	83
Lampiran 3 .....	84
Lampiran 4 .....	87
Lampiran 5 .....	91



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang yang diakibatkan oleh adanya perubahan medan listrik dan medan magnetik. Radiasi gelombang elektromagnetik terbagi menjadi beberapa kelompok, mulai dari frekuensi yang sangat rendah (*extremely low*) hingga frekuensi yang sangat tinggi (*extremely high*). Arus listrik DC atau arus listrik bolak-balik dalam peralatan elektronik menghasilkan medan elektromagnetik ELF dengan rentang frekuensi 0-300 Hz (Baafai, 2004).

Radiasi merupakan salah satu cara perpindahan energi yang berasal dari suatu sistem yang menjadi sumber energi ke lingkungan sistem. Radiasi medan magnet ELF merupakan salah satu bagian dari spektrum gelombang elektromagnetik pada rentang frekuensi 0 hingga 300 Hz, salah satu karakteristiknya yaitu *non ionizing radiation*. Energi medan magnet ELF yang sangat kecil menyebabkan radiasi ini bersifat *non thermal* ketika berinteraksi dengan sistem lainnya, selain itu karakteristik lainnya yaitu medan magnet ELF hampir dapat menembus benda apapun dan memiliki banyak manfaat (World Health Organization, 2007).

Pemanfaatan radiasi medan magnet ELF saat ini mulai banyak digunakan dalam bidang kesehatan, pangan, pertanian, hingga industri. Pemanfaatan medan magnet ELF juga banyak digunakan dalam bidang kesehatan. Contoh pemanfaatannya dalam bidang pangan yaitu berdasarkan penelitian paparan medan magnet ELF dengan intensitas 500  $\mu\text{T}$  dengan lama paparan 50 menit akan mempengaruhi pertumbuhan jamur tiram (Sudarti et al, 2017). Selain itu, penggunaan radiasi medan magnet ELF dibidang pangan mampu menjadi alternatif baru sebagai metode pengawetan bahan pangan dimana paparan medan magnet ELF dengan intensitas 646,7  $\mu\text{T}$  selama 30 menit dapat menurunkan populasi *Salmonella Typhimurium* sebesar 36,37% pada makanan gado-gado (Sudarti, 2014). Penelitian lainnya yaitu paparan medan magnet ELF dengan intensitas 100  $\mu\text{T}$  selama 5 menit berpengaruh terhadap penurunan nilai pH dan

penurunan kadar air dalam proses pembuatan keju jenis *cream cheese* (Kristinawati, 2015). Penelitian oleh Sadidah (2015) yaitu paparan medan magnet ELF pada tape ketan selama 30 menit pada saat 72 jam setelah peragian terbukti menurunkan jumlah mikroba, sedangkan paparan selama 30 menit pada saat 24 jam setelah peragian terbukti dapat meningkatkan nilai pH dari tape ketan. Karakteristik medan magnet ELF yang dapat dimanfaatkan pada pangan ini mendorong peneliti untuk melakukan penelitian pengaruh medan magnet ELF terhadap bahan hasil pertanian yang memiliki potensi pasar yang luas namun mudah mengalami kerusakan atau pembusukan yaitu Edamame.

Edamame merupakan produk khas dan menjadi salah satu produk unggulan yang banyak diminati oleh masyarakat domestik maupun mancanegara. Jember merupakan salah satu daerah penghasil edamame di Indonesia yang hasil produksinya telah menembus pasar internasional sejak puluhan tahun lalu dengan tujuan ekspor diantaranya: Jepang, Kuwait, Malaysia, Australia, hingga Amerika Serikat. Edamame yang diekspor berupa edamame segar, edamame beku, mukimame atau edamame kupas. Semua produk edamame yang dihasilkan dituntut untuk memenuhi standar yang telah ditetapkan terutama dalam beberapa hal yang menjadi prevalensi pemilihan produk oleh konsumen.

Nurlaili (2013) menyebutkan bahwa terdapat tujuh hal yang menjadi prioritas dalam pemilihan sayuran, yaitu: kesegaran, kebersihan, warna, bentuk yang sesuai standar, keseragaman ukuran, daya tahan produk, dan jaminan keamanan pangan. Salah satu hal yang menjadi prioritas dalam pemasaran edamame adalah kualitas dari produk edamame. Penyimpanan edamame pada suhu rendah menjadi salah satu cara yang banyak digunakan dalam rangka menjaga daya tahan edamame, namun kenyataannya cara ini menimbulkan dampak lain terutama pada kandungan nutrisi edamame.

Kualitas edamame tidak berubah dalam waktu 24 jam dengan penyimpanan pada suhu 30°C. Secara teknis buah edamame segar dapat bertahan hingga hari ke-7, namun perubahan-perubahan kandungan edamame akan terjadi pada penyimpanan dengan suhu yang berbeda-beda. Hasil penelitian oleh Santana *et al* (2012), menyebutkan bahwa kandungan protein pada edamame akan berkurang

sejak hari keenam pada ruang simpan bersuhu 7°C. Hal ini menunjukkan bahwa teknik pengawetan dengan cara penyimpanan pada suhu rendah (proses pembekuan) yang berperan untuk menginaktivasi bakteri dan mikroorganisme dapat menyebabkan terjadinya penurunan kandungan protein edamame.

Penyimpanan pada suhu rendah menjadi cara yang paling banyak digunakan untuk memperpanjang masa simpan sayur, buah, makanan, hingga minuman agar tetap dalam kondisi layak untuk dikonsumsi. Namun, beberapa penelitian menunjukkan bahwa selain dapat menginaktivasi mikroorganisme pembusuk penyimpanan pada suhu rendah dapat menyebabkan penurunan beberapa kandungan nutrisi dari suatu bahan, untuk itu perlu adanya solusi baru untuk mengatasi hal ini. Sari dkk (2012), menyatakan bahwa medan magnet ELF dengan intensitas tinggi untuk menginaktivasi patogen yang merugikan berupa mikroorganisme pada makanan yaitu sari apel. Selain itu penelitian oleh Hersa dkk (2014), yaitu tentang pemberian medan magnet ELF berintensitas 646,7  $\mu\text{T}$  terhadap gado-gado mendapatkan hasil bahwa pemberian medan magnet ELF menekan pertumbuhan mikroba serta membunuh sel *Salmonella typhimurium*. Hasil penelitian tersebut membuktikan bahwa pemberian medan magnet ELF dengan intensitas 646,7  $\mu\text{T}$  yang terbukti dapat menekan poliferasi sel bakteri hingga di atas 36,37% sehingga penggunaan intensitas di atas itu perlu dilakukan yakni pada intensitas 800  $\mu\text{T}$  dan 1000  $\mu\text{T}$  dengan harapan dapat menginaktivkan bakteri dan mikroorganisme lebih dari perolehan angka sebelumnya.

Salah satu metode untuk mengetahui karakter fisis suatu bahan dapat dilakukan dengan pengujian daya hantar listrik. Pengujian ini dapat dilakukan melalui pengukuran nilai konduktivitas bahan dengan syarat bahan harus dalam jenis larutan elektrolit. Irwan, *et al* (2016) menyatakan bahwa konduktivitas listrik merupakan ukuran kemampuan suatu larutan untuk menghantarkan arus listrik. Pengukuran nilai konduktivitas listrik dapat dilakukan dengan menggunakan alat yang disebut *conductivity meter*. Besarnya nilai konduktivitas listrik suatu bahan dapat dipengaruhi oleh tingkat keasaman pada suatu bahan.

Nilai keasaman suatu larutan dapat diukur melalui derajat keasaman (pH). Penelitian Sugito, *et al*. (2009) membuktikan bahwa pada proses pemeraman pulp

kakao dapat merubah keasamannya, semakin tinggi keasaman pulp kakao (pH rendah), maka semakin tinggi konduktivitas listriknya. Menurut Sumardilan, *et al.* (2015) penambahan pengawet sintesis pada suatu bahan dapat meningkatkan nilai konduktivitas listrik, semakin tinggi nilai konduktivitasnya maka tingkat keasaman akan semakin tinggi sehingga semakin asam suatu cairan sifat kelistrikannya akan semakin baik.

Edamame yang mengalami proses kadaluarsa akan mengalami kerusakan warna dan kondisi fisik lainnya. Hal ini sejalan dengan penelitian oleh Rahmat, *et al* (2014) yang menyatakan bahwa penurunan kandungan klorofil a dan b pada rumput laut akibat penyimpanan menyebabkan penurunan pH, artinya pH pada bahan yang mengalami penurunan kondisi fisik berupa warna akan mengalami perubahan keasaman yaitu menjadi semakin asam. Kenaikan tingkat keasaman akibat aktivitas bakteri pembusuk menyebabkan kandungan senyawa asam pada sayur meningkat. Ion  $H^+$  yang terionisasi dari senyawa asam akan berkontribusi dalam pengukuran konduktivitas listrik atau dikenal dengan Daya Hantar Listrik. Oleh karena itu, pengukuran fisis untuk mengetahui kadaluarsa pada Edamame dapat menggunakan uji derajat keasaman (pH) dan daya hantar listrik.

Berdasarkan permasalahan di atas, peneliti ingin mengkaji pengaruh radiasi medan magnet ELF pada intensitas 800  $\mu T$  dan 1000  $\mu T$  terhadap nilai daya hantar listrik edamame. Nilai Daya Hantar Listrik yang diperoleh nantinya dapat digunakan sebagai indikator kadaluarsa dari edamame. Judul penelitian yang akan dilakukan yaitu **“Pengaruh Radiasi *Extremely Low Frequency Magnetic Field* terhadap Daya Hantar Listrik (Nilai pH) sebagai Indikator Kadaluarsa Edamame”**.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini berdasarkan latar belakang di atas yaitu:

- a. Bagaimanakah pengaruh radiasi medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap kondisi fisik warna, aroma, serta lendir dan uap air edamame?
- b. Bagaimanakah pengaruh radiasi medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap pH edamame?

- c. Bagaimanakah pengaruh nilai daya hantar listrik edamame terhadap indikator kadaluarsa edamame?

### 1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian berdasarkan rumusan masalah di atas adalah sebagai berikut:

- a. Mengkaji pengaruh radiasi medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap kondisi fisik warna, aroma, serta lendir dan uap air edamame
- b. Mengkaji pengaruh radiasi medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap pH edamame
- c. Mengkaji nilai daya hantar listrik edamame terhadap indikator kadaluarsa edamame.

### 1.4 Manfaat

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

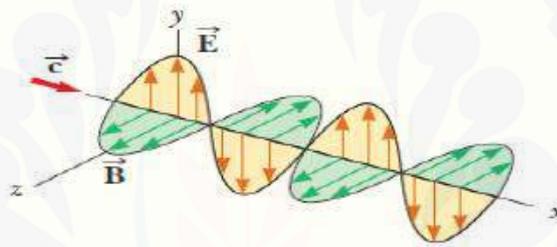
- a. Bagi penulis dan pembaca, menambah pengetahuan tentang medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) serta pemanfaatannya.
- b. Bagi peneliti lain dalam bidang yang sama, menambah wawasan baru dan pertimbangan untuk melakukan penelitian selanjutnya.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Gelombang Elektromagnetik

#### 2.1.1 Definisi Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang diakibatkan oleh adanya perubahan medan listrik dan medan magnet dan mampu merambat melalui medium maupun tidak melalui medium. Gabungan antara medan listrik dan medan magnet disebut medan elektromagnetik. Karakteristik yang dapat diukur secara matematis dalam perambatan gelombang elektromagnetik, yaitu: panjang gelombang, frekuensi, amplitudo, dan kecepatan gelombangnya.



Gambar 2.1 Perambatan gelombang elektromagnetik yang terdiri dari medan listrik  $\vec{E}$  dan medan magnet  $\vec{B}$  (sumber: Serway, 2008)

Medan magnet merupakan medan yang secara alami telah tersedia di alam. Medan magnet yang ada di bumi dihasilkan oleh inti bumi, sehingga secara tidak langsung medan magnet telah mempengaruhi kehidupan makhluk yang ada di atasnya. Ciri dari medan magnet yaitu: bersifat dapat menembus hampir semua bahan seperti tubuh manusia, kayu, bangunan, serta objek lainnya. Medan magnet sendiri terbentuk akibat adanya arus listrik. Hans Christian Oersted (1777-1851) melalui percobaan dengan menggunakan jarum kompas yang diletakkan di dekat kawat listrik menyimpulkan bahwa arus listrik menghasilkan medan magnet yang ditunjukkan oleh adanya penyimpangan gerak pada jarum kompas tersebut (Giancoli, 2001: 137-138).

Teori elektromagnetik dikembangkan oleh Oersted, Ampere, dan yang lainnya pada abad ke-19, namun pada masa ini pengembangan teori ini tidak

benar-benar dibuat dalam konteks medan listrik dan medan magnet. Faraday merupakan tokoh yang mengagas teori tentang medan dan akhirnya Maxwell menunjukkan bahwa penggambaran fenomena listrik dan magnet dapat menggunakan 4 persamaan yang melibatkan kedua medan ini (Giancoli, 2014: 214). Medan elektromagnetik ialah bidang yang dapat berinteraksi dengan benda yang memiliki muatan di dalam suatu medan, bidang ini bersifat magnetik dan sifat listrik dengan muatan listrik disekelilingnya. Tingkat besarnya medan magnet yang timbul dari pergerakan muatan listrik biasanya disajikan dalam satuan ampere per meter (A/m), namun dalam induksi magnetik biasanya terukur dalam satuan Tesla (T), mili Tesla (mT), atau mikro Tesla ( $\mu\text{T}$ ) (Sutrisno & Gie, 1979: 115). Beberapa negara juga menggunakan satuan Gauss (G) sebagai satuan medan magnet.

Menurut (WHO, 2014), medan elektromagnet dapat dibedakan berdasarkan frekuensinya, sebagai berikut :

- a. *Extremely Low-Frequency (ELF) Electromagnetic Field (EMF)* (0 Hz-300Hz). Gelombang elektromagnetik ini dihasilkan tidak hanya ketika aliran listrik dihantarkan melalui kabel listrik, tetapi juga ketika digunakan dalam alat elektronik. Frekuensi gelombang yang dihasilkan oleh alat elektronik adalah sekitar 50-60 Hz.
- b. *Intermediate Frequency Electromagnetic Field (EMF)* (300 Hz-100kHz) sumbernya diantaranya detektor logam dan *hands free*.
- c. *Radio Frequency (RF) Electromagnetic Field (EMF)* (100 kHz-300 GHz), sumbernya antara lain gelombang TV, radio, ponsel, dan *microwave oven*.

### 2.1.2 Medan Magnet dan Medan Listrik

Medan listrik dapat ditimbulkan oleh tegangan listrik. Benda yang bermuatan listrik akan menimbulkan medan listrik di daerah sekitarnya (Alonso & Finn, 1992). Medan listrik  $\vec{E}$  pada setiap titik dalam ruang diartikan sebagai gaya  $\vec{F}$ . Secara matematis dituliskan:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad (1)$$

Simbol  $\vec{E}$  menunjukkan medan listrik,  $\vec{E}$  merupakan gaya, dan q adalah muatan. Medan listrik pada semua titik ruang merupakan vektor dengan arahnya merupakan arah muatan di titik tersebut, besarnya medan tersebut merupakan gaya persatuan muatan (Giancoli, 1998: 13). Medan magnet merupakan medan yang dihasilkan oleh arus listrik, secara mikroskopik di dalam bahan magnet terjadi gerakan atau arus kecil dalam skala atom akibat adanya pergerakan elektron mengelilingi inti maupun perputaran elektron pada sumbunya (Loeksmanto, 1993: 122). Setiap benda yang dilewati oleh arus listrik secara otomatis akan menimbulkan medan magnet disekitarnya.

Medan magnet dibedakan menjadi kerapatan fluks magnetik (**B**) dan kuat medan magnet (**H**). Pada penelitian ini, intensitas medan magnet yang dimaksud adalah kerapatan fluks magnetik (**B**) satuan tesla (T), sedangkan **H** mempunyai satuan ampere/meter (A/m). Radiasi medan magnet yang diakibatkan oleh suatu sumber terhadap suatu medium dinyatakan oleh besaran kuat medan magnet (**H**). Besaran **B** merupakan besaran induksi magnet pada medium sebesar:

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H} \quad (2)$$

Dimana  $\mu_0$  merupakan permeabilitas suatu bahan (Tipler, 2001: 211). Hubungan antara **B** dengan **H** dinyatakan dalam bentuk rumusan berikut.

$$\frac{B}{H} = 4\pi \times 10^{-7} Tm/A \quad (3)$$

Tabel 2.1 Karakteristik Medan Listrik dan Medan Magnet

Medan Listrik	Medan Magnet
1. Medan listrik dihasilkan oleh tegangan listrik.	1. Medan magnet dihasilkan oleh arus listrik.
2. Kekuatan medan listrik diukur berdasarkan satuan volt per meter	2. Kekuatannya diukur berdasarkan satuan ampere per meter, Namun juga umumnya dipakai satuan densitas <i>flux</i> yaitu mikrottesla ( $\mu T$ ) atau militesla (mT).
3. Medan listrik tetap dapat dihasilkan walau tidak ada arus mengalir. Sehingga medan listrik tetap ada walaupun alat listrik dalam keadaan mati.	3. Medan magnet terjadi segera setelah medan listrik dinyalakan.
4. Semakin jauh kekuatan medan listrik yang terasa akan semakin lemah	4. Semakin jauh kekuatan medan magnet yang terasa akan semakin lemah
5. Muatan diam akan menghasilkan medan listrik	5. Muatan diam tidak menghasilkan medan magnet

(Sumber: Baafai, 2004)

### 2.1.3 Persamaan Maxwell tentang Gelombang Elektromagnetik

Persamaan Maxwell menghubungkan vektor medan listrik ( $\vec{E}$ ) dan medan magnetik ( $B$ ) dengan sumber dari medan yang berupa muatan listrik, arus dan medan yang berubah. Interaksi antar medan listrik ( $\vec{E}$ ) dan medan magnet ( $B$ ) dapat dirumuskan menjadi empat buah teori yang dikenal dengan persamaan Maxwell. Keempat persamaan tersebut antara lain adalah :

a. Persamaan I Maxwell (Hukum Gauss pada medan listrik)

Jumlah muatan yang terkandung dalam permukaan tertutup sama dengan jumlah garis flux yang keluar melalui permukaan dinyatakan oleh Hukum Gauss (Guenther, 2015:17). Hukum ini menjelaskan mengenai penyebaran garis medan listrik dari muatan yang berbeda. Secara matematis Persamaan I Maxwell dapat ditulis sebagai berikut:

$$\nabla \cdot \vec{E} = 0 \quad (4)$$

$$d\phi = \vec{E} \cdot d\vec{A} \quad (5)$$

$$\phi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} \quad (6)$$

Dimana harga  $\phi \sim q$

$$\phi = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (7)$$

Maka

$$\begin{aligned} \frac{1}{\epsilon_0} q &= \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} \\ q &= \epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} \end{aligned} \quad (8)$$

Dengan teorema Gauss

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \int (\nabla \cdot \vec{E}) dV \quad (9)$$

maka persamaan diatas menjadi

$$\begin{aligned} \epsilon_0 \int (\nabla \cdot \vec{E}) dV &= q \\ \int (\nabla \cdot \vec{E}) dV &= \frac{q}{\epsilon_0} \\ (\nabla \cdot \vec{E}) V &= \frac{q}{\epsilon_0} \end{aligned} \quad (10)$$

$$(\nabla \cdot \vec{E}) = \frac{q}{\epsilon_0 V} \quad (11)$$

Dimana  $q = \rho \int dV$ ; maka  $\rho = \frac{q}{V}$ . Sehingga ;

$$q = \rho \int dV = \rho V \quad (12)$$

Persamaan (12) disubstitusikan ke persamaan (11) menjadi:

$$\begin{aligned} (\nabla \cdot \vec{E}) &= \frac{q}{\epsilon_0 V} \\ (\nabla \cdot \vec{E}) &= \frac{\rho V}{\epsilon_0 V} (\nabla \cdot \vec{E}) = \frac{\rho}{\epsilon_0} \end{aligned} \quad (13)$$

b. Persamaan II Maxwell (Hukum Gauss pada medan magnet)

Persamaan II Maxwell disebut juga sebagai hukum Gauss yang menggambarkan tentang medan magnetik dimana perpindahan muatan merupakan arus  $i$  atau  $\vec{j}$  rapat arus, dapat menghasilkan medan magnet  $\vec{B}$ . Persamaan ini menjelaskan bahwa garis-garis medan magnetik mengumpul pada sembarang titik dengan jumlah fluks magnetik yang menembus permukaan tertutup besarnya sama dengan jumlah fluks magnet yang keluar (Tipler, 2001:402). Secara matematis Persamaan II Maxwell dapat ditulis sebagai berikut:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \quad (14)$$

Dengan teorema Gauss  $\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = \int (\nabla \cdot \vec{B}) dV$ ; maka persamaan di atas menjadi:

$$\int (\nabla \cdot \vec{B}) dV = 0 \quad (15)$$

$$(\nabla \cdot \vec{B}) V = 0 \quad (16)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (17)$$

Harga nol pada persamaan tersebut dapat diartikan bahwa pada keadaan sebenarnya medan magnetik setara dengan muatan tunggal yang tidak dapat diamati (Guenther, 2015:17).

c. Persamaan III Maxwell (Hukum Faraday)

Hukum faraday menjelaskan bagaimana garis-garis medan listrik mengelilingi setiap daerah di mana fluks magnetik berubah, hukum ini juga menghubungkan antara vektor medan listrik  $\vec{E}$  dengan laju perubahan vektor medan magnetik  $\vec{B}$  (Tipler, 2001:402). Persamaan pada hukum ini

menggambarkan medan magnet yang berubah terhadap waktu. Medan listrik disekitar rangkaian setara dengan perubahan fluks magnetik yang ada dalam rangkaian tersebut hal ini sesuai dengan konsep fluks. Persamaan III Maxwell secara sistematis ialah sebagai berikut:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\phi}{dt} \quad (18)$$

Dimana fluks magnetik  $\phi$  yakni

$$\phi = \vec{B} \cdot \vec{A} \quad (19)$$

Menurut teorema stokes

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int (\nabla \times \vec{E}) d\vec{A} \quad (20)$$

Maka persamaan (18) menjadi

$$\begin{aligned} \int (\nabla \times \vec{E}) d\vec{A} &= -\frac{d\phi}{dt} \\ \int d\vec{A} &= \frac{\partial(\vec{B} \cdot \vec{A})}{\partial t} \\ (\nabla \times \vec{E}) &= \int d\vec{A} = \frac{\partial(\vec{B} \cdot \vec{A})}{\partial t} \\ (\nabla \times \vec{E}) \vec{A} &= \frac{\partial(\vec{B} \cdot \vec{A})}{\partial t} \end{aligned}$$

Sehingga

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (21)$$

#### d. Persamaan IV Maxwell (Hukum Ampere)

Persamaan IV Maxwell menjelaskan bagaimana suatu luasan dikelilingi oleh medan magnet, dimana fluks listrik sedang berubah (Tipler, 2001:402). Medan magnet diakibatkan oleh rapat arus yang menjadi sumber dari medan magnet tersebut yang disebut dengan Hukum Ampere. Secara matematis berikut adalah persamaan Hukum Ampere:

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} \quad (22)$$

Pengujian terhadap Hukum Faraday dan Hukum Ampere dilakukan untuk melakukan penurunan persamaan IV Maxwell. Operasi divergensi

dilakukan pada kedua hukum tersebut yang pertama adalah Hukum Faraday, maka:

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (23)$$

$$\nabla \cdot (\nabla \times \vec{E}) = \nabla \cdot \left(-\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}\right) \quad (24)$$

$$\nabla \cdot (\nabla \times \vec{E}) = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot (\nabla \times \vec{B})$$

$$0 = 0$$

Hasil ruas kanan dan kiri sama dengan nol, maka Hukum Faraday teruji.

Selanjutnya pengujian pada Hukum Ampere, yaitu:

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} \quad (25)$$

$$\nabla \cdot \nabla \times \vec{B} = \nabla \cdot (\mu_0 \vec{J})$$

$$\nabla \cdot \nabla \times \vec{B} = \mu_0 (\nabla \cdot \vec{J}) \quad (26)$$

Ruas kiri bernilai nol, namun ruas kanan jika arus steady maka  $\nabla \cdot \vec{J} = 0$  jika arus non steady maka  $\nabla \cdot \vec{J} \neq 0$ . Sehingga Hukum Ampere tidak berlaku untuk arus non steady. Berdasarkan hal itu maka Maxwell mengungkapkan teori bahwa perubahan medan magnet, sehingga Maxwell menambahkan koreksi yang dapat diturunkan dalam persamaan kontinuitas. Persamaan kontinuitas yaitu:

$$(\nabla \cdot \vec{J}) = -\frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (27)$$

Berdasarkan persamaan I Maxwell

$$(\nabla \cdot \vec{E}) = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (28)$$

$$\rho = \epsilon_0 \nabla \cdot \vec{E}$$

Maka persamaan (27) menjadi

$$(\nabla \cdot \vec{J}) = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \vec{J} = -\frac{\partial}{\partial t} (\epsilon_0 \nabla \cdot \vec{E})$$

$$\nabla \cdot \vec{J} = -\nabla \cdot \left(\epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}\right)$$

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \vec{J} + \nabla \cdot \left( \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) &= 0 \\ \nabla \cdot \left( \vec{J} + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) &= 0\end{aligned}\quad (29)$$

Persamaan (29) menunjukkan bahwa medan magnet tidak hanya dipengaruhi oleh rapat arus tetapi juga ditimbulkan oleh medan listrik.

## 2.2 Gelombang Elektromagnetik *Extremely Low Frequency* (ELF)

### 2.2.1 Definisi Gelombang Elektromagnetik *Extremely Low Frequency* (ELF)

*Extremely low frequency* (ELF) *magnetic fields source* terdiri atas dua unit yaitu unit transformator *step down* serta sangkar medan magnet ELF. Paparan medan magnet ELF selalu diikuti dengan medan listrik ELF, maka pada alat ini dikondisikan agar yang lebih dominan adalah dihasilkannya medan magnet daripada medan listrik dengan cara medan listrik dibuat seminimal mungkin sehingga yang terdeteksi hanya berupa medan magnetnya saja. Paparan medan magnet dan medan listrik timbul di sekitar lempengan tembaga yang terdapat dalam alat ini.

*Extremely low frequency* (ELF) *magnetic fields source* merupakan sumber paparan yang digunakan dalam penelitian ini. Cara kerja *ELF magnetic fields source* menggunakan sumber tegangan masukan dari PLN 220 Volt, kuat arus 5 Ampere, dan frekuensi sebesar 50 Hz yang kemudian diubah dengan menggunakan transformator *stepdown* tegangan keluaran sebesar 7 Volt dengan kuat arus 85 hingga 3000 Ampere yang mengalir pada lempengan tembaga sangkar medan magnet. Kondisi tegangan yang kecil dan arus yang maksimal dapat menghasilkan radiasi medan magnet maksimal dan medan listrik minimal mendekati medan listrik alamiah.

Gelombang elektromagnetik ELF terletak pada frekuensi kurang dari 300 Hz. Gelombang ini dihasilkan di sekitar aliran listrik di sepanjang kabel atau padaperalatan listrik (Sudarti, 2010). Radiasi yang dihasilkan oleh muatan bergerak atau osilasi, seperti arus AC pada konduktor dari sumber PLN tersebut tergolong radiasi tidak mengion dan didalam spektrum gelombang elektromagnetik berada pada frekuensi sangat rendah yaitu kurang dari 300 Hz

dan disebut gelombang elektromagnetik frekuensi sangat rendah (Grotel, 1992 dalam Sudarti, 2010).

Federoski et al. (dalam Sudarti, 2002:76) menyatakan bahwa energi medan elektromagnetik ELF sangat kecil, maka efek yang ditimbulkan sebagai efek non termal. Efek non termal artinya medan elektromagnetik ELF tidak menimbulkan perubahan suhu ketika berinteraksi dengan suatu zat atau pada saat menginduksi materi. Energi medan elektromagnetik yang sangat kecil bukan berarti radiasi medan ini tidak berpengaruh terhadap suatu bahan jika radiasi yang terjadi berada pada intensitas dan dalam waktu tertentu.

### 2.2.2 Karakteristik Gelombang Elektromagnetik ELF

WHO dan Grotel (dalam Sudarti dan Helianti, 2005:36) menjelaskan bahwa medan ELF merupakan spektrum gelombang elektromagnetik, berada pada frekuensi kurang dari 300 Hz dan tergolong sebagai *non ionizing radiation*. *Non ionizing radiation* merupakan suatu pancaran energi yang tidak menyebabkan terjadinya suatu proses ionisasi pada materi biologi. World Health Organisation (WHO, 2007) menyatakan bahwa frekuensi antara 0 Hz hingga 300 Hz memiliki panjang gelombang diudara yang sangat panjang (6000 km pada frekuensi 50 Hz dan 5000 km pada frekuensi 60 Hz) dalam situasi praktis, medan listrik dan medan magnet bertindak independen satu sama lain sehingga dapat diukur, sehingga dapat disimpulkan bahwa medan magnet ELF memiliki karakteristik sebagai berikut:

- a. Memiliki frekuensi antara 0 hingga 300 Hz
- b. Termasuk dalam spektrum gelombang elektromagnetik
- c. Radiasi non-pengion (*non ionizing radiation*)
- d. Medan listrik dan medan magnet bertindak independen satu sama lain sehingga dapat diukur secara terpisah
- e. Medan magnet dapat menembus materi
- f. Sumber paparan medan magnet mudah untuk didapat yaitu dari alat elektronik yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

### 2.3 Daya Hantar Listrik

Hantaran muatan-muatan listrik disebut hantaran listrik. Pemberian medan listrik pada suatu bahan konduktor akan menyebabkan muatan positif akan bergerak searah dengan arah medan muatan negatif dan berlawanan dengan arah medan sehingga terjadi arus listrik (Soedjo, 1998:136). Persamaan arus listrik dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (30)$$

Keterangan :

$\Delta Q$  : muatan

$\Delta t$  : selang waktu

$i$  : arus listrik

Jika laju aliran listrik berubah terhadap waktu, maka arus juga akan berubah terhadap waktu sehingga persamaan diatas harus dituliskan dalam bentuk diferensial sebagai berikut :

$$i = \frac{dQ}{dt} \quad (31)$$

Arus listrik dalam satuan SI dinyatakan sebagai Ampere (A), dengan 1 A = 1C/s. Jadi, arus 1 Ampere ekuivalen dengan muatan 1 C dalam selang waktu 1 detik. Hal yang harus diingat adalah bahwa arah arus adalah arah muatan positif. Dalam konduktor logam, misalnya tembaga arus dihasilkan oleh aliran elektron (negatif) sehingga didalam konduktor tersebut berlawanan arah dengan arah gerak elektron.

Jika jumlah pembawa muatan setiap satuan volume disimbolkan dengan  $n$  dan muatan tiap pembawa muatan disimbolkan  $q$ , maka muatan yang melewati suatu penampang dengan luas  $A$  dalam selang waktu  $\Delta t$  adalah muatan total pembawa muatan yang terletak dalam suatu silinder dengan volume  $A.v. \Delta t$  atau dapat dirumuskan sebagai berikut

$$\Delta Q = \frac{nAv}{\Delta t} q \quad (32)$$

Maka arus didalam konduktor diumuskan sebagai berikut

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} nqvA \quad (33)$$

Laju pembawa muatan  $v$  yang sesungguhnya adalah laju rata-rata yang dapat disebut kecepatan hanyut. Rapat arus ( $\vec{J}$ ) dalam konduktor didefinisikan sebagai arus persatuan luas.

$$\vec{J} = \frac{i}{A} \quad (34)$$

Karena

$$i = nqvA \quad (35)$$

Sehingga rapat arus dirumuskan sebagai berikut.

$$\vec{J} = nqv \quad (36)$$

Satuan SI untuk rapat arus adalah  $A/m^2$ . Rapat arus merupakan besaran vektor dalam arah  $q\vec{v}$  sehingga

$$\vec{\tau} = nq\vec{v} \quad (37)$$

Dari persamaan diatas dinyatakan bahwa arah arus searah dengan arah gerak pembawa muatan positif dan berlawanan arah dengan gerak pembawa muatan negatif. Apabila di dalam konduktor diberi label beda potensial, misalnya dengan menggabungkan konduktor tersebut dengan kutub-kutub sebuah baterai, maka dalam konduktor akan timbul kuat medan listrik  $\vec{E}$  dan  $\vec{J}$  rapat arus. Sehingga secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (38)$$

Persamaan tersebut menyatakan bahwa pada berbagai bahan hasil bagi rapat arus dan kuat medan listrik berharga konstan. Konstanta tersebut disebut sebagai konduktivitas bahan. Bahan-bahan yang memenuhi hukum Ohm dikatakan bersifat ohmik, sedangkan bahan yang tidak memenuhi hukum Ohm disebut tidak bersifat ohmik. Hukum Ohm menyatakan “besarnya arus listrik ( $I$ ) yang mengalir melalui larutan yang sama dengan perbedaan potensial ( $V$ ) dibagi dengan tahanan ( $R$ ). Secara matematis, hukum Ohm dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$I = \frac{V}{R} \quad (39)$$

Keterangan :

$I$  : kuat arus (Ampere)

$V$ : tegangan listrik (volt)

$R$ : tahanan listrik ( $\Omega$ )

Tahanan suatu bahan bergantung pada dimensi bahan lainnya berdasarkan rumus:

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (40)$$

Keterangan :

$\rho$  : resistivitas ( $\Omega\text{cm}$  dalam SI  $\Omega\text{m}$ )

$l$  : panjang (cm)

$A$  : luas penampang ( $\text{cm}^2$ )

Kebalikan dari resistivitas dinamakan sebagai konduktansi spesifik atau konduktivitas ( $K$ ). Persamaan konduktivitas dapat ditulis sebagai berikut.

$$K = \frac{1}{\rho} \quad (41)$$

Nilai konduktivitas dalam larutan tinggi jika jumlah ion dari suatu larutan meningkat. Dimana  $K$  (Kappa) merupakan konduktivitas dengan satuan ( $\Omega^{-1}$ ), tetapi secara resmi satuan yang digunakan adalah siemen (S) dimana  $S = \Omega^{-1}$ , maka satuan untuk konduktivitas adalah  $\text{Scm}^{-1}$  atau  $\text{Sm}^{-1}$ ,  $\rho$  adalah resistivitas ( $\Omega\text{m}$ ). Pada larutan elektrolit, konduktivitas merupakan besaran yang diukur bukan tahanan (Bird, 1993:198).

Kemampuan suatu penghantar dalam menghantarkan listrik disebut daya hantar listrik. Kemampuan suatu bahan untuk mengalirkan muatan disebut konduktansi. Konduktansi besarnya berbanding terbalik dengan tahanan ( $R$ ). Secara matematis, konduktansi dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$G = \frac{1}{R} \quad (42)$$

Kemudian substitusikan persamaan (2.55) kedalam persamaan (2.54), sehingga :

$$G = \frac{1}{\rho \cdot l / A} \quad (43)$$

$$G = \frac{1 \cdot A}{\rho \cdot l} \quad (45)$$

$$K = \frac{G \cdot l}{A} \quad (46)$$

Keterangan :

$G$ : konduktansi (S)

$K$  : konduktivitas (S/cm)

$A$  : luas elektrode (cm<sup>2</sup>)

$l$  : panjang elektrode (cm)

Daya hantar listrik berhubungan dengan pergerakan suatu ion didalam suatu larutan. Ion yang mudah bergerak mempunyai daya hantar listrik yang besar (Bird, 1993:196). Daya hantar listrik dapat diuji menggunakan alat *conductivity meter*. Alat *conductivity meter* digunakan mengukur nilai konduktivitas suatu larutan. Nilai konduktivitas pada zat cair menjadi referensi untuk jumlah ion dalam zat cair tersebut. Prinsip kerja dari *conductivity meter* adalah sel hantaran (elektrode) di celupkan ke dalam larutan, sehingga ion positif dan ion negatif didalam larutan menuju sel hantaran dan menghasilkan sinyal listrik berupa hantaran listrik larutan. Hambatan listrik dikonversikan oleh alat menjadi hantaran listrik larutan (Bird, 1993:197).

Daya hantar listrik dapat dibedakan berdasarkan larutannya yaitu larutan elektrolit dan larutan non elektrolit. Larutan elektrolit merupakan senyawa yang apabila dilarutkan dalam pelarut (misalnya air) maka akan menghasilkan larutan yang dapat menghantarkan arus listrik karena zat yang ada di dalam larutan terdisosiasi sempurna atau dengan kata lain terurai menjadi ion-ion positif dan negatif (Bird, 1993:197). Semakin banyak jumlah ion, maka daya hantar listriknya semakin kuat. Larutan elektrolit dapat dibedakan berdasarkan klasifikasi kemampuannya dalam menghantarkan arus listrik. Elektrolit kuat merupakan elektrolit yang dapat menghantarkan arus listrik dengan baik. Sedangkan, elektrolit lemah merupakan elektrolit yang sifat penghantar listriknya buruk. Elektrolit kuat memiliki nilai konduktivitas yang tinggi daripada elektrolit lemah, hal ini dikarenakan zat elektrolit terdisosiasi sempurna di dalam larutan sehingga dapat menghantarkan listrik dengan baik (Guntoro, 2013:112). Elektron mengalir pada konduktor elektrolit dibawa oleh ion-ion dalam larutan dan yang dapat menghasilkan banyak ion seperti asam,

basa dan garam. Larutan penghasil ion yang terbanyak adalah larutan asam ( $H^+$ ), dimana semakin asam suatu larutan maka semakin kecil nilai pH nya dan sebaliknya semakin lemah tingkat keasaman suatu larutan maka semakin besar nilai pH nya.

Pembusukan suatu bahan pertanian salah satunya dapat dihubungkan dengan bakteri asam laktat atau bakteri pembusuk lainnya. Bakteri asam merupakan kumpulan bakteri yang mampu mengubah komposisi gula sederhana dalam sayur atau buah menjadi asam. Semakin banyak jumlah bakteri asam, maka produksi asam akan meningkat. Suatu larutan elektrolit yang memiliki tingkat keasaman yang tinggi (pH kecil) maka jumlah muatan positif (konsentrasi ion  $H^+$ ) yang dihasilkan semakin besar sehingga mengakibatkan arus listrik yang dihasilkan semakin besar dan nilai konduktivitasnya juga semakin besar. Demikian pula sebaliknya, apabila suatu larutan konduktor elektrolit memiliki tingkat keasaman yang rendah (pH besar) maka jumlah muatan positif ( $H^+$ ) yang dihasilkan semakin kecil sehingga arus listrik yang dihasilkan semakin kecil dan nilai konduktivitasnya semakin kecil (Purnomo, 2010). Nilai konduktivitas listrik berbanding lurus dengan nilai daya hantar listrik. Semakin besar nilai konduktivitasnya, maka nilai daya hantar listrik suatu bahan semakin besar, dengan kata lain bahan telah mengalami perubahan selama penyimpanan. Begitupun sebaliknya, semakin kecil nilai konduktivitasnya, maka nilai daya hantar listrik bahan semakin kecil. Akopyan dan Airapetyan (2005) dalam penelitiannya menyatakan, bahwa perubahan nilai konduktivitas pada air yang diberi medan magnet disebabkan oleh momen dipol dan derajat disosiasi. Selain itu, penelitian tersebut juga menyebutkan bahwa perbedaan lama penyimpanan dapat mempengaruhi nilai konduktivitas pada air suling (*distilled water*).

#### **2.4 Edamame**

Edamame merupakan tanaman tropis dan termasuk dalam salah satu jenis sayuran (*green soybean vegetable*) yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat sejak puluhan tahun silam. Tanaman ini merupakan tanaman semak rendah

bertubuh tegak, berdaun lebat dengan beragam morfologi. Tinggi tanaman edamame berkisar antara 30 cm hingga lebih dari 50 cm, dapat memiliki cabang yang banyak tergantung dari lingkungan hidupnya. Berikut adalah klasifikasi dari edamame:



Gambar 2.2 Edamame segar

Ordo	: Polypetales
Famili	: Leguminosae
Sub-famili	: Papilionoideae
Genus	: Glycine
Sub-genus	: Soja
Species	: <i>Max</i>

Edamame ialah sayuran tradisional yang berasal dari Jepang dan dikenal dengan sebutan *Branched bean* (kacang bercabang), di China edamame disebut dengan *mou dou* (kacang berbulu). Karakteristik edamame jika dibandingkan dengan kedelai biasa yakni edamame memiliki biji lebih besar dengan tekstur lebih lembut. Daerah dengan iklim tropis dan subtropis dengan suhu panas yang cukup disertai curah hujan yang relatif tinggi menjadi salah satu lahan ideal untuk tumbuh edamame, sehingga Indonesiapun menjadi salah satu tempat ideal bagi budidaya edamame. Selain itu, edamame memiliki masa panen yang relatif singkat, yakni 63 sampai 68 hari setelah tanam (Destariantto *dkk*, 2013).

Edamame merupakan salah satu sayuran dengan kandungan gizi yang cukup tinggi dan tidak mengandung kolesterol. Edamame mengandung 9 jenis asam amino esensial, asam folat, dan kaya akan lemak. Kandungan dalam 100 gram edamame terdapat nilai gizi sebesar 582 Kkal; protein 11,4 gram, karbohidrat 7,4 gram; lemak 6,6 gram; vitamin A 100 mg; B1 0,27 mg, B2

0,14 mg; B3 1 mg; dan mengandung 27% vitamin C, serta mineral-mineral seperti fosfor 140 mg; kalsium 70 mg; besi 1,7 mg; dan kalium 140 mg dalam 100 g edamame (Nguyen, 2001).

Kabupaten Jember menjadi sentra penghasil produk pertanian dan perkebunan. Komoditas utama kabupaten jember yaitu edamame yang bersaing dengan produksi jagung. Pengembangan kedelai edamame melalui pemanfaatan teknologi untuk meningkatkan daya saing produk edamame dipasar global telah banyak dilakukan hingga saat ini. Hasilnya, banyak petani di Kabupaten Jember mulai beralih mengembangkan tanaman edamame .

Olahan utama edamame yaitu diolah menjadi makanan ringan, namun juga bisa dijadikan sebagai bahan sayuran. Terobosan baru terkait pengolahan edamame mulai dilakukan PT. Mitratani Dua Tujuh (PT. MT 27) Jember sejak puluhan tahun lalu, salah satunya yaitu mengolah edamame yang masih utuh menjadi edamame beku siap makan yang dipasarkan hingga ke luar negeri. Pasar utama edamame beku (*frozen edamame*) selain pasar domestik adalah Jepang dan Amerika. Jepang menjadi salah satu negara yang paling ketat dalam hal syarat kualitas edamame yang akan dipasarkan di negaranya, untuk itu PT. Mitratani Dua Tujuh menetapkan syarat polong yang dipanen untuk menjadi bahan baku ekspor (BBE). Berikut adalah persyaratan mutu bahan edamame ekspor sebelum diproses di pabrik:

- a. Kondisi polong tidak terlalu tua dan terlalu muda
- b. Biji dalam polong harus 2 dan 3 biji
- c. Jumlah polong per 500 gram sebanyak 160-170 buah
- d. Bebas hama dan penyakit
- e. Tidak terdapat kerusakan fisik
- f. Bau khas edamame
- g. Bentuk polong normal tidak cacat
- h. Bersih dari kotoran (rumput, daun edamame, lumpur, dan lain-lain)
- i. Warna seragam (hijau normal)
- j. Kondisi polong segar/tidak layu

Acuan pengukuran kualitas edamame terdiri dari 5 kategori, termasuk tampilan fisik, rasa, aroma, tekstur, dan nilai nutrisi. Warna pada Kulit edamame juga sangat penting, warna hijau cerah pada edamame menandakan bahwa edamame layak untuk dikonsumsi sedangkan warna kulit yang menguning menandakan bahwa kesegaran edamame mulai berkurang begitu juga dengan kandungan *Ascorbic acid*. Edamame segar memiliki lebih banyak vitamin jika dibandingkan dengan kedelai kering. Rasa pada edamame menunjukkan bahwa bahan ini mengandung sukrosa, glutamic acid, dan alanine. Sukrosa menimbulkan rasa manis pada edamame, ketika saponin, isoflavonoid, dan L-arginine memberikan rasa sepat pada biji edamame (Zeipinaet al,2017).

Trend masyarakat saat ini yaitu masyarakat lebih menyukai produk edamame segar lengkap dengan kulit dan tangkainya dalam bentuk kemasan. Strategi baru sangat dibutuhkan dalam mengurangi kendala yang diakibatkan oleh trend yang banyak disukai masyarakat tujuan ekspor seperti jepang dan amerika. Salah satu kendala dari trend ini yaitu semakin besarnya peluang tumpukan mikroorganisme pada kulit buah yang dapat menyebabkan semakin cepat terjadinya proses pembusukan. Selain itu kendala lainnya adalah mudah rusaknya warna kulit edamame akibat proses penyimpanan atau bahkan oleh bakteri.

Secara teknis buah edamame segar dapat bertahan hingga hari ke-7. Santana *et al* (2012), menyebutkan bahwa belum ada penurunan kualitas edamame dalam waktu 24 jam pascapanen dengan penyimpanan pada suhu 30°C, namun perubahan-perubahan kandungan edamame akan terjadi dengan penyimpanan pada suhu yang berbeda-beda. Penyimpanan pada suhu rendah menjadi cara yang paling banyak digunakan untuk memperpanjang masa simpan sayur, buah, makanan, hingga minuman agar tetap dalam kondisi layak untuk dikonsumsi. Namun, beberapa penelitian menunjukkan bahwa selain dapat menginaktivasi mikroorganisme pembusuk penyimpanan pada suhu rendah dapat menyebabkan penurunan beberapa kandungan nutrisi dari suatu bahan.

Hasil penelitian oleh Santana *et al* (2012) menyebutkan bahwa kandungan protein pada edamame akan berkurang sejak hari keenam pada ruang simpan bersuhu 7°C. Penelitian lainnya menyebutkan bahwa penggunaan suhu rendah sebagai ruang simpan beberapa hasil pertanian tertentu membutuhkan perhatian lebih karena kerusakan fisiologis pada produk hasil pertanian dapat lebih cepat terjadi justru pada suhu rendah, contohnya yaitu kerusakan akibat proses pendinginan (*chilling injuries*) dan kerusakan proses pembekuan (*freezing injuries*). Hal ini menunjukkan bahwa teknik pengawetan dengan cara penyimpanan pada suhu rendah (proses pembekuan) yang berperan untuk menginaktivasi bakteri dan mikroorganisme justru dapat menyebabkan masalah lain yang tidak diinginkan terkait dengan kelayakan konsumsi dari edamame. Salah satu ciri rusaknya produk pertanian berupa sayuran yaitu perubahan bau, keluarnya lendir pada bagian-bagian dengan kadar air yang tinggi, perubahan tekstur, serta perubahan warna pada bagian fisik.

### 2.5 Derajat Keasaman (pH)

Air memiliki rantai ikatan hidrogen yang dapat berubah akibat adanya distribusi molekul dan elektron, pemindahan dan pengutuban molekul serta atom, transisi momen dipol, dan keadaan vibrasi molekul (Sakdatorn, *et al.*, 2017). Asam merupakan suatu senyawa yang akan membebaskan ion hidrogen ( $H^+$ ) dan anion ketika dilarutkan ke dalam air, sedangkan basa merupakan senyawa yang akan menghasilkan ion hidroksida ( $OH^-$ ) dan kation jika dilarutkan dalam air. Tingkat keasaman didefinisikan sebagai logaritma negatif dari konsentrasi ion hidrogen, sehingga keasaman dari suatu larutan bergantung pada kandungan ion  $H^+$  yang terkandung di dalamnya.

$$pH = -\log [H^+] \quad (47)$$

Tingkat keasaman suatu larutan merupakan perbandingan antara konsentrasi  $H^+$  dan konsentrasi ion  $OH^-$ . Larutan akan bersifat asam jika konsentrasi ion  $H^+$  lebih besar dari ion  $OH^-$ , namun akan bersifat basa jika terjadi yang sebaliknya. Larutan asam adalah nilai pH kurang dari 7, sedangkan

nilai pH untuk larutan basa adalah lebih dari 7. Namun, jika konsentrasi  $H^+$  dan ion  $OH^-$  sama maka larutan bersifat netral dengan pH sama dengan 7. Larutan dengan pH rendah mengandung banyak ion positif, sedangkan larutan dengan pH tinggi lebih banyak mengandung jenis ion negatif ( Ninno & Castellano, 2011).

Lamanya penyimpanan dan adanya mikroorganisme dapat berpengaruh terhadap perubahan pH yang diakibatkan oleh terjadinya pengurangan atau penambahan konsentrasi ion  $H^+$  pada bahan pertanian. Sayuran pada umumnya memiliki pH mendekati netral ketika masih dalam kondisi segar dan dapat dikonsumsi. Sayuran merupakan salah satu bahan yang mudah dijadikan bakteri sebagai inang. Sayur menjadi media yang baik untuk pertumbuhan bakteri karena memiliki pH yang mendekati netral dan sayuran rata-rata berada pada pH di atas 5 atau mendekati netral (Rakhmawati, 2013). Pada kondisi buah atau sayur lewat matang, maka pH akan kembali turun disertai penurunan sifat fisiknya.

## 2.6 Masa Simpan

Proses penyimpanan dan distribusi suatu produk pangan akan menyebabkan produk pangan mengalami beberapa penyusutan mulai dari penyusutan bobot, kualitas pangan, serta nilai pangan. Terdapat beberapa faktor yang dapat berpengaruh terhadap penurunan mutu produk pangan. Floros dan Gnanasekharan (1993) dalam Herawati (2008), menyatakan bahwa terdapat 6 faktor utama penyebab terjadinya penurunan kualitas atau kerusakan pada produk pangan yaitu: massa oksigen, uap air, cahaya, mikroorganisme, kompresi atau bantingan, dan bahan kimia toksik. Faktor-faktor inilah yang dapat menyebabkan terjadinya penurunan mutu produk lebih lanjut, seperti oksidasi lipida, kerusakan vitamin, kerusakan protein, perubahan pada bau, reaksi perubahan warna produk, perubahan unsur organoleptik (warna, aroma, tekstur, dll), dan kemungkinan terbentuknya racun. Sebagai produk pertanian, edamame termasuk produk pertanian yang mudah rusak penyebabnya adalah mikroorganisme pembusuk yang sangat rentan berkembang biak pada kondisi lingkungan yang sesuai contohnya adalah pada produk pertanian ini. Cara

memastikan kualitas produk (aroma, tekstur, dan rasa) yaitu melalui uji organoleptik dan melalui uji fisik.

Produk pangan yang disimpan melebihi jangka waktu tertentu akan mengalami penurunan kualitas dari produk tersebut. Oleh karena itu, selain uji organoleptik uji kualitas fisik produk juga sangat penting untuk diketahui. Uji kualitas fisik tersebut meliputi: kadar air, berat jenis, aktivitas air, kerapatan tumpukan, dan kerapatan pengemasan bahan. Proses penyimpanan suatu produk juga dapat menyebabkan perubahan yang antara lain kenaikan kandungan gula, disusul penurunannya yang terjadi akibat pemecahan polisakarida-polisakarida. Selain perubahan kandungan gula, enzim-enzim yang terdapat dalam bahan seperti enzim katalase, pektinesterase, selulase, dan amilase juga dapat meningkat selama penyimpanan. Perubahan lain yaitu penurunan kualitas fisik dari produk seperti kekerasan, kepadatan, warna, melunaknya jaringan-jaringan, rasa, serta bau pada bahan pangan.

## 2.7 Pemanfaatan Medan Magnet dalam Bidang Pangan

Pemanfaatan medan magnet banyak dilakukan dalam bidang pangan khususnya pada pengawetan makanan. Efek pemberian medan magnet berperan untuk menekan pertumbuhan dan metabolisme sel bakteri sehingga hal ini akan berpengaruh terhadap aktifitas metabolisme bakteri. Menurut Sudarti (2014) dosis efektif medan magnet ELF terhadap prevalensi *Salmonella typhirium* pada bumbu gado-gado pada intensitas 646,7  $\mu\text{T}$  selama 30 menit dapat menghambat prevalensi bakteri sebesar 36,37%. Paparan medan magnet ELF juga dapat mempertahankan kadar vitamin C buah tomat pada intensitas 500  $\mu\text{T}$  selama 90 menit. Berikut adalah beberapa pemanfaatan medan magnet yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya.

Tabel 2.2 Penelitian terdahulu tentang pemanfaatan medan magnet ELF dalam bidang pangan

No	Author	Judul	Intensitas	Efek
1	Sudarti	Potensi Genotoksik Medan Magnet ELF ( <i>Extremely Low Frequency</i> ) terhadap Prevalensi <i>Salmonella</i>	646,7 $\mu\text{T}$	Paparan medan magnet ELF dengan intensitas 646,7 $\mu\text{T}$ selama 30 menit dapat

No	Author	Judul	Intensitas	Efek
		dalam Bahan Pangan		menurunkan populasi <i>Salmonella</i> pada makanan gado-gado sebesar 36,37%
2	Sari, <i>et al.</i>	Proses Pengawetan Sari Buah Apel ( <i>malus syvestris mill</i> ) secara Non Termal Berbasis Teknologi <i>Oscillating Magnetizing Field</i>	6,7T	Pemaparan ELF dengan intensitas 6,7T : Selama 20 menit menyebabkan penurunan total mikroba sebesar 99,45% , sedangkan penurunan total mikroba sebesar 99,96% selama 25 menit
3	Ma'rufiyanti	Pengaruh ( <i>extremely frequency</i> ) terhadap perubahan kadar Vitamin C dan Derajat Keasamaan (PH) pada Buah Tomat	ELF 300 $\mu T$ dan 500 $\mu T$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pemaparan ELF intensitas 500 <math>\mu T</math> selama 90 menit mempertahankan kadar vitamin C pada buah tomat</li> <li>• Pemaparan ELF intensitas 300 <math>\mu T</math> dan 500<math>\mu T</math> selama 10, 50, dan 90 menit dapat mempertahankan PH pada buah tomat</li> </ul>
4	Sudarti dkk	Analysis of Extremely Low Frequency Magnetic Field to Oyster Mushroom Productivity	300 $\mu T$ dan 500 $\mu T$	Paparan dengan intensitas 500 $\mu T$ selama 30 menit mempengaruhi pertumbuhan jamur tiram
5	Kristian rohmatul	Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF 300 $\mu T$ dan 500 $\mu T$ terhadap Perubahan Jumlah Mikroba dan pH pada Proses Fermentasi Tape Ketan.	300 $\mu T$ dan 500 $\mu T$	Paparan medan magnet ELF 500 $\mu T$ menyebabkan perubahan jumlah mikroba yakni penurunan mikroba tertinggi 0,50x 10 <sup>13</sup> sel/mL dan peningkatan pH tertinggi sebesar 1,00 pada proses fermentasi tape ketan

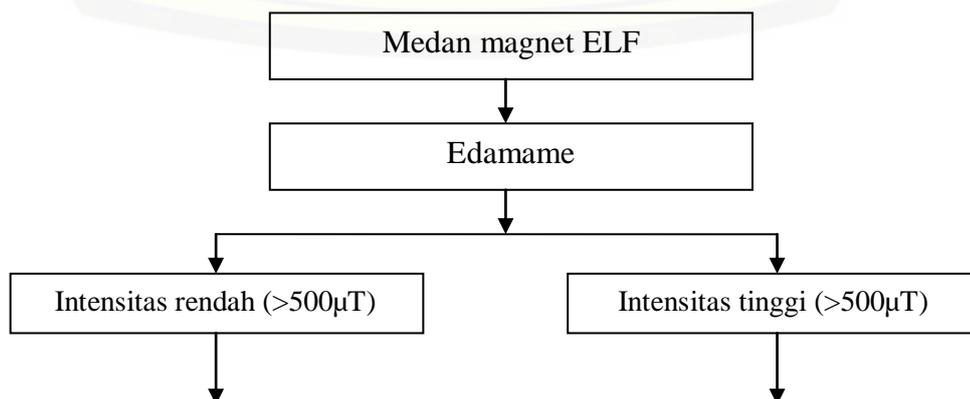
No	Author	Judul	Intensitas	Efek
6	Reza Emelia Yuni W.S; Trapsilo P; Sudarti	Aplikasi medan magnet extremely low frequency (ELF) 100 $\mu\text{T}$ dan 300 $\mu\text{T}$ pada pertumbuhan tanaman Tomat Ranti	100 $\mu\text{T}$ dan 300 $\mu\text{T}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paparan medan magnet dengan intensitas 300 <math>\mu\text{T}</math> berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman Tomat Ranti</li> <li>• Dosis efektif untuk mempercepat laju pertumbuhan tanaman Tomat Ranti yaitu pada intensitas 300 <math>\mu\text{T}</math> dengan paparan 60 menit</li> </ul>
7	Hersa, <i>et al.</i>	Respon <i>Salmonella Typhimurium</i> pada bumbu gado-gado terhadap paparan medan magnet	646,7 $\mu\text{T}$	Berpengaruh dalam membunuh <i>Salmonella Typhimurium</i> rata-rata sebesar 32,57% Memperkecil ukuran sel dengan panjang 4,341 $\mu\text{m}$ dan diameter sebesar 1,14 $\mu\text{m}$
8	Sari <i>et al</i>	Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF ( <i>Extremely Low Frequency</i> ) 500 $\mu\text{T}$ dan 700 $\mu\text{T}$ terhadap Derajat Keasaman (pH) Daging Ayam	500 $\mu\text{T}$ dan 700 $\mu\text{T}$	Tidak mengalami penurunan nilai pH

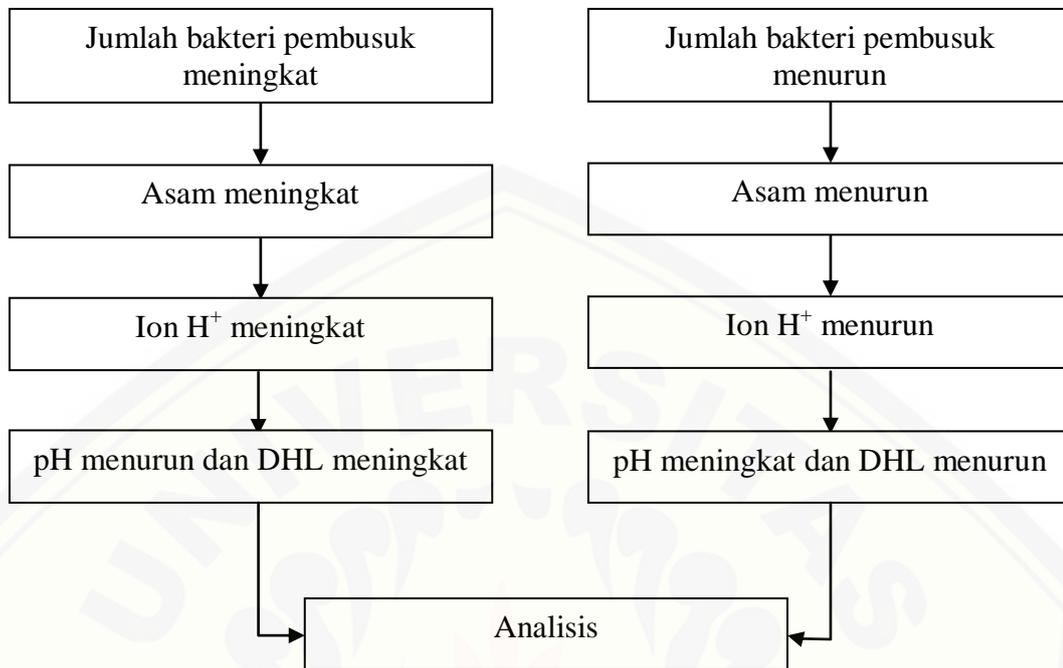
## 2.8 Kerangka Konseptual

Paparan radiasi medan magnet ELF pada edamame akan menyebabkan terjadinya perubahan gerakan ion pada ekstraseluler yang melewati membran sel. Ion di dalam sel yang akan terpengaruh oleh pemberian medan magnet ELF adalah ion  $\text{Ca}^{2+}$ . Ion  $\text{Ca}^{2+}$  merupakan ion yang bersifat paramagnetik yang artinya dapat termagnetisasi. Bentuk pengaruhnya adalah terarahnya spin elektron pada bahan yang semula acak (Sutrisno dan Gie, 1979). Timbulnya arus induksi akibat perubahan medan magnet ELF menyebabkan kecepatan

gerakan ion  $\text{Ca}^{2+}$  menjadi berubah. Hal ini tentu akan berpengaruh terhadap proses pemenuhan ion  $\text{Ca}^{2+}$  yang diperlukan untuk pertumbuhan sel.

Nilai pH dapat dihubungkan dengan jumlah mikroba patogen dalam hal ini adalah bakteri penyebab pembusukan penghasil asam. Produksi asam ini dihasilkan oleh bakteri melalui pemecahan kandungan gula sederhana pada edamame menjadi asam. Semakin banyak bakteri pembusuk maka produksi asam akan terus bertambah sehingga menyebabkan ion  $\text{H}^+$  yang dilepaskan selama proses pembentukan asam ini. Dengan begitu kandungan ion ini akan menyebabkan pH edamame menjadi turun. Namun, hal berbeda akan terjadi pada DHL edamame, semakin banyak ion-ion yang terkandung dalam edamame (ion  $\text{H}^+$  salah satunya) maka reaksi ion-ion dengan elektroda yang terdapat pada *conductivity meter* akan semakin mudah sehingga arus listrik yang dihasilkan akan semakin besar akibatnya konduktivitasnya juga akan meningkat. hal ini menunjukkan bahwa terdapat sifat yang berketerbalikan antara pH dan DHL. Semakin besar pH maka DHL suatu bahan akan semakin kecil dan sebaliknya semakin kecil pH maka DHL akan semakin besar. Berikut adalah gambaran mekanisme paparan medan magnet ELF pada penelitian ini.





Gambar 2.3 Kerangka konseptual paparan medan magnet ELF terhadap edamame

## BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fisika Lanjut Fakultas Keguruan dan Ilmu pendidikan, laboratorium Biokimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember. Penelitian ini dilakukan pada semester genap 2019 dengan pertimbangan sebagai berikut:

- a. *ELF Magnetic Source* atau alat penghasil medan magnet *Extremely Low Frequency* serta alat ukurnya yakni *EMF tester* terdapat di Laboratorium Fisika Lanjut FKIP UNEJ.
- b. *Conductivity meter* atau alat untuk mengukur daya hantar listrik bahan terdapat di laboratorium Biokimia FMIPA UNEJ.

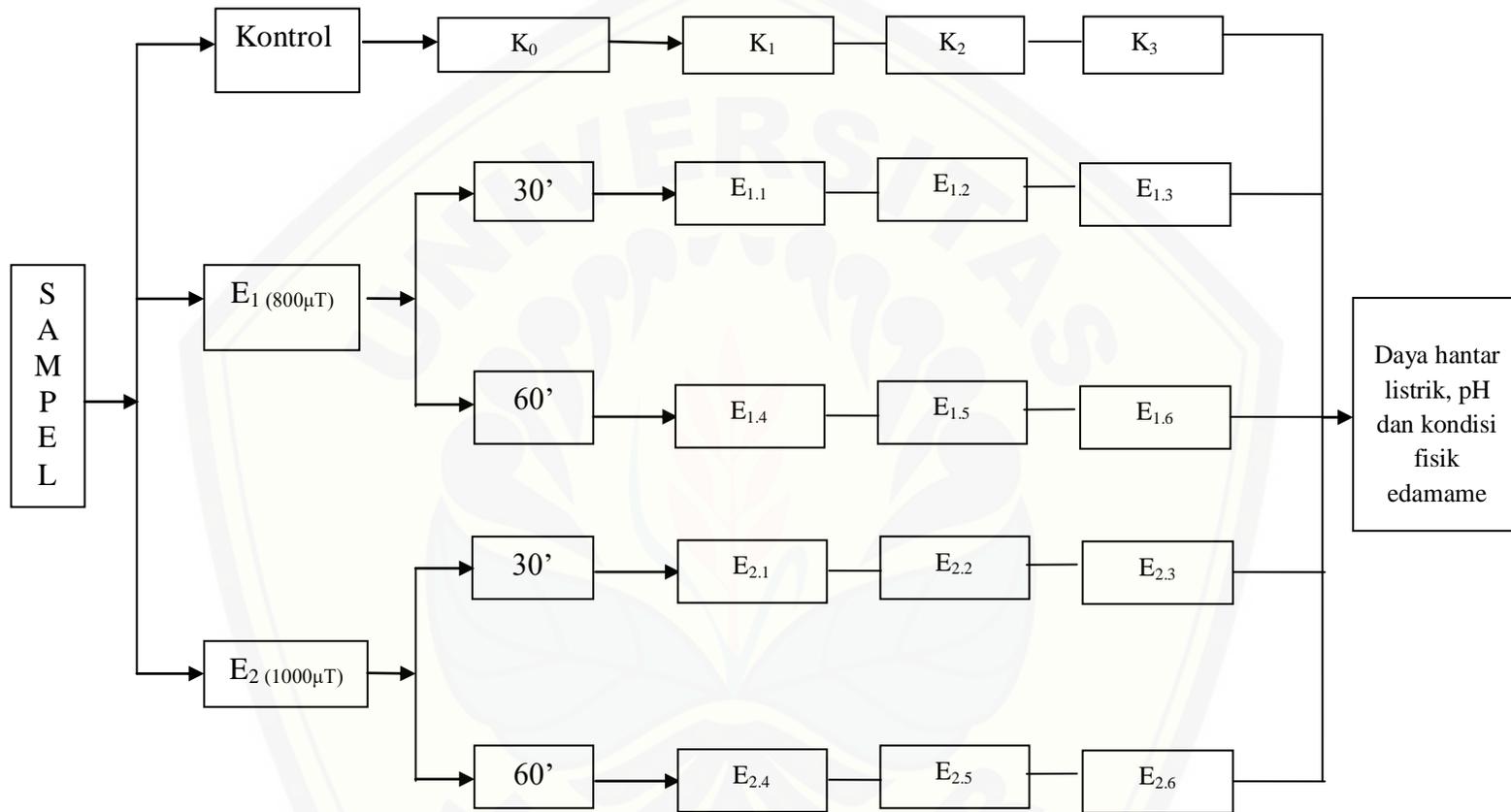
### 3.2 Jenis dan Desain Penelitian

#### 3.2.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yaitu membandingkan kelompok eksperimen atau kelompok yang diberi perlakuan dengan kelompok kontrol atau kelompok yang tidak diberi perlakuan.

#### 3.2.2 Desain Penelitian

Desain penelitian yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan *randomized subjects post test only control group design*. Penelitian ini terdiri dari kelompok kontrol dan kelompok eksperimen. Kelompok eksperimen merupakan kelompok yang radiasi dengan medan magnet ELF berintensitas 800 $\mu$ T dan 1000  $\mu$ T. Kelompok kontrol merupakan kelompok yang tidak diradiasi dengan medan magnet ELF. Desain penelitiannya dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 3. 1 Desain Penelitian



## Keterangan :

- K : Sampel kontrol edamame segar lengkap dengan kulit tanpa diradiasi medan magnet ELF
- $E_{800,30}$  : Sampel eksperimen edamame segar lengkap yang diradiasi dengan medan magnet ELF 800 $\mu$ T selama 30 menit
- $E_{800,60}$  : Sampel eksperimen yang diradiasi dengan medan magnet ELF 800 $\mu$ T selama 60 menit
- $E_{1000,30}$  : Sampel eksperimen yang diradiasi dengan medan magnet ELF 1000 $\mu$ T selama 30 menit
- $E_{1000,60}$  : Sampel eksperimen yang diradiasi dengan medan magnet ELF 1000 $\mu$ T selama 60 menit
- $K_0$  : Tahap pengukuran awal (daya hantar listrik, pH, dan uji fisik Edamame) kelas kontrol edamame segar tanpa diradiasi medan magnet ELF pada hari ke-1
- $K_1$  : Tahap pengukuran (daya hantar listrik, pH, dan uji fisik Edamame) kelas kontrol edamame segar tanpa diradiasi medan magnet ELF pada hari keempat pascapanen
- $E_{1.1}$  : Pengukuran daya hantar listrik, pH, dan uji fisik Edamame yang dipapar medan magnet ELF 800 $\mu$ T selama 30 menit pada hari keempat pascapanen
- $E_{1.4}$  : Tahap pengukuran daya hantar listrik, pH, dan uji fisik Edamame yang dipapar medan magnet ELF 800 $\mu$ T selama 60 menit pada hari keempat pascapanen
- $E_{2.1}$  : Tahap pengukuran (daya hantar listrik, pH, dan uji fisik) bahan edamame yang telah dipapar medan magnet ELF 1000 $\mu$ T selama 30 menit pada hari keempat pascapanen
- $E_{2.4}$  : Tahap pengukuran (daya hantar listrik, pH, dan uji fisik) bahan edamame yang telah dipapar medan magnet ELF 1000 $\mu$ T selama 60 menit pada hari keempat pascapanen

- K<sub>2</sub> : Tahap pengukuran (daya hantar listrik, pH, uji fisik, dan organoleptik) edamame segar tanpa diradiasi medan magnet ELF) hari ketujuh pascapanen
- E<sub>1.2</sub> : Tahap pengukuran (daya hantar listrik, pH, uji fisik, dan organoleptik) bahan edamame yang dipapar medan magnet ELF 800 $\mu$ T selama 30 menit pada hari ketujuh pascapanen
- E<sub>1.5</sub> : Tahap pengukuran (daya hantar listrik, pH, uji fisik, dan organoleptik) bahan edamame yang dipapar medan magnet ELF 800 $\mu$ T selama 60 menit pada hari ketujuh pascapanen
- E<sub>2.2</sub> : Tahap pengukuran (daya hantar listrik, pH, uji fisik, dan organoleptik) bahan edamame yang dipapar medan magnet ELF 1000 $\mu$ T selama 30 menit hari ketujuh pascapanen
- E<sub>2.5</sub> : Tahap pengukuran (daya hantar listrik, pH, uji fisik, dan organoleptik) bahan edamame yang dipapar medan magnet ELF 1000 $\mu$ T selama 60 menit hari ketujuh pascapanen
- K<sub>3</sub> : Tahap pengukuran (daya hantar listrik, pH, dan uji fisik) bahan edamame segar tanpa diradiasi medan magnet ELF) pada hari kesepuluh pascapanen
- E<sub>1.3</sub> : Tahap pengukuran (daya hantar listrik, pH, dan uji fisik) bahan edamame yang telah dipapar medan magnet ELF 800 $\mu$ T selama 30 menit pada hari kesepuluh pascapanen
- E<sub>1.6</sub> : Tahap pengukuran (daya hantar listrik, pH, dan uji fisik) bahan edamame yang telah dipapar medan magnet ELF 800 $\mu$ T 60 menit pada hari kesepuluh pascapanen
- E<sub>2.3</sub> : Tahap pengukuran (daya hantar listrik, pH, dan uji fisik) bahan edamame yang telah dipapar medan magnet ELF 1000 $\mu$ T selama 30 menit pada hari kesepuluh pascapanen
- E<sub>2.6</sub> : Tahap pengukuran (daya hantar listrik, pH, dan uji fisik) bahan edamame yang telah dipapar medan magnet ELF 1000 $\mu$ T 60 menit pada hari kesepuluh pascapanen

### 3.3 Variabel Penelitian

#### 3.3.1 Klasifikasi Variabel Penelitian

Variabel penelitian ini dibagi menjadi dua yakni:

a. Variabel bebas

- 1) Intensitas radiasi *Extremely Low Frequency Magnetic Field* untuk kelompok eksperimen digunakan sebesar 800  $\mu$ T dan 1000  $\mu$ T
- 2) Lama paparan medan magnet ELF yang digunakan yaitu 30 dan 60 menit untuk masing-masing intensitas yang digunakan
- 3) Lama penyimpanan yaitu selama 4, 7, dan 10 hari setelah panen

b. Variabel terikat

Nilai daya hantar listrik edamame

Nilai pH edamame segar

Nilai uji fisik edamame segar lengkap dengan kulit

#### 3.3.2 Definisi Operasional Variabel Penelitian

Definisi operasional adalah uraian yang membatasi setiap istilah yang digunakan dalam penelitian dengan makna tunggal yang terukur. Operasional variabel penelitian ini yaitu sebagai berikut:

a. Medan magnet ELF

- 1) Medan elektromagnetik sangat rendah (*Extremely low frequency*) merupakan gelombang elektromagnetik yang memiliki frekuensi kurang dari 300Hz. Alat yang digunakan sebagai sumber medan magnet ELF memiliki frekuensi 50Hz.
- 2) Intensitas medan magnet yang digunakan yaitu sebesar 800  $\mu$ T selama 30 menit dan 60 menit, serta 1000  $\mu$ T selama 30 menit dan 60 menit.
- 3) Durasi paparan medan magnet ELF selama 30 menit dan 60 menit dengan dua kali paparan.

b. Kualitas fisik edamame diuji dengan menilai tekstur, warna, dan lendir pada edamame.

c. Derajat keasaman (pH) merupakan ukuran keasaman atau alkalinitas suatu larutan.

- d. Nilai Daya Hantar Listrik (DHL) merupakan nilai yang menyatakan kemampuan larutan untuk menghantarkan arus listrik.
- e. Kadaluarsa merupakan waktu atau masa yang menunjukkan bahwa kualitas sesuatu (makanan, minuman, obat) rendah.

### 3.4 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu

- a. Stopwatch digunakan untuk mengukur waktu yang diperlukan ketika proses pemaparan sampel dengan medan magnet ELF
- b. Sumber ELF *magnetic field (current transformer)* sebagai sumber medan magnet ELF
- c. EMF tester untuk mengukur intensitas medan magnet ELF
- d. *Conductivity meter* untuk mengukur nilai daya hantar listrik edamame
- e. Timbangan digital digunakan untuk mengukur massa edamame
- f. *Blender* untuk menghaluskan edamame
- g. Plastik klip digunakan sebagai pembungkus edamame
- h. Gelas ukur ukuran 60 ml dan 100 ml
- i. Edamame segar digunakan sebagai bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah edamame dengan perlakuan pada kelas eksperimen berupa pemberian paparan medan magnet ELF dengan intensitas dan lama paparan yang berbeda menggunakan alat berupa *current transformer*.
- j. *Aquadest* untuk mengencerkan bubur edamame

### 3.5 Populasi dan Sampel Penelitian

#### 3.5.1 Populasi Penelitian

Populasi adalah keseluruhan objek penelitian, populasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah Edamame segar lengkap dengan kulitnya yang baru dipanen dari lahan milik PT.Mitratani 27 Jember.

### 3.5.2 Sampel Penelitian

Sampel dalam penelitian ini adalah edamame segar lengkap dengan kulitnya yang belum diberikan perlakuan apapun dan belum diberikan tambahan maupun pengurangan oleh sesuatu apapun. Sampel edamame yang digunakan diletakkan pada wadah plastik klip dengan tujuan untuk menghindari faktor eksternal yang masuk ke dalam sampel edamame.

### 3.6 Teknik Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data penelitian ini yaitu dengan memilih sampel edamame segar kemudian menimbang sampel untuk selanjutnya dibagi antara sampel kontrol dan eksperimen. Sampel eksperimen dilakukan perlakuan berupa paparan radiasi ELF pada intensitas 800 dan 1000  $\mu\text{T}$  dengan masing-masing dua variasi waktu yaitu 30 menit dan 60 menit.

#### 1. Data Uji Derajat Keasamaan (pH)

Pengukuran pH (derajat keasamaan) merupakan tahap pertama dalam pengumpulan data pada penelitian ini. Pengukuran pH menggunakan alat yang disebut pH meter. Penggunaan alat pH meter terlebih dahulu harus dikalibrasi sebelum digunakan yaitu dengan menggunakan buffer. Pengukuran dilakukan dengan cara mencelupkan elektrode pH meter kedalam sampel edamame yang diambil secara acak 3 sampel pada masing-masing perlakuan sebanyak 15 gram, kemudian biarkan beberapa saat sampai diperoleh nilai yang stabil. Pengukuran pH dilakukan berulang sebanyak 3 kali. Nilai yang diperoleh dari hasil pembacaan pada pH meter sampai angka digital merupakan nilai pH tetap.

#### 2. Data Uji Nilai Daya Hantar Listrik (DHL)

Pengukuran daya hantar listrik (DHL) menggunakan alat *conductivity meter* merupakan pengumpulan data kedua dalam penelitian ini. Berikut adalah gambar alat *conductivity meter*.



Gambar 3.2 *Conductivity Meter*

Kegiatan yang dilakukan pada tahap persiapan adalah sebagai berikut.

a. Kalibrasi *Conductivity Meter*

- 1) Menyiapkan larutan KCL 0.01 M dan *baker glass* 100 ml.
- 2) Memasukkan larutan KCL 0.01 M dengan volume 50 ml ke dalam *baker glass*.
- 3) Membersihkan elektrode *conductivity meter* dengan akuades lalu mengeringkannya dengan tissue.
- 4) Menghidupkan *conductivity meter* kemudian memasukkan elektrode *conductivity meter* ke dalam *baker glass* pada langkah (2) dan tunggu selama  $\pm 10$  menit.
- 5) Melihat layar pada *conductivity meter* setelah  $\pm 10$  menit. Hasil yang harus ditunjukkan pada larutan KCL 0.01 M harus senilai  $1413 \mu\text{S/cm}$ , jika tidak menghasilkan nilai  $1412 \mu\text{S/cm}$  maka tombol penstabil pada *conductivity meter* diputar hingga nilai yang ditunjukkan pada layar *conductivity meter* mencapai  $1412 \mu\text{S/cm}$ .
- 6) Mengeluarkan elektrode *conductivity meter* dari *baker glass*, kemudian membersihkan dengan aquades dan dikeringkan dengan tissue.
- 7) Meletakkan elektrode *conductivity meter* di tempat yang kering dan diberi alas berupa tissue.

b. Mengukur nilai konduktivitas Edamame

- 1) Mengambil sampel secara acak 3 sampel pada masing-masing perlakuan.

- 2) Melakukan pengenceran pada sampel. Menghaluskan sampel berupa 15 gram edamame utuh menggunakan *blender*, kemudian mengambil 15 gram edamame yang telah dihaluskan diencerkan dengan aquades sampai volume 60 ml atau perbandingan 15 gram sampel : 45 ml aquades kemudian disaring. Pengenceran dilakukan agar ion-ion didalam edamame dapat bergerak bebas.
- 3) Mengukur konduktivitas dengan memasukkan elektrode *conductivity meter* ke dalam ekstrak edamame yang telah dilakukan pengenceran.
- 4) Mencatat nilai konduktivitas yang ditunjukkan di layar *conductivity meter*. Setiap mengukur 1 sampel edamame dicatat nilai yang tertera di layar *conductivity meter*.
- 5) Langkah 1-4 dilakukan pengukuran berulang sebanyak 5 kali.

### 3.7 Prosedur Penelitian

#### 3.7.1 Tahap Persiapan

Tahap persiapan merupakan tahap awal dalam melakukan penelitian.

Langkah-langkah pada tahap persiapan adalah sebagai berikut :

- a. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan
- b. Penentuan sampel, kriteria sampel dan besar sampel
- c. Tahap pengelompokkan subyek
  - 1) Kelompok 1 yang terdiri dari 18 sampel edamame segar lengkap dengan kulitnya dengan masing-masing sebesar 30 gram tanpa paparan medan magnet ELF dan diamati pada hari ke-4, ke-7, dan ke-10 pascapanen.
  - 2) Kelompok 2 yang terdiri dari 36 sampel edamame segar lengkap dengan kulitnya dengan masing-masing sebesar 30 gram yang dipapar medan magnet ELF intensitas 800  $\mu\text{T}$  selama 30 menit dan 60 menit. Sampel diamati pada hari ke-4, ke-7, dan ke-10 pascapanen.
  - 3) Kelompok 3 yang terdiri dari 36 sampel edamame segar lengkap dengan kulitnya dengan masing-masing sebesar 30 gram yang dipapar medan magnet ELF intensitas 1000  $\mu\text{T}$  selama 30 menit dan 60 menit. Sampel diamati pada hari ke-4, ke-7, dan ke-10 pascapanen.

### 3.7.2 Tahap Perlakuan

Tahap perlakuan dalam penelitian pada kelompok eksperimen yaitu memberikan paparan medan magnet ELF dengan intensitas 800  $\mu\text{T}$  dan 1000  $\mu\text{T}$  selama 30 menit dan 60 menit pada edamame segar. Berikut langkah-langkah proses pemaparan medan magnet ELF.



Gambar 3.3 ELF *Magnetic Field Sources*

- a. Menghidupkan dan memastikan ELF *Electromagnetic Fields Sources* telah terhubung dengan listrik. Apabila telah terhubung dengan sumber tegangan, *pilot lamp* akan menyala.
- b. Memastikan *output* tegangan *slite voltage regulator* adalah nol, dengan cara memutar *knob* berlawanan arah jarum jam (ke kiri) hingga *knob* tak dapat diputar lagi.
- c. Menekan *push button* (warna merah) untuk menyalakan regulator arus. Apabila *knob* pada no.b belum posisi nol maka kontaktor tidak akan menyala dan peralatan belum dapat digunakan.
- d. Memutar *knob* putar searah jarum jam (ke kanan) sampai didapatkan besaran atau intensitas medan magnet yang diinginkan dibantu dengan alat EMF Tester.
- e. Menekan *push button* (warna hijau) untuk mematikan regulator arus.

Penelitian ini juga menggunakan alat *Electromagnetic Field Tester* (EMF Tester) untuk memastikan besar medan magnet ELF yang digunakan. Berikut ini adalah prosedur penggunaan *Electromagnetic Field Tester* (EMF Tester) dengan merek Lutron EMF-827.



Gambar 3.4 EMF Tester

- a. Memposisikan 'off/range switch' ke range yang sesuai. Memulai dari range tertinggi dan tunggu hingga nilai terukur stabil lalu gantilah ke range yang diinginkan. Karena EM merupakan interferensi dari lingkungan, maka layar akan menunjukkan nilai terkecil sebelum pengukuran misalnya hingga mencapai  $0.05 \mu\text{T}$ . Hal ini bukanlah malfungsi alat.
- b. Memegang *probe* sensor, lalu mendekatkan kepala sensor ke objek yang akan diukur sehingga tersentuh secara fisis. Memperhatikan bagaimana intensitas medan bertambah ketika probe didekatkan ke arah objek.
- c. Memposisikan kepala sensor di sudut yang berbeda terhadap objek yang akan diukur dan lihat bagaimana pengaruhnya terhadap hasil pengukuran.
- d. Mencatat hasil pengukuran yang tertera pada layar. Jika objek yang diukur mati selama pengukuran, seharusnya hasil pengukuran mendekati nol, jika tidak artinya ada sumber EM lain yang terdeteksi.
- e. Alat ukur didesain untuk membaca pada satuan  $\mu\text{T}$  tetapi dapat pula mengukur dalam satuan mG dengan cara mengalikan hasil pengukuran dengan angka 10.

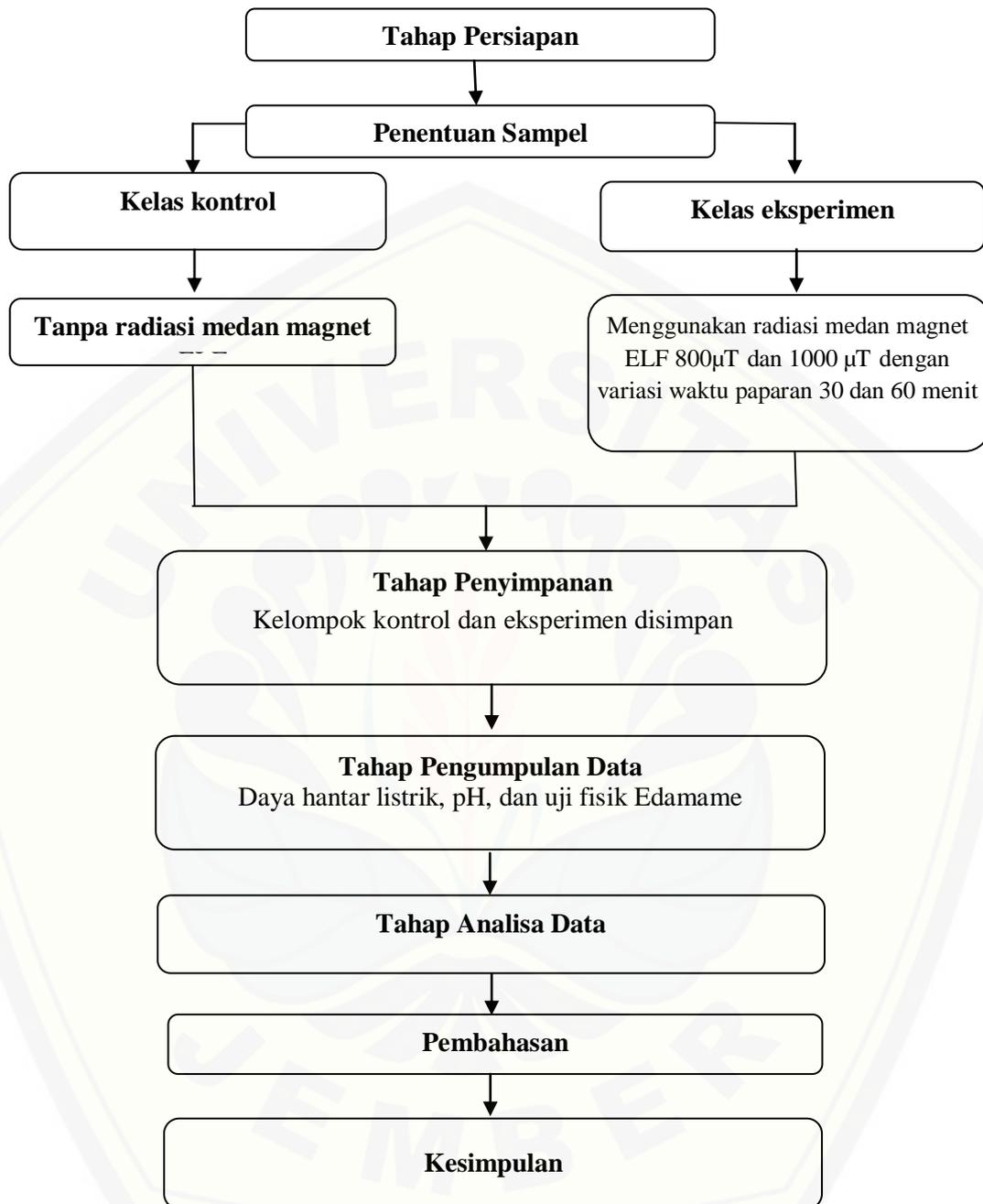
### 3.7.3 Tahap Penyimpanan

Edamame pada kelompok kontrol dan kelompok eksperimen (pemaparan medan magnet ELF) akan disimpan dalam suhu ruang hingga hari terakhir pengukuran yaitu 10 hari. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil kadaluarsa edamame dalam suhu ruang ditinjau dari pengukuran nilai pH, nilai daya hantar listrik, dan kondisi fisik

#### 3.7.4 Flowchart Prosedur Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- a. Tahap persiapan
- b. Menentukan sampel sesuai dengan teknik *random sampling* pada kelas kontrol dan kelas eksperimen.
- c. Memberi perlakuan berupa paparan medan magnet ELF dengan intensitas 800  $\mu\text{T}$  dan 1000 $\mu\text{T}$ .
- d. Mengukur nilai daya hantar listrik, pH, dan uji fisik awal edamame.
- e. Melakukan proses pengukuran (daya hantar listrik, pH, dan uji fisik) bahan edamame pada hari ke-4, ke-7, dan ke-10 pascapananen Edamame.
- f. Menganalisis hasil pengamatan dan membuat pembahasan tentang hasil penelitian.
- g. Membuat kesimpulan dari hasil pengamatan dan penelitian.



Gambar 3.5 Alur Penelitian

### 3.8 Teknik Penyajian Data

Data yang diperoleh dari proses eksperimen akan ditabulasi dalam tabel sebagai berikut :

Tabel 3. 1 Data hasil penelitian

Kelompok	Intensitas paparan	Lama paparan	Sampel	pH	Daya hantar listrik

### 3.9 Teknik Analisis Data

Penelitian ini menggunakan analisis data dengan bantuan software SPSS dengan uji oneway anova yang dilanjutkan dengan uji LSD, software lainnya yaitu microsoft office excel yang dimanfaatkan untuk mengolah data mentah hasil penelitian dan menyajikannya dalam bentuk grafik paparan medan magnet ELF yakni berupa grafik pengaruh paparan medan magnet ELF antara kelas kontrol dan kelas eksperimen sedangkan uji oneway anova dengan uji LSD digunakan untuk mengetahui apakah ada perbedaan antar perlakuan (rata-rata paparan medan magnet ELF antara kelas kontrol dan eksperimen).

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada bab sebelumnya, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- a. Semakin besar intensitas (di atas 700  $\mu\text{T}$ ) dan lama paparan medan magnet yang digunakan akan memperlambat penurunan kondisi fisik warna, aroma, serta lendir dan uap air.
- b. Semakin besar intensitas (di atas 700  $\mu\text{T}$ ) dan lama paparan medan magnet ELF yang digunakan semakin menekan penurunan nilai rata-rata pH edamame pada setiap pengukurannya. Sedangkan, semakin kecil intensitas dan paparan medan magnet ELF menyebabkan penurunan pH yang signifikan. Jadi ada pengaruh pemberian medan magnet ELF terhadap pH edamame.
- c. Semakin besar nilai Daya Hantar Listrik Edamame maka semakin rendah nilai pH dan kondisi fisik (warna, aroma, serta lendir dan uap air) edamame artinya edamame kadaluarsa. Sedangkan, semakin rendah nilai Daya Hantar Listrik edamame maka semakin besar nilai pH dan kondisi fisik (warna, aroma, serta lendir dan uap air) edamame artinya edamame masih layak untuk dikonsumsi.

Berdasarkan kesimpulan dan analisis data di atas menunjukkan bahwa paparan medan magnet ELF intensitas 1000  $\mu\text{T}$  (kelompok eksperimen II) dapat memperlambat penurunan kondisi fisik (warna, aroma, serta lendir dan uap air), menekan penurunan nilai pH edamame, serta menekan peningkatan nilai DHL edamame paling optimum jika dibandingkan dengan tanpa pemberian paparan medan magnet ELF (kelompok kontrol) dan dengan intensitas paparan medan magnet ELF yang lebih rendah 800  $\mu\text{T}$  (kelompok eksperimen I).

### 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka saran yang bisa diberikan adalah sebagai berikut:

- a. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh paparan medan magnet ELF terhadap Daya Hantar Listrik bahan
- b. Peneliti sebaiknya memiliki pengetahuan lebih mengenai cara penanganan pascapanen hingga penyimpanan edamame pada pihak yang ahli dibidangnya



**DAFTAR PUSTAKA**

- Akopyan dan Airapetyan. 2005. A Study of Specific Electrical Conductivity of Water By the Action Of constan Magnetic Field, Electromagnetic Field, and Low-Frequency Mechanical Vibrations. *Biofizika*. 30(2):265-270.
- Alonso, M dan Finn, E.J. 1994. *Dasar-dasar Fisika Universitas (Jilid 2) Medan dan Gelombang*. Terjemahan oleh Lea Prasetyo dan Kusnul Hadi. Jakarta: Erlangga.
- Baafai, U. S. 2004. Polusi dan Pengaruh Medan Elektromagnet terhadap Kesehatan Masyarakat. *Jurnal teknik simetrika*. 2 (2).
- Destarianto, P., E. Yudaningtyas,. & S.H. Pramono. 2013. Penerapan Metode Inference Tree And Forward Chaining Dalam Sistem Pakar Diagnosis Hama Dan Penyakit Kedelai Edamame Berdasarkan Gejala Kerusakannya. *Jurnal EECCIS*. 7 ( 1).
- Dwi, R. B., dan Supriyadi. 2014. Konstanta Dielektrik Bahan Kertas Karton pada Keping Sejajar. *Jurnal Fisika*. 4 (2): 74-77.
- Departemen Fisika. *Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Giancoli, C. D. 2001. *Physics: Principles with Applications Volume 1, 6th Edition*. Boston, Massachusetts: Prentice Hall, Inc.
- Giancoli, C. D. 2014. *Physics: Principles with Applications Volume 1, 7th Edition*. Boston, Massachusetts: Prentice Hall, Inc.
- Guenther, B. D. 2015. *Modern Optics: Second Edition*. Duke University, United States of America: Oxford University Press.
- Halliday, D., dan Resnick. 1990. *Fisika*. Jakarta: Erlangga
- Harmen. 2001. *Rancang Bangun Alat dan Pengukuran Nilai Sifat Dielektrik Bahan pada Kisaran Frekuensi Radio*. Tesis. Program Pasca Sarjana. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

- Herawati, H. 2008. *Penentuan Umur Simpan pada Produk Pangan*. Jawa Tengah: Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Jawa Tengah.
- Hermansyah, R. 2011. *Karakteristik Mutu Ekstrak Liquid Klorofil Daun Cincau Hijau (*Premna oblongifolia merr*) serta Aplikasi pada Minuman Teh Hijau*. Padang: Universitas Andalas.
- Hersa, V. T. 2013. Respon *Salmonella* Typhimurium pada Bumbu Gado-Gado terhadap Paparan *Extremely Low Frequency (ELF) Magnetic Field*. *Skripsi*. Jember: Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Jember
- Herawati, I. 2011. Deteksi Gejala Chilling Injury Buah Belimbing (*Averrhoacarambola L*) yang Disimpan pada Suhu Rendah dengan NIRSpectroscopy. *Skripsi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Juansah, J., dan Irmansyah. 2007. Kajian Sifat Dielektrik Buah Semangka dengan Pemanfaat Sinyal Listrik Frekuensi Rendah. *Jurnal Sains MIPA*. 13(3): 159 – 164.
- Johnson D., Wang, S., dan Suzuki, A. 1999. *Edamame vegetable soybean for Colorado*. In Janick, J. (Ed.). *Perspectives on New Crops and New Uses*.
- Kristinawati, A. 2015. Pengaruh Lama Paparan Medan Magnet *Extremely Low Frequency (ELF)* Terhadap pH dan Kadar Air pada Proses Pembuatan *Cream Cheese*. *Skripsi*. Jember: Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.
- Loeksmanto, W. 1993. *Medan Elektromagnetik*. Bandung: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Ninno, A. D. Dan A. C. Castellano. 2011. *On the Effect of Weak Magnetic Field on Solutions of Glutamic Acid: the Function of Water*. *Prosseding at 9th International Fröhlich's Symposium*. IOP publishing: 329.
- Purnomo, H. 2010. Pengaruh keasaman buah jeruk terhadap konduktivitas listrik. *ORBITH*. 6(2): 276-281.
- Rakhmawati, A. 2013. Mikroorganisme Kontamin pada Buah. *Jurdik Biologi FMIPA UNY*. Yogyakarta: PPM di Ruang Terbuka Hijau Universitas Negeri Yogyakarta. 6 Oktober.

- Reza, E., T. Prihandono., Sudarti. 2015. Aplikasi medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF) 100  $\mu\text{T}$  dan 300  $\mu\text{T}$  pada Pertumbuhan Tanaman Tomat Ranti. *Jurnal Pendidikan Fisika*. 4(2): 164-170.
- Ridawati, S. 2017. Pengaruh Paparan Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) Terhadap pH Dan Daya Hantar Listrik Minuman Susu Fermentasi Sebagai Indikator Kadaluarsa. *Skripsi*. Jember: Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Jember.
- Sadidah, K. R., Sudarti., dan A. A. Gani. 2015. Pengaruh Medan Magnet ELF (*Extremely Low Frequency*) 300  $\mu\text{T}$  dan 500  $\mu\text{T}$  terhadap Perubahan Jumlah Mikroba dan pH pada Proses Fermentasi Tape Ketan. *Jurnal Pendidikan Fisika*. 4(1): 1-8.
- Sakdatorn, V., N. Thavarungkul, dan N. Srisukhumbowornchai. 2017. The Effect of Magnetic Fields on Viscosity, Color and pH of Longan Honey. *Naresuan University Engineering Journal*. 12(2): 15-20.
- Sari, E. R. N., S. Bambang, dan Sumarlan. 2012. Proses Pengawetan Sari Buah Apel (*Mallus Sylvestris Mill*) secara Non-Termal Berbasis Teknologi *Oscillating Magnetic Field* (OMF). *Jurnal teknologi pertanian*. 13(2): 78-87.
- Sari, L. D., T. Prihandono, dan Sudarti. 2018. Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF (*Extremely Low Frequency*) 500  $\mu\text{T}$  dan 700  $\mu\text{T}$  Terhadap Derajat Keasaman (pH) Daging Ayam. *Skripsi*. Jember: Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Jember.
- Serway, R. and Vuille, C., 2007. *Alternating Current Circuits and Electromagnetic Waves*. In: Serway, R. and Vuille, C., 2007. *Serway's Essentials of College Physics*. USA: Thomson. 563-572.
- Silalahi, F.R.L. 2003. *Pengukuran Difusitas Termal dan Sifat Dielektrik pada Kisaran Gelombang Radio dari Produk Lada dan Andaliman*. Tesis. Bogor: Program Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor.
- Sudarti dan Widajati, S.M.W., 2002. Resiko Leukimia pada Tikus Putih setelah Dipapar Medan Elektromagnetik *Extremely Low Frequency* (ELF). *Jurnal Sainfika*. 3 (2): 76-84.

- Sudarti,. dan T. Prihandono. 2014. “*Potensi Genotosik Medan Magnet ELF terhadap Prevalensi Salmonella dalam Bidang Pangan untuk Meningkatkan Keamanan Pangan bagi Masyarakat*”. Jember: Universitas Jember.
- Sudarti. 2010. *Mekanisme Peningkatan Sel Germinal Pada Mencit Bulb-C yang Dipapar Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF) 100-150  $\mu$ T*. Jember: Universitas Jember.
- Sutrisno dan Gie, T.I. 1979. *Fisika Dasar: Listrik Magnet dan Termofisika*. Bandung: ITB.
- Tipler, P.A. 1991. *Fisika Untuk Sains dan Teknik Jilid 2 Edisi Ketiga* [diterjemahkan Dr. Bambang Soegijono]. Jakarta: Erlangga.
- Young, H. & Roger A.F. 2003. *Fisika Universitas Jilid 2 Edisi Kesepuluh*. [diterjemahkan Pantur Silaban]. Jakarta: Erlangga.
- WHO. 2007. *Electromagnetic Fields and Public Health*. <https://www.who.int/peh-emf/publications/facts/fs322/en/>. [Diakses pada 4 Mei 2018].
- Wollard, B. 1988. *Elektronika Praktis*. Jakarta: PT Pradya Paramita.
- Zeipina, S., I. Alsina,. & L. Lapse. 2017. Insight In Edamame Yield And Quality Parameters: A Review. *Agricultural Sciences (Crop Sciences, Animal Sciences)*. Doi:10.22616/Rrd.23.2017.047.

## LAMPIRAN 1. MATRIK PENELITIAN

## MATRIK PENELITIAN

JUDUL	TUJUAN PENELITIAN	VARIABEL	DATA DAN TEKNIK PENGAMBILAN DATA	METODE PENELITIAN
PENGARUH RADIASI <i>EXTREMELY LOW FREQUENCY</i> <i>MAGNETIC FIELD</i> TERHADAP DAYA HANTAR LISTRIK SEBAGAI INDIKATOR KADALUARSA EDAMAME	Tujuan penelitian ini adalah untuk :  1. Mengkaji pengaruh radiasi medan magnet <i>Extremely Low Frequency</i> (ELF) terhadap kondisi fisik warna, aroma, serta lendir dan uap air edamame 2. Mengkaji pengaruh radiasi medan magnet <i>Extremely Low Frequency</i> (ELF) terhadap pH edamame 3. Mengkaji pengaruh radiasi medan magnet <i>Extremely Low Frequency</i> (ELF) terhadap daya hantar listrik edamame 4. Mengkaji nilai daya hantar listrik edamame terhadap indikator kadaluarsa edamame	<b>Variabel bebas</b> Intensitas dan lama paparan <i>Extremely Low Frequency Magnetic Field</i> pada edamame 800 $\mu$ T dan 1000 $\mu$ T selama 30 menit dan 60 menit.  <b>Variabel kontrol</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Jenis dan kualitas edamame</li> <li>Massa edamame</li> <li>Ruang penyimpanan edamame</li> </ul> <b>Variabel terikat</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Daya hantar listrik (DHL) edamame</li> <li>pH edamame</li> <li>Kondisi fisik edamame</li> </ul>	<b>Data hasil eksperimen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Nilai Daya Hantar Listrik (DHL) edamame</li> <li>pH edamame</li> <li>Kondisi fisik (warna, aroma, serta lendir dan uap air)</li> </ul> <b>Teknik pengambilan data</b> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Penentuan sampel</b> Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah edamame kualitas lokal yang diambil langsung dari PT. Mitratani 27 Jember. Penentuan sampel dilakukan secara acak.</li> <li><b>Perlakuan</b> Perlakuan yang diberikan pada kelompok eksperimen yaitu dengan memberi paparan medan magnet ELF 800<math>\mu</math>T dan 1000<math>\mu</math>T</li> </ul>	1. Jenis penelitian: eksperimen 2. Tempat penelitian: Laboratorium Biofisika FMIPA UNEJ Laboratorium fisika gedung III FKIP UNEJ 3. Analisis data yang digunakan: analisis statistik 4. Desain penelitian <i>randomized subject post-test only control group design</i>

			<p>dengan lama paparan 30 menit dan 60 menit. Sedangkan, kelompok kontrol tidak diberi paparan medan magnet ELF</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Pengambilan data</b> Data di ambil pada hari ke-1, hari ke-4, hari ke-7, dan hari ke-10 setelah panen.</li></ul> <p><b>Analisis data</b> Menggunakan bantuan software Microsoft Office Excel dan uji statistik</p>	
--	--	--	---	--

## LAMPIRAN 2. SURAT IZIN PENELITIAN

 KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS JEMBER  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
Jalan Kalimantan Nomor 57 Karang Bani Tnggoboto Jember 68121  
Telepon: 0331-314988, 330738 Faks: 0331-312472  
Laman: www.fkip.unj.ac.id

28 FEB 2019

Nomor : 1654/UN25.1.5/LT/2019  
Lampiran : -  
Hal : Permohonan Izin Penelitian

Yth. Ketua Jurusan Kimia  
FMIPA Universitas Jember  
Di Jember

Diberitahukan dengan hormat bahwa mahasiswa Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember perihal izin penelitian mahasiswa.

Nama : Emi Ariyani  
NIM : 150210102079  
Jurusan : Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Program Studi : Pendidikan Fisika  
Judul Penelitian : Pengaruh Paparan Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap Daya Hantar Listrik sebagai Indikator Kadaluarsa Edanname  
Lama Penelitian : 11 hari

Maka dengan ini kami mohon bantuan Saudara untuk memberikan izin kepada mahasiswa yang bersangkutan untuk melaksanakan kegiatan penelitian sesuai dengan judul tersebut.

Demikian atas perhatian dan kerjasamanya, disampaikan terima kasih.

  
a.n. Dekan  
Wakil Dekan I  
Prof. Dr. Suratno, M.Si.  
NIP. 19570625 199203 1 003

**LAMPIRAN 3. FOTO KEGIATAN PENELITIAN**

- Foto peneliti bersama Bapak Edy Zen bagian quality assurance PT. Mitratani 27 Jember.



- Foto sampel edamame yang telah disortir dan dilabeli



- Proses pemaparan sampel edamame menggunakan alat penghasil medan magnet ELF



- Pengukuran pH edamame menggunakan alat pH meter



- Pengukuran DHL edamame menggunakan alat *conductivity meter*



- Uji kondisi fisik edamame



## LAMPIRAN 4. DATA HASIL PENELITIAN

### 4.1 Data Hasil Penelitian pH dan DHL pada Hari ke-1

Perlakuan	pH sampel	Rata-rata	DHL ( $\mu\text{S}/\text{Cm}$ )	Rata-rata
Kontrol	6,54	6,53	1392	1495
	6,49		1675	
	6,55		1417	

### 4.2 Data Hasil Penelitian pH pada Hari ke-4, hari ke-7, dan hari ke-10

Sampel	pH edamame pada hari ke-					
	4		7		10	
	pH	Rata-rata	pH	Rata-rata	pH	Rata-rata
Kontrol	6,48	6,44	6,19	6,20	5,92	5,93
	6,36		6,18		5,91	
	6,48		6,23		5,96	
E800 $\mu\text{T}$ , 30'	6,47	6,47	6,24	6,25	6,01	6,02
	6,38		6,23		6	
	6,56		6,29		6,06	
E800 $\mu\text{T}$ , 60'	6,5	6,46	6,29	6,26	6,07	6,06
	6,42		6,27		6,1	
	6,47		6,21		6,01	
E1000 $\mu\text{T}$ , 30'	6,51	6,59	6,24	6,26	6,09	6,11
	6,7		6,3		6,15	
	6,55		6,24		6,09	
E1000 $\mu\text{T}$ , 60'	6,75	6,63	6,3	6,36	6,17	6,21
	6,53		6,41		6,26	
	6,61		6,36		6,21	

### 4.3 Data Hasil Penelitian DHL pada Hari ke-4, hari ke-7, dan hari ke-10

Sampel	DHL edamame pada hari ke-					
	4		7		10	
	DHL	Rata-rata	DHL	Rata-rata	DHL	Rata-rata
Kontrol	1538	1590	1924	1797	1910	1871
	1614		1634		1834	
	1619		1834		1870	
E800 $\mu\text{T}$ , 30'	1468	1442	1695	1682	1789	1823
	1419		1654		1858	
	1438		1698		1823	

E800 $\mu$ T, 60'	<u>1362</u>	1438	<u>1563</u>	1671	<u>1720</u>	1848
	<u>1467</u>		<u>1754</u>		<u>1914</u>	
	<u>1484</u>		<u>1696</u>		<u>1910</u>	
E1000 $\mu$ T, 30'	<u>1453</u>	1440	<u>1597</u>	1668	<u>1802</u>	1704
	<u>1349</u>		<u>1638</u>		<u>1766</u>	
	<u>1517</u>		<u>1769</u>		<u>1543</u>	
E1000 $\mu$ T, 60'	<u>1368</u>	1384	<u>1736</u>	1526	<u>1688</u>	1671
	<u>1444</u>		<u>1526</u>		<u>1716</u>	
	<u>1340</u>		<u>1317</u>		<u>1608</u>	

#### 4.4 Data Hasil Pemeriksaan Uji Fisik (warna) Edamame Hari ke-4, hari ke-7, dan hari ke-10

Hari ke-	Kelompok kontrol			Kelompok eksperimen					
	Kel.	Nilai	Rata-rata	800 $\mu$ T			1000 $\mu$ T		
				Kel.	Nilai	Rata-rata	Kel.	Nilai	Rata-rata
4	K1	5	5,5	A1 (30')	<u>5</u>	5,0	P1 (30')	<u>6</u>	6,0
					<u>5</u>			<u>6</u>	
					<u>5</u>			<u>6</u>	
				B1 (60')	<u>6</u>	5,3	Q1 (60')	<u>6</u>	5,7
					<u>5</u>			<u>6</u>	
					<u>5</u>			<u>5</u>	
7	K2	4	4,0	A2 (30')	<u>5</u>	4,7	P2 (30')	<u>6</u>	5,7
					<u>5</u>			<u>5</u>	
					<u>4</u>			<u>6</u>	
				B2 (60')	<u>5</u>	4,7	Q2 (60')	<u>6</u>	5,7
					<u>5</u>			<u>6</u>	
					<u>4</u>			<u>5</u>	
10	K3	0	0,5	A3 (30')	<u>1</u>	1,0	P3 (30')	<u>2</u>	2,3
					<u>2</u>			<u>2</u>	
					<u>0</u>			<u>3</u>	
				B3 (60')	<u>0</u>	0,7	Q3 (60')	<u>4</u>	3,7
					<u>2</u>			<u>3</u>	
					<u>0</u>			<u>4</u>	

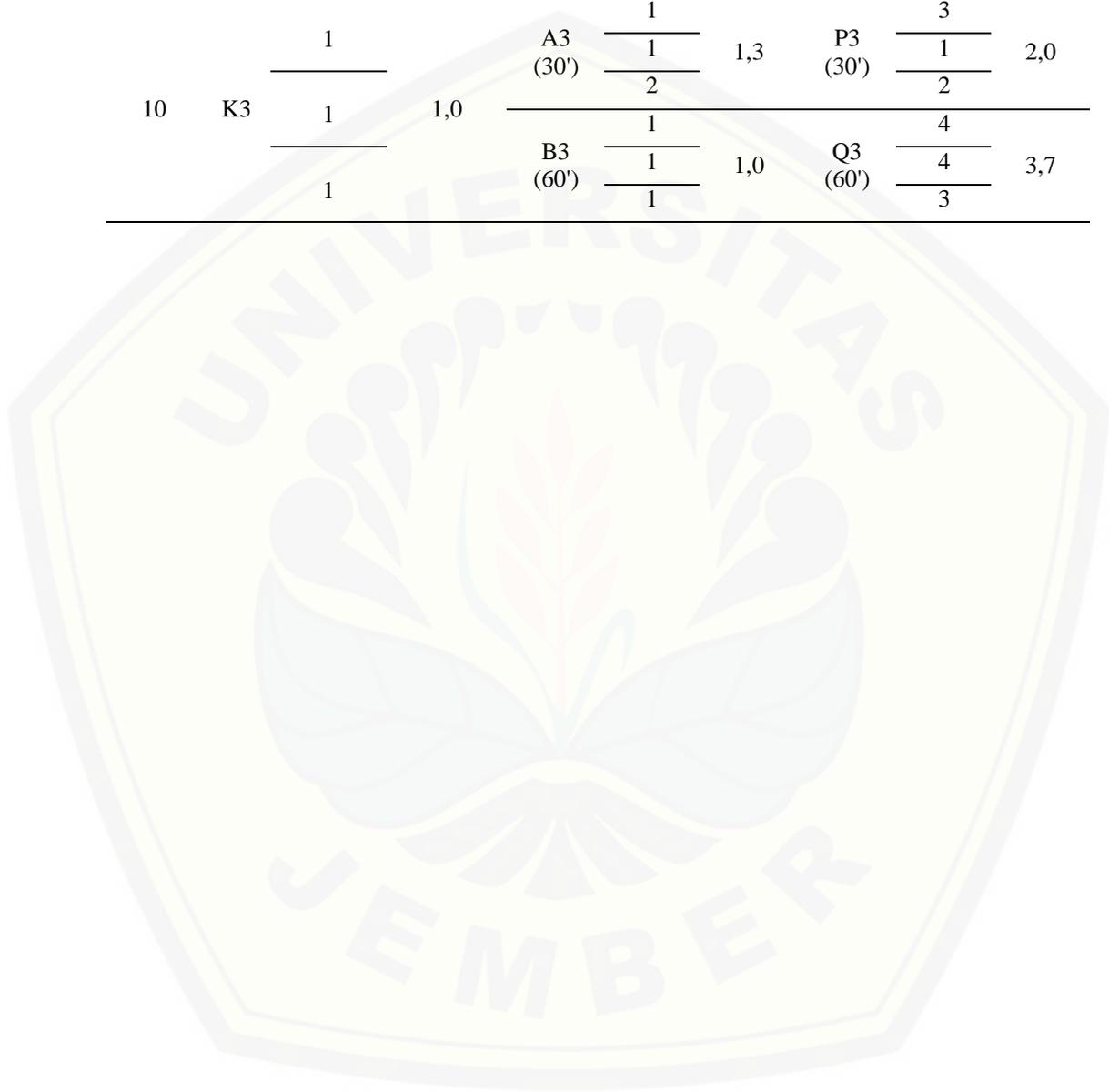
#### 4.5 Data Hasil Pemeriksaan Uji Fisik (aroma) Edamame Hari ke-4, hari ke-7, dan hari ke-10

Hari ke-	Kelompok kontrol			Kelompok eksperimen						
	Kel	Nilai	Rata-rata	800 $\mu$ T			1000 $\mu$ T			
				Kel.	Nilai	Rata-rata	Kel.	Nilai	Rata-rata	
4	K1	4	3,3	A1 (30')	3	3,0	P1 (30')	4	4,0	
					3			4		4
					3			4		4
		3		B1 (60')	4	3,3	Q1 (60')	4	4,0	
					3			4		4
					3			4		4
7	K2	2	2,0	A2 (30')	3	2,7	P2 (30')	4	3,3	
					2			3		3
					2			3		3
		2		B2 (60')	3	3,0	Q2 (60')	3	3,0	
					3			3		3
					3			3		3
10	K3	1	1,0	A3 (30')	1	1,0	P3 (30')	2	2,0	
					1			1		1
					1			1		3
		1		B3 (60')	2	1,7	Q3 (60')	3	3,0	
					2			3		3
					1			3		3

#### 4.6 Data Hasil Pemeriksaan Uji Fisik (lendir dan uap air) Edamame Hari ke-4, hari ke-7, dan hari ke-10

Hari ke-	Kelompok kontrol			Kelompok eksperimen						
	Kel	Nilai	Rata-rata	800 $\mu$ T			1000 $\mu$ T			
				Kel.	Nilai	Rata-rata	Kel.	Nilai	Rata-rata	
4	K1	4	3,5	A1 (30')	3	3,0	P1 (30')	4	3,3	
					3			3		3
					3			3		3
		3		B1 (60')	3	3,0	Q1 (60')	4	3,7	
					3			4		4
					3			3		3
7	K2	2	2,0	A2	2	2,3	P2	4	3,3	
					2			4		

				(30')	$\frac{3}{2}$		(30')	$\frac{3}{3}$	
					$\frac{3}{2}$			$\frac{3}{3}$	
		2							
				B2 (60')	$\frac{3}{2}$	2,7	Q2 (60')	$\frac{4}{3}$	3,3
		2							
		1		A3 (30')	$\frac{1}{2}$	1,3	P3 (30')	$\frac{1}{2}$	2,0
10	K3	1	1,0						
				B3 (60')	$\frac{1}{1}$	1,0	Q3 (60')	$\frac{4}{3}$	3,7
		1							



**LAMPIRAN 5. LEMBAR UJI FISIK EDAMAME**

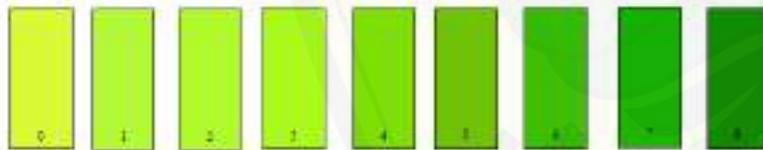
**Panelis :**

**Indikator yang diperiksa : Warna**

Sampel	Skor pemeriksaan warna hari ke-			
	1	4	7	10
Kontrol				
Eksperimen I (800 $\mu$ T, 30')				
Eksperimen I (800 $\mu$ T, 60')				
Eksperimen II (1000 $\mu$ T, 30')				
Eksperimen II (1000 $\mu$ T, 60')				

Kriteria warna :

EDAMAME COLOR CHARTS



Keterangan warna: 0: kuning 1:kuning sedikit kehijauan 2:kuning kehijauan 3: hijau terang 4:hijau sedikit kekuningan 5:hijau kekuningan 6:hijau 7:hijau sedikit gelap 8:hijau gelap

**Panelis :**

**Indikator yang diperiksa : Aroma**

Sampel	Skor pemeriksaan aroma hari ke-			
	1	4	7	10
Kontrol				
Eksperimen I (800 $\mu$ T, 30')				
Eksperimen I (800 $\mu$ T, 60')				
Eksperimen II (1000 $\mu$ T, 30')				
Eksperimen II (1000 $\mu$ T, 60')				

Kriteria:

Skor 1 jika edamame berbau sangat tidak sedap (bau busuk menyengat)

Skor 2 jika edamame berbau sedikit tidak sedap (bau apek)

Skor 3 jika edamame sedikit berbau khas edamame

Skor 4 jika edamame berbau segar khas edamame

**Panelis :**  
**Indikator yang diperiksa : Lendir dan Uap air**

Sampel	Skor pemeriksaan lendir dan uap air hari ke-			
	1	4	7	10
Kontrol				
Eksperimen I (800 $\mu$ T, 30')				
Eksperimen I (800 $\mu$ T, 60')				
Eksperimen II (1000 $\mu$ T, 30')				
Eksperimen II (1000 $\mu$ T, 60')				

Lendir dan uap air:

Skor 1 jika edamame berlendir dan beruap air banyak

Skor 2 jika edamame tidak berlendir namun terdapat banyak uap air dan sebaliknya

Skor 3 jika edamame tidak berlendir namun terdapat sedikit uap air dan sebaliknya

Skor 4 jika edamame tidak berlendir dan tidak ada uap air sama sekali