



**PENGARUH PAPARAN MEDAN MAGNET *EXTREMELY LOW FREQUENCY* (ELF) TERHADAP pH DAN DAYA HANTAR LISTRIK PADA PROSES FERMENTASI BASAH KOPI LIBERIKA (*Coffea liberica*) DENGAN PENAMBAHAN  $\alpha$ -AMILASE**

**SKRIPSI**

Oleh

**Nanda Rizky Fitriani Kanza**

**NIM 160210102096**

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

**2021**



**PENGARUH PAPARAN MEDAN MAGNET *EXTREMELY LOW FREQUENCY* (ELF) TERHADAP pH DAN DAYA HANTAR LISTRIK PADA PROSES FERMENTASI BASAH KOPI LIBERIKA (*Coffea liberica*) DENGAN PENAMBAHAN  $\alpha$ -AMILASE**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Pendidikan Fisika (S1) dan mencapai gelar Sarjana Pendidikan

Oleh

**Nanda Rizky Fitriani Kanza**

**NIM 160210102096**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA  
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS JEMBER  
2021**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ayahanda Wagiman dan Ibunda Nur Hadiyati tercinta, serta kakakku tersayang Novie Damayanti Rachman. Terima kasih atas untaian do'a, curahan kasih sayang, kesabaran, pengorbanan, dan motivasi, serta dukungan yang selalu mengiringi langkahku tiada henti.
2. Bapak dan Ibu guru sejak Taman Kanak-kanak hingga Perguruan Tinggi yang telah memberikan ilmu, membimbing dengan penuh keikhlasan dan kesabaran.
3. Almamaterku Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

**MOTTO**

*Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.*

(Terjemahan Surat Al-Baqarah ayat 286)<sup>\*)</sup>



---

<sup>\*)</sup> Departemen Agama Republik Indonesia. 2010. *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Bandung: PT CV Penerbit Diponegoro

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nanda Rizky Fitriani Kanza

NIM : 160210102096

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengaruh Paparan Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap pH dan Daya Hantar Listrik pada Proses Fermentasi Basah Kopi Liberika (*Coffea liberica*) dengan Penambahan  $\alpha$ -Amilase” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi 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 mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Januari 2021

Yang menyatakan,

Nanda Rizky Fitriani Kanza

NIM 160210102096

**SKRIPSI**

**PENGARUH PAPARAN MEDAN MAGNET *EXTREMELY LOW FREQUENCY* (ELF) TERHADAP pH DAN DAYA HANTAR LISTRIK PADA PROSES FERMENTASI BASAH KOPI LIBERIKA (*Coffea liberica*) DENGAN PENAMBAHAN  $\alpha$ -AMILASE**

Oleh

Nanda Rizky Fitriani Kanza

NIM 160210102096

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Sudarti, M.Kes.

Dosen Pembimbing Anggota : Drs. Maryani, M.Pd.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Pengaruh Paparan Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap pH dan Daya Hantar Listrik pada Proses Fermentasi Basah Kopi Liberika (*Coffea liberica*) dengan Penambahan  $\alpha$ -Amilase” karya Nanda Rizky Fitriana Kanza telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Sekretaris,

Dr. Sudarti, M.Kes.

NIP. 19620123 198802 2 001

Drs. Maryani, M.Pd.

NIP. 19640707 198902 1 002

Anggota I,

Anggota II,

Drs. Bambang Supriadi, M.Sc.

NIP. 19680710 199302 1 001

Drs. Trapsilo Prihandono, M.Si.

NIP. 19620401 198702 1 001

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan  
Universitas Jember

Prof. Dr. Bambang Soepeno, M.Pd.

NIP. 19600612 198702 1 001

## RINGKASAN

**Pengaruh Paparan Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap pH dan Daya Hantar Listrik pada Proses Fermentasi Basah Kopi Liberika (*Coffea liberica*) dengan Penambahan  $\alpha$ -Amilase;** Nanda Rizky Fitriani Kanza; 160210102096; 2021; 151 halaman; Program Studi Pendidikan Fisika Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang yang terdiri dari medan listrik dan medan magnet yang berisolasi dan membawa energi dari satu tempat ke tempat yang lain tanpa memerlukan media rambat. Gelombang elektromagnetik *Extremely Low Frequency* (ELF) adalah gelombang elektromagnetik yang memiliki frekuensi sangat rendah yaitu antara 0 hingga 300 Hz. Gelombang elektromagnetik ELF termasuk radiasi bukan pengion dan menghasilkan efek non termal pada target biologis serta bersifat tidak terhalangi. Pemanfaatan gelombang elektromagnetik ELF telah dilakukan di berbagai bidang, salah satunya dalam bidang pangan seperti proses fermentasi. Paparan medan magnet ELF memiliki potensi memperbaiki dan mempertahankan kualitas serta daya simpan dari sebuah produk salah satunya pada sektor perkebunan yaitu kopi. Penanganan kopi dengan proses fermentasi basah dengan menambahkan enzim  $\alpha$ -amilase dapat berpeluang dalam meningkatkan kualitas kopi. Hal ini membuat peneliti bermaksud untuk mengkaji pengaruh paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap pH dan daya hantar listrik pada proses fermentasi basah kopi liberika dengan penambahan  $\alpha$ -amilase.

Jenis penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dengan *randomized subjects post test only control group design*. Pada penelitian ini terdapat tujuh perlakuan yang terdiri dari kelompok kontrol dan kelompok eksperimen dengan pemaparan medan magnet ELF intensitas 300  $\mu$ T dan 400  $\mu$ T dengan masing-masing lama paparan 30 menit, 60 menit, dan 90 menit. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium ELF Program Studi Pendidikan Fisika dan Laboratorium

Mikrobiologi Program Studi Pendidikan Biologi, FKIP Universitas Jember. Pengukuran nilai pH menggunakan alat pH meter dan pengukuran nilai daya hantar listrik menggunakan alat TDS & EC meter. Pengambilan data dilakukan pada jam ke-24, jam ke-48, hari ke-3, hari ke-4, dan hari ke-5 setelah proses fermentasi. Teknik pengambilan data dilakukan dengan lima kali pengulangan untuk masing-masing kelompok perlakuan.

Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan nilai pH pada kopi liberika yang terjadi karena paparan medan magnet ELF mempengaruhi pergerakan ion  $\text{Ca}^{2+}$  pada ekstraseluler yang melintasi membran sel, sehingga paparan medan magnet mempercepat pergerakan ion  $\text{Ca}^{2+}$ . Kecepatan arah pergerakan ion  $\text{Ca}^{2+}$  ekstraseluler yang melewati membran sel dapat berubah karena adanya arus induksi yang ditimbulkan oleh perubahan medan magnet. Sehingga, saat pemenuhan kebutuhan ion  $\text{Ca}^{2+}$  terjaga sesuai dengan kebutuhan sel, maka akan mempercepat pertumbuhan sel dan bakteri semakin banyak. Pada pengukuran pH dengan intensitas 400  $\mu\text{T}$  selama 30 menit dan 60 menit memberikan hasil yang baik dan tingkat keasaman yang tepat karena mampu mempengaruhi pertumbuhan sel dan mempercepat aktivitas  $\alpha$ -amilase dalam memecah pati pulp pada kopi liberika agar bakteri asam laktat lebih cepat menggunakan glukosa sebagai substrat, sehingga kerja mikroba selama proses fermentasi menjadi optimal. Hal ini mempengaruhi pembentukan ion  $\text{H}^+$  oleh bakteri asam laktat yang berpengaruh pada daya hantar listrik. Pengukuran nilai daya hantar listrik kopi liberika yang dipapar medan magnet ELF intensitas 400  $\mu\text{T}$  dengan lama paparan 30 menit dan 60 menit menunjukkan ion  $\text{H}^+$  meningkat dan aktivitas  $\alpha$ -amilase serta bakteri asam laktat pada proses fermentasi kopi liberika bekerja secara maksimal.

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh kesimpulan bahwa medan magnet ELF berpengaruh terhadap nilai pH dan nilai daya hantar listrik pada proses fermentasi basah kopi liberika dengan penambahan  $\alpha$ -amilase yang ditunjukkan dengan bervariasinya grafik.

## PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Paparan Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap pH dan Daya Hantar Listrik pada Proses Fermentasi Basah Kopi Liberika (*Coffea liberica*) dengan Penambahan  $\alpha$ -Amilase”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Pendidikan Fisika, Jurusan Pendidikan MIPA, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

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

1. Prof. Dr. Bambang Soepeno, M.Pd., selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
2. Dr. Dwi Wahyuni, M.Kes., selaku Ketua Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
3. Drs. Bambang Supriadi, M.Sc., selaku Ketua Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
4. Dr. Drs. Sri Handono Budi Prastowo, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang dengan sabar membimbing dan memberikan motivasi selama masa kuliah;
5. Dr. Sudarti, M.Kes., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Drs. Maryani, M.Pd., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang dengan sabar meluangkan waktu untuk membimbing dan memberikan masukan ilmu dalam penyusunan skripsi ini;
6. Drs. Bambang Supriadi, M.Sc., selaku Dosen Penguji Utama dan Drs. Trapsilo Prihandono, M.Si., selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikan ilmu, kritik, dan saran dalam penyusunan skripsi ini;
7. Bapak dan Ibu dosen Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Jember yang telah memberikan ilmu selama menyelesaikan studi di Pendidikan Fisika;

8. Mbak Mahbubatur Rohmah selaku Laboran FKIP Biologi Universitas Jember yang telah memberikan bantuan selama pelaksanaan penelitian;
9. Kedua orang tua dan keluarga besar saya yang selalu memberikan do'a dan motivasi selama ini;
10. Teman-teman yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, Januari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	ii
HALAMAN MOTTO .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN.....	v
HALAMAN PENGESAHAN .....	vi
RINGKASAN .....	vii
PRAKATA .....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxi
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>5</b>
<b>1.3 Tujuan Penelitian .....</b>	<b>5</b>
<b>1.4 Manfaat Penelitian .....</b>	<b>6</b>
<b>1.5 Batasan Masalah.....</b>	<b>6</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Medan Magnet <i>Extremely Low Frequency</i> (ELF).....</b>	<b>7</b>
2.1.1 Gelombang Elektromagnetik ELF.....	7
2.1.2 Karakteristik Medan Listrik ELF.....	10
2.1.3 Karakteristik Medan Magnet ELF.....	11
<b>2.2 Efek Proliferasi Sel oleh Paparan Medan Magnet</b> <i>Extremely Low Frequency</i> (ELF).....	12
<b>2.3 Pengaruh Medan Magnet <i>Extremely Low Frequency</i> (ELF)</b> <b>terhadap Perkembangbiakan Bakteri .....</b>	14

<b>2.4 Pengaruh Medan Magnet <i>Extremely Low Frequency</i> (ELF)</b>	
<b>terhadap Proses Fermentasi .....</b>	<b>15</b>
<b>2.5 Proses Fermentasi untuk Meningkatkan Kualitas Kopi .....</b>	<b>16</b>
2.5.1 Kopi Liberika .....	16
2.5.2 Mekanisme Fermentasi .....	20
2.5.3 Enzim $\alpha$ -Amilase.....	21
2.5.4 Pengaruh Perkembangbiakan Bakteri Fermentasi pada pH.....	23
2.5.5 Pengaruh Perkembangbiakan Bakteri Fermentasi pada Daya Hantar Listrik.....	26
<b>2.6 Kerangka Konseptual .....</b>	<b>29</b>
<b>2.7 Hipotesis Penelitian.....</b>	<b>30</b>
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....</b>	<b>31</b>
<b>3.2 Jenis dan Desain Penelitian .....</b>	<b>31</b>
3.2.1 Jenis Penelitian .....	31
3.2.2 Desain Penelitian .....	31
<b>3.3 Variabel Penelitian .....</b>	<b>33</b>
3.3.1 Klasifikasi Variabel Penelitian .....	33
3.3.2 Definisi Operasional Variabel Penelitian .....	34
<b>3.4 Alat dan Bahan Penelitian .....</b>	<b>35</b>
3.4.1 Alat Penelitian .....	35
3.4.2 Bahan Penelitian .....	37
<b>3.5 Prosedur Penelitian .....</b>	<b>37</b>
3.5.1 Prosedur Pembuatan Kopi Liberika Difermentasi Secara Basah dengan Penambahan $\alpha$ -Amilase .....	37
3.5.2 Prosedur Pemaparan Gelombang Elektromagnetik ELF.....	38
3.5.3 Prosedur Pengujian pH Kopi Liberika.....	40
3.5.4 Prosedur Pengujian Daya Hantar Listrik Kopi Liberika .....	40
3.5.5 Bagan Prosedur Penelitian.....	41
<b>3.6 Metode Analisis Data.....</b>	<b>44</b>
3.6.1 Tabel Hasil Pengamatan .....	44

3.6.2 Teknik Analisa Data .....	49
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>52</b>
<b>4.1 Hasil Penelitian .....</b>	<b>52</b>
4.1.1 Deskripsi Data pH Kopi Liberika .....	53
4.1.2 Deskripsi Data Daya Hantar Listrik Kopi Liberika.....	61
<b>4.2 Analisa Data.....</b>	<b>69</b>
4.2.1 Analisis Nilai pH Kopi Liberika .....	70
4.2.2 Analisis Nilai Daya Hantar Listrik Kopi Liberika .....	96
<b>4.3 Pembahasan .....</b>	<b>123</b>
4.3.1 Pengaruh Medan Magnet ELF terhadap pH Kopi Liberika.....	123
4.3.2 Pengaruh Medan Magnet ELF terhadap Daya Hantar Listrik Kopi Liberika .....	126
<b>BAB 5. PENUTUP.....</b>	<b>129</b>
<b>5.1 Kesimpulan.....</b>	<b>129</b>
<b>5.2 Saran .....</b>	<b>129</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>130</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>140</b>

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Hasil pengukuran medan magnet pada perabotan rumah tangga.....	9
2.2 Mikroba penghasil enzim.....	21
3.1 Data hasil pengukuran nilai pH kopi liberika pada kelompok kontrol dan kelompok eksperimen.....	44
3.2 Data hasil pengukuran nilai DHL kopi liberika pada kelompok kontrol dan kelompok eksperimen.....	47
4.1 Rata-rata nilai pH kopi liberika kelompok kontrol dan kelompok eksperimen 300 $\mu$ T dan 400 $\mu$ T.....	53
4.2 Rata-rata nilai daya hantar listrik kopi liberika kelompok kontrol dan kelompok eksperimen 300 $\mu$ T dan 400 $\mu$ T.....	61
4.3 Hasil uji <i>Independen sampel t test – Mann whitney</i> pH jam ke-0.....	70
4.4 Hasil uji <i>Independen sampel t test – Mann whitney</i> pH jam ke-24 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E300 $\mu$ T, 30').....	71
4.5 Hasil uji <i>Independen sampel t test – Mann whitney</i> pH jam ke-24 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E300 $\mu$ T, 60').....	72
4.6 Hasil uji <i>Independen sampel t test – Mann whitney</i> pH jam ke-24 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E300 $\mu$ T, 90').....	73
4.7 Hasil uji <i>Independen sampel t test – Mann whitney</i> pH jam ke-24 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E400 $\mu$ T, 30').....	73
4.8 Hasil uji <i>Independen sampel t test – Mann whitney</i> pH jam ke-24 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E400 $\mu$ T, 60').....	74
4.9 Hasil uji <i>Independen sampel t test – Mann whitney</i> pH jam ke-24 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E400 $\mu$ T, 90').....	75
4.10 Hasil uji <i>Independen sampel t test – Mann whitney</i> pH jam ke-48 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E300 $\mu$ T, 30').....	76
4.11 Hasil uji <i>Independen sampel t test – Mann whitney</i> pH jam ke-48 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E300 $\mu$ T, 60').....	76
4.12 Hasil uji <i>Independen sampel t test – Mann whitney</i> pH jam ke-48	

kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E300 $\mu$ T, 90')	77
4.13 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> pH jam ke-48	
kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E400 $\mu$ T, 30')	78
4.14 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> pH jam ke-48	
kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E400 $\mu$ T, 60')	79
4.15 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> pH jam ke-48	
kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E400 $\mu$ T, 90')	79
4.16 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> pH hari ke-3	
kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E300 $\mu$ T, 30')	80
4.17 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> pH hari ke-3	
kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E300 $\mu$ T, 60')	81
4.18 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> pH hari ke-3	
kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E300 $\mu$ T, 90')	82
4.19 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> pH hari ke-3	
kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E400 $\mu$ T, 30')	82
4.20 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> pH hari ke-3	
kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E400 $\mu$ T, 60')	83
4.21 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> pH hari ke-3	
kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E400 $\mu$ T, 90')	84
4.22 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> pH hari ke-4	
kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E300 $\mu$ T, 30')	85
4.23 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> pH hari ke-4	
kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E300 $\mu$ T, 60')	85
4.24 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> pH hari ke-4	
kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E300 $\mu$ T, 90')	86
4.25 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> pH hari ke-4	
kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E400 $\mu$ T, 30')	87
4.26 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> pH hari ke-4	
kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E400 $\mu$ T, 60')	88
4.27 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> pH hari ke-4	
kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E400 $\mu$ T, 90')	88

4.28	Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> pH hari ke-5 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E300 $\mu$ T, 30') .....	89
4.29	Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> pH hari ke-5 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E300 $\mu$ T, 60') .....	90
4.30	Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> pH hari ke-5 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E300 $\mu$ T, 90') .....	91
4.31	Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> pH hari ke-5 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E400 $\mu$ T, 30') .....	91
4.32	Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> pH hari ke-5 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E400 $\mu$ T, 60') .....	92
4.33	Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> pH hari ke-5 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E400 $\mu$ T, 90') .....	93
4.34	Hasil uji <i>Kruskal-Wallis</i> pH kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen .....	94
4.35	Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL jam ke-0 .....	97
4.36	Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL jam ke-24 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E300 $\mu$ T, 30') .....	98
4.37	Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL jam ke-24 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E300 $\mu$ T, 60') .....	98
4.38	Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL jam ke-24 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E300 $\mu$ T, 90') .....	99
4.39	Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL jam ke-24 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E400 $\mu$ T, 30') .....	100
4.40	Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL jam ke-24 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E400 $\mu$ T, 60') .....	101
4.41	Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL jam ke-24 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E400 $\mu$ T, 90') .....	101
4.42	Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL jam ke-48 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E300 $\mu$ T, 30') .....	102
4.43	Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL jam ke-48 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E300 $\mu$ T, 60') .....	103

4.44 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL jam ke-48 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E300 $\mu$ T, 90') .....	104
4.45 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL jam ke-48 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E400 $\mu$ T, 30') .....	104
4.46 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL jam ke-48 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E400 $\mu$ T, 60') .....	105
4.47 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL jam ke-48 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E400 $\mu$ T, 90') .....	106
4.48 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL hari ke-3 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E300 $\mu$ T, 30') .....	107
4.49 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL hari ke-3 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E300 $\mu$ T, 60') .....	107
4.50 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL hari ke-3 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E300 $\mu$ T, 90') .....	108
4.51 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL hari ke-3 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E400 $\mu$ T, 30') .....	109
4.52 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL hari ke-3 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E400 $\mu$ T, 60') .....	110
4.53 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL hari ke-3 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E400 $\mu$ T, 90') .....	110
4.54 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL hari ke-4 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E300 $\mu$ T, 30') .....	111
4.55 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL hari ke-4 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E300 $\mu$ T, 60') .....	112
4.56 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL hari ke-4 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E300 $\mu$ T, 90') .....	113
4.57 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL hari ke-4 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E400 $\mu$ T, 30') .....	113
4.58 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL hari ke-4 kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E400 $\mu$ T, 60') .....	114
4.59 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL hari ke-4	

kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E400 $\mu$ T, 90') .....	115
4.60 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL hari ke-5	
kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E300 $\mu$ T, 30') .....	116
4.61 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL hari ke-5	
kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E300 $\mu$ T, 60') .....	116
4.62 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL hari ke-5	
kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E300 $\mu$ T, 90') .....	117
4.63 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL hari ke-5	
kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E400 $\mu$ T, 30') .....	118
4.64 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL hari ke-5	
kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E400 $\mu$ T, 60') .....	119
4.65 Hasil uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> DHL hari ke-5	
kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (E400 $\mu$ T, 90') .....	119
4.66 Hasil uji <i>Kruskal-Wallis</i> DHL kelompok kontrol dengan	
kelompok eksperimen .....	120

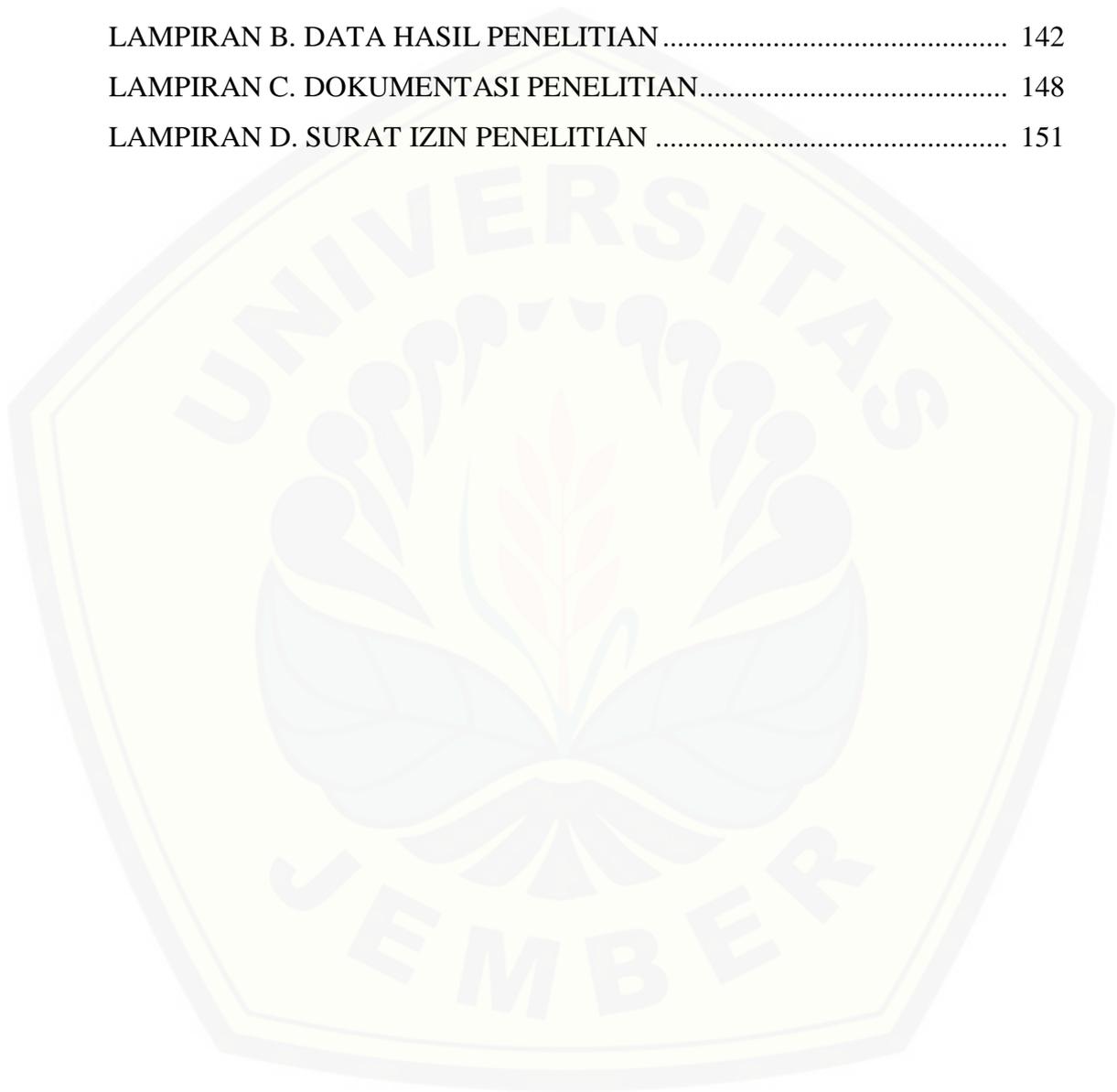
DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Perambatan gelombang elektromagnetik .....	7
2.2 Spektrum gelombang elektromagnetik .....	8
2.3 Kopi liberika.....	17
2.4 Pohon kopi liberika .....	18
2.5 Kerangka konseptual.....	29
3.1 Desain penelitian.....	32
3.2 <i>Current Transformer</i> .....	35
3.3 EMF-827 .....	35
3.4 pH meter.....	36
3.5 TDS & EC meter.....	36
3.6 Bagan prosedur penelitian.....	43
4.1 Diagram nilai pH kopi liberika kelompok kontrol dan kelompok eksperimen 300 $\mu$ T dan 400 $\mu$ T pada jam ke-24 setelah fermentasi .....	54
4.2 Diagram nilai pH kopi liberika kelompok kontrol dan kelompok eksperimen 300 $\mu$ T dan 400 $\mu$ T pada jam ke-48 setelah fermentasi .....	55
4.3 Diagram nilai pH kopi liberika kelompok kontrol dan kelompok eksperimen 300 $\mu$ T dan 400 $\mu$ T pada hari ke-3 setelah fermentasi .....	56
4.4 Diagram nilai pH kopi liberika kelompok kontrol dan kelompok eksperimen 300 $\mu$ T dan 400 $\mu$ T pada hari ke-4 setelah fermentasi .....	57
4.5 Diagram nilai pH kopi liberika kelompok kontrol dan kelompok eksperimen 300 $\mu$ T dan 400 $\mu$ T pada hari ke-5 setelah fermentasi .....	58
4.6 Diagram nilai pH kopi liberika kelompok kontrol dan kelompok eksperimen 300 $\mu$ T dan 400 $\mu$ T pada jam ke-0, jam ke-24, jam ke-48, hari ke-3, hari ke-4, dan hari ke-5 setelah fermentasi .....	59
4.7 Diagram nilai pH kopi liberika pada jam ke-0, jam ke-24, jam ke-48, hari ke-3, hari ke-4, dan hari ke-5 setelah fermentasi .....	60
4.8 Diagram nilai DHL kopi liberika kelompok kontrol dan kelompok eksperimen 300 $\mu$ T dan 400 $\mu$ T pada jam ke-24 setelah fermentasi .....	62

- 4.9 Diagram nilai DHL kopi liberika kelompok kontrol dan kelompok eksperimen 300  $\mu$ T dan 400  $\mu$ T pada jam ke-48 setelah fermentasi ..... 63
- 4.10 Diagram nilai DHL kopi liberika kelompok kontrol dan kelompok eksperimen 300  $\mu$ T dan 400  $\mu$ T pada hari ke-3 setelah fermentasi ..... 64
- 4.11 Diagram nilai DHL kopi liberika kelompok kontrol dan kelompok eksperimen 300  $\mu$ T dan 400  $\mu$ T pada hari ke-4 setelah fermentasi ..... 65
- 4.12 Diagram nilai DHL kopi liberika kelompok kontrol dan kelompok eksperimen 300  $\mu$ T dan 400  $\mu$ T pada hari ke-5 setelah fermentasi ..... 66
- 4.13 Diagram nilai DHL kopi liberika kelompok kontrol dan kelompok eksperimen 300  $\mu$ T dan 400  $\mu$ T pada jam ke-0, jam ke-24, jam ke-48, hari ke-3, hari ke-4, dan hari ke-5 setelah fermentasi..... 67
- 4.14 Diagram nilai DHL kopi liberika pada jam ke-0, jam ke-24, jam ke-48, hari ke-3, hari ke-4, dan hari ke-5 setelah fermentasi..... 68

**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
LAMPIRAN A. MATRIKS PENELITIAN.....	140
LAMPIRAN B. DATA HASIL PENELITIAN .....	142
LAMPIRAN C. DOKUMENTASI PENELITIAN.....	148
LAMPIRAN D. SURAT IZIN PENELITIAN .....	151



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pesatnya perkembangan teknologi membuat penggunaan alat elektronik dalam kehidupan sehari-hari semakin meningkat. Setiap peralatan elektronik menghasilkan medan magnet ketika dialiri arus listrik. Listrik yang mengalir melalui peralatan elektronik berasal dari PLN dengan frekuensi 50 Hz dan pada saat itu pula timbul medan listrik dan medan magnet. Dampak yang didapatkan secara tidak langsung yaitu meningkatnya intensitas paparan berbagai frekuensi gelombang elektromagnetik di lingkungan (Sadidah dkk., 2015).

Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang yang terdiri dari medan listrik dan medan magnet yang berisolasi dan membawa energi dari satu tempat ke tempat yang lain tanpa memerlukan media rambat. Purwoko (2009) menyatakan, perubahan medan magnet dapat menimbulkan medan listrik dan interaksi yang terjadi tersebut membentuk gelombang elektromagnetik. Radiasi yang dipancarkan oleh gelombang elektromagnetik dikelompokkan berdasarkan panjang gelombang dan frekuensinya.

Gelombang elektromagnetik *Extremely Low Frequency* (ELF) adalah gelombang elektromagnetik yang memiliki frekuensi sangat rendah yaitu antara 0 hingga 300 Hz. Medan magnet dan medan listrik merupakan komponen gelombang elektromagnetik yang memiliki karakteristik berbeda. Medan magnet mampu menembus hampir semua material, sedangkan medan listrik tidak mampu melakukan itu (Sudarti *et al.*, 2018). Radiasi gelombang elektromagnetik ELF termasuk radiasi bukan pengion, sehingga tidak menyebabkan terjadinya proses ionisasi molekul pada suatu medium (Alatas, 2001). Gelombang ELF memiliki energi sangat kecil sehingga menghasilkan efek non termal pada target biologis yang artinya tidak menyebabkan perubahan suhu saat berinteraksi.

Masyarakat mulai resah akibat paparan gelombang elektromagnetik yang diterima di lingkungan meningkat. Masyarakat beranggapan tentang dampak negatif bagi kesehatan fisik manusia yang diterima dari tingginya paparan gelombang elektromagnetik ELF (Sari dkk., 2018). Organisasi kesehatan dunia

WHO (2016) menyatakan, ambang batas paparan medan magnet yang bisa diterima makhluk hidup sebesar  $< 0,1$  mT. Para peneliti mulai melakukan penelitian untuk memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik ELF di berbagai bidang, salah satunya dalam bidang pangan. Penelitian pemanfaatan gelombang elektromagnetik ELF dalam bidang pangan mulai dilakukan dari pengolahan, pengawetan, fermentasi, dan lain-lain.

Beberapa penelitian terkait dengan hal tersebut diantaranya Ridawati (2017) menyatakan, bahwa paparan medan magnet ELF dengan intensitas  $300 \mu\text{T}$  dan lama paparan 5 menit berpengaruh terhadap nilai pH dan daya hantar listrik pada susu fermentasi. Pengaruh paparan medan magnet ELF pada intensitas  $100 \mu\text{T}$  dan lama paparan 5 menit juga memberikan reaksi pertumbuhan bakteri *Mesophilic* dan *Thermophilic* serta menyebabkan penurunan nilai pH dan kadar air pada proses pembuatan keju *cream cheese* (Kristinawati, 2015). Paparan medan magnet ELF dengan intensitas  $300 \mu\text{T}$  dan  $500 \mu\text{T}$  berpengaruh terhadap perubahan jumlah mikroba dan pH pada proses fermentasi tape ketan (Sadidah dkk., 2015). Paparan medan magnet ELF intensitas  $300 \mu\text{T}$  dan  $500 \mu\text{T}$  selama 10 menit, 50 menit, dan 90 menit mampu mempertahankan pH pada buah tomat (Ma'rufiyanti dkk., 2014). Paparan medan magnet ELF dengan intensitas  $100 \mu\text{T}$  dan lama paparan 90 menit berpengaruh terhadap nilai pH dan nilai daya hantar listrik biji kakao kering pada proses fermentasi (Dewi, 2019). Selain itu, Sudarti dkk. (2020) menjelaskan, paparan medan magnet ELF  $300 \mu\text{T}$  dan lama paparan 45 menit dapat meningkatkan pertumbuhan *Lactobacillus* dalam proses fermentasi kopi luwak buatan dan total pH yang ditunjukkan tidak mengalami perubahan yang berarti. Dengan adanya penelitian-penelitian tersebut, mendorong peneliti untuk mengkaji adanya pengaruh paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap peningkatan teknologi pengolahan melalui proses fermentasi. Salah satu proses fermentasi terjadi pada biji kopi. Umumnya, kopi difermentasikan secara alamiah maupun fermentasi basah dengan penambahan enzim maupun tidak menambahkan enzim.

Paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) memiliki potensi dalam memperbaiki dan mempertahankan kualitas serta daya simpan dari sebuah

produk salah satunya pada sektor perkebunan yaitu kopi. Hal ini perlu dipelajari lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh paparan medan magnet ELF terhadap bahan industri pangan yang dapat difermentasikan seperti kopi. Penanganan yang tepat pada kopi berpeluang dalam meningkatkan kualitas kopi (Sulistyaningtyas, 2017).

Indonesia merupakan negara yang memiliki keanekaragaman hayati, termasuk ragam jenis kopi. Kopi merupakan salah satu jenis tanaman perkebunan yang telah lama dibudidayakan di Indonesia dan menjadi komoditi hasil perkebunan yang penting untuk di ekspor karena memiliki nilai ekonomis yang cukup tinggi. Kopi berasal dari daerah pegunungan di Etopia, Afrika. Namun, kopi dikenal oleh masyarakat secara luas ketika tanaman tersebut dikembangkan di Yaman, bagian selatan Arab (Rahardjo, 2012). Berbagai jenis kopi telah dibudidayakan di Indonesia, salah satunya adalah kopi liberika.

Kopi liberika memiliki cakupan daerah penyebaran yang cepat dan tetap subur di daerah yang rendah dengan tingkat kelembaban yang tinggi serta panas. Kopi liberika termasuk kopi yang kurang komersil di Indonesia. Hal ini disebabkan variasi bentuk ukuran biji dan kualitas citarasa kopi yang tidak sebaik kopi arabika serta penyusutan bobot pascapanen cukup tinggi (Najiyati dan Danarti, 1997). Kopi liberika memiliki keasaman yang cukup serta memiliki aroma menyengat dan tajam dengan rasa pahit yang lebih kental. Kopi liberika memiliki citarasa khas ketika sudah diseduh yaitu ada aroma nangka asam mirip kopi arabika dan coklat (Prasetyo *et al.*, 2019). Oleh karena itu, kopi liberika disebut juga kopi nangka karena memiliki aroma seperti buah nangka (Puslitkoka Indonesia, 2014).

Kopi memiliki banyak kandungan bakteri yang dapat digunakan dalam proses fermentasi. Pengolahan kopi oleh para petani biasanya dilakukan secara alami maupun pengolahan secara kering dan secara basah. Pengolahan kopi secara kering dilakukan dengan pengeringan secara berkala agar lendir yang ada pada kopi hilang. Namun, pengolahan kering memiliki kelemahan yaitu citarasa dan aroma yang dihasilkan masih tergolong rendah. Salah satu tahapan yang menentukan mutu seduhan akhir kopi adalah fermentasi secara basah. Proses

fermentasi basah akan menghasilkan citarasa dan aroma yang lebih baik dari pengolahan kering yaitu menghilangkan rasa pahit, memberikan kekentalan, menimbulkan keasaman yang baik dan kesan mild pada seduhan kopi (Yusianto & Widyotomo, 2013). Fermentasi menggunakan bantuan mikroba akan menghasilkan kopi dengan citarasa dan aroma yang khas, tetapi fermentasi yang seperti ini tidak dapat berjalan secara optimal dalam proses pemecahan gula pada fermentasi kopi (Astutik, 2017). Oleh sebab itu, diperlukan solusi yang dapat membantu proses pemecahan pati pulp pada biji kopi. Salah satu cara yang dapat digunakan adalah menambahkan enzim  $\alpha$ -amilase. Penambahan enzim  $\alpha$ -amilase mampu bertindak sebagai katalis untuk menghidrolisis molekul pada pulp kopi (Sivaramakrishnan *et al.*, 2006). Hasil hidrolisis tersebut membantu penyediaan substrat yang akan digunakan mikroba untuk pemecahan molekul pulp kopi menjadi gula-gula sederhana seperti maltosa dan glukosa.

Kopi berkaitan erat dengan tingkat keasaman atau pH. Kopi dengan tingkat keasaman yang baik adalah kopi yang manis, enak, dan kesegarannya seperti buah segar saat baru diseruput (Firdaus dkk., 2018). Penggunaan  $\alpha$ -amilase pada kopi akan memberikan pengaruh keasaman yang lebih baik. Penambahan  $\alpha$ -amilase dalam fermentasi akan mengoptimalkan pemecahan karbohidrat pada kopi, sehingga bakteri asam laktat menjadi lebih cepat menggunakan glukosa sebagai substrat. Hasil penelitian Fauzi dkk. (2017) menyatakan, bahwa penambahan enzim  $\alpha$ -amilase pada fermentasi kopi luwak robusta artifisial berpengaruh pada peningkatan total asam tertitrasi yang terjadi karena pembentukan asam-asam organik hasil degradasi gula oleh mikroba.

Paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) dapat meningkatkan aktivitas enzim  $\alpha$ -amilase karena adanya perubahan kadar ion kalsium (Handoko dkk., 2017). Penelitian beberapa ahli menunjukkan bahwa pemaparan medan magnet berpengaruh terhadap aktivitas enzim  $\alpha$ -amilase, seperti dalam penelitian Afzal *et al.* (2012) menyatakan, bahwa paparan medan 100 mT selama 3 menit pada biji marigold memberikan performa aktivitas  $\alpha$ -amilase maksimum. Selain itu, penelitian Rohma *et al.* (2013) menunjukkan, bahwa pemaparan medan magnet 0,1 mT pada biji kacang merah dan kacang

buncis hitam selama 15 menit 36 detik mampu meningkatkan aktivitas enzim  $\alpha$ -amilase.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka perlu dicari alternatif untuk memperbaiki kualitas dan proses fermentasi kopi liberika dengan menggunakan metode yang lebih unggul daripada metode konvensional. Salah satu alternatif yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan paparan medan magnet ELF pada proses fermentasi basah kopi liberika dengan penambahan enzim  $\alpha$ -amilase menggunakan intensitas dan lama paparan yang sesuai. Oleh karena itu, peneliti bermaksud melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Paparan Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap pH dan Daya Hantar Listrik pada Proses Fermentasi Basah Kopi Liberika (*Coffea liberica*) dengan Penambahan  $\alpha$ -Amilase”.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut.

- 1.2.1 Bagaimana pengaruh paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap pH pada proses fermentasi basah kopi liberika dengan penambahan  $\alpha$ -amilase?
- 1.2.2 Bagaimana pengaruh paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap daya hantar listrik pada proses fermentasi basah kopi liberika dengan penambahan  $\alpha$ -amilase?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini sebagai berikut.

- 1.3.1 Mengkaji pengaruh paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap pH pada proses fermentasi basah kopi liberika dengan penambahan  $\alpha$ -amilase.

- 1.3.2 Mengkaji pengaruh paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap daya hantar listrik pada proses fermentasi basah kopi liberika dengan penambahan  $\alpha$ -amilase.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Berdasarkan tujuan masalah di atas, maka manfaat dari penelitian ini sebagai berikut.

- 1.4.1 Bagi pembaca, sebagai sumber informasi tentang manfaat medan magnet ELF pada bidang teknologi pangan.
- 1.4.2 Bagi masyarakat, sebagai alternatif pengembangan teknologi proses fermentasi basah pada kopi menggunakan medan magnet ELF.
- 1.4.3 Bagi peneliti, sebagai acuan dan bahan pertimbangan dalam melakukan penelitian selanjutnya.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Agar penelitian ini terarah pada permasalahan yang diteliti, maka diberikan batasan masalah sebagai berikut.

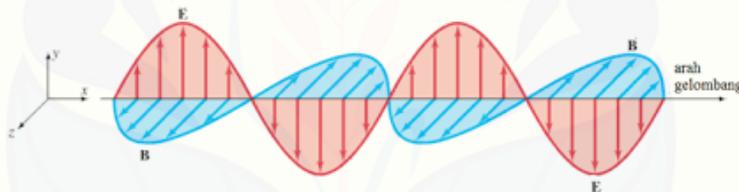
- 1.5.1 Sumber paparan menggunakan alat penghasil medan magnet ELF.
- 1.5.2 Intensitas medan magnet ELF yang digunakan 300  $\mu$ T dan 400  $\mu$ T.
- 1.5.3 Lama paparan medan magnet ELF yaitu 30 menit, 60 menit, dan 90 menit.
- 1.5.4 Penelitian ini menggunakan kopi liberika yang sudah difermentasi basah dengan penambahan enzim  $\alpha$ -amilase.
- 1.5.5 Indikator yang digunakan pada proses fermentasi kopi ini adalah nilai pH dan nilai daya hantar listrik.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF)

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

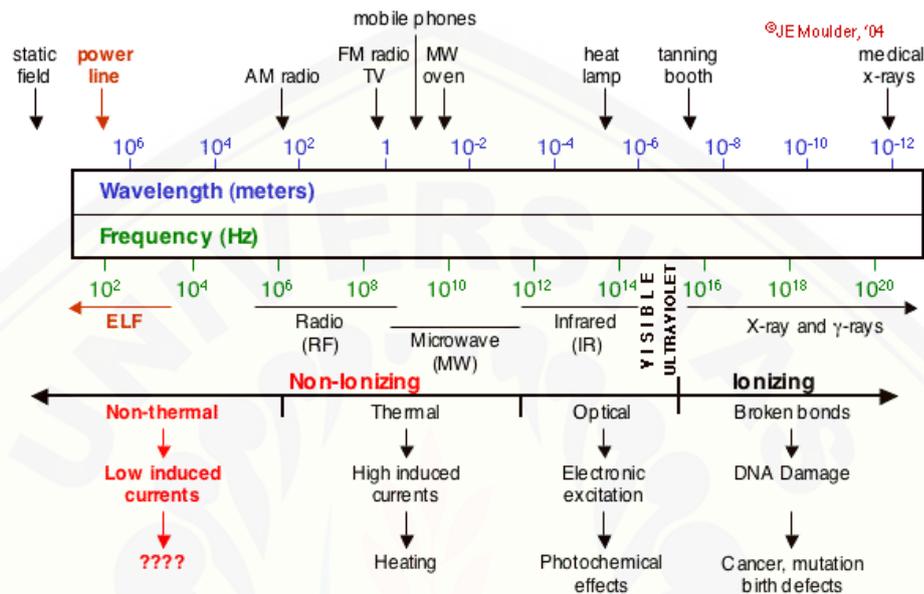
Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang terdiri dari medan listrik dan medan magnet yang dalam perambatannya tidak memerlukan suatu medium perantara (Young, 2003). Perubahan medan magnet dapat menimbulkan medan listrik. Interaksi yang terjadi antara medan magnet dan medan listrik membentuk gelombang elektromagnetik (Purwoko, 2009). Gelombang elektromagnetik adalah gelombang transversal dan mirip dengan gelombang-gelombang jenis lain. Namun, gelombang elektromagnetik selalu merupakan gelombang medan, bukan materi. Karena terdiri atas medan, gelombang elektromagnetik dapat merambat melalui ruang vakum (Giancoli, 2014:217).



Gambar 2.1 Perambatan gelombang elektromagnetik (Sumber: Giancoli, 2014)

Pada gambar 2.1 menunjukkan kuat medan yang dipetakan sebagai fungsi posisi B dan E saling tegak lurus satu sama lain dan tegak lurus terhadap arah rambatan. Posisi medan listrik E yang arahnya vertikal pada sumbu y, sedangkan posisi medan magnet B arahnya horizontal pada sumbu z, dan arah rambat gelombang ditunjukkan pada sumbu x. Gelombang elektromagnetik mampu melintas dan merambat melalui medium udara maupun melalui ruang angkasa yang hampa udara. Gelombang elektromagnetik merambat di luar angkasa dengan kecepatan cahaya, identifikasi dari jenis gelombang elektromagnetik yang memiliki perbedaan frekuensi dan panjang gelombang, tetapi memiliki kecepatan propagasi yang sama di ruang hampa sekitar  $3 \times 10^8$  m/s.

Gelombang elektromagnetik meliputi cahaya, gelombang radio, sinar-x, sinar gamma, dan sebagainya. Berbagai jenis gelombang elektromagnetik hanya berbeda dalam panjang gelombang  $\lambda$  dan frekuensinya  $f$ .



Gambar 2.2 Spektrum gelombang elektromagnetik (Sumber: google)

Pada gambar 2.2 memberikan sebuah gambaran spektrum gelombang elektromagnetik dan nama-nama yang berhubungan dengan berbagai interval frekuensi dan panjang gelombangnya. Semua gelombang ini mempunyai sifat dasar dan laju yang sama. Gelombang-gelombang tersebut hanya memiliki perbedaan frekuensi, artinya memiliki perbedaan panjang gelombang (Halliday dan Resnick, 1997:538).

Sumber paparan medan elektromagnetik berasal dari sumber alamiah dan sumber buatan. Sumber alamiah antara lain berasal dari sinar matahari, medan magnet bumi, maupun radiasi kosmik. Sedangkan, sumber buatan berasal dari aliran arus pada kabel pembangkit listrik dan penggunaan peralatan elektronik (WHO, 2007). Sumber paparan medan magnet yang ada di lingkungan masyarakat sebagian besar berasal dari peralatan elektronika. Setiap alat elektronika menghasilkan medan magnet yang sebanding dengan arus yang

mengalir dari sumber menuju peralatan yang terhubung. Besar medan magnet yang diterima akan bergantung dengan jarak, medan magnet akan berkurang jika jarak sumber paparan dengan benda saling berjauhan. Sesuai dengan percobaan Hans Christian Oersted tahun 1820 bahwa arus listrik dapat menghasilkan medan magnet (Halliday dan Resnick, 1997). Berikut hasil pengukuran medan listrik dapat menghasilkan medan magnet.

Tabel 2.1 Hasil pengukuran medan magnet pada perabotan rumah tangga (*Federal Office for Radiation Safety Germany, 1999*)

Peralatan	Medan Magnet ( $\mu\text{T}$ ) jarak $r$		
	$r = 3 \text{ cm}$	$r = 30 \text{ cm}$	$r = 100 \text{ cm}$
Pengering Rambut	<b>6 – 2000</b>	0,01 – 7	0,01 – 0,03
Pencukur Elektrik	<b>15 – 1500</b>	0,08 – 9	0,01 – , 0,03
Pengisap Debu	200 – 800	<b>2 – 20</b>	0,13 – 2
Lampu Tabung	40 – 400	<b>0,5 – 2</b>	0,02 – 025
Microwave Oven	73 – 200	<b>4 – 8</b>	0,25 – 06
Radio Portabel	16 – 56	<b>1</b>	< 0,01
Oven Listrik	1 – 50	<b>0,15 – 0,5</b>	0,01 – 0,04
Mesin Cuci	0,8 – 50	<b>0,15 – 3</b>	0,01 – 0,15
Setrika	18 – 30	<b>0,12 – 0,3</b>	0,01 – 0,03
Pencuci Piring	3,5 – 20	<b>0,6 – 3</b>	0,07 – 0,3
Komputer	0,5 – 30	< <b>0,01</b>	-
Lemari Pendingin	0,5 – 1,7	<b>0,01 – 0,25</b>	< 0,01
Televisi Warna	2,5 – 50	0,04 – 2	<b>0.01 – 0,15</b>

Kebanyakan peralatan rumah tangga kuat medan magnetnya yang jarak 30 cm adalah dibawah batas yang diijinkan untuk umum adalah  $\mu\text{T}$ . Angka yang dihitamkan merupakan jarak kerja normal.

(Sumber: *Federal Office for Radiation Safety Germany, 1999*, dalam Baafai 2004)

Medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) termasuk spektrum gelombang elektromagnetik yang memiliki rentang frekuensi 0-300 Hz. Gelombang elektromagnetik ELF dihasilkan di sekitar aliran listrik di sepanjang kabel atau peralatan listrik. Radiasi gelombang elektromagnetik ELF dihasilkan oleh osilasi atau gerakan suatu muatan seperti arus AC pada konduktor dari sumber PLN (Sudarti, 2010). Gelombang elektromagnetik ELF memiliki sifat *non ionizing radiation*, artinya radiasi gelombang elektromagnetik yang dihasilkan bersifat tidak mengionisasi (bukan pengion) yaitu tidak memiliki kemampuan untuk mengionisasi molekul. Federoski *et al.* (dalam Sudarti, 2002:76)

menyatakan, energi medan elektromagnetik ELF sangat kecil sehingga efek yang ditimbulkan oleh ELF adalah non termal artinya medan elektromagnetik ELF tidak menghasilkan perubahan suhu ketika berinteraksi dengan suatu zat atau saat menginduksi materi. Hal ini disebabkan rata-rata peningkatan suhu oleh paparan medan elektromagnetik ELF umumnya  $< 0,001^{\circ}\text{C}$ , sehingga peningkatan suhu yang dihasilkan sangat kecil dan tidak menimbulkan efek biologis. WHO (2007) menjelaskan, bahwa medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) bersifat tidak terhalangi sedangkan medan listrik ELF bersifat terhalangi.

Sumber paparan yang digunakan dalam penelitian adalah ELF *magnetic fields source*. Alat ini terdiri dari dua unit yaitu transformator *step down* dan sangkar medan magnet ELF. Paparan medan magnet ELF selalu diikuti dengan medan listrik ELF, tetapi pada alat ini hasilnya dikondisikan agar medan magnet lebih dominan dibandingkan medan listriknya yaitu dengan cara meminimalisir medan listrik sehingga yang terdeteksi hanya medan magnetnya. Menghubungkan konduktor tembaga dengan output transformator dapat dilakukan agar medan magnet yang dihasilkan lebih dominan daripada medan di daerah sekitarnya. Paparan medan magnet dan medan listrik timbul di sekitar lempengan tembaga yang ada pada alat ini. Cara kerja ELF *magnetic fields source* menggunakan sumber tegangan input dari PLN 220 V, kuat arus 5 A, dan frekuensi 50 Hz masuk ke pengatur tegangan, selanjutnya sumber keluaran dari pengatur tegangan masuk ke transformator step down, lalu sumber keluaran dari transformator menghasilkan tegangan yang lebih rendah, tetapi arus listriknya menjadi lebih tinggi dengan tegangan output sebesar 7 V dan kuat arus 85-3000 A 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 listrik alamiah (Ariyani, 2019).

### 2.1.2 Karakteristik Medan Listrik *Extremely Low Frequency* (ELF)

Medan listrik adalah gaya yang ditimbulkan oleh muatan-muatan listrik. Muatan yang sejenis akan saling tolak-menolak dan muatan yang berbeda akan saling tarik-menarik (Furse *et al.*, 2009). Secara teknis, medan listrik berhubungan

dengan tegangan bukan dengan sumber atau arus (WHO, 2007). Medan listrik  $E$  merupakan besaran vektor yang menggambarkan keadaan di dalam ruang yang dibentuk oleh sistem muatan. Adapun karakteristik medan listrik sebagai berikut.

- a. Medan listrik berasal dari tegangan listrik.
- b. Kekuatan medan dan listrik diukur berdasarkan satuan volt per meter.
- c. Medan listrik tetap dihasilkan walau tidak ada arus yang mengalir, sehingga medan listrik tetap ada meskipun alat listrik dalam keadaan mati.
- d. Kekuatan medan listrik semakin lemah bila semakin jauh dari sumbernya.
- e. Kebanyakan material bangunan merupakan pelindung medan listrik (Baafai, 2004).

### 2.1.3 Karakteristik Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF)

Medan magnet merupakan suatu medan yang dibentuk dengan menggerakkan muatan listrik (arus listrik) yang menimbulkan gaya di muatan listrik bergerak. Interaksi magnetik dasar adalah gaya magnetik satu muatan yang bergerak yang dikerahkan pada muatan bergerak lainnya (Handoko, 2016). Gaya magnetik tersebut dipindahkan oleh medan magnetik. Muatan yang bergerak menghasilkan medan magnetik yang selanjutnya menggerakkan suatu gaya pada muatan bergerak lainnya (Tipler, 1998).

Medan magnet bersifat tidak terhalangi, terbukti bahwa medan magnet mampu menembus benda penghalang seperti tembok bangunan, genting, pepohonan, maupun tubuh manusia dan akan mengalami penurunan secara linier terhadap jarak dari sumber paparan (Grotel, 1992 dalam Sudarti, 2010). Hal ini telah dibuktikan dari hasil pengukuran medan listrik di bawah jaringan SUTET-500 kV mencapai 21 kali lebih besar dibandingkan dengan intensitas medan listrik daerah kontrol yang ada pada jarak 200 m terhadap jaringan, sedangkan medan magnetnya hanya mencapai 8-9 kali lebih besar dibandingkan daerah kontrol. Penghalang atap rumah rata-rata menurunkan medan listrik hingga 0,01 kali, sedangkan medan magnet di bawah atap hanya mengalami penurunan hingga 0,6 kali (Sudarti, 2013). Adapun karakteristik medan magnet sebagai berikut.

- a. Medan magnet berasal dari arus listrik.

- b. Kekuatan medan magnet diukur berdasarkan satuan ampere per meter. Namun, umumnya juga memakai satuan mikrottesla ( $\mu\text{T}$ ) atau militesla (mT).
- c. Medan magnet terjadi secara segera setelah medan listrik dinyalakan.
- d. Kekuatan medan magnet semakin lemah bila semakin jauh dari sumbernya.
- e. Medan magnet tidak diperkuat oleh kebanyakan material (Baafai, 2004).

WHO dan Grotel (dalam Sudarti dan Helianti, 2005) menyatakan, bahwa medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) merupakan spektrum gelombang elektromagnetik yang memiliki frekuensi kurang dari 300 Hz. Medan magnet ELF termasuk radiasi bukan pengion sehingga tidak menyebabkan terjadi ionisasi jika berinteraksi dengan ion-ion hidup. WHO (2007) menjelaskan, frekuensi antara 0 hingga 300 Hz merupakan panjang gelombang di udara yang sangat panjang (6000 km pada frekuensi 50 Hz dan 5000 km pada frekuensi 60 Hz) dan dalam situasi praktis medan listrik dan medan magnet bertindak independen satu sama lain sehingga dapat diukur, maka dapat disimpulkan bahwa medan magnet ELF memiliki karakteristik sebagai berikut.

- a. Termasuk dalam spektrum gelombang elektromagnetik.
- b. Memiliki rentang frekuensi antara 0 hingga 300 Hz.
- c. Termasuk dalam radiasi bukan pengion (*non ionizing*).
- d. Medan listrik dan medan magnet bertindak independen satu sama lain sehingga dapat diukur secara terpisah.
- e. Medan magnet tidak bisa terhalangi oleh material biasa.
- f. Sumber paparan medan magnet mudah untuk didapatkan yaitu dari piranti elektronika yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

## **2.2 Efek Proliferasi Sel oleh Paparan Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF)**

Proses proliferasi sel adalah saat sel-sel mengalami perkembangbiakan dengan adanya rangsangan oleh faktor-faktor pertumbuhan. Rangsangan terjadi dengan adanya ikatan pada reseptor tirosin-kinase. Adanya jalur sinyal reseptor dapat menghentikan periode istirahat pada proses proliferasi. Penghentian tersebut merupakan salah satu bagian dari sistem kontrol siklus sel. Hal ini memastikan

bahwa sel membelah hanya dalam kondisi yang sesuai (Albert *et al.*, 2004). Paparan medan elektromagnetik mempengaruhi beberapa proses sel, termasuk proliferasi sel.

Medan magnet dapat mempercepat pergerakan laju ion. Percepatan ini menyebabkan perubahan transportasi membran sel dan selanjutnya mempengaruhi aktivitas metabolisme dalam sel. Hasil penelitian lainnya membuktikan bahwa medan magnet dapat mengubah struktur membran. Medan magnet dapat mempengaruhi anisotropi suseptibilitas diamagnetik membran fosfolipid (Morelli *et al.*, 2005). Paparan medan magnet mampu mempengaruhi proses proliferasi sel yang dapat mengakibatkan peningkatan metabolisme sel, sehingga mampu mempengaruhi cepat lambatnya pertumbuhan dan pembelahan sel.

Membran sel merupakan batas antara sel dengan lingkungannya dimana pada bagian ekstraseluler dan intraseluler membran terdapat cairan yang berisi ion-ion dan nutrisi yang diperlukan untuk kelangsungan hidup sel (Alfiyah, 2012). Membran sel memiliki beberapa komposisi seperti protein, fosfolipid, kolesterol, dan karbohidrat. Hampir seluruh komposisi membran sel terdiri dari lapisan lipid ganda dengan protein yang banyak yang melayang-layang dalam lipid hingga menembus lapisan lipid yang dalam. Lapisan lipid ganda ini sukar untuk dilalui cairan ekstraseluler maupun intraseluler. Oleh karena itu, lapisan lipid berfungsi sebagai sawar bagi pergerakan sebagian besar molekul air dan zat terlarut air. Namun, zat terlarut lipid dapat menembus masuk atau keluar lapisan lipid ganda ini (Ariangga, 2015).

Molekul protein memiliki sifat yang berbeda dalam mentransport zat melalui membran. Protein yang berbeda akan memiliki fungsi yang juga berbeda. Protein kanal merupakan protein yang mempunyai ruang licin yang dapat dilalui molekul dan memungkinkan ion atau molekul tertentu bergerak bebas. Sedangkan, protein pembawa merupakan protein yang berikatan dengan zat yang akan di transport kemudian akan memindahkan zat ke sisi lain dari membran melalui celah molekul atau ion (Ariangga, 2015). Protein kanal dan protein pembawa sangat selektif, hal ini menyebabkan hanya ion tertentu saja yang dapat ditranspor. Medan magnet ELF memiliki sifat tidak terhalangi, sehingga medan magnet ELF ini dapat

mentransfer secara langsung energinya ke dalam membran sel yang memungkinkan terjadinya modifikasi proses *signal transduction* membran. Oleh karena itu, membran sel merupakan tempat awal perubahan seluler oleh induksi medan magnet ELF (Shimizu *et al.*, 1995).

### **2.3 Pengaruh Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap Perkembangbiakan Bakteri**

Bakteri yang terdapat pada kopi liberika yang telah difermentasi secara basah dengan penambahan  $\alpha$ -amilase jika terkena paparan medan magnet ELF dapat menembus membran sel. Hal ini disebabkan medan magnet ELF yang bersifat tidak terhalangi dan tidak tampak (WHO, 2007). Fungsi membran sel yaitu untuk menahan proses biokimia. Hal ini membuat ion yang berada di luar tidak mudah masuk dan ion yang berada di dalam tidak mudah keluar. Ion-ion dalam sel bakteri berperan aktif dalam proses metabolisme dan pembelahan sel. Ion dalam sel yang dapat terpengaruh oleh medan magnet pada pertumbuhan sel adalah ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ). Ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) merupakan bahan yang bersifat paramagnetik. Sifat dari bahan paramagnetik adalah dapat terpengaruh oleh medan magnet. Bentuk pengaruh medan magnet terhadap bahan tersebut yaitu spin elektron yang terdapat pada bahan yang awalnya acak menjadi terarah (Sutrisno dan Gie, 1979:108-109). Adanya paparan medan magnet membuat perubahan pergerakan dan mempercepat laju ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) yang mengakibatkan perubahan transportasi pada membran sel, hal ini akan menambah energi untuk mengaktifkan kanal dan membuka gerbang saluran menuju inti sel. Lindstrom *et al.* (1993) menyatakan, bahwa medan magnet dapat meningkatkan kadar ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dalam sel. Kandungan ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dalam sel yang meningkat akan berdampak pada laju pertumbuhan bakteri. Perubahan kadar ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) menyebabkan terjadinya perubahan tekanan osmosis dan kapasitas sel untuk menyerap air (Garcia and Arza, 2001). Akibat dari peningkatan ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) di dalam sel, maka tekanan osmosis pada sel meningkat yang berakibat pada kapasitas penyerapan air pada sel ikut meningkat (Handoko dkk., 2017).

Medan magnet dapat mengubah karakteristik membran sel, mempengaruhi produksi sel, menyebabkan perubahan pada metabolisme sel, dan mempengaruhi karakteristik pertumbuhan (Setyasih dkk., 2013). Kekuatan medan magnet yang diberikan pada bakteri harus tepat, karena kuat medan magnet yang terlalu besar justru akan menghambat pertumbuhan bakteri. Jika intensitas medan magnet yang digunakan rendah, maka akan bermanfaat untuk mempercepat pertumbuhan bakteri, tetapi jika kuat medan yang diberikan terlalu tinggi dan dalam pemaparan waktu yang tidak tepat akan menyebabkan metabolisme yang tidak menguntungkan lagi bagi pertumbuhan sel atau menyebabkan perubahan pada struktur membran (Sumardi dkk., 2020).

#### **2.4 Pengaruh Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap Proses Fermentasi**

Fermentasi adalah proses produksi energi yang terdapat dalam sel dalam keadaan tanpa oksigen atau anaerob (Wardani, 2018). Secara umum, fermentasi merupakan salah satu bentuk respirasi dalam lingkungan anaerob dengan tanpa akseptor elektron eksternal. Hidayat dkk. (2006) menyatakan, fermentasi merupakan perubahan gradual oleh enzim beberapa bakteri, khamir, dan jamur. Contoh perubahan kimia dari fermentasi diantaranya pengasaman susu, dekomposisi pati dan gula menjadi alkohol dan karbon dioksida, serta oksidasi senyawa nitrogen organik. Gula adalah bahan yang umum dalam fermentasi. Reaksi dalam fermentasi berbeda-beda tergantung pada jenis gula yang digunakan dan produk yang dihasilkan. Glukosa ( $C_6H_{12}O_6$ ) yang merupakan gula paling sederhana, melalui proses fermentasi akan menghasilkan etanol ( $2C_2H_5OH$ ). Beberapa faktor seperti keasaman, garam, kultur, medium, dan waktu berperan penting dalam fermentasi. Proses fermentasi bersifat sederhana, tetapi harus teliti sehingga flavor, tekstur, aroma aneka karakteristik lain yang diharapkan dapat muncul (Hidayat dkk., 2006).

Fermentasi pada kopi bertujuan untuk membantu melepaskan lapisan lendir yang masih tersisa di permukaan kulit tanduk biji kopi setelah proses pengupasan yang bisa menjadi tempat berkembangnya jasad-jasad renik perusak citarasa dan

kopi (Siswoputranto, 1992). Selain itu, proses fermentasi bertujuan untuk mengurangi rasa pahit dan mendorong terbentuknya kesan mild pada citarasa seduhannya. Prinsip dari fermentasi yaitu penguraian senyawa-senyawa yang terkandung dalam lapisan lendir oleh mikroba alami dan dibantu oleh oksigen dari udara (Reta, 2017). Lamanya proses fermentasi dipengaruhi oleh jenis kopi, suhu, dan kelembaban lingkungan, serta ketebalan tumpukan biji kopi (BPTP Jambi, 2015).

Medan magnet ELF merupakan salah satu cara yang digunakan untuk mempercepat pertumbuhan bakteri dalam proses fermentasi kopi. Paparan medan magnet ELF dapat berpengaruh pada interaksi sel-sel bakteri yang ada. Medan magnet mempengaruhi arah migrasi dan mengubah laju pertumbuhan, mengubah aliran ionik yang melalui membran sehingga mengakibatkan perubahan kecepatan reproduksi sel (Sudarti *et al.*, 2014). Pemberian paparan medan magnet ELF menyebabkan perpindah energi dari medan magnet menuju ion-ion yang berperan dalam proses pembelahan sel seperti ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ). Paparan medan magnet ELF yang mengenai membran sel dapat mempengaruhi potensi membran sel yakni akan menambah energi untuk mengaktifkan kanal dan membuka gerbang saluran menuju inti sel. Kandungan kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) yang mengalami peningkatan di dalam sel akan memberikan dampak pada laju pertumbuhan bakteri (Albert *et al.*, 2004).

## **2.5 Proses Fermentasi untuk Meningkatkan Kualitas Kopi**

### **2.5.1 Kopi Liberika**

Kopi liberika merupakan kopi yang berasal dari daratan rendah Monrovia, Liberia. Tanaman kopi liberika tumbuh liar di wilayah Afrika terutama Afrika Barat. Penyebaran kopi liberika sangat cepat dan tetap tumbuh subur di daerah yang tingkat kelembabannya tinggi serta panas. Kopi liberika memiliki pohon yang tegak, bercabang dan bila dibiarkan tumbuh mencapai 12 m, serta memiliki daun bulat telur dengan ujung agak meruncing. Daun tumbuh berhadapan pada batang, cabang, dan ranting-rantingnya (Najiyati dan Danarti, 2007:7).



Gambar 2.3 Kopi liberika (Sumber: Dokumen pribadi, 2019)

Nama ilmiah kopi liberika adalah *Coffea liberica var. liberica*. Pada awalnya, tanaman ini digolongkan ke dalam spesies yang sama dengan kopi robusta dengan nama ilmiah *Coffea canephora var. liberica*. Namun, pada pengelompokan terbaru menyatakan bahwa tanaman ini sebagai spesies tersendiri dengan nama *Coffea liberica* karena secara morfologi dan sifat-sifat lainnya berbeda dengan kopi robusta. Selain kopi liberika, terdapat varietas lain dalam spesies *Coffea liberica* yaitu kopi excelsa dengan nama ilmiah *Coffea liberica var. dewevrei*. Terdapat perbedaan antara kopi liberika dengan kopi excelsa yaitu pada ketebalan daging buah dan warna pupus daun (*flush*). Kopi liberika memiliki daging buah yang tebal dan pupus daunnya berwarna hijau atau hijau sedikit kecoklatan, sedangkan kopi excelsa memiliki daging buah tipis mirip seperti kopi arabika dan pupus daunnya bagian permukaan bawah daun berwarna merah kecoklatan (Puslitkoka Indonesia, 2014).

Dinas Perkebunan Provinsi Jambi (2016) menjelaskan, kedudukan tanaman kopi liberika dalam taksonomi sebagai berikut.

Kingdom : Plantae  
Divisi : Tracheophyta  
Sub divisi : Spermatophyta

Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Gentianales
Famili	: Rubiaceae
Genus	: Coffea
Spesies	: Coffea liberica W. Bull ex Hiern
Varietas	: Coffea liberica var. Liberica

Kopi liberika memiliki perakaran yang dangkal dengan akar tunggang sehingga tidak mudah rebah. Panjang akar tunggang ini berkisar 45-50 cm. Selain itu, banyak akar cabang samping yang panjangnya 1 hingga 2 m horizontal sedalam 30 cm. Kondisi tanah yang sejuk dan lembap membuat akar cabang dapat berkembang lebih baik. Apabila kondisi tanah kering dan panas menyebabkan akar berkembang ke bawah (Budiman, 2012).



Gambar 2.4 Pohon kopi liberika (Sumber: Anonim, 2016)

Selain di Indonesia dan Afrika Barat, kopi liberika juga banyak dibudidayakan di Malaysia, Filipina, Guyana, Suriname, India, Sri Lanka, Vietnam, Taiwan, Thailand, Timor Timur dan Mauritius. Kopi liberika memiliki ukuran daun, cabang, bunga kopi, buah serta pohon yang relatif lebih besar dibandingkan dengan jenis kopi lainnya. Bentuk biji membulat oval dengan

panjang 0,83-1,10 cm dan lebar 0,61 cm, serta rendemen rata-rata 9,03%. Persentase biji normal berkisar 50-80%. Kopi liberika memiliki potensi produksi rata-rata 1,2 kg kopi biji/pohon atau setara dengan 1,1 ton biji kopi untuk penanaman dengan populasi 900-1.100 pohon/ha (Direktorat Jendral Perkebunan, 2013).

Kopi liberika memiliki kadar kafein yang lebih rendah yaitu hanya 0,7-1,2% dibandingkan dengan kopi arabika berkisar antara 0,9-1,8%. Hal tersebut membuat pemanfaatan kopi liberika sebagai minuman serupa dengan kopi arabika relatif aman bagi konsumen yang sensitif terhadap kafein. Kopi liberika termasuk kurang ekonomis dan kurang komersial karena jenis kopi liberika memiliki beragam variasi bentuk dan ukuran biji, serta kualitas citarasa yang tidak sebaik kopi arabika. Selain itu, bobot kering buah kopi liberika hanya 10% dari bobot basahya sehingga penyusutan bobot yang terjadi saat panen sampai buah siap diolah cukup tinggi. Namun, kopi liberika lebih berdaya saing daripada kopi robusta. Kopi liberika memiliki cita rasa khas yang disebut *dried fruit* atau *jack fruit*. Oleh sebab itu, kopi liberika sering disebut sebagai kopi nangka karena memiliki biji yang besar-besar dan aroma kopi ini seperti buah nangka (Puslitkoka Indonesia, 2014).

Kopi liberika memiliki syarat tumbuh yang lebih mudah dibandingkan dengan jenis kopi lainnya, karena kopi liberika mudah beradaptasi di berbagai tempat termasuk dataran rendah dengan ketinggian kurang dari 700 m dpl dan pada lahan gambut yang baik (BPTP, 2014). Keunggulan kopi liberika tidak hanya dari aspek harga saja, tetapi juga dari ukuran buah kopi yang lebih besar dan produktivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan kopi robusta. Selain itu, kopi liberika bisa berbuah sepanjang tahun dengan panen sebulan sekali, dan dapat beradaptasi dengan baik pada agroekosistem setempat, serta tidak ada gangguan hama dan penyakit yang serius. Kopi liberika berbuah pada umur 3,5 tahun. Kopi ini berbuah sepanjang tahun dengan 2 puncak produksi. Panen besar pada bulan Mei, Juni, dan Juli. Sedangkan, panen kecil pada bulan November, Desember, dan Januari (BPTP Jambi, 2014).

### 2.5.2 Mekanisme Fermentasi

Fauzi (2008) menjelaskan, bahwa proses fermentasi biji kopi merupakan suatu proses penguraian senyawa-senyawa kompleks dalam biji kopi menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana dengan melibatkan beberapa mikroorganisme yang bertujuan untuk membantu melepaskan lapisan lendir yang masih menyelimuti biji kopi. Proses fermentasi mempermudah daging buah kopi yang berlendir yang masih melekat di kulit tanduk akan mudah terlepas pada saat pencucian, sehingga mempermudah proses pencucian. Fermentasi basah dilakukan dengan cara merendam kopi dalam air selama 12-15 jam. Air rendaman diganti setiap 3-4 jam sekali sambil diaduk. Perendaman kopi dihentikan setelah 36-40 jam, hal ini dikarenakan jika dilakukan lebih dari 40 jam kopi akan berbau busuk sehingga dapat menurunkan mutu (Najiyati dan Danarti, 1997). Tingkat kesempurnaan fermentasi dapat diukur secara visual dari kenampakan lapisan lendir di permukaan kulit tanduk atau dengan cara mengusap lapisan lendir menggunakan jari tangan. Jika lendir tidak lengket, maka fermentasi diperkirakan sudah selesai (BPTP Jambi, 2015). Namun, jika permukaan biji kopi masih lengket, maka fermentasi harus dilanjutkan hingga lapisan lendir terurai seluruhnya. Waktu fermentasi dapat berlangsung 1-3 hari tergantung pada keadaan iklim, ketinggian tempat, dan jenis kopi (Pedoman Teknis Pengembangan Agroindustri Pengolahan Hasil Perkebunan Kopi, 2010).

Hasil penelitian Astutik (2017) menyatakan, bahwa fermentasi menggunakan bantuan mikroba akan menghasilkan kopi dengan citarasa dan aroma yang khas, tetapi proses fermentasinya tidak berjalan secara optimal dalam membantu proses pemecahan gula pada fermentasi kopi. Salah satu alternatif untuk membantu proses pemecahan pati pada pulp biji kopi yaitu menggunakan penambahan enzim  $\alpha$ -amilase. Penambahan enzim  $\alpha$ -amilase mampu bertindak sebagai katalis untuk menghidrolisis molekul pada pulp biji kopi dan hasil hidrolisis tersebut nantinya dapat membantu penyediaan substrat mikroba untuk pemecahan molekul pulp kopi menjadi gula-gula sederhana seperti maltosa dan glukosa. Gula sederhana tersebut dapat menjadi sumber karbon bagi mikroba (Mulato, 2002).

Oktadina dkk. (2013) menyatakan, bahwa waktu fermentasi kopi yang optimal terjadi pada rentan waktu 12-24 jam. Pada waktu tersebut mikroba mengalami fase eksponensial. Pada fase ini mikroba mengkonsumsi media yang digunakan, sehingga terjadi penambahan jumlah mikroba yang cukup besar (Fardiaz, 1987). Ada berbagai jenis mikroba saat fermentasi kopi terjadi dalam fermentasi basah yaitu *Leuconostocmesenteroides*, *Lactobacillusbrevis*, *Streptococcusfaecium*, *Enterobacteriaceae*, *vibrio*, *Acetobacter*, *Pseudomonas*, *Leifsoniaaquatica*, *Bacillusbrevis*, *Bacilluslichoniformis*, dan *Bacilluscereus*. Jenis-jenis mikroba tersebut digolongkan ke dalam dua bakteri pektinolitik (*Enterobacteriaceae* dan *Bacilluscereus*) dan bakteri asam laktat (Susanti, 2011).

### 2.5.3 Enzim $\alpha$ -Amilase

Enzim memegang peranan penting dalam kegiatan industri. Selain dihasilkan oleh mikroba, enzim juga dihasilkan oleh jenis jasad lain terutama hewan dan tumbuhan. Namun, dari segi kepentingan dan kepraktisan pembuatannya, maka enzim mikroba lebih banyak diproduksi dan digunakan (Suriawiria, 1986:198). Jenis-jenis mikroba yang berperan di dalam proses pembuatan enzim serta bagan proses yang terjadi selama pembuatan sebagai berikut.

Tabel 2.2 Mikroba penghasil enzim

Jenis mikroba	Enzim yang dihasilkan
Bakteri <i>Bacillus subtilis</i>	Amilase, protease
Jamur <i>Aspergillus oryzae</i> <i>Aspergillus niger</i>	Amilase, protease, ribonuklease Amilase, glucoamilase, selulase, hemiselulase, pektinase, oksidase, katalase Protease, lipase
Rhizopus sp. <i>Trichoderma viridae</i>	Selulase
Ragi <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Invertase

(Sumber: Suriawiria, 1986)

Enzim sebagai biokatalis berfungsi untuk mengkatalis reaksi-reaksi metabolisme yang berlangsung pada makhluk hidup. Fungsi ini dipengaruhi oleh faktor lingkungannya seperti keasaman (pH), temperatur konsentrasi substrat, konsentrasi enzim, dan aktivator (Bahri dkk., 2012). Enzim adalah substansi yang ada di sel-sel hidup organisme dalam jumlah menit dan mampu mempercepat reaksi kimia (terkait dengan proses kehidupan) tanpa mengubah reaksi tersebut (Oyeleke and Oduwole, 2009). Amilase merupakan enzim yang dapat menghidrolisis molekul pati dan menghasilkan produk berupa dekstrin dan polimer kecil glukosa (Reddy *et al.*, 2003). Pati dapat dipecah oleh enzim amilase menjadi komponen dengan berat molekul lebih rendah dan lebih larut. Amilase kaya tepung dan dalam pembentukan dekstrin selama pemasakan dalam industri makanan (Oyeleke and Oduwole, 2009).

$\alpha$ -amilase (*endo- $\alpha$ -1,4-glucan glucanohydrolase*) merupakan enzim amilase endospliting yang memutuskan ikatan glikosidik pada bagian dalam rantai pati secara acak. Sivaramakrishnan *et al.* (2006) menyebutkan, sejumlah mikroorganisme mampu menghasilkan enzim  $\alpha$ -amilase antara lain jamur dan bakteri seperti *Aspergillus oryzae*, *Bacillus amyloliquefaciens*, dan *Bacillus licheniformis*. Enzim  $\alpha$ -amilase pada umumnya stabil pada pH 4-11 (Reddy *et al.*, 2003).

Hidrolisis merupakan proses pemecahan rantai molekul polimer menjadi molekul penyusunnya lebih sederhana. Hidrolisis polimer pati menjadi molekul yang lebih sederhana telah menjadi satu tahapan penting dalam dunia industri. Hidrolisis pati menggunakan enzim amilase dapat mencapai derajat hingga 42%-97% tergantung jenis substrat dan waktu inkubasi. Substrat pati dipecah oleh enzim amilase melalui tiga tahapan utama yaitu gelatinisasi, likuifikasi, dan sakarifikasi. Secara molekuler, pemecahan amilase dibantu oleh residu asam amino pada sisi aktif enzim (Nangin dan Aji, 2015). Dalam hidrolisis pati dipecah menjadi gula reduksi dengan menggunakan enzim  $\alpha$ -amilase (Jayanti, 2011). Hasil dari hidrolisis pati dan glikogen oleh  $\alpha$ -amilase adalah oligosakarida, maltosa, dan sejumlah kecil glukosa yang memiliki konfigurasi gula  $\alpha$  (Sivaramakrishnan *et al.*, 2006).

Cara kerja enzim  $\alpha$ -amilase terjadi melalui dua tahap yaitu degradasi amilosa menjadi maltose dan maltotriosa yang terjadi secara acak. Degradasi terjadi secara cepat dan diikuti dengan menurunnya viskositas dengan cepat pula. Tahap kedua relatif lambat yaitu pembentukan glukosa dan maltosa sebagai hasil akhir secara tidak acak (Jayanti, 2011). Keduanya merupakan kerja  $\alpha$ -amilase pada molekul amilosa saja. Kerja  $\alpha$ -amilase pada molekul amilopektin akan menghasilkan glukosa, maltosa, dan berbagai jenis dekstrin yaitu oligosakarida yang terdiri dari empat atau lebih residu gula yang semuanya mengandung  $\alpha$ -1,6-glikosidik (Norman, 1981).

#### 2.5.4 Pengaruh Perkembangbiakan Bakteri Fermentasi pada pH

Suatu molekul memiliki sifat fisika kimia, antara lain sifat asam dan sifat basa suatu larutan. Sifat asam larutan adalah suatu senyawa yang jika dilarutkan dalam air akan terurai menjadi ion hidrogen ( $H^+$ ) dan anion, sedangkan sifat basa larutan adalah senyawa yang jika dilarutkan dalam air akan menghasilkan ion hidroksida ( $OH^-$ ) dan kation (Ridawati, 2017). Asam adalah suatu zat yang dapat memberi proton ( $H^+$ ) kepada zat lain atau basa, atau dapat menerima pasangan elektron bebas dari suatu basa. Sedangkan, basa adalah senyawa kimia yang mampu melepaskan ion hidroksida ( $OH^-$ ) dalam larutan dan konsentrasi larutan basa tersebut. Kekuatan asam ditentukan oleh kemampuan menghasilkan ion  $H^+$ . Semakin banyak ion hidrogen ( $H^+$ ) yang dihasilkan, maka sifat asamnya semakin kuat. Begitu juga kekuatan basa yang ditentukan oleh kemampuan menghasilkan ion hidroksida ( $OH^-$ ) yakni semakin banyak ion hidroksida ( $OH^-$ ) yang dihasilkan, maka sifat basa semakin kuat (Chimayah, 2019). pH dan konsentrasi ion hidrogen ( $H^+$ ) dihubungkan dengan tanda negatif, oleh karena itu semakin besar konsentrasi ion hidrogen ( $H^+$ ) maka semakin kecil nilai pH. Sebaliknya, semakin kecil konsentrasi ion hidrogen ( $H^+$ ) maka semakin besar nilai pH. pH suatu larutan didefinisikan sebagai negatif logaritma dari konsentrasi ion hidrogen ( $H^+$ ) (dalam mol per liter):

$$pH = -\log [H^+] \quad (2.1)$$

Nilai pH dari suatu larutan adalah perbandingan antara konsentrasi ion hidrogen ( $H^+$ ) dengan konsentrasi ion hidroksida ( $OH^-$ ). Jika konsentrasi ion hidrogen ( $H^+$ ) lebih besar dari ion hidroksida ( $OH^-$ ), maka larutan tersebut bersifat asam dan nilai pH kurang dari 7. Jika konsentrasi ion hidroksida ( $OH^-$ ) lebih besar dari ion hidrogen ( $H^+$ ), maka larutan tersebut bersifat basa dan nilai pH lebih besar dari 7. Namun, jika konsentrasi ion hidrogen ( $H^+$ ) dengan ion hidroksida ( $OH^-$ ) sama, maka larutan bersifat netral dan nilai pH sama dengan 7 (Sinko, 2012:208).

Pengukuran pH umumnya menggunakan kertas pH, tetapi indikator ini memiliki keterbatasan pada tinggi akurasi pengukuran. Selain itu, kesalahan saat pengamatan warna yang disebabkan larutan sampel yang berwarna atau sampel keruh juga dapat menyebabkan kesalahan dalam pengukuran pH. Pengukuran menggunakan pH meter akan membuat pengukuran pH menjadi lebih akurat (Kordi dan Tacung, 2007:87). pH meter merupakan alat digital yang berfungsi sebagai penentu nilai pH suatu larutan dengan cara kerja mencelupkan elektroda pH meter ke dalam larutan yang akan diperiksa dan nantinya akan muncul nilai pH larutan yang dapat dibaca secara langsung pada alat.

pH atau derajat keasaman adalah indikator tingkat keasaman pada kopi liberika. Keasaman dipengaruhi oleh degradasi gula menjadi asam-asam organik selama fermentasi. Nilai pH pada kopi liberika dapat dihubungkan dengan jumlah dari bakteri asam laktat dan jumlah produksi asam oleh bakteri tersebut selama proses perubahan glukosa menjadi asam laktat. Penambahan bakteri asam laktat akan menurunkan pH substrat, sehingga bakteri perusak dan patogen akan menjadi terhambat pertumbuhannya (Usman, 2018). pH yang memiliki nilai rendah disebabkan oleh adanya aktivitas bakteri yang menyebabkan keasaman (Dewi, 2019). Buckle *et al.* (1987) mengatakan, bahwa bakteri asam laktat termasuk bakteri yang menghasilkan sejumlah besar asam laktat sebagai hasil akhir dari metabolisme gula (karbohidrat). Asam laktat yang dihasilkan dengan cara tersebut akan menurunkan nilai pH lingkungan dan menimbulkan rasa asam. Semakin banyak jumlah bakteri asam laktat mengakibatkan produksi asam semakin banyak, sehingga tingkat keasaman pada kopi liberika semakin

meningkat. Meningkatnya asam pada kopi liberika menyebabkan pH menurun karena pembentukan ion hidrogen ( $H^+$ ) yang meningkat (Tawali, 2018).

Turunnya pH selama fermentasi dipengaruhi oleh aktivitas mikroba yang ditambahkan. Nizori dkk. (2007) mengemukakan, bahwa nilai keasaman dan pH memiliki hubungan yang erat dengan meningkatnya aktivitas metabolisme, sehingga produksi asam laktat meningkat sedangkan nilai pH menurun. Asam laktat yang dihasilkan selama proses fermentasi dapat meningkatkan citarasa dan meningkatkan keasamaan atau menurunkan nilai pH (Winarno dan Fernandez, 2007). Penurunan pH adalah salah satu akibat dari adanya akumulasi asam laktat dengan asam organik. Glukosa dirombak oleh bakteri asam laktat menjadi asam laktat, asam piruvat, asam asetat, etanol, dan  $CO_2$  sehingga meningkatkan total asam dan menurunkan pH (Fardiaz, 1992). Bakteri asam laktat yang dominan selama fermentasi biji kopi diantaranya yaitu *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis* dan *E. casseliflavus* (Wilujeng, 2013). Beberapa asam organik yang terbentuk selama fermentasi kopi merupakan produk katabolisme bakteri yang menyebabkan penurunan nilai pH diantaranya asam malat, asam asetat, asam khlorogenat, dan asam quinat.

Penggunaan  $\alpha$ -amilase akan memberikan tingkat keasaman yang lebih baik, karena dengan penambahan  $\alpha$ -amilase akan mengoptimalkan pemecahan karbohidrat pada kopi, sehingga bakteri asam laktat lebih cepat menggunakan glukosa sebagai substrat (Firdaus, dkk. 2018). Hasil penelitian Fauzi dkk. (2017) menunjukkan, bahwa lama fermentasi memberikan pengaruh beda yang nyata pada parameter pH, sedangkan ada atau tidaknya penambahan enzim  $\alpha$ -amilase serta interaksi kedua faktor memberikan pengaruh berbeda tidak nyata. Peran enzim  $\alpha$ -amilase yang ditambahkan selama proses fermentasi adalah untuk hidrolisis komponen pati sehingga mengoptimalkan kerja mikroba selama fermentasi.

Medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) akan berinteraksi langsung dengan membran sel. Gaya magnet bekerja di setiap ion serta molekul komponen sel, sehingga akan terjadi proses polarisasi sel. Sel mengalami proses pertumbuhan dan siklus sel. Hal ini akan mempengaruhi seluruh proses molekuler

dari siklus sel yang dalam prosesnya ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) berperan penting untuk mempengaruhi kelangsungan hidup dan proliferasi sel (Tessaro *et al.*, 2015). Medan magnet ELF dapat memicu perkembangan *Lactobacillus* dalam proses fermentasi biji kopi. Perkembangan *Lactobacillus* dalam proses fermentasi kopi berhubungan dengan pembentukan ion  $\text{H}^+$  yang dapat mempengaruhi nilai pH (Sudarti dkk., 2020).

#### 2.5.5 Pengaruh Perkembangbiakan Bakteri Fermentasi pada Daya Hantar Listrik

Daya hantar listrik merupakan ukuran seberapa kuat larutan dapat menghantarkan listrik. Daya hantar listrik berhubungan dengan pergerakan suatu ion di dalam larutan ion yang mudah bergerak memiliki daya hantar listrik yang besar (Effendi, 2003). Ditinjau dari kemampuannya menghantarkan arus listrik, larutan dibedakan menjadi dua yaitu larutan elektrolit dan larutan non elektrolit. Larutan elektrolit adalah larutan yang mampu menghantarkan arus listrik, sedangkan larutan non elektrolit tidak mampu menghantarkan arus listrik. Elektrolit dibedakan menjadi elektrolit kuat dan elektrolit lemah. Elektrolit kuat yaitu elektrolit yang larutannya menghasilkan ion, sedangkan elektrolit lemah adalah elektrolit yang larutannya tidak menghasilkan ion (Bird, 1993:197). Ion-ion dalam larutan elektrolit dihasilkan dengan dua cara, yaitu zat terlarut merupakan senyawa ion dan zat terlarut bukan senyawa ion tetapi jika dilarutkan di air, zat tersebut akan menghasilkan ion. Pada konduktor elektrolit, elektron mengalir dibawa oleh ion-ion dan dapat menghasilkan ion.

Tahanan suatu bahan bergantung pada dimensi larutan lainnya berdasarkan rumus:

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2.2)$$

keterangan:

$\rho$  = Resistivitas ( $\Omega\text{cm}$  atau dalam SI  $\Omega\text{m}$ )

$l$  = Panjang (cm)

$A$  = Luas penampang lintang ( $\text{cm}^2$ )

Kebalikan dari resistivitas dinamakan konduktansi atau konduktivitas ( $k$ ). persamaan konduktivitas dapat ditulis sebagai berikut.

$$k = \frac{1}{\rho} \quad (2.3)$$

keterangan:

$k$  = konduktivitas dengan satuan  $\Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$  (cgs atau dalam satuan SI  $\Omega^{-1} \text{ m}$ )

$k$  (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  $\text{Sm}^{-1}$ , dan  $\rho$  adalah resistivitas ( $\Omega\text{m}$ ).

Oleh karena itu, daya hantar listrik (DHL) dinyatakan:

$$\frac{1}{R} = k \frac{A}{l} \quad (2.4)$$

Sehingga,

$$k = \frac{1}{R} \cdot \frac{l}{A} \quad (2.5)$$

Nilai daya hantar listrik atau konduktivitas dapat dipengaruhi oleh ion-ion anorganik, valensi, konsentrasi, dan suhu. Jika jumlah ion dari suatu larutan meningkat, maka nilai konduktivitas dalam larutan semakin tinggi. Nilai konduktivitas dalam larutan elektrolit merupakan besaran yang diukur bukan tahanan (Bird, 1993). Konsentrasi elektrolit sangat menentukan besarnya konduktivitas, sedangkan konduktivitas sendiri tidak dapat digunakan untuk ukuran suatu larutan. Ukuran yang lebih spesifik yaitu konduktivitas molar. Konduktivitas molar merupakan konduktivitas suatu larutan apabila konsentrasi larutan sebesar satu molar, yang dirumuskan sebagai berikut.

$$\Delta m = \frac{k}{C} \quad (2.6)$$

$$k = \Delta m \cdot C \quad (2.7)$$

Keterangan:

$k$  = DHL atau Konduktivitas spesifik ( $\text{Scm}^{-1}$ )

$C$  = Konsentrasi larutan (mol/L)

$\Delta m$  = Hantaran molar ( $\text{Scm}^{-1}\text{mol}^{-1}$ ) (Ahmad, 2007).

Elektron mengalir pada konduktor elektrolit yang dibawa oleh ion-ion dalam larutan dan dapat menghasilkan banyak ion seperti asam, basa, dan garam. Asam terdiri dari asam kuat yang menghasilkan banyak ion, sedangkan asam lemah menghasilkan sedikit ion. Semakin asam suatu larutan, maka nilai pH akan semakin kecil. Sebaliknya, semakin lemah tingkat keasaman suatu larutan, maka nilai pH akan semakin besar. Oleh sebab itu, jika suatu larutan elektrolit memiliki tingkat keasaman yang tinggi atau pH kecil akan menghasilkan banyak ion, sehingga arus listrik yang dihasilkan juga semakin besar dan menyebabkan konduktivitas larutan elektrolit juga semakin besar. Namun, jika suatu larutan elektrolit memiliki tingkat keasaman yang rendah atau pH besar akan menghasilkan sedikit ion dan menyebabkan konduktivitas larutan elektrolit juga semakin kecil (Purnomo, 2010). Pengukuran daya hantar listrik menggunakan TDS & EC (*Electrical Conductivity*) meter. Pada pengukuran alat ini bekerja karena adanya elektroda di bagian bawah. Penggunaan alat ini dilakukan dengan cara mencelupkan elektroda TDS & EC meter ke dalam larutan yang akan diperiksa dan nantinya akan muncul nilai daya hantar listrik larutan yang dapat dibaca secara langsung pada alat.

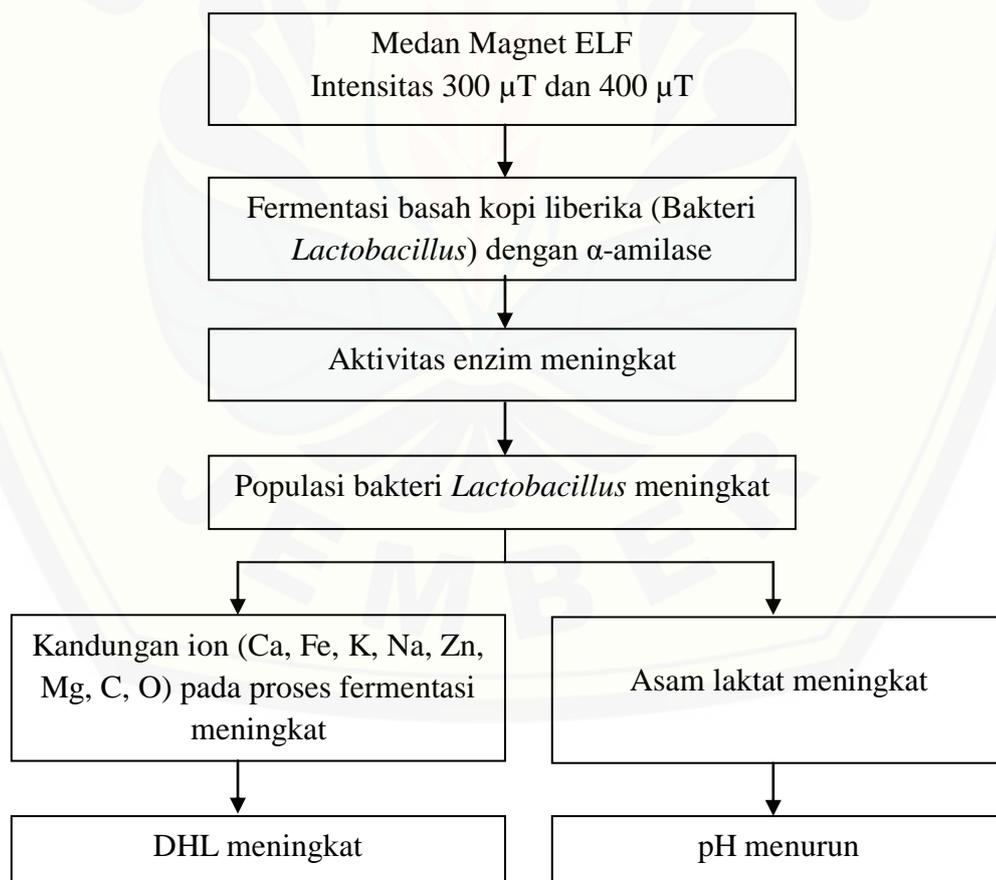
Paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) yang mengenai membran sel dapat mempengaruhi potensi membran sel, dimana akan menambah energi untuk mengaktifkan kanal dan membuka gerbang saluran menuju inti sel. Membran sel memiliki kanal ion yang berfungsi sebagai pintu masuk dan keluarnya cairan yang membuat adanya lalu lintas membran. Gerbang saluran yang terbuka dapat menyebabkan perubahan konsentrasi ion dan menimbulkan beda potensial. Secara bersamaan, muatan-muatan di sekitar membran ikut bergerak dan berpindah, sehingga menimbulkan arus listrik (Laksmiari, 2020).

Medan magnet ELF berinteraksi dengan membran bakteri. Hal ini menyebabkan perubahan molekular dari siklus sel yang berpengaruh dalam proses pertumbuhan bakteri. Pada proses fermentasi kopi liberika dapat dihubungkan dengan bakteri asam laktat. Semakin banyak jumlah bakteri yang ada di dalam

kopi tersebut, maka produksi asam laktat akan semakin meningkat (Fauzi dkk., 2017). Hal ini menyebabkan kopi liberika mengalami peningkatan keasaman, yaitu nilai pH akan semakin rendah dan jumlah ion hidrogen ( $H^+$ ) semakin banyak sehingga arus listrik yang dihasilkan semakin besar dan mengakibatkan konduktivitas larutan elektrolitnya semakin besar. Sebaliknya, jika kopi liberika mengalami penurunan keasaman maka nilai pH akan semakin tinggi dan jumlah ion hidrogen ( $H^+$ ) semakin sedikit sehingga arus listrik yang dihasilkan semakin kecil dan mengakibatkan konduktivitas larutan elektrolitnya semakin kecil juga (Khairiah & Destini, 2017).

## 2.6 Kerangka Konseptual

Berikut merupakan kerangka konsep yang digunakan dalam penelitian ini.

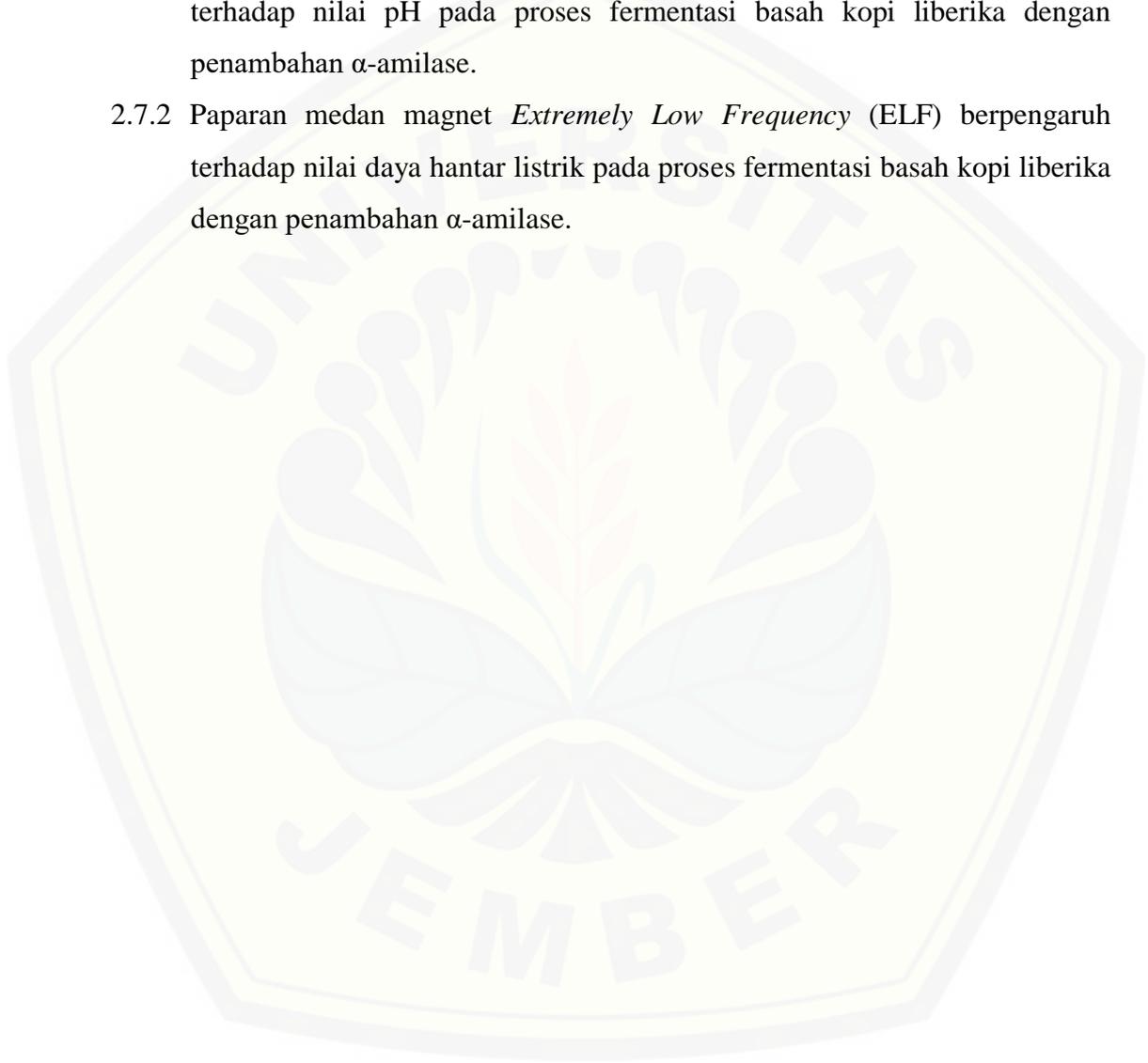


Gambar 2.5 Kerangka konseptual

## 2.7 Hipotesis Penelitian

Dalam penelitian ini hipotesis digunakan sebagai jawaban sementara terhadap masalah yang akan diteliti. Berdasarkan uraian di atas, maka hipotesis pada penelitian ini sebagai berikut.

- 2.7.1 Paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) berpengaruh terhadap nilai pH pada proses fermentasi basah kopi liberika dengan penambahan  $\alpha$ -amilase.
- 2.7.2 Paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) berpengaruh terhadap nilai daya hantar listrik pada proses fermentasi basah kopi liberika dengan penambahan  $\alpha$ -amilase.



## BAB 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di beberapa tempat, yaitu:

- a. Laboratorium ELF Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Jember, sebagai tempat pemaparan medan magnet ELF terhadap kopi liberika.
- b. Laboratorium Mikrobiologi Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Jember, sebagai tempat pengukuran pH dan daya hantar listrik kopi liberika.

Penelitian dimulai pada semester genap tahun ajaran 2020/2021 yaitu tanggal 24 Februari 2020 sampai 02 Maret 2020.

### 3.2 Jenis dan Desain Penelitian

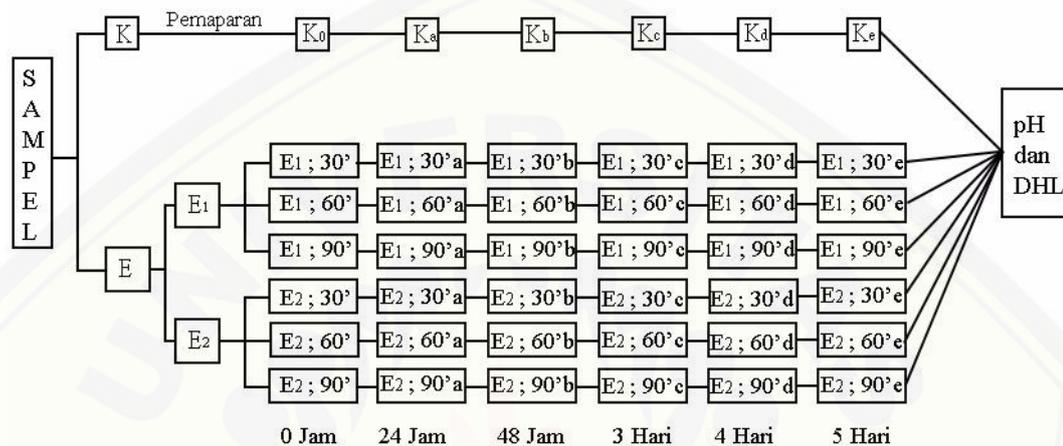
#### 3.2.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan yaitu penelitian eksperimen. Penelitian eksperimen merupakan penelitian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh pemberian perlakuan terhadap subjek penelitian. Pada penelitian ini dilakukan dengan cara membandingkan dua kelompok yaitu kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen. Kelompok kontrol adalah kelompok yang tidak diberi perlakuan pemaparan medan magnet ELF, sedangkan kelompok eksperimen adalah kelompok yang diberi perlakuan pemaparan medan magnet ELF.

#### 3.2.2 Desain Penelitian

Desain penelitian yang digunakan adalah *randomized subjects post test only control group design*. Desain ini digunakan untuk mengetahui pengaruh dari beberapa perlakuan yang diberikan dengan melakukan pengulangan beberapa percobaan. Dalam penelitian ini, terdapat dua kelompok yaitu kelompok kontrol dan kelompok eksperimen. Kelompok kontrol adalah kopi liberika yang telah difermentasi secara basah dengan penambahan  $\alpha$ -amilase yang tidak dipapar oleh medan magnet ELF dan kelompok eksperimen adalah kopi liberika yang telah

difermentasi secara basah dengan penambahan  $\alpha$ -amilase yang dipapar oleh medan magnet ELF menggunakan intensitas sebesar 300  $\mu$ T dan 400  $\mu$ T dengan lama paparan 30 menit, 60 menit, dan 90 menit. Desain penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Desain penelitian

**Keterangan:**

- K<sub>0</sub> : 5 sampel kelompok kontrol sebelum pemaparan.
- K<sub>a</sub>-K<sub>e</sub> : 25 sampel tanpa paparan medan magnet ELF pada saat 24 jam, 48 jam, 3 hari, 4 hari, dan 5 hari setelah fermentasi.
- E<sub>1,30'a</sub>-E<sub>1,30'e</sub> : 25 sampel kelompok eksperimen yang dipapar medan magnet ELF intensitas 300  $\mu$ T dengan lama paparan 30 menit pada saat 24 jam, 48 jam, 3 hari, 4 hari, dan 5 hari setelah fermentasi.
- E<sub>1,60'a</sub>-E<sub>1,60'e</sub> : 25 sampel kelompok eksperimen yang dipapar medan magnet ELF intensitas 300  $\mu$ T dengan lama paparan 60 menit pada saat 24 jam, 48 jam, 3 hari, 4 hari, dan 5 hari setelah fermentasi.
- E<sub>1,90'a</sub>-E<sub>1,90'e</sub> : 25 sampel kelompok eksperimen yang dipapar medan magnet ELF intensitas 300  $\mu$ T dengan lama paparan 90 menit pada

saat 24 jam, 48 jam, 3 hari, 4 hari, dan 5 hari setelah fermentasi.

E2,30'a-E2,30'e : 25 sampel kelompok eksperimen yang dipapar medan magnet ELF intensitas 400  $\mu$ T dengan lama paparan 30 menit pada saat 24 jam, 48 jam, 3 hari, 4 hari, dan 5 hari setelah fermentasi.

E2,60'a-E2,60'e : 25 sampel kelompok eksperimen yang dipapar medan magnet ELF intensitas 400  $\mu$ T dengan lama paparan 60 menit pada saat 24 jam, 48 jam, 3 hari, 4 hari, dan 5 hari setelah fermentasi.

E2,90'a-E2,90'e : 25 sampel kelompok eksperimen yang dipapar medan magnet ELF intensitas 400  $\mu$ T dengan lama paparan 90 menit pada saat 24 jam, 48 jam, 3 hari, 4 hari, dan 5 hari setelah fermentasi.

### 3.3 Variabel Penelitian

#### 3.3.1 Klasifikasi Variabel Penelitian

##### a. Variabel bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi variabel terikat. Variabel bebas pada penelitian ini adalah intensitas dan lama paparan medan magnet ELF pada kopi liberika yang telah difermentasi secara basah dengan penambahan  $\alpha$ -amilase. Intensitas yang digunakan yaitu 300  $\mu$ T dan 400  $\mu$ T dengan lama paparan 30 menit, 60 menit, dan 90 menit.

##### b. Variabel terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang diukur sebagai akibat adanya pengaruh pada variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai pH dan nilai daya hantar listrik pada kopi liberika yang telah difermentasi secara basah dengan penambahan  $\alpha$ -amilase.

### 3.3.2 Definisi Operasional Variabel Penelitian

Definisi operasional adalah uraian yang membatasi setiap istilah yang digunakan dalam penelitian dengan makna tunggal dan terukur. Secara operasional variabel penelitian ini didefinisikan sebagai berikut.

- a. Medan magnet gelombang elektromagnetik *Extremely Low Frequency* (ELF)
  - 1) Medan elektromagnetik ELF merupakan spektrum gelombang elektromagnetik yang memiliki frekuensi tidak lebih dari 300 Hz. Pada penelitian ini ditekankan pada efek yang disebabkan oleh medan magnet ELF.
  - 2) Intensitas medan magnet ELF yang digunakan pada penelitian ini sebesar 300  $\mu\text{T}$  dan 400  $\mu\text{T}$ . Intensitas tersebut didasari oleh penelitian sebelumnya yaitu Sudarti dkk. (2020) tentang penggunaan medan magnet ELF pada proses fermentasi kopi luwak artifisial.
  - 3) Lama paparan medan magnet ELF yang digunakan yaitu 30 menit, 60 menit, dan 90 menit. Lama paparan tersebut didasari oleh beberapa penelitian seperti Dewi (2019) tentang pengaruh paparan medan magnet ELF pada proses fermentasi biji kakao kering, Sari dkk. (2018) tentang penggunaan medan magnet ELF pada tape singkong, dan Sadidah dkk. (2015) pengaruh paparan medan magnet ELF pada proses fermentasi tape ketan.
- b. Fermentasi basah kopi liberika

Kopi liberika merupakan jenis kopi yang memiliki tingkat aroma yang kuat dan citarasa yang khas. Fermentasi biji kopi dilakukan untuk membantu melepaskan lapisan lendir yang masih tersisa di permukaan kulit tanduk biji kopi setelah proses pengupasan (Henny, 2018). Fermentasi basah dilakukan dengan merendam kopi yang telah dipulping. Pada proses fermentasi ditambahkan enzim  $\alpha$ -amilase untuk membantu pemecahan pati pada pulp biji kopi. Setelah pemberian  $\alpha$ -amilase, kopi dibiarkan selama 10 jam. Proses fermentasi basah ini terdiri dari 24 jam, 48 jam, 3 hari, 4 hari, dan 5 hari. Lamanya proses fermentasi dipengaruhi oleh jenis kopi, suhu, kelembaban lingkungan, dan ketebalan tumpukan biji kopi (BPTP Jambi, 2015).

c. pH kopi liberika

pH merupakan derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau basa yang dimiliki oleh suatu zat, larutan, atau benda dengan skala 0-14. Kopi berkaitan erat dengan pH, kopi dengan tingkat keasaman yang baik merupakan kopi yang memiliki rasa enak dan segar.

d. Daya hantar listrik kopi liberika

Daya hantar listrik merupakan nilai yang menyatakan kemampuan kopi liberika yang telah difermentasi secara basah dengan penambahan  $\alpha$ -amilase untuk menghantarkan arus listrik.

### 3.4 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.4.1 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Sumber medan magnet ELF berupa *Current Transformer* (CT), berfungsi untuk menghasilkan medan magnet ELF dengan sumber arus AC pada frekuensi 50 Hz dari PLN. Berikut merupakan gambar alat penghasil medan magnet ELF.



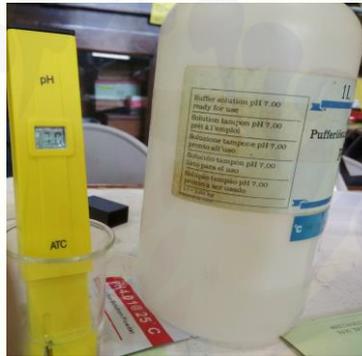
Gambar 3.2 *Current Transformer* (Sumber: Dokumen pribadi, 2020)

- b. EMF tester (*Electromagnetic Field Tester*), berfungsi sebagai alat pengukur besar medan magnet yang dihasilkan dari alat CT. berikut merupakan gambar alat EMF tester tipe Lutron EMF-827.



Gambar 3.3 EMF-827 (Sumber: Google)

- c. pH meter, berfungsi untuk mengukur derajat keasaman (pH) pada kopi liberika yang telah difermentasi secara basah dengan penambahan  $\alpha$ -amilase.



Gambar 3.4 pH meter (Sumber: Dokumen pribadi, 2020)

- d. TDS & EC (*Electro Conductivity*) meter, berfungsi untuk mengukur daya hantar listrik pada kopi liberika yang telah difermentasi secara basah dengan penambahan  $\alpha$ -amilase.



Gambar 3.5 TDS & EC meter (Sumber: Dokumen pribadi, 2020)

- e. Neraca digital, berfungsi untuk menimbang massa kopi liberika pada masing-masing wadah kelompok kontrol dan kelompok eksperimen.
- f. Pipet ukur, berfungsi untuk memindahkan larutan dengan volume tertentu dari satu tempat ke tempat yang lain dengan ketelitian yang tinggi.
- g. Mikropipet, berfungsi untuk memindahkan larutan atau cairan dari satu tempat ke tempat yang lain dengan volume yang sangat kecil.
- h. Gelas beaker, berfungsi untuk menampung larutan kimia dan media pemanas cairan.
- i. Gelas ukur, berfungsi untuk mengukur volume larutan dalam jumlah tertentu dengan tingkat ketelitian yang cukup tinggi.
- j. Spatula, berfungsi untuk mengambil bahan kimia berbentuk padatan dan digunakan untuk mengaduk larutan.
- k. Batang pengaduk, berfungsi untuk mengaduk suatu bahan baik saat akan direaksikan maupun saat reaksi berlangsung.
- l. Timba berfungsi untuk tempat memfermentasikan kopi liberika.

#### 3.4.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- 1) Kopi liberika 5 kg @700 gr
- 2) Enzim  $\alpha$ -amilase 49 ml @7 ml
- 3) Aquades
- 4) Buffer pH 7
- 5) Kertas label
- 6) Tisu

### 3.5 Prosedur Penelitian

#### 3.5.1 Prosedur Pembuatan Kopi Liberika Difermentasi Secara Basah dengan Penambahan $\alpha$ -Amilase

Pembuatan sampel kopi liberika dimulai dengan terlebih dahulu memetik buah kopi jenis liberika. Setelah kopi dipanen, maka untuk menghasilkan kopi yang baik adalah disortasi. Hal ini bertujuan untuk memisahkan buah dari kotoran,

ranting daun dan biji kopi yang cacat (Wulandari, 2016). Pemisahan biji kopi liberika yang matang dengan kulit buahnya dilakukan dengan proses pulping, sehingga diperoleh biji kopi liberika terbungkus kulit tanduk yang masih terdapat lendirnya. Kemudian, kopi liberika difermentasi menggunakan bak tertutup dengan diameter 21 cm dan tinggi 19,5 cm. Proses fermentasi dilakukan secara basah dengan penambahan aquades 0,5 liter/0,7 kg biji kopi liberika dan enzim  $\alpha$ -amilase sebesar 10 ml/kg. Setelah penambahan enzim ini, kopi liberika dibiarkan selama 10 jam. Hal ini bertujuan agar bakteri dapat berkembangbiak pada proses fermentasi lebih optimal.

Penentuan sampel dilakukan sebelum melakukan penelitian pada sampel yaitu menentukan sampel untuk kelompok kontrol dan kelompok eksperimen. Perlakuan pada kelompok kontrol tidak dilakukan pemaparan menggunakan medan magnet ELF. Sedangkan, untuk kelompok eksperimen menggunakan paparan medan magnet ELF intensitas 300  $\mu$ T dan 400  $\mu$ T dengan masing-masing lama paparan 30 menit, 60 menit, dan 90 menit. Sampel yang digunakan berjumlah 180 dengan ukuran 20 ml pada masing-masing sampel. Pada kelompok kontrol sampel yang digunakan sebanyak 30 sampel dan kelompok eksperimen sampel yang digunakan sebanyak 150 sampel. Teknik penentuan sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah secara acak. Pada proses pengukuran untuk memperoleh data dari masing-masing kelompok perlakuan diambil 5 sampel secara acak.

### 3.5.2 Prosedur Pemaparan Gelombang Elektromagnetik ELF

Penelitian ini terdiri dari dua kelompok, yaitu kelompok kontrol dan kelompok eksperimen. Pada kelompok kontrol tidak diberi perlakuan atau tanpa paparan medan magnet ELF. Sedangkan, pada kelompok eksperimen diberi perlakuan paparan medan magnet ELF. Sampel diberi paparan medan magnet ELF setelah 10 jam dari pemberian enzim  $\alpha$ -amilase. Pemaparan yang dilakukan pada kelompok eksperimen dilakukan dengan 2 variasi sebagai berikut.

- a. Input sumber tegangan PLN sebesar 220 Volt, kuat arus sebesar 5 Ampere, dan frekuensi sebesar 50 Hz.

- b. Kelompok eksperimen 1 mendapat intensitas paparan medan magnet ELF sebesar 300  $\mu\text{T}$  dengan lama paparan 30 menit, 60 menit, 90 menit.
- c. Kelompok eksperimen 2 mendapat intensitas paparan medan magnet ELF sebesar 400  $\mu\text{T}$  dengan lama paparan 30 menit, 60 menit, 90 menit.

Adapun langkah-langkah penggunaan alat *Electromagnetic Fields Sources* sebagai berikut:

1. Menekan tombol *on* ELF yang telah terhubung dengan listrik. Apabila tegangan telah terhubung, maka *pilot lamp* akan menyala.
2. Memastikan *output* tegangan *slite voltage regulator* adalah nol, dengan cara memutar *knob* putar ke kiri (berlawanan dengan arah jarum jam) hingga *knob* putar tidak dapat diputar lagi.
3. Menekan tombol *push button* (warna merah) untuk menyalakan regulator arus. Apabila *knob* putar pada langkah b belum diputar hingga posisi nol, maka kontraktor tidak akan menyala (*on*) dan peralatan belum dapat digunakan.
4. Memutar *knob* putar ke kanan (searah jarum jam) hingga didapatkan besaran atau intensitas medan magnet yang diinginkan dibantu dengan menggunakan alat EMF Tester. Terdapat display arus untuk mengetahui besar arus yang mengalir dalam peralatan regulator arus.
5. Menekan tombol *push button* (warna hijau) untuk mematikan regulator arus.

Pada penelitian ini juga menggunakan alat EMF Tester (*Electromagnetic Field Tester*) untuk memastikan besar intensitas medan magnet ELF yang digunakan. Berikut langkah-langkah pengoprasian EMF:

- a) Memosisikan *off range switch* ke range yang sesuai. Kemudian, memulai dari range tertinggi dan menunggu hingga nilai terukur stabil lalu mengganti range sesuai dengan yang diinginkan.
- b) Memegang *probe* sensor dan mencoba mendekatkan kepala sensor ke objek yang akan diukur sehingga tersentuh secara fisis. Memperhatikan intensitas medan magnet bertambah saat *probe* didekatkan ke arah objek.
- c) Memosisikan kepala sensor di sudut yang berbeda terhadap objek yang akan di ukur dan melihat pengaruh terhadap hasil pengukuran.

- d) Mencoba pendekatan sudut pengukuran yang berbeda, mencatat hasil pengukuran yang tertera pada layar. Jika objek yang diukur mati selama pengukuran, seharusnya hasil pengukuran mendekati nol, namun jika tidak artinya ada sumber EM lain yang terdeteksi.
- e) Alat ukur ini didesain untuk membaca hasil pengukuran dalam satuan  $\mu\text{T}$ , tetapi dalam satuan mG juga dapat diukur dengan cara mengalikan hasil pengukuran dengan angka 10.

### 3.5.3 Prosedur Pengujian pH Kopi Liberika

#### a. Kalibrasi pH meter

- 1) Menyiapkan buffer pH dan gelas beaker.
- 2) Memasukkan buffer pH dengan volume 30 ml ke dalam gelas beaker.
- 3) Membersihkan pH meter dengan tisu.
- 4) Menghidupkan pH meter, kemudian memasukkan elektroda pH meter ke dalam gelas beaker pada langkah 2 hingga nilai yang tertera pada layar pH meter stabil.
- 5) Mengeluarkan pH meter dari gelas beaker, kemudian dikeringkan dengan tisu.
- 6) Meletakkan pH meter di tempat yang kering dan diberi tisu.

#### b. Mengukur pH Kopi Liberika

- 1) Mengambil cairan kopi 20 ml dan menuangkan ke dalam gelas beaker.
- 2) Memasukkan elektroda pH meter ke dalam cairan kopi liberika.
- 3) Mencatat nilai pH yang ada pada layar pH meter. Setiap pengukuran 1 sampel kopi liberika dicatat sesuai dengan nilai yang tertera pada layar pH meter.
- 4) Memasukkan elektroda pH meter terlebih dahulu ke dalam larutan aquades dan dikeringkan dengan tisu saat akan memindahkan pH meter ke sampel yang berbeda.

### 3.5.4 Prosedur Pengujian Daya Hantar Listrik (DHL) Kopi Liberika

#### a. Mengukur Daya Hantar Listrik (DHL) Kopi Liberika

- 1) Menyiapkan gelas beaker dan aquades.
- 2) Memasukkan aquades dengan volume 30 ml ke dalam gelas beaker.

- 3) Menghidupkan TDS & EC meter, kemudian memasukkan elektrodanya ke dalam gelas beaker pada langkah 2 hingga stabil.
- 4) Mengeluarkan TDS & EC meter dari gelas beaker, kemudian dikeringkan dengan tisu.
- 5) Mengambil cairan kopi 20 ml dan menuangkan ke dalam gelas beaker.
- 6) Mengukur DHL dengan memasukkan elektroda TDS & EC meter ke dalam cairan kopi liberika.
- 7) Mencatat nilai DHL yang ada pada layar TDS & EC meter. Setiap pengukuran 1 sampel kopi liberika dicatat sesuai dengan nilai yang tertera pada layar TDS & EC meter.
- 8) Memasukkan elektroda TDS & EC meter terlebih dahulu ke dalam larutan aquades dan dikeringkan dengan tisu saat akan memindahkan TDS & EC meter ke sampel yang berbeda.

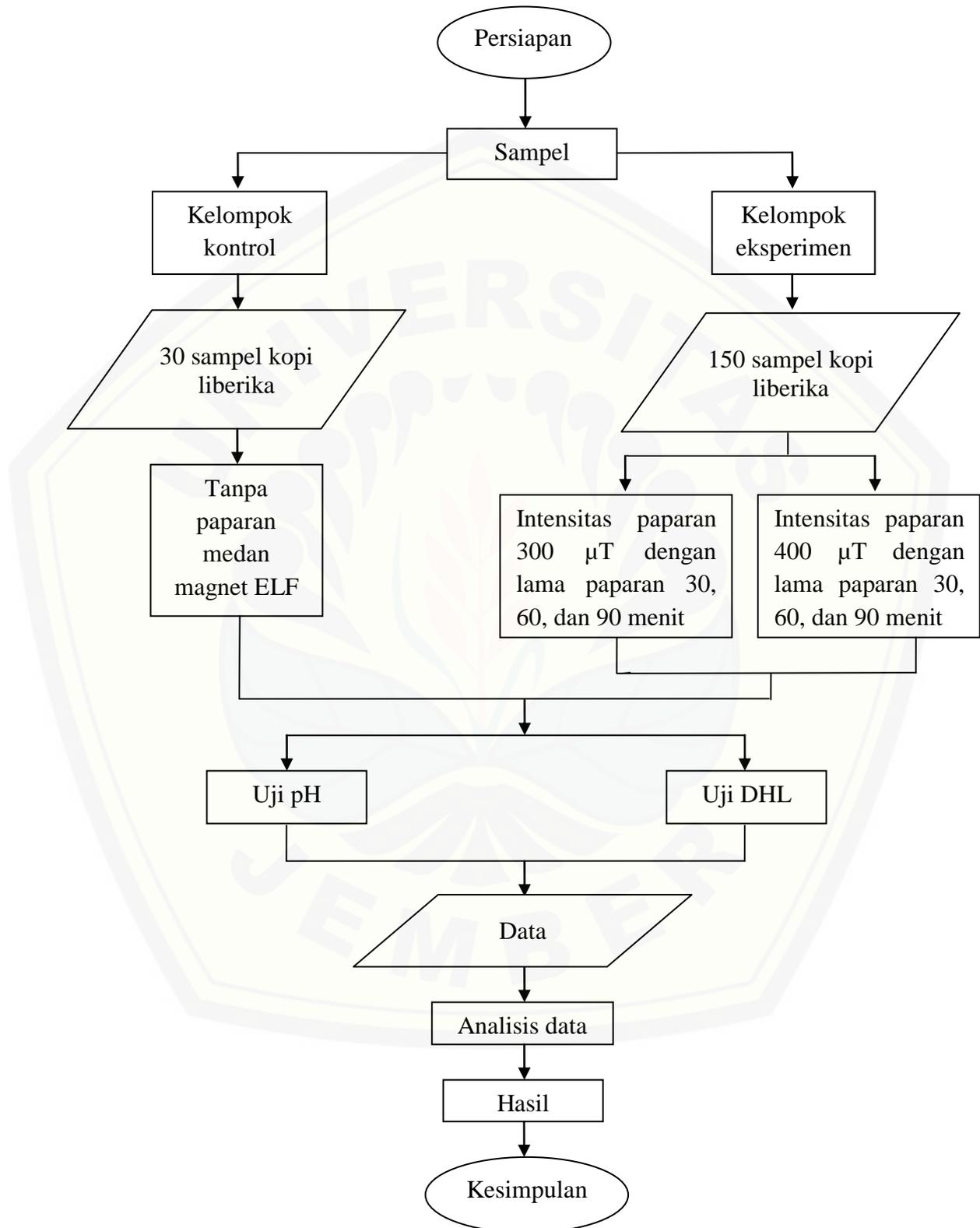
#### 3.5.5 Bagan Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang akan digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut.

- 1) Menyiapkan kopi liberika yang telah difermentasi secara basah dengan penambahan  $\alpha$ -amilase sebanyak 7 bak. Masing-masing bak berisi 700 gram buah kopi liberika, 500 ml aquades, dan 7 ml enzim  $\alpha$ -amilase.
- 2) Membagi kopi liberika yang telah difermentasi secara basah dengan penambahan  $\alpha$ -amilase tersebut menjadi dua kelompok, yaitu kelompok kontrol sebanyak 30 sampel dan kelompok eksperimen sebanyak 150 sampel. Kelompok eksperimen dibagi menjadi dua, pertama dengan intensitas paparan 300  $\mu$ T sebanyak 75 sampel dan kedua dengan intensitas paparan 400 $\mu$ T sebanyak 75 sampel. Masing-masing sampel berukuran 20 ml.
- 3) Memberikan perlakuan, yakni untuk kelompok kontrol tidak dipapar dengan medan magnet ELF yaitu meletakkan sampel pada ruang terbuka tanpa pengaruh sinar matahari dan untuk kelompok eksperimen dipapar dengan medan magnet ELF intensitas intensitas 300 $\mu$ T dan 400 $\mu$ T dengan lama paparan 30 menit, 60 menit, dan 90 menit.

- 4) Melakukan pengukuran nilai pH dan nilai daya hantar listrik (DHL) pada jam ke-0 atau sebelum pemaparan.
- 5) Melakukan pengukuran nilai pH dan nilai daya hantar listrik (DHL) pada jam ke-24 untuk kelompok kontrol (Ka) dan kelompok eksperimen (E1,30'a; E1,60'a; E1,90'a; E2,30'a; E2,60'a; E2,90'a).
- 6) Melakukan pengukuran nilai pH dan nilai daya hantar listrik (DHL) pada jam ke-48 untuk kelompok kontrol (Kb) dan kelompok eksperimen (E1,30'b; E1,60'b; E1,90'b; E2,30'b; E2,60'b; E2,90'b).
- 7) Melakukan pengukuran nilai pH dan nilai daya hantar listrik (DHL) pada hari ke-3 untuk kelompok kontrol (Kc) dan kelompok eksperimen (E1,30'c; E1,60'c; E1,90'c; E2,30'c; E2,60'c; E2,90'c).
- 8) Melakukan pengukuran nilai pH dan daya hantar listrik (DHL) pada hari ke-4 untuk kelompok kontrol (Kd) dan kelompok eksperimen (E1,30'd; E1,60'd; E1,90'd; E2,30'd; E2,60'd; E2,90'd).
- 9) Melakukan pengukuran nilai pH dan daya hantar listrik (DHL) pada hari ke-5 untuk kelompok kontrol (Ke) dan kelompok eksperimen (E1,30'e; E1,60'e; E1,90'e; E2,30'e; E2,60'e; E2,90'e).
- 10) Melakukan analisa data.
- 11) Membahas hasil analisa data.
- 12) Menarik kesimpulan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan.

Prosedur penelitian akan disajikan dalam bagan pada gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.6 Bagan prosedur penelitian

### 3.6 Metode Analisis Data

#### 3.6.1 Tabel Hasil Pengamatan

Tabel 3.1 Data hasil pengukuran nilai pH kopi liberika pada kelompok kontrol dan kelompok eksperimen

Pengamatan		pH			Rata-rata				
Sebelum pemaparan (Jam ke-0)		_____			_____				
		_____			_____				
		_____			_____				
		_____			_____				
Pengamatan	Kelompok Kontrol			Kelompok Eksperimen					
	Kel	pH	Rata-Rata	Paparan 300 $\mu$ T			Paparan 400 $\mu$ T		
				Kel	pH	Rata-Rata	Kel	pH	Rata-Rata
Jam ke-24	Ka	_____	_____	E1, 30'a	_____	_____	E2, 30'a	_____	
					_____			_____	
					_____			_____	
	Ka	_____	_____	E1, 60'a	_____	_____	E2, 60'a	_____	
					_____			_____	
					_____			_____	
Ka	_____	_____	E1, 90'a	_____	_____	E2, 90'a	_____		
				_____			_____		
				_____			_____		



---

			E1, 30'd		E2, 30'd
<hr/>					
Hari ke-4	Kd		E1, 60'd		E2, 60'd
<hr/>					
			E1, 90'd		E2, 90'd
<hr/>					
			E1, 30'e		E2, 30'e
<hr/>					
Hari ke-5	Ke		E1, 60'e		E2, 60'e
<hr/>					
			E1, 90'e		E2, 90'e
<hr/>					

Tabel 3.2 Data hasil pengukuran nilai DHL kopi liberika pada kelompok kontrol dan kelompok eksperimen

Pengamatan		DHL ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )			Rata-rata				
Sebelum pemaparan (Jam ke-0)		_____			_____				
		_____			_____				
		_____			_____				
		_____			_____				
Pengamatan	Kelompok Kontrol			Kelompok Eksperimen					
	Kel	DHL	Rata-Rata	Paparan 300 $\mu\text{T}$			Paparan 400 $\mu\text{T}$		
				Kel	DHL	Rata-Rata	Kel	DHL	Rata-Rata
Jam ke-24	Ka	_____	_____	E1, 30'a	_____	_____	E2, 30'a	_____	_____
					_____	_____		_____	_____
					_____	_____		_____	_____
				E1, 60'a	_____	_____	E2, 60'a	_____	_____
					_____	_____		_____	_____
					_____	_____		_____	_____
	Kb	_____	_____	E1, 90'a	_____	_____	E2, 90'a	_____	_____
					_____	_____		_____	_____
					_____	_____		_____	_____





dikatakan tidak normal. Sedangkan, jika nilai sig > 0,05 maka data tersebut dikatakan normal (Stanislaus, 2009). Ketika hasil data tidak memenuhi syarat normal, maka pengujian hipotesis menggunakan statistika non-parametrik yaitu uji *Independen sampel t-test – Mann Whitney*, kemudian dilanjutkan dengan uji *Kruskal-Wallis* sebagai pengganti uji *One Way Anova* (Hasan, 2004:179-180).

Penggunaan Microsoft office excel digunakan untuk mengolah data mentah dari hasil penelitian dan membuat grafik pengaruh paparan medan magnet ELF antara kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen. Uji *Independen sampel t-test – Mann Whitney* berfungsi untuk menguji ada atau tidak perbedaan rata-rata dari data dua sampel yang tidak berpasangan (Suyanto & Gio, 2017). Uji *Mann Whitney* membantu peneliti di dalam hasil kinerja kelompok yang terdapat dalam sampel ke dalam dua kelompok dengan dua kriteria yang berbeda. Hipotesis yang digunakan pada uji statistik ini yaitu  $H_0$  (hipotesis nol) dan  $H_a$  (hipotesis alternatif) sebagai berikut.

$H_0$  : Tidak ada perbedaan antara kelompok kontrol dan kelompok eksperimen secara signifikan.

$H_a$  : Ada perbedaan antara kelompok kontrol dan kelompok eksperimen secara signifikan.

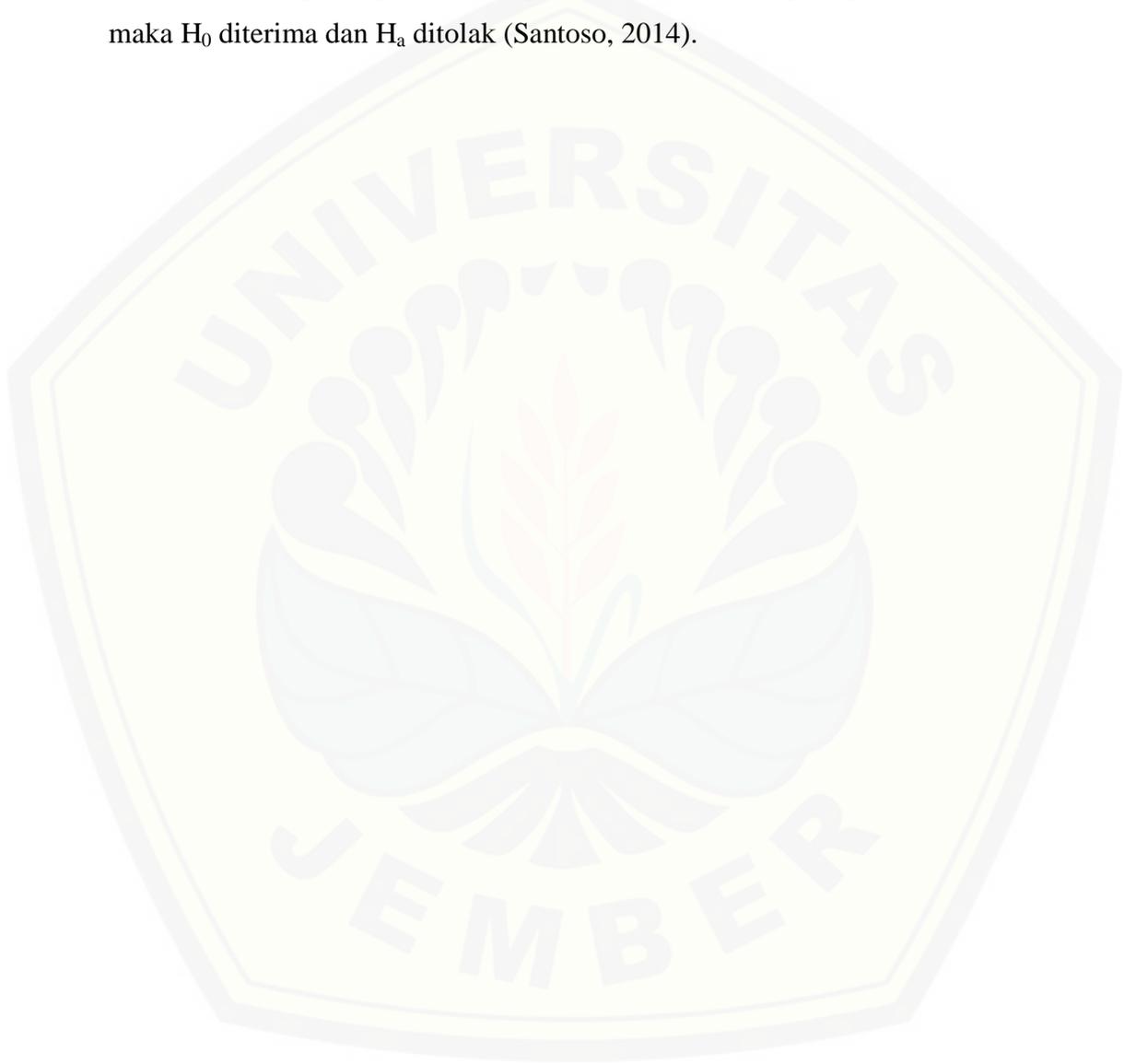
Jika nilai signifikansi atau Asymp. Sig. (2-tailed) < 0,05 maka  $H_a$  diterima dan  $H_0$  ditolak. Namun, jika nilai signifikansi atau Asymp. Sig. (2-tailed) > 0,05 maka  $H_a$  ditolak dan  $H_0$  diterima.

Selanjutnya, menggunakan uji *Kruskal-Wallis* sebagai pengganti uji *One Way Anova* karena data penelitian tidak memenuhi syarat normal yang berfungsi untuk menguji ada atau tidak perbedaan dari tiga atau lebih sampel yang tidak berpasangan (Suyanto & Gio, 2017). Hipotesis yang digunakan pada uji *Kruskal-Wallis* ini yaitu:

$H_0$  : Tidak ada perbedaan antara kelompok kontrol dan kelompok eksperimen (E300  $\mu$ T,30'; E300  $\mu$ T,60'; E300  $\mu$ T,90'; E400  $\mu$ T,30'; E400  $\mu$ T,60'; E400  $\mu$ T,90').

$H_a$  : Ada perbedaan antara kelompok kontrol dan kelompok eksperimen (E300  $\mu T,30'$ ; E300  $\mu T,60'$ ; E300  $\mu T,90'$ ; E400  $\mu T,30'$ ; E400  $\mu T,60'$ ; E400  $\mu T,90'$ ).

Jika nilai signifikansi atau Asymp. Sig. (2-tailed)  $< 0,05$  maka  $H_0$  ditolak dan  $H_a$  diterima. Sedangkan, jika nilai signifikansi atau Asymp. Sig. (2-tailed)  $> 0,05$  maka  $H_0$  diterima dan  $H_a$  ditolak (Santoso, 2014).



## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

- a. Paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) berpengaruh terhadap nilai pH pada proses fermentasi basah kopi liberika dengan penambahan  $\alpha$ -amilase yang ditunjukkan dengan bervariasinya grafik. Grafik pH kopi liberika pada jam ke-24, jam ke-48, dan hari ke-3 mengalami penurunan, sedangkan pada hari ke-4 dan hari ke-5 mengalami kenaikan. Penambahan  $\alpha$ -amilase sebagai katalisator sehingga perkembangan bakteri dalam proses fermentasi kopi menjadi optimal.
- b. Paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) berpengaruh terhadap nilai daya hantar listrik pada proses fermentasi basah kopi liberika dengan penambahan  $\alpha$ -amilase yang ditunjukkan dengan bervariasinya grafik. Grafik daya hantar listrik kopi liberika pada jam ke-24, jam ke-48, dan hari ke-3 mengalami kenaikan, sedangkan pada hari ke-4 dan hari ke-5 mengalami penurunan. Penambahan  $\alpha$ -amilase sebagai katalisator sehingga perkembangan bakteri dalam proses fermentasi kopi menjadi optimal dan mempengaruhi pembentukan ion  $H^+$  oleh bakteri asam laktat yang menyebabkan daya hantar listrik meningkat.

### 5.2 Saran

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan, maka saran yang dapat diberikan sebagai berikut.

- a. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang variasi intensitas dan lama paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF).
- b. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang proses fermentasi pada kopi liberika.
- c. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang variabel lain yang akan diukur.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Afzal, I., Mukhtar, K., Qasim, M., Basra, S. M. A., Shahid, M., dan Haq, Z. 2012. Magnetic Stimulation of Marigold Seed. *International Agrophysics*. 26: 335-339.
- Ahmad, Hiskia. 2007. *Pengaruh Konsentrasi terhadap Daya Hantar Listrik*. Bandung: PT Citra Aditya Bakti.
- Alatas, Z. dan Y. Lusiyanti. 2001. Efek Kesehatan Radiasi Non Pengion pada Manusia. *Prosiding Seminar Keselamatan, Kesehatan, dan Lingkungan I*. 23-24 Oktober 2001.
- Albert, B., Bray, D., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., dan Watson, J. D. 2002. *Biologi Molekuler Sel*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka.
- Albert, B., Bray, D., Hopkin, K., Johnson, A., Lewis, J., dan Raff, M. 2004. *Essential Cell Biology (2<sup>nd</sup> Edition)*. Abingdon, UK: Garland Science, Taylor & Francis Group.
- Alfiyah, D. 2012. Pengaruh Medan Elektromagnetik pada Bakteri *Staphylococcus aureus*. *Skripsi*. Surabaya: Universitas Airlangga.
- Ariangga, F. D. 2015. Analisis Dampak Paparan Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF) Intensitas 500  $\mu$ T terhadap Jumlah Limfosit Mencit Balb-C sebagai Karya Ilmiah Populer. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Ariyani, E. 2019. Pengaruh Radiasi Extremely Low Frequency Magnetic Field terhadap Daya Hantar Listrik (Nilai pH) sebagai Indikator Kadaluarsa Edamame. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Astutik, Y. D. P. 2017. Karakteristik Kimia Kopi Luwak Robusta Artifisial dengan Penambahan Enzim  $\alpha$ -amilase selama Fermentasi. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.

- Baafai, U. S. 2004. Sistem Tenaga Listrik: Polusi dan Pengaruh Medan Elektromagnetik terhadap Kesehatan Masyarakat. *Pidato Pengukuhan*. Sumatra Utara: Pidato Disampaikan pada Waktu Pengukuhan Jabatan Guru Besar Tetap Teknik Sumatra Utara.
- Badan Pengkajian Teknologi Pertanian. 2014. *Mengenal Kopi Liberika Tungkal Komposit (LIBTUKOM)*. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Jambi.
- Badan Pengkajian Teknologi Pertanian. 2015. Jambi.
- Bahri, Saiful., dkk. 2012. Karakteristik Enzim Amilase dari Kecambah Biji Jagung Ketan (*Zea mays ceratina L.*). *Jurnal Natural Science*. 1(1): 132-143.
- Bird, Tony. 1993. *Kimia Fisik untuk Universitas*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Buckle, K. A. 1987. *Ilmu Pangan*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Budiman, H. 2012. *Prospek Tinggi Bertanam Kopi*. Yogyakarta: Pustaka Baru Press.
- Chimayah, M. 2019. Pengembangan Kemampuan Kinerja Ilmiah Siswa pada Pemanfaatan Berbagai Ekstrak Tumbuhan sebagai Indikator Asam Basa. *Skripsi*. Bandung: UIN Sunan Gunung Djati.
- Dinas Perkebunan Provinsi Jambi. 2016. Kopi Liberika (*Coffea liberica*). Jambi.
- Direktorat Jenderal Perkebunan 2013. *Pelepasan Varietas Perkebunan Tahap II Tahun 2013*. Jakarta Selatan.
- Dewi, F.P. 2019. Pengaruh Paparan Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF) terhadap pH dan Daya Hantar Listrik pada Proses Fermentasi Biji Kakao Kering. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.

- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Keju*. Bogor: Pusat antar Universitas Pangan dan Gii Institut Pertanian Bogor.
- Fardiaz, S. 1987. *Fisiologi Fermentasi*. Pusat Antar Universitas IPB, Bogor.
- Fardiaz, S. 1992. *Mikrobiologi Pangan I*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Fauzi, M. 2008. Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Asam Laktat Biji Kopi Luwak (Civet Coffe). *Laporan Penelitian*. Jember: Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.
- Fauzi, M., M. Choiron., Y. D. P. Astutik. 2017. Karakteristik Kimia Kopi Luwak Robusta Artifisial terfermentasi oleh Ragi Luwak dan A-Amilase. *Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian*. 14(3): 144-153.
- Firdaus, M. A., J. Jayus, S. Suwasono. 2018. Mutu dan Citarasa Kopi Arabika (Coffea Arabika L.) Terfermentasi secara Metode Basah dengan Penambahan  $\alpha$ -Amilase. *Berkala Ilmiah Pertanian*.
- Furse, C., Christensen, D. A., and Durney, C. H. 2009. *Basic Introduction to Bioelectromagnetic Second Edition*. New York: CRC Press.
- Garcia, R. F. dan Arza, P. L. 2001. Influence of Stationary Magnetic Field on Water Relations in Lettuce Seeds Part I: Theoretical Consideration. *Bioelectromagnetics*, 2001.(22): 589-595.
- Giancoli, Douglas C. 2014. *Fisika: Prinsip dan Aplikasi Edisi ke 7 Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Grotel, E., Peter, G. K., and Grobinski, H. 1992. EMF and ELF Fact Sheet Electronic, 77: 255-260.
- Halliday dan Resnick. 1997. *Fisika Dasar*. Jakarta: Erlangga.

- Handoko. 2016. Analisis Dampak Paparan Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF) pada Biji Cabai Merah Besar (*Capsicum annum.L*) terhadap Pertumbuhan Tanaman Cabai Merah Besar (*Capsicum annum.L*). *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Handoko, Sudarti, dan Handayani, R. D. 2017. Analisis Dampak Paparan Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF) pada Biji Cabai Merah Besar (*Capsicum annum.L*) terhadap Pertumbuhan Tanaman Cabai Merah Besar (*Capsicum annum.L*). *Jurnal Pembelajaran Fisika*. Vol 5(4): 370-377.
- Hasan, I. 2004. Analisis Data Penelitian dengan Statistik. Jakarta: Bumi Aksara.
- Henny, P. A. S. 2018. Fermentasi Teknologi Ohmic Parchment Coffee Beans (Kopi HS Basah) terhadap Aroma. *Tesis*. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Hidayat, N., M. C. Padaga, dan S. Suhartini. 2006. *Mikrobiologi Industri*. Yogyakarta: CV. Andi Offset.
- Jayanti, R. T. 2011. *Pengaruh pH, Suhu Hidrolisis Enzim A-Amilase dan Konsentrasi Ragi Roti untuk Produksi Etanol Menggunakan Pati Bekatul*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Khairiah dan Destini, R. 2017. Analysis of Effect of Yeast Mass Addition and Fermentation Time to the Voltage of Durian (*Durio Zibethinus*) Husk Waste Paste. *FISITEK: Jurnal Ilmu Fisika Dan Teknologi*. 1(2): 16-22.
- Kordi dan Tancung. 2007. *Pengolahan Kualitas Air dalam Budidaya Perairan*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Kristinawati, A. 2015. Pengaruh Lama Paparan Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF) terhadap pH dan Kadar Air pada Proses Pembuatan Keju Jenis Cream Cheese. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Laksmiari, K. 2020. Pengaruh Paparan Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF) terhadap Derajat Keasaman dan Daya Hantar Listrik pada Proses

Dekomposisi Ikan Tongkol (*Euthynnus affinis* C.). Skripsi. Jember: Universitas Jember.

Lindstrom, E., Lindstrom, P., Berglund, A., Mild, K. H. dan Lundgren, E. 1993. Intracellular Calcium Oscillation Induced in a T-Cell Line by Weak 50 Hz Magnetic Field. *J Cell Physiol*, 1993.(156):395-398.

Ma'rufiyanti, P., Sudarti, dan Gani, A. A. 2014. Pengaruh Paparan Medan Magnet (ELF) Extremely Low Frequency 300 $\mu$ T dan 500 $\mu$ T terhadap Perubahan Kadar Vitamin C dan Derajat Keasaman (pH) pada Buah Tomat. *Jurnal Pendidikan Fisika*. 3(3): 277-284.

Morelli, A., Ravera, S., Panfoli, I., Pepe, IM. 2005. Effects of Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields on Membrane-Associated Enzymes. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 441:191-198.

Mulato, S. 2002. *Diversifikasi Usaha Berwawasan Lingkungan dalam Pengembangan Industri Kopi Bubuk Skala Kecil Untuk Meningkatkan Nilai Tambah Usaha Tani Kopi Rakyat*. Denpasar: Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia.

N.A. Usman, K. Suradi, dan J. Gumilar. 2018. Pengaruh Konsentrasi Bakteri Asam Laktat *Lactobacillus Plantarum* dan *Lactobacillus Casei* terhadap Mutu Mikrobiologi dan Kimia Mayones Probiotik. *Jurnal Ilmu Ternak*. 18(2):79-85.

Najiyati, S. dan Danarti. 1997. *Kopi Budidaya dan Pengolahan Pascapanen*. Jakarta: Penebar Swadaya.

Najiyati, S. dan Danarti. 2007. *Kopi Budidaya dan Penanganan Pascapanen*. Jakarta: Penebar Swadaya.

Nangin, D. dan Aji S. 2015. Enzim Amilase Pemecah Pati Mentah dari Mikroba: Kajian Pustaka. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*. 3(3): 1032-1039.

Nizori, A., Suwita, V., Surhaini, Mursalin, Melisa, Sunarti, T.C., dan E. Warsi. 2007. Pembuatan soyghurt simbiotik sebagai makanan fungsional dengan

penambahan kultur campuran *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus bulgaricus*, dan *Lactobacillus acidophilus*. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 18(1): 28-33.

Norman, B. E. 1981. New Developments in Starch Syrup Technology. Di dalam G.G Birch, N. Blakebough dan K. J. Parker (eds.). *Enzymes and Food Processing*. Applied Science Publ.Ltd., London.

Oktadina, F. D., B. D. Argo, dan M. B. Hermanto. 2013. Pemanfaatan Nanas (*Ananascomosus L. Mert*) untuk Penurunan Kadar Kafein dan Perbaikan Citarasa Kopi (*Coffea sp.*) dalam Pembuatan Kopi Bubuk. *Jurnal Keteknikaan Pertanian Tropis dan Biosistem*. 1(3): 265-273.

Oyoleke, S. B. dan Oduwole. 2009. Production of Amylase by Bacteria Isolated from a Cassava Waste Dumpsite in Minna, Niger State, Nigeria. *African Journal of Microbiology Research*. Vol 3 ISSN 1996-0808. Department of Microbiology Federal University of Technology. Nigeria.

Pedoman Teknis Pengembangan Agroindustri Pengolahan Hasil Perkebunan Kopi. 2010. Direktorat Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian.

Prasetyo, P., Hidayat, R., Nyoto, dan Purnomo, H. 2019. Budidaya Kopi Liberika di Lahan Gambut. *Center for International Forestry Research (CIFOR)*. Vol 4.

Purnomo, H. 2010. Pengaruh Keasaman Buah Jeruk terhadap Konduktivitas Listrik. *ORBITH*. 6(2): 276-281.

Purwoko dan Fendi. 2009. *Physics 2 for Senior High School Year XI*. Jakarta: Yudhistira.

Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia. 2014. *Warta Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia*. Jawa Timur.

Rahardjo, P. 2012. *Panduan Budidaya dan Pengolahan Kopi Arabika dan Robusta*. Jakarta(ID): Penebar Swadaya.

- Reddy, N. S., Nimmagadda, A., Rao, K. R. S., dan Sambasiva. 2003. A Overview of the Microbiology  $\alpha$ -amilase Family. *African J. Biotechnology*. 2(12): 645-648.
- Reta. 2017. Aplikasi Teknologi Ohmic untuk Fermentasi Biji Kopi. *Disertasi*. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- 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: Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.
- Rohma, A., Sumardi, Ernawati, E., dan Agustrin, R. 2013. Pengaruh Paparan Medan Magnet terhadap Aktivitas Enzim  $\alpha$ -Amilase pada Kecambah Kacang Merah dan Kacang Buncis Hitam (*Phaseolus vulgaris L.*). *Seminar Nasional Sains & Teknologi V Lembaga Pendidikan Universitas Lampung*. Hal 344-352.
- Sadidah, K. R., Sudarti, dan Gani, A. A. 2015. Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF (*Extremely Low Frequency*) 300  $\mu$ T dan 500  $\mu$ T terhadap Perubahan Jumlah Mikroba dan pH pada Proses Fermentasi Tape Ketan. *Jurnal Pembelajaran Fisika*. 4(1): 1-8.
- Santoso, S. 2014. *Panduan Lengkap SPSS*. Jakarta: Gramedia.
- Sari, I. K. 2018. Aplikasi Paparan Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF) terhadap Nilai Derajat Keasaman (pH) Tape Singkong. *Seminar Nasional Pendidikan Fisika 2018*: 21-24.
- Setyasih, N., Agustrina, R., Handayani, T. T., dan Ernawati, E. 2013. Pengaruh Medan Magnet 0,3 mT terhadap Stomata Daun Tanaman Tomat (*Lycopersicum esculentum Mill.*). *Prosiding Semirata FMIPA Unila 2013*. Universitas Lampung: 433-438.
- Shimizu H., Suzuki Y., Okonogi H. 1995. Biological Effect of Electromagnetic Fields. *Nippon Eiseigaku Zasshi*. 50(5): 919-931.

- Sinko, P. J. 2012. *Martin Farmasi Fisika dan Ilmu Farmasetika*. Terjemahan oleh Joshinta Djajadisastra dan Amalia H. Hadinata. Jakarta: EGC.
- Siswoputranto, P. S. 1992. *Kopi Internasional dan Indonesia*. Jakarta: Penerbit Kanisius.
- Sivaramakrishnan S., D Gangadharan, K. M. Nampoothiri, C.R. Soccoland, dan A. Pandey. 2006.  $\alpha$ -amylase from Microbial Sources an Overview on Recent Developments. *Food Technology Biotechnology*. 44(2): 173-184.
- Sudarti. 2002. Pengaruh Paparan Medan Elektromagnetik Extremely Low Frequency (ELF) terhadap Morfologi Spermatozoa Tikus Putih. *Jurnal Saintika*. 3(2).
- Sudarti dan Heliatin. 2005. The Effect Of Alteration 11- 10 To The Immune Modulation Response On Bulb/C Mice Exposed Extremely Low Frequency Magnetic Field 20 MT. *Jurnal saintifika*. 6(1): 46-44.
- Sudarti. 2010. Mekanisme Peningkatan Kalsium Sel Germinal pada Mencit Bulb/C yang Dipapar Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF) 100-150  $\mu$ T. Jember: Universitas Jember.
- Sudarti. 2013. Analisis Faktor Penyebab Timbulnya Keluhan Kesehatan Masyarakat di Sekitar SUTET-500 kV. *Seminar Nasional MIPA & Pembelajaran MIPA 31 Maret 2013 FKIP Universitas Jember*. Hal 46-54.
- Sudarti, Nurhayati, Ruriani, E. dan Hersa V. T. 2014. Prevalence of Salmonella Typhimurium on Gado-Gado Seasoning by Treatment of Extremely Low Frequency (ELF) Magnetic Field. *Prosiding Seminar Nasional Nutrisi, Keamanan Pangan dan Produk Halal*. Universitas Sebelas Maret: 26-37.
- Sudarti, Bektiarso, S., Prastowo, S. H. B., Fuad, F., dan Trisnawati, I. J. 2018. Radiation Potential of Extremely Low Frequency (ELF) Magnetic Field to Increase Tobacco Production. *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*. 10(6): 1633-1640.

- Sulistyaningtyas, A. R. 2017. Pentingnya Pengolahan Basah (Wet Processing) Buah Kopi Robusta (*Coffea robusta* Lindl. Ex. De. Will) untuk Menurunkan Resiko Kecacatan Biji Hijau saat Grading Coffee. *Prosiding Seminar Nasional Publikasi Hasil-Hasil Penelitian dan Pengabdian Masyarakat*. Universitas Muhammadiyah Semarang: 90-94.
- Sumardi, Agustrina, R., Irawan B., dan Rodiah S. 2020. Pengaruh Pemaparan Medan Magnet 0,2 mT pada Media yang Mengandung Logam (Al, Pb, Cd, dan Cu) terhadap *Bacillus* sp. dalam Menghasilkan Protease. *Berita Biologi*. 19(1): 47-58.
- Susanti, D. S. 2011. Identifikasi Bakteri yang Berperan dalam Fermentasi Semi Basah Biji Kopi Robusta. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Sutrisno dan Gie, T. I. 1979. *Fisika Dasar I: Listrik Magnet dan Termofisika*. Bandung: ITB.
- Suyanto dan Gio, P. U. 2017. *Statistika Nonparametrik dengan SPSS, Minitab dan R*. Medan: USU Press.
- Stanislaus S. Uyanto. 2009. *Pedoman Analisis Data dengan SPSS*. Yogyakarta: Badan Penerbit Graha Ilmu.
- Tessaro, L. W. E., Murugan, N. J., and Persinger, M. A. 2015. Bacteria Growth Rates are Influenced by Cellular Characteristics of Individual Species when Immersed in Electromagnetic Fields. *Microbiological Research*. 172: 26-33.
- Tawali, A. B., Abdullah, N., dan Wiranata, B. S. 2018. Pengaruh Fermentasi Menggunakan Bakteri Asam Laktat Yoghurt terhadap Citarasa Kopi Robusta (*Coffea robusta*): (The Influence of Fermentation Using Bacteria Lactic Acid Yoghurt to the Flavor of Coffe Robusta (*Coffea robusta*)). *Canrea Journal: Food Technology, Nutritions, and Culinary Journal*. 1(1): 90-97.
- Tipler, Paul A. 1998. *Fisika untuk Sains dan Teknik Jilid I*. Jakarta: Erlangga.

Wardani, A. K. 2018. Pengaruh Lama Waktu Fermentasi pada Pembuatan Bioetanol dari Sargassum sp Menggunakan Metode Hidrolisis Asam dan Fermentasi Menggunakan Mikroba Asosiasi (*Zymomonas mobilis*, *Saccharomyces cerevisiae* dalam Ragi Tape dan Ragi Roti). *Skripsi*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.

WHO, 2007. Dr. Emilie van Deventer, Acting Coordinator. Radiation and Environmental Health. *Environment Health Criteria. Gewena Spokesperon*: 21-27.

WHO, 2016. *Electromagnetic Fields and Public Health*.

Wilujeng, A. A. T. dan P. R. Wikandari. 2013. Pengaruh Lama Fermentasi Kopi Arabika (*Coffea arabica*) dengan Bakteri Asam Laktat *Lactobacillus plantarum* B1765 terhadap Mutu Produk. *Unesa Journal of Chemistry*. 2(3): 1-10.

Winarno, F. G. dan I. E. Fernandez. 2007. *Susu dan Produk Fermentasinya*. Bogor: M-brio Press.

Wulandari, S. 2016. Citarasa dan Komponen Flavor Kopi Luwak Robusta In Vitro Akibat Perbedaan Konsentrasi Ragi dan Lama Fermentasi. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.

Young, H. D. dan Freedman, R. A. 2003. *Fisika Universitas Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.

Yusianto dan Widyotomo, S. 2013. Quality and Flavor Profiles of Arabica Coffee Processed by Some Fermentation Treatments: Temperature, Containers, and Fermentation Agents Addition. *Pelita Perkebunan (a Coffee and Cocoa Research Journal)*. 29(3): 220-239.

**LAMPIRAN A. MATRIKS PENELITIAN**

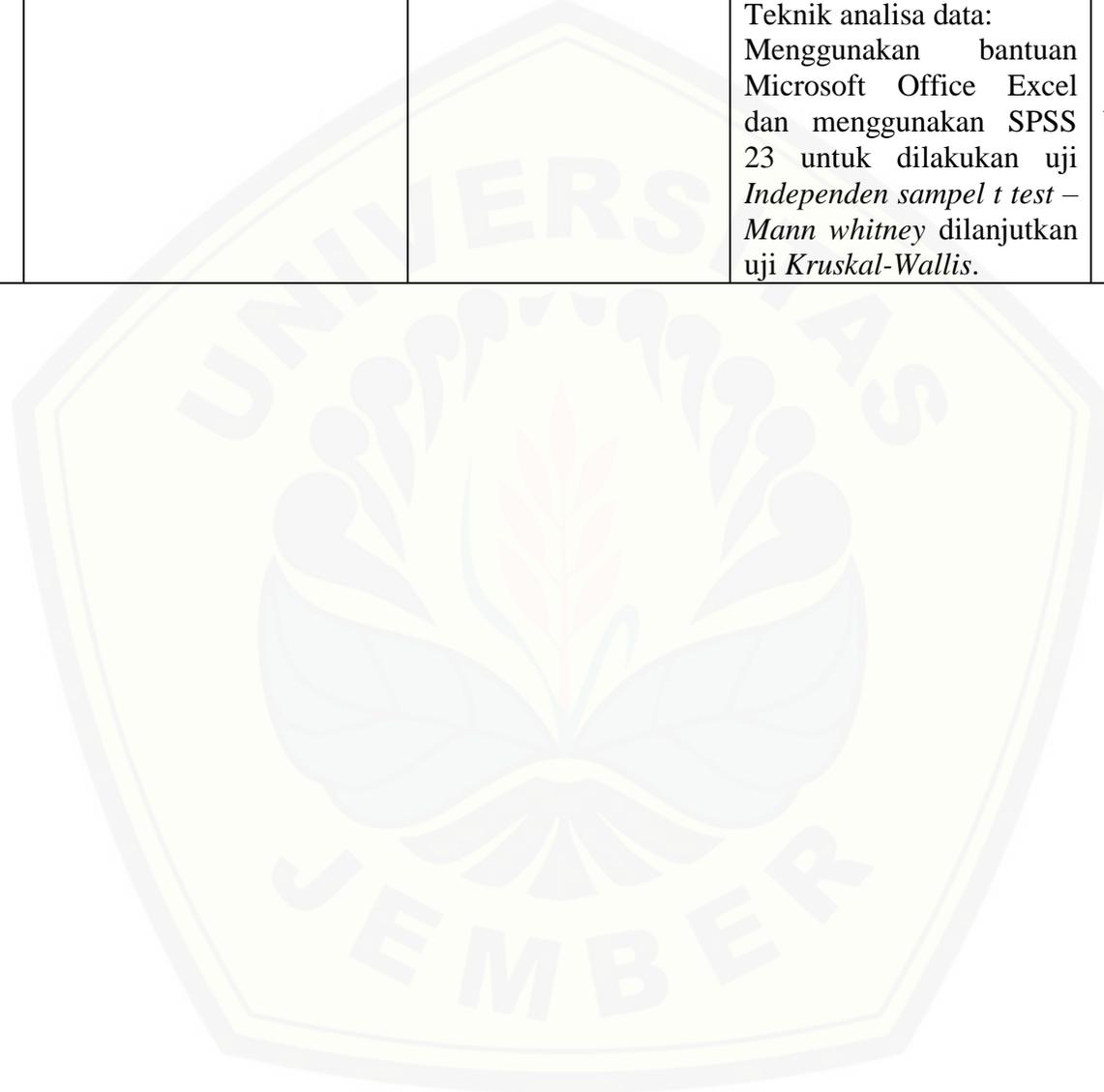
Nama : Nanda Rizky Fitriani Kanza

NIM : 160210102096

RG : 2

JUDUL	TUJUAN PENELITIAN	VARIABEL	DATA DAN TEKNIK PENGAMBILAN DATA	METODE PENELITIAN
Pengaruh Paparan Medan Magnet <i>Extremely Low Frequency</i> (ELF) terhadap pH dan Daya Hantar Listrik pada Proses Fermentasi Basah Kopi Liberika ( <i>Coffea liberica</i> ) dengan Penambahan $\alpha$ -Amilase	<p>1. Mengkaji pengaruh paparan medan magnet <i>Extremely Low Frequency</i> (ELF) terhadap pH pada proses fermentasi basah kopi liberika (<i>Coffea liberica</i>) dengan penambahan <math>\alpha</math>-amilase.</p> <p>2. Mengkaji pengaruh paparan medan magnet <i>Extremely Low Frequency</i> (ELF) terhadap daya hantar listrik pada proses fermentasi basah kopi liberika (<i>Coffea liberica</i>) dengan penambahan <math>\alpha</math>-amilase.</p>	<p>Variabel bebas: Intensitas medan magnet ELF sebesar 300<math>\mu</math>T dan 400<math>\mu</math>T. Lama paparan medan magnet ELF 30 menit, 60 menit, dan 90 menit.</p> <p>Variabel terikat: pH dan daya hantar listrik (DHL).</p>	<p>Data: Data ini diperoleh pada saat melakukan penelitian dan hasil pengukuran, yaitu: a. Nilai pH diperoleh dari alat pH meter. b. Daya hantar listrik diperoleh dari alat TDS &amp; EC meter.</p> <p>Teknik pengambilan data: Menggunakan teknik eksperimen laboratorium. Data diambil pada jam ke-24, jam ke-48, hari ke-3, hari ke-4, dan hari ke-5 setelah proses fermentasi.</p>	<p>Jenis penelitian: Penelitian eksperimen.</p> <p>Desain penelitian: Randomized subjects post test only control group design.</p> <p>Sampel yang digunakan: Kopi liberika dari Kecamatan Songgon Kabupaten Banyuwangi, yang selanjutnya difermentasi secara basah dengan penambahan <math>\alpha</math>-amilase.</p> <p>Tempat Penelitian: a. Laboratorium ELF</p>

			<p>Teknik analisa data: Menggunakan bantuan Microsoft Office Excel dan menggunakan SPSS 23 untuk dilakukan uji <i>Independen sampel t test</i> – <i>Mann whitney</i> dilanjutkan uji <i>Kruskal-Wallis</i>.</p>	<p>Pendidikan Fisika FKIP Universitas Jember. b. Laboratorium Mikrobiologi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Jember.</p>
--	--	--	---	--



**LAMPIRAN B. DATA HASIL PENELITIAN**

a. Data Hasil Pengukuran pH Kopi Liberika

Pengamatan		pH		Rata-rata					
Sebelum pemaparan (Jam ke-0)		4,40		4,420					
		4,50							
		4,30							
		4,40							
		4,50							
Pengamatan	Kelompok Kontrol			Kelompok Eksperimen					
	Kel	pH	Rata-Rata	Paparan 300 $\mu$ T			Paparan 400 $\mu$ T		
Kel				pH	Rata-Rata	Kel	pH	Rata-Rata	
Jam ke-24	Ka	4,10	4,140	E1, 30'a	4,20	4,100	E2, 30'a	4,20	4,200
					4,00			4,20	
					4,10			4,20	
					4,10			4,20	
					4,10			4,20	
					4,10			4,20	
	Ka	4,10	4,140	E1, 60'a	4,10	4,100	E2, 60'a	4,20	4,200
					4,10			4,20	
					4,10			4,20	
					4,10			4,20	
					4,10			4,20	
					4,10			4,20	
Ka	4,10	4,140	E1, 90'a	4,10	4,120	E2, 90'a	4,20	4,160	
				4,10			4,20		
				4,10			4,20		
				4,10			4,20		
				4,10			4,20		
				4,10			4,20		

					4,10			4,10	
		4,10			4,10			4,10	
				E1, 30'b	4,10	4,100	E2, 30'b	4,10	4,100
					4,10			4,10	
		4,00			4,10			4,10	
					4,10			4,10	
					4,10			4,10	
Jam ke-48	Kb	4,00	4,020	E1, 60'b	4,10	4,100	E2, 60'b	4,20	4,140
					4,10			4,20	
					4,10			4,10	
		4,00			4,10			4,20	
					4,10			4,20	
				E1, 90'b	4,10	4,100	E2, 90'b	4,20	4,160
		4,00			4,10			4,10	
					4,10			4,10	
					4,10			4,10	
		4,00			4,00			4,00	
					4,00			4,10	
				E1, 30'c	4,00	4,000	E2, 30'c	4,10	4,080
					4,00			4,10	
		4,00			4,00			4,10	
					4,10			4,00	
					4,10			4,00	
Hari ke-3	Kc	4,00	3,940	E1, 60'c	4,10	4,100	E2, 60'c	4,00	4,000
					4,10			4,00	
					4,10			4,00	
		3,60			4,00			4,10	
					4,00			4,10	
				E1, 90'c	4,00	4,000	E2, 90'c	4,00	4,060
					4,00			4,00	
		4,10			4,00			4,00	
					4,00			4,10	

					4,00			4,10	
		4,10			4,10			4,10	
				E1, 30'd	4,00	4,020	E2, 30'd	4,10	4,100
					4,00			4,10	
		4,10			4,00			4,10	
					4,10			4,00	
					4,10			4,10	
Hari ke-4	Kd	4,10	4,100	E1, 60'd	4,10	4,100	E2, 60'd	4,10	4,080
					4,10			4,10	
					4,10			4,10	
		4,10			4,10			4,00	
					4,00			4,10	
				E1, 90'd	4,00	4,040	E2, 90'd	4,10	4,080
		4,10			4,00			4,10	
					4,10			4,10	
					4,10			4,20	
		4,20			4,20			4,20	
				E1, 30'e	4,20	4,180	E2, 30'e	4,20	4,200
					4,20			4,20	
		4,10			4,20			4,20	
					4,20			4,20	
					4,20			4,20	
Hari ke-5	Ke	4,20	4,180	E1, 60'e	4,20	4,160	E2, 60'e	4,20	4,200
					4,10			4,20	
					4,10			4,20	
		4,20			4,20			4,10	
					4,20			4,10	
				E1, 90'e	4,20	4,200	E2, 90'e	4,10	4,100
		4,20			4,20			4,10	
					4,20			4,10	

b. Data Hasil Pengukuran DHL Kopi Liberika

Pengamatan	DHL ( $\mu\text{S/cm}$ )	Rata-rata
Sebelum pemaparan (Jam ke-0)	7356,00	7312,800
	7356,00	
	7284,00	
	7284,00	
	7284,00	

Pengamatan	Kelompok Kontrol			Kelompok Eksperimen						
	Kel	DHL	Rata-Rata	Paparan 300 $\mu\text{T}$			Paparan 400 $\mu\text{T}$			
				Kel	DHL	Rata-Rata	Kel	DHL	Rata-Rata	
Jam ke-24	Ka	7744,00	7679,800	E1, 30'a	7432,00	7372,800	E2, 30'a	7508,00	7372,000	
					7432,00			7356,00		
					7284,00			7356,00		
				7284,00	7284,00					
				7585,00	7432,00		7284,00			
				7508,00	7585,00					
	Kb	7744,00	7679,800	E1, 60'a	7356,00	7477,800	E2, 60'a	7432,00	7508,200	
					7585,00			7508,00		
					7432,00			7508,00		
					7508,00			7508,00		
					7744,00			7284,00		7508,00
					7284,00			7432,00		
Kc	7663,00	7679,800	E1, 90'a	7284,00	7255,200	E2, 90'a	7432,00	7388,00		
				7212,00			7356,00			
				7212,00			7212,00			

					7142,00			7664,00	
		7825,00			7004,00			7510,00	
				E1, 30'b	7072,00	7031,800		7586,00	7556,000
					7004,00			7510,00	
		7663,00			6937,00			7510,00	
					7432,00			7664,00	
					7284,00			7664,00	
Jam ke-48	Kb	7663,00	7683,00	E1, 60'b	7356,00	7356,800		7586,00	7602,000
					7356,00			7510,00	
					7356,00			7586,00	
		7908,00			7908,00			7479,00	
					7142,00			7403,00	
				E1, 90'b	7288,00	7312,400		7403,00	7388,600
		7356,00			7078,00			7329,00	
					7146,00			7329,00	
					7306,00			7411,00	
		7492,00			6965,00			9955,00	
				E1, 30'c	7036,00	6979,400		7678,00	8096,200
					6965,00			7759,00	
		7182,00			6895,00			7678,00	
					7257,00			7759,00	
					7257,00			7678,00	
Hari ke-3	Kc	7334,00	7259,800	E1, 60'c	7182,00	7242,000		7694,00	7691,000
					7257,00			7614,00	
					7257,00			7710,00	
		7182,00			7109,00			7519,00	
					7109,00			7519,00	
				E1, 90'c	7109,00	7109,000		7519,00	7462,000
		7109,00			7109,00			7218,00	
					7109,00			7535,00	

					7147,00			8118,00
		7614,00			7147,00			7694,00
				E1, 30'd	7147,00	7132,400	E2, 30'd	7614,00
					7074,00			7694,00
		7535,00			7147,00			7449,00
					7458,00			7382,00
					7944,00			7614,00
Hari ke-4	Kd	7944,00	7765,000	E1, 60'd	7775,00	7747,000	E2, 60'd	7775,00
					7944,00			7775,00
					7614,00			7535,00
		7614,00			7220,00			7535,00
					7294,00			7614,00
				E1, 90'd	7220,00	7191,000	E2, 90'd	7614,00
		8118,00			7147,00			7614,00
					7074,00			7308,00
					7460,00			7695,00
		7615,00			7460,00			7777,00
				E1, 30'e	7310,00	7385,000	E2, 30'e	7858,00
					7310,00			7695,00
		7537,00			7385,00			7615,00
					7663,00			7371,00
					7663,00			7371,00
Hari ke-5	Ke	7537,00	7552,600	E1, 60'e	7615,00	7603,000	E2, 60'e	7449,00
					7537,00			7777,00
					7537,00			7695,00
		7537,00			7460,00			7460,00
					7385,00			7615,00
				E1, 90'e	7385,00	7445,400	E2, 90'e	7385,00
		7537,00			7537,00			7385,00
					7460,00			7310,00

**LAMPIRAN C. DOKUMENTASI PENELITIAN**

## a. Pemetikan buah kopi liberika

b. Proses pencucian dan *pulping* buah kopi liberika

c. Proses pemaparan medan magnet ELF terhadap kopi liberika



## d. Pengukuran nilai pH kopi liberika



## e. Pengukuran nilai DHL kopi liberika



## LAMPIRAN D. SURAT IZIN PENELITIAN

⑥ 22/2/19



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS JEMBER  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
Jalan Kalimantan Nomor 37 Kampus Ilmu Keguruan Jember 68121  
Telepon: 0331-334988-330738 Fax: 0331332475  
Laman: www.dikti.unj.ac.id

---

**PERMOHONAN IZIN PENELITIAN**

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Nanda Rizky Fitriani Kanza
NIM	: 160210102096
Program Studi	: Pendidikan Fisika
Jurusan	: Pendidikan MIPA
Fakultas	: Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
No. WA/ HP	: 081231518749

Mengajukan permohonan untuk mengadakan penelitian di Laboratorium P. Biologi FKIP Universitas Jember dengan judul "**Pengaruh Radiasi Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap pH dan Daya Hantar Listrik pada Kopi Luwak**", dengan ketentuan bersedia mematuhi segala persyaratan yang telah ditentukan oleh laboratorium/instansi tersebut di atas.

Jember, 12 Juli 2019

Mengetahui  
Dosen Pembimbing I

  
Dr. Sudarti, M.Kes  
NIP. 196201231988022001

Mahasiswa Pemohon,

  
Nanda Rizky Fitriani Kanza  
NIM. 160210102096

Menyetujui  
a.n Ketua Laboratorium,

  
Kamalia Fikri, S.Pd., M.Pd  
NIP. 198402232010122004