



PENGARUH PAPARAN MEDAN MAGNET *EXTREMELY LOW FREQUENCY* (ELF) TERHADAP PENINGKATAN pH DAN DAYA HANTAR LISTRIK DALAM PROSES FERMENTASI *GREEN COFFEE ROBUSTA*

SKRIPSI

Oleh :

Muhammad Adibu Khoiril Anam

NIM. 160210102068

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER
2020**



PENGARUH PAPARAN MEDAN MAGNET *EXTREMELY LOW FREQUENCY* (ELF) TERHADAP PENINGKATAN pH DAN DAYA HANTAR LISTRIK DALAM PROSES FERMENTASI *GREEN COFFEE ROBUSTA*

SKRIPSI

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

Oleh :

Muhammad Adibu Khoiril Anam

NIM. 160210102068

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

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

Dosen Penguji Utama : Dr. Drs. Sri Handono Budi P., M.Si.

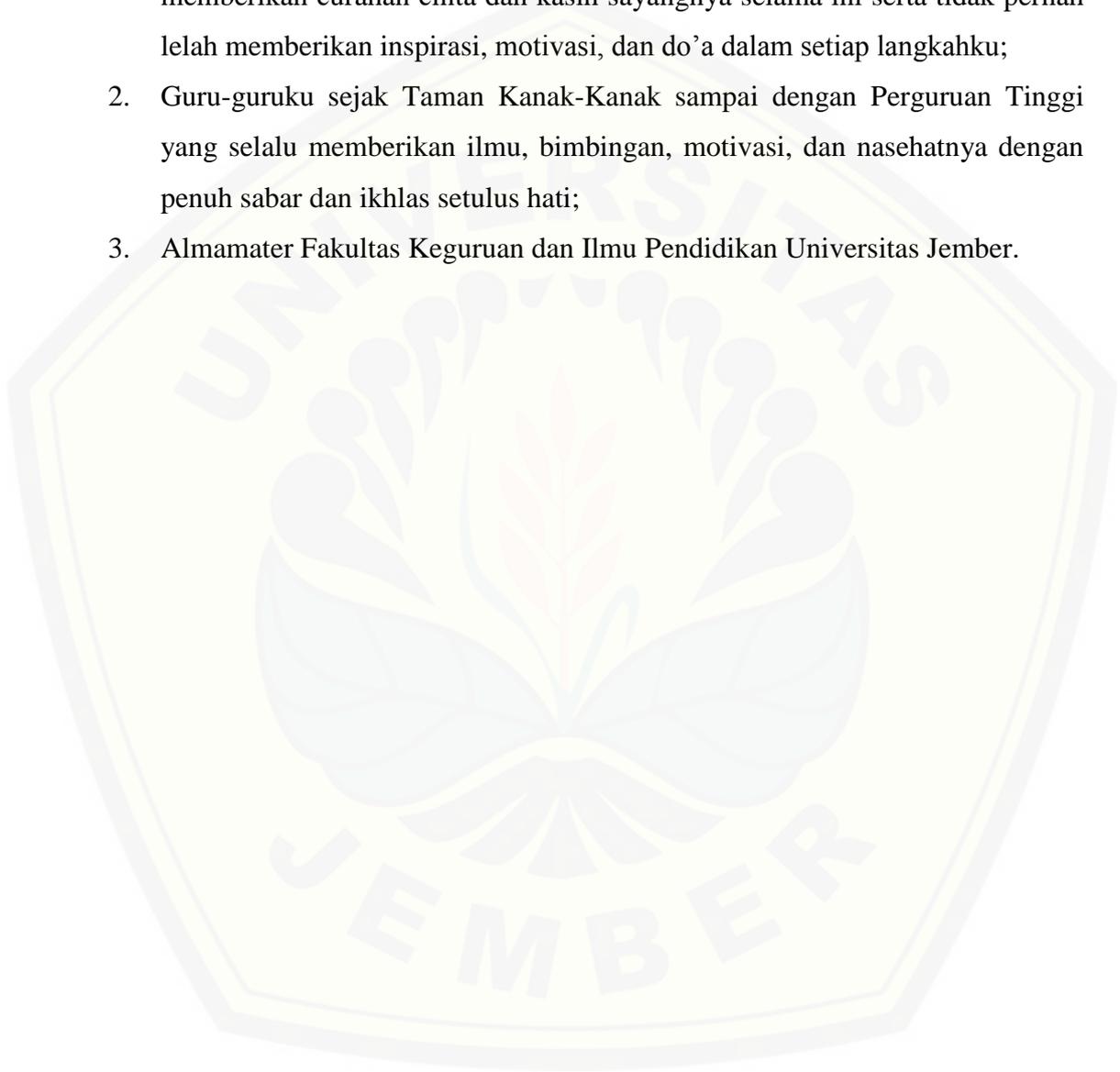
Dosen Penguji Anggota : Drs. Trapsilo Prihandono, M.Si.

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER
2020**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orang tuaku, Ibunda Khasingah dan Ayahanda Ngaliman yang telah memberikan curahan cinta dan kasih sayangnya selama ini serta tidak pernah lelah memberikan inspirasi, motivasi, dan do'a dalam setiap langkahku;
2. Guru-guruku sejak Taman Kanak-Kanak sampai dengan Perguruan Tinggi yang selalu memberikan ilmu, bimbingan, motivasi, dan nasehatnya dengan penuh sabar dan ikhlas setulus hati;
3. Almamater Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.



MOTTO

*Bacalah dengan (menyebut) nama Tuhanmu Yang menciptakan,
Dia telah menciptakan manusia dari segumpal darah,
Bacalah, dan Tuhanmulah Yang Maha Pemurah,
Yang mengajar (manusia) dengan perantaran kalam
Dia mengajar kepada manusia apa yang tidak diketahuinya
(terjemahan Surat Al-‘Alaq ayat 1-5)^{*)}*



^{*)} Departemen Agama Republik Indonesia. 2008. Al- Qur'an Dan Terjemahannya. Bandung: PT CV Penerbit Diponegoro.

PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Adibu Khoiril Anam

NIM : 160210102068

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Pengaruh Paparan Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap Peningkatan pH dan Daya Hantar Listrik dalam Proses Fermentasi *Green Coffee Robusta*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, 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, 17 Maret 2020

Yang menyatakan,

Muhammad Adibu K. A.

NIM 160210102068

SKRIPSI

PENGARUH PAPARAN MEDAN MAGNET *EXTREMELY LOW FREQUENCY* (ELF) TERHADAP PENINGKATAN pH DAN DAYA HANTAR LISTRIK DALAM PROSES FERMENTASI *GREEN COFFEE ROBUSTA*

Oleh

Muhammad Adibu Khoiril Anam

NIM 160210102068

Pembimbing

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

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

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul “Pengaruh Paparan Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap Peningkatan pH dan Daya Hantar Listrik dalam Proses Fermentasi *Green Coffee Robusta*” karya Muhammad Adibu Khoiril Anam 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

Anggota I,

Drs. Maryani, M.Pd.

NIP 196407071 98902 1 002

Anggota II,

Dr. Drs. Sri Handono B. P., M.Si.

NIP 19580318 198503 1 004

Drs. Trapsilo Prihandono, M.Si.

NIP 19620401 198702 1 001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Universitas Jember,

Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D.

NIP 19680802 199303 1 004

RINGKASAN

Pengaruh Paparan Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap Peningkatan pH dan Daya Hantar Listrik dalam Proses Fermentasi *Green Coffee Robusta*; Muhammad Adibu Khoiril Anam, 160210102068; 2020; 87 halaman; Program Studi Pendidikan Fisika; Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Medan magnet *Extremely Low Frequency* ELF telah banyak digunakan pada proses fermentasi makanan. Namun aplikasi paparan medan magnet ELF pada fermentasi kopi *green coffee* robusta masih terbatas. Proses fermentasi kopi dibantu oleh beberapa enzim, yaitu enzim pektinase dan enzim α -amilase, selain itu mikroorganisme yang berperan dalam proses fermentasi kopi ialah bakteri aerobik, *Enterobacteriaceae*, yeast, jamur berfilamen dan bakteri asam laktat (BAL) seperti *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis* dan *E. casseliflavus*. Pemberian paparan medan magnet ELF diharapkan mampu mengoptimalkan kerja mikroorganisme dalam proses fermentasi kopi *green coffee* robusta dengan cara melakukan proliferasi sel sehingga kandungan zat yang diperoleh dalam biji kopi *green coffee* robusta dapat mencapai optimal. Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji dampak dari paparan medan magnet *Extremeley Low Frequency* ELF terhadap Peningkatan pH dan Daya Hantar Listrik dalam Proses Fermentasi *Green Coffee Robusta*".

Metode penelitian ini menggunakan eksperimental laboratorium dengan desain penelitian *randomized subject post test only control group design*, dengan perlakuan medan magnet ELF yang dipaparkan pada sampel tempe. Dalam penelitian ini terdapat satu kelompok kontrol dan 4 kelompok eksperimen. Pemaparan dilakukan pada 4 kelompok eksperimen, sampel bahan yang digunakan adalah kopi hijau kering jenis robusta yang difermentasi secara basah menggunakan bantuan air kelapa sebagai substrat bagi mikroorganisme dan enzim α -amilase sebagai katalisator. Sampel dipapar medan magnet ELF intensitas 200 μ T dengan variasi lama paparan 45 menit dan 60 menit serta intensitas 300 μ T dengan variasi lama paparan 45 menit dan 60 menit setelah 9 jam proses

pemberian enzim. Variabel yang diamati yaitu nilai pH dan daya hantar listrik. Nilai pH didapatkan dengan pengukuran menggunakan pH meter, sedangkan nilai daya hantar listrik didapatkan dengan pengukuran menggunakan *conductivity*-meter. Pengukuran nilai pH dan DHL dilakukan selama proses fermentasi *green coffee* robusta berlangsung, yaitu dilakukan pada jam ke-16, jam ke-24, jam ke-32 dan jam ke-48 setelah proses pemberian enzim.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa paparan medan magnet ELF pada intensitas 200 μT selama 60 menit dan intensitas 300 μT selama 45 menit secara signifikan mampu menurunkan nilai pH pada jam ke-16 dan mampu meningkatkan nilai pH pada jam ke-24 dibandingkan dengan kelompok kontrol. Sementara itu, paparan medan magnet ELF pada intensitas 200 μT selama 60 menit dan intensitas 300 μT selama 45 menit secara signifikan mampu meningkatkan nilai DHL pada jam ke-32 setelah proses pemberian enzim. Ada korelasi negatif yang rendah antara nilai pH dan DHL pada proses fermentasi *green coffee* robusta yang dipapar medan magnet ELF ($r = -0,287$).

Kesimpulan hasil penelitian ini adalah: (1) Dosis efektif paparan medan magnet ELF dengan intensitas 200 μT selama 60 menit dan intensitas 300 μT selama 45 menit terbukti mampu menurunkan nilai pH pada jam ke-16 dan mampu meningkatkan nilai pH pada jam ke-24 lebih baik dibandingkan kelompok kontrol, (2) Dosis efektif paparan medan magnet ELF dengan intensitas 200 μT selama 60 menit dan intensitas 300 μT selama 45 menit mampu meningkatkan nilai DHL lebih baik daripada kelompok kontrol pada jam ke-32 pada proses fermentasi *green coffee* robusta.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT. Atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Paparan Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap Peningkatan pH dan Daya Hantar Listrik dalam Proses Fermentasi *Green Coffee Robusta*”. 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 terimakasih kepada:

1. Prof. Drs. Dafik, MS.c., Ph.D., 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, selaku Ketua Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
4. Dr. Sudarti, M.Kes., selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
5. Drs. Maryani, M.Pd., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah membimbing dalam penulisan skripsi ini;
6. Dr. Drs. Srihandono B. P., M.Si., selaku Dosen Penguji Utama yang telah memberikan kritik dan saran dalam penyusunan skripsi ini;
7. Drs. Trapsilo Prihandono, M.Si., selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikan kritik dan saran dalam penyusunan skripsi ini;
8. Drs. Alex Harijanto, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan kritik, saran, motivasi dan nasehat selama penulis menjadi mahasiswa;
9. Bapak dan Ibu Dosen Pendidikan Fisika yang telah memberikan ilmu selama penulis menjadi mahasiswa;

10. Nuri Ade Iksani Devi, Ludfiatul Hasanah, Winaning Nur Prihatin, Karina Laksmiari, Shofiyatul Masruro, Rumiyati dan Dwi Siti Nurhayati yang telah membantu dalam melakukan penelitian;
11. Dwi Siti Nurhayati, Tutut Hariyanti, Muhamad Sukron Makmun dan Agung Supriyono yang menjadi teman seperjuangan sejak menjadi mahasiswa baru.
12. Teman-teman mahasiswa angkatan 2016 Program studi Pendidikan Fisika Universitas Jember yang telah memberi dorongan dan semangat;
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

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

Jember, 17 Maret 2020

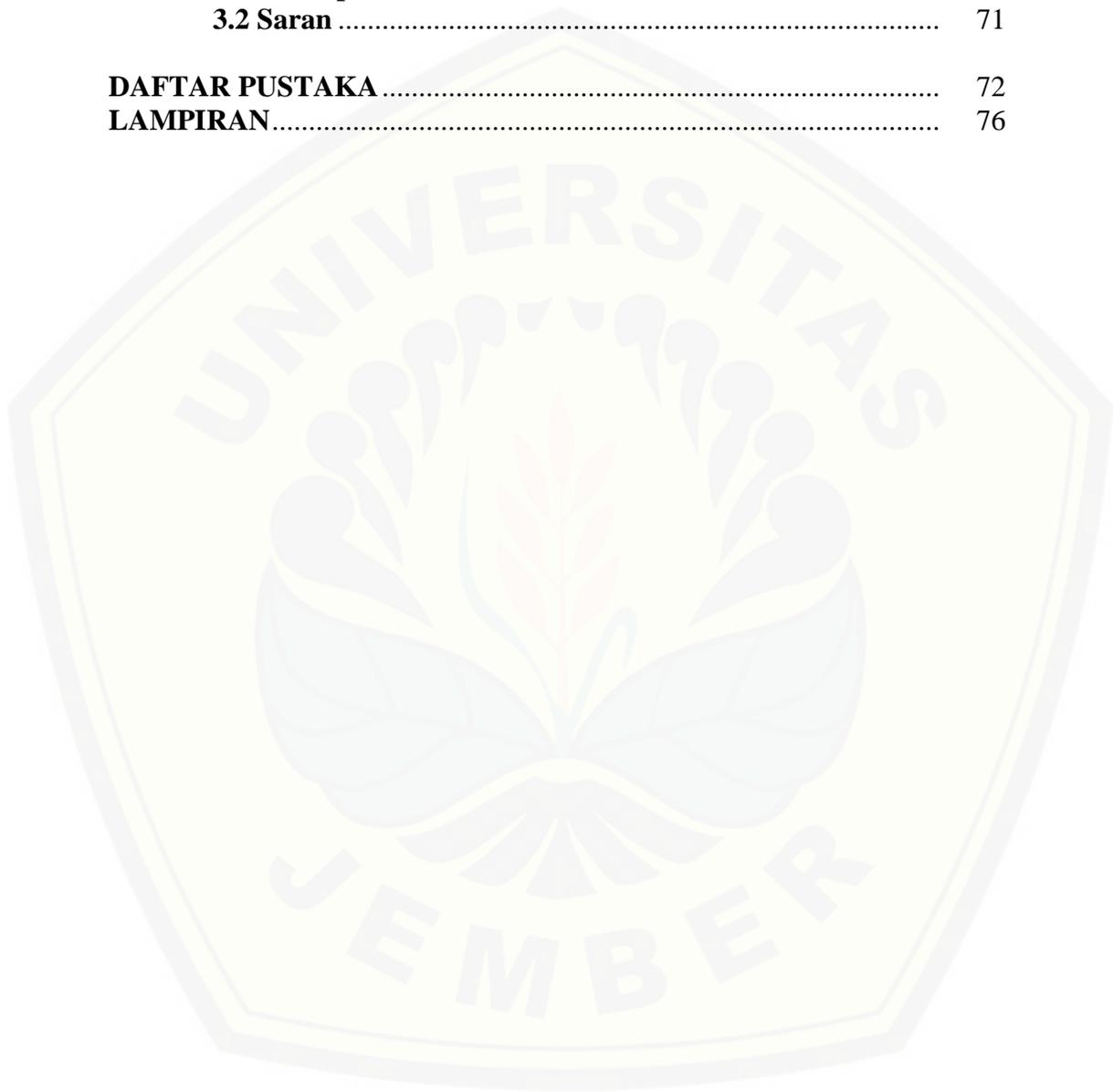
Penulis

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	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah	6
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Gelombang Elektromagnetik ELF	7
2.1.1 Karakteristik Gelombang Elektromagnetik ELF	7
2.1.2 Sumber Paparan Gelombang Elektromagnetik ELF.	8
2.1.3 Nilai Ambang Batas Paparan	10
2.2 Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF terhadap Proliferasi Sel	11
2.2.1 Interaksi Paparan Medan Magnet ELF terhadap Potensial Membran Sel	11
2.2.2 Interaksi Paparan Medan Magnet ELF terhadap Pertumbuhan Bakteri	12
2.3 Fermentasi <i>Green Coffee Robusta</i>	14
2.4.1 Pemecahan Pulp	15
2.4.2 Pemecahan Gula	15
2.4.3 Perubahan Warna Kulit Ari Biji Kopi	16
2.5 Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF terhadap Aktivitas Enzim dan Bakteri Asam Laktat pada Proses Fermentasi	19
2.6 Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF terhadap Peningkatan pH pada Proses Fermentasi Kopi	20
2.8 Korelasi Derajat Keasaman (pH) dan Daya Hantar Listrik (DHL)	22
2.9 Kerangka Konsep	24

2.10 Hipotesis Penelitian	25
BAB 3. METODE PENELITIAN	26
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	26
3.2 Jenis dan Desain Penelitian	26
3.2.1 Jenis Penelitian	26
3.2.1 Desain Penelitian	26
3.3 Variabel Penelitian	29
3.3.1 Klasifikasi Variabel Penelitian	28
3.3.2 Definisi Operasional Variabel	28
3.4 Alat dan Bahan	30
3.4.1 Alat.....	37
3.4.2 Bahan	38
3.5 Prosedur Penelitian	32
3.5.1 Prosedur Fermentasi <i>Greencoffee</i> Robusta.....	32
3.5.2 Prosedur Pemaparan Medan Magnet ELF.....	32
3.5.3 Prosedur Pengukuran pH pada Kopi.....	35
3.5.4 Prosedur Pengukuran Daya Hantar Listrik Kopi	36
3.5.5 Bagan-bagan Prosedur Penelitian	37
3.6 Metode Analisa Data	39
3.6.1 Tabel Hasil Pengukuran.....	39
3.6.2 Teknik Analisa Data	41
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Hasil Penelitian	43
4.1.1 Data pH pada Proses Fermentasi <i>Green Coffee</i> Robusta	43
4.1.2 Data Daya Hantar Listrik pada Proses Fermentasi <i>Green Coffee</i> Robusta.....	46
4.2 Analisis Data	47
4.2.1 Analisis Data Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF terhadap Peningkatan pH pada Proses Fermentasi <i>Green Coffee</i> Robusta.....	47
4.2.2 Analisis Data Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF terhadap Daya Hantar Listrik pada Proses Fermentasi <i>Green Coffee</i> Robusta.....	54
4.2.1 Analisis Data Korelasi antara nilai pH dengan Daya Hantar Listrik (DHL) pada Fermentasi <i>Green Coffee</i> Robusta	61
4.3 Pembahasan	63
4.3.1 Pembahasan Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF terhadap Peningkatan pH pada Proses Fermentasi <i>Green Coffee</i> Robusta.....	63
4.3.2 Pembahasan Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF terhadap Daya Hantar Listrik pada Proses Fermentasi <i>Green Coffee</i> Robusta.....	68

4.3.3 Pembahasan Korelasi antara nilai pH dengan Daya Hantar Listrik (DHL) pada Fermentasi <i>Green Coffee</i> Robusta	70
BAB 5. PENUTUP	71
3.1 Kesimpulan	71
3.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	72
LAMPIRAN	76



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Hasil pengukuran medan magnet di sekitar rumah tangga	9
Tabel 2.1 Batas paparan medan listrik dan medan magnet 50/60 Hz	10
Tabel 2.3 Paparan maksimum	10
Tabel 3.1 Data hasil pengukuran nilai pH kopi <i>green coffee</i> robusta	39
Tabel 3.2 Data hasil pengukuran daya hantar listrik (DHL) kopi <i>green coffee</i> robusta	40
Tabel 4.1 Data Rata-rata pH <i>Green Coffee</i> Robusta	44
Tabel 4.2 Data Rata-rata Daya Hantar Listrik <i>Green Coffee</i> Robusta	46
Tabel 4.3 Hasil Uji Normalitas pH Menggunakan <i>Kolmogorov Smirnov</i>	48
Tabel 4.4 Hasil Analisis pH <i>One Way Anova</i> terhadap pH <i>Green Coffee</i> Robusta Pada 5 Kelompok Sampel	49
Tabel 4.5 Hasil Analisis pH <i>Post Hoc Test</i> dengan Menggunakan LSD	50
Tabel 4.6 Hasil Uji Normalitas DHL Menggunakan <i>Kolmogorov Smirnov</i>	55
Tabel 4.7 Hasil Analisis DHL <i>One Way Anova</i> terhadap pH <i>Green Coffee</i> Robusta pada 5 Kelompok Sampel.....	56
Tabel 4.8 Hasil Analisis DHL <i>Post Hoc Test</i> dengan Menggunakan LSD	57
Tabel 4.9 Hasil Analisis <i>Korelasi Pearson</i>	62

DAFTAR GAMBAR

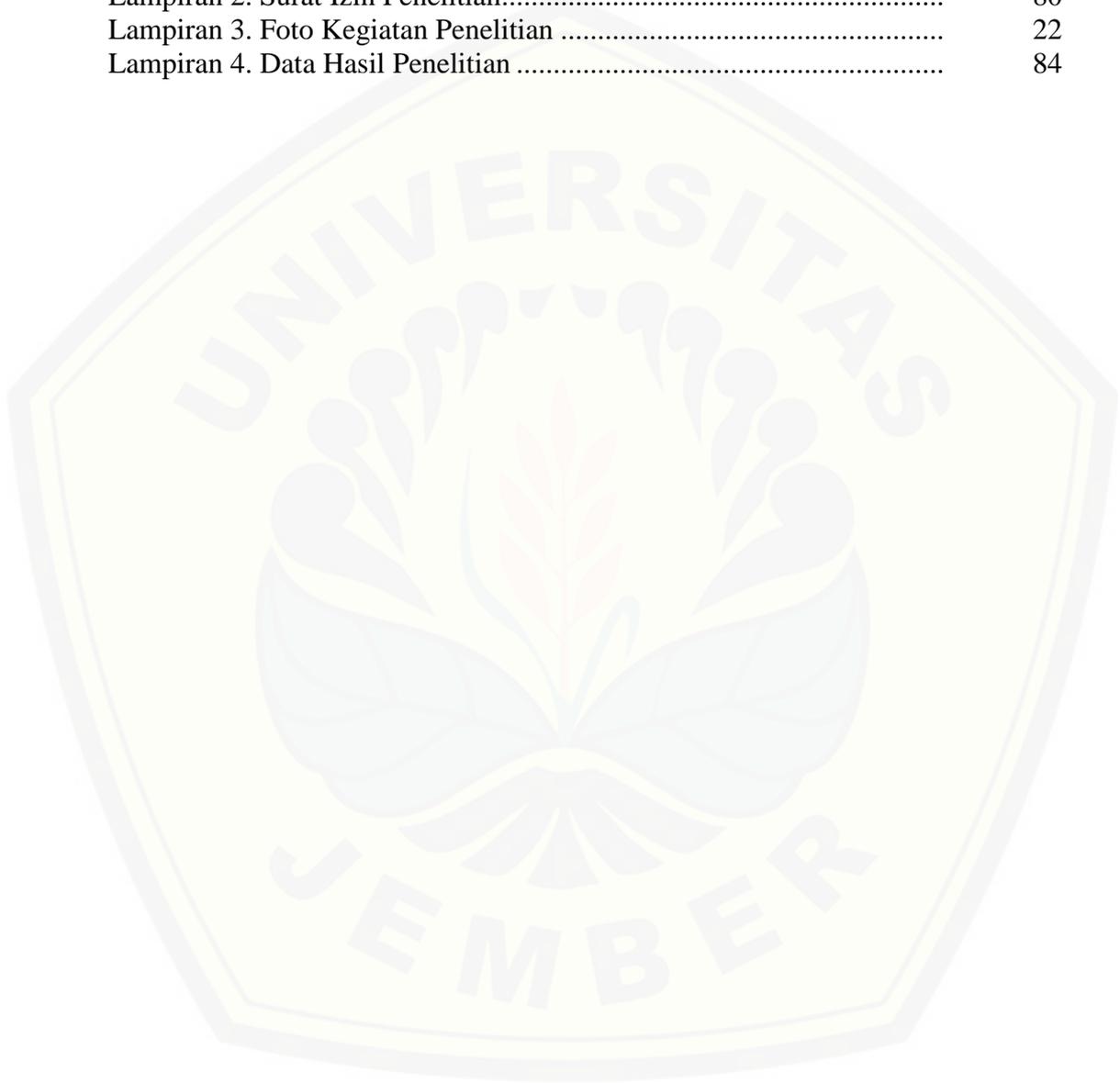
	Halaman
Gambar 2.1 Ilustrasi Potensial Membran Sel.....	11
Gambar 2.4 Langkah-langkah Fermentasi Kopi	17
Gambar 2.5 Kerangka Konsep	24
Gambar 3.1 Desain Penelitian.....	27
Gambar 3.2 Alat sumber paparan medan magnet ELF	31
Gambar 3.3 <i>Electromagnetic Field Source</i>	33
Gambar 3.4 EMF 287.....	35
Gambar 3.5 pH meter ATC 190012.....	46
Gambar 3.6 Mediatech 1900131 TDS EC Meter.....	37
Gambar 3.7 Bagan Prosedur Penelitian	38
Gambar 4.1 Diagram Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF terhadap pH <i>Green Coffee</i> Robusta	44
Gambar 4.2 Diagram Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF terhadap Daya Hantar Listrik <i>Green Coffee</i> Robusta	46
Gambar 4.3 Diagram Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF terhadap nilai pH pada Proses Fermentasi <i>Green Coffee</i> Robusta pada Jam ke-16.....	52
Gambar 4.4 Diagram Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF terhadap nilai pH pada Proses Fermentasi <i>Green Coffee</i> Robusta pada Jam ke-24.....	52
Gambar 4.5 Diagram Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF terhadap nilai pH pada Proses Fermentasi <i>Green Coffee</i> Robusta pada Jam ke-32.....	53
Gambar 4.6 Diagram Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF terhadap nilai pH pada Proses Fermentasi <i>Green Coffee</i> Robusta pada Jam ke-48.....	54
Gambar 4.7 Diagram Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF terhadap nilai DHL pada Proses Fermentasi <i>Green Coffee</i> Robusta pada Jam ke-16.....	59
Diagram 4.8 Diagram Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF terhadap nilai DHL pada Proses Fermentasi <i>Green Coffee</i> Robusta pada Jam ke-24.....	59
Gambar 4.9 Diagram Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF terhadap nilai DHL pada Proses Fermentasi <i>Green Coffee</i> Robusta pada Jam ke-32.....	60
Gambar 4.10 Diagram Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF terhadap nilai DHL pada Proses Fermentasi <i>Green Coffee</i> Robusta pada Jam ke-48.....	61
Gambar 4.11 Grafik Korelasi Nilai pH dengan DHL pada Proses Fermentasi <i>Green Coffee</i> Robusta yang Dipapar Medan Magnet ELF	63

Gambar 4.12 Interaksi Paparan Medan Magnet ELF terhadap
Mikroorganisme yang Berperan dalam Fermentasi
Green Coffee Robusta



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Matrik Penelitian	76
Lampiran 2. Surat Izin Penelitian.....	80
Lampiran 3. Foto Kegiatan Penelitian	22
Lampiran 4. Data Hasil Penelitian	84



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fisika merupakan ilmu fundamental yang erat kaitannya dengan kehidupan manusia, salah satunya ialah medan elektromagnetik yang sering kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari. Medan elektromagnetik merupakan gabungan antara medan listrik dan medan magnet (Young, 2012: 762). Berdasarkan frekuensinya medan elektromagnetik dibagi menjadi tiga yaitu frekuensi rendah, frekuensi menengah dan frekuensi tinggi. Frekuensi rendah berada pada rentangan 0 – 300 Hz, frekuensi menengah berada pada rentangan 300 Hz – 100 KHz, dan frekuensi tinggi berada pada rentangan 100 KHz – 300 GHz (*European Health Risk Assessment Network on Electromagnetic Field Exposure*, 2010: 3).

Di era revolusi industri 4.0 ini, listrik menjadi komponen yang tidak dapat dipisahkan dengan aktivitas manusia. Ketika arus listrik mengalir menghasilkan dua jenis medan, yaitu medan magnet dan medan listrik. Medan listrik dihasilkan oleh muatan-muatan listrik yang menyebabkan beda potensial atau tegangan, sedangkan medan magnet dihasilkan oleh adanya gerakan muatan listrik yang disebut dengan arus listrik. Medan magnet yang dihasilkan merupakan jenis medan magnet dengan frekuensi yang sangat rendah (*extremely low frequency*) yaitu 0 Hz sampai 300 Hz (Sudarti *et al*, 2014). Grotel (1992, dalam Sudarti, 2010) menjelaskan bahwa radiasi medan magnet ELF merupakan jenis radiasi non pengion sehingga tidak dapat menginduksi terjadinya proses ionisasi dalam media yang bersangkutan. Selain bersifat non pengion, radiasi medan magnet ELF juga bersifat non termal dan tidak terhalangi.

Medan magnet *Extremely Low Frequency* ELF dihasilkan oleh alat yang disebut *Current Transformer* (CT) yang dihubungkan dengan sumber arus AC pada frekuensi 50 Hz. *ELF magnetic fields source* terdiri atas dua unit yaitu unit transformator *step down* dan sangkar medan magnet ELF. Cara kerja alat ini menggunakan sumber tegangan input dari PLN 220 V, kuat arus 5 A dan frekuensi 50 Hz yang akan masuk ke pengatur tegangan (*voltage regulator*), kemudian output dari *voltage regulator* ini akan masuk ke transformator *step*

down sebagai sisi primer dari transformator, sedangkan output sisi sekunder dari transformator menghasilkan tegangan 7 V dan kuat arus 85 – 3000 A yang mengalir pada lempengan tembaga sangkar medan magnet. Oleh karena itu, dalam kondisi tegangan kecil dan arus maksimal dapat menghasilkan radiasi medan magnet yang optimal dan medan listrik minimal yang mendekati medan listrik alamiah.

Keberadaan medan magnet ELF banyak dimanfaatkan dalam bidang pangan, yaitu pada proses pengawetan dan proses fermentasi makanan maupun minuman. Penelitian yang dilakukan oleh Pazur, A dan Rassadina, V menyebutkan bahwa medan magnet statik dapat mempengaruhi aktivasi ion-ion dan polarisasi dipol-dipol yang terdapat dalam sel. Penelitian yang dilakukan oleh Goodman, R dan Blank M., mengatakan bahwa gaya yang diinduksi oleh medan magnetik dapat mengendalikan dan mengubah laju pergerakan elektron-elektron di dalam sel secara signifikan sehingga dapat mempengaruhi berbagai jenis metabolisme sel (Siragih *et al*, 2010).

Penelitian mengenai pengaruh paparan medan magnet ELF pada produk pangan bertujuan untuk mempengaruhi proses interaksi di dalam sel terutama pada mikroorganisme termasuk bakteri. Penelitian yang dilakukan oleh Sadidah (2015) dapat diketahui bahwa paparan 300 μ T selama 30 menit dapat menurunkan jumlah mikroba pada proses fermentasi tape ketan yaitu sebesar $0,50 \times 10^{13}$ sel/mL. Selain itu penelitian Hersa (2013) menunjukkan bahwa paparan medan magnet ELF 646,7 μ T selama 30 menit, mengakibatkan kematian *Salmonella typhimurum* rata-rata sebesar 32,47% dalam bumbu gado-gado serta terjadi pengecilan ukuran sel dengan panjang dan diameter sebesar 4,341. Penelitian yang dilakukan oleh Putri (2017), diperoleh kesimpulan bahwa paparan medan magnet 0,2 mT selama 10 menit, 20 menit dan 30 menit mampu menurunkan aktivitas enzim protease dibandingkan tanpa paparan medan magnet, sedangkan paparan medan magnet 0,1 mT dengan lama paparan 30 menit mampu meningkatkan aktivitas enzim protease dibandingkan tanpa paparan medan magnet. Sari, *et al* (2012) melakukan penelitian pada pengawetan sari buah apel (*Mallus sylvestris* Mill) dengan bantuan paparan medan magnet tegangan 130 V

dan frekuensi 50 Hz selama 25 menit didapatkan bahwa total penurunan mikroba mencapai 99,96% dengan total mikroba akhir sebesar 10 koloni/gram.

Penelitian yang dilakukan oleh Sumardi, *et al* (2018) mengenai pengaruh paparan medan magnet 0,2 mT pada ion logam Fe dan Zn dalam media perumbuhan terhadap produksi protease *Bacillus sp* mendapatkan hasil berupa ion logam Fe yang terpapar medan magnet mempunyai nilai indeks proteolitik yang lebih baik yaitu 3,36 dengan lama inkubasi 10 jam, dan indeks proteolitik 2,74 dengan lama inkubasi 18 jam, sedangkan pada ion Zn yang terpapar medan magnet dan tidak terpapar medan magnet menyebabkan aktivitas *Bacillus* mati. Berdasarkan penelitian-penelitian diatas dapat diperoleh kesimpulan bahwa radiasi medan magnet *Extremely Low Frequency* ELF tidak hanya mampu meningkatkan proliferasi sel, namun juga mampu merusak proliferasi sel apabila medan magnet ELF dipapar dengan intensitas yang tinggi.

Kopi merupakan salah satu komoditi hasil perkebunan yang mempunyai peranan cukup penting dalam kegiatan perekonomian di Indonesia. Salah satunya sebagai penghasil devisa negara selain minyak bumi dan gas. Selain peluang ekspor yang semakin terbuka, pasar kopi di dalam negeri juga masih cukup besar. Berdasarkan data Statistik Kopi Indonesia tahun 2017 diketahui bahwa 5 provinsi penghasil kopi terbesar di Indonesia ialah Sumatera Selatan (19,11%), Lampung (17,44%), Aceh (10,27%), Sumatera Utara (9,90%) dan Jawa Timur (9,73%). Kopi di Indonesia dihasilkan oleh 3 bagian, yaitu Perusahaan Perkebunan Negara (2,17%), Perusahaan Perkebunan Swasta (2,37%) dan Perkebunan Rakyat (95,46%).

Produksi kopi di Indonesia pada tahun 2015 mencapai 639,4 ribu ton, pada tahun 2016 mencapai 663,8 ribu ton dan pada tahun 2017 mencapai 667 ribu ton (Statistik Kopi Indonesia, 2017). Terdapat dua jenis kopi yang tumbuh di Indonesia, yaitu kopi jenis Robusta dan Arabika. Kopi Robusta berasal dari tanaman *Coffea canephora*, sedangkan kopi Arabika berasal dari tanaman *Coffea arabica*. Tanaman kopi Robusta tumbuh baik di dataran rendah pada ketinggian sekitar 1000 m diatas permukaan laut dengan suhu sekitar 20°C. Tanaman kopi Arabika tumbuh pada daerah-daerah dengan ketinggian sekitar 1700 m diatas

permukaan laut dengan suhu 10-16°C (Ridwansyah, 2003). Secara umum buah kopi Arabika akan matang setelah 8 bulan dari saat pembuahan, sedangkan pada kopi Robusta akan matang setelah 10 bulan (Siswoputranto, 1993).

Badan Litbang Sumatera Selatan menjelaskan bahwa untuk meningkatkan mutu kopi, maka salah satu proses yang perlu diperbaiki adalah proses pasca panen. Salah satu teknologi pasca panen untuk memperbaiki cita rasa kopi adalah dengan fermentasi. Biji kopi yang difermentasi basah atau semi basah sebelum dikeringkan akan meningkatkan cita rasa kopi. Biji kopi yang difermentasi mempunyai warna yang berbeda dengan biji kopi yang tidak difermentasi. Biji kopi yang difermentasi mempunyai warna yang lebih pucat dibandingkan dengan yang tidak difermentasi (hijau keabu-abuan). Secara umum kopi robusta yang difermentasi mempunyai cita rasa yang lebih disukai. Kopi robusta yang difermentasi mempunyai aroma yang lebih lembut dibandingkan dengan yang tidak difermentasi.

Pemanfaatan buah kopi mentah berwarna hijau yang telah dipasarkan berupa *green coffee extract* dan kopi beras. *Green coffee extract* adalah ekstrak dari biji kopi yang biasa digunakan sebagai suplemen kesehatan untuk anti obesitas dan anti diabetes (Malkapuram *et al*, 2016). Produk *green coffee extract* umumnya dikeringkan menggunakan *spray dryer* yang kemudian dimasukkan ke dalam kapsul, sedangkan kopi beras dikeringkan menggunakan pengeringan dengan bantuan sinar matahari. Samadi *et al* (2015) menyebutkan bahwa *green coffee extract* mampu meningkatkan metabolisme tubuh dan menurunkan berat badan. Efek sinergis antara asam klorogenat dan kafein terbukti menekan kenaikan berat badan dengan cara mengurangi penyerapan karbohidrat dari saluran pencernaan. Senyawa bioaktif dalam *green coffee robusta* dapat menghambat penyerapan lemak dan meningkatkan metabolisme lemak di hati. *Green coffee extract* dibuat dari biji kopi yang belum disangrai. Proses penyangraian dapat menguraikan kandungan asam klorogenat menjadi senyawa volatil dan melnoidin (Panggabean, 2011). Proses fermentasi sangat berpengaruh terhadap kandungan kafein, senyawa asam klorogenat, dan nilai pH.

Medan magnet *Extremely Low Frequency* ELF telah banyak digunakan pada proses fermentasi makanan. Namun aplikasi paparan medan magnet ELF pada fermentasi kopi *green coffee* robusta masih terbatas. Proses fermentasi kopi dibantu oleh beberapa enzim, yaitu enzim pektinase dan enzim α -amilase, selain itu mikroorganisme yang berperan dalam proses fermentasi kopi ialah bakteri aerobik, *Enterobacteriaceae*, yeast, jamur berfilamen dan bakteri asam laktat (BAL) seperti *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis* dan *E. casseliflavus*. Pemberian paparan medan magnet ELF diharapkan mampu mengoptimalkan kerja mikroorganisme dalam proses fermentasi kopi *green coffee* robusta dengan cara melakukan proliferasi sel sehingga kandungan zat yang diperoleh dalam biji kopi *green coffee* robusta dapat mencapai optimal. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk meneliti dampak dari paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* ELF pada proses fermentasi kopi dengan judul “Pengaruh Paparan Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap Peningkatan pH dan Daya Hantar Listrik dalam Proses Fermentasi *Green Coffee* Robusta”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka rumusan masalah pada penelitian ini antara lain :

- a. Bagaimana dampak paparan medan magnet ELF dengan intensitas 200 μ T dan 300 μ T selama 45 dan 60 menit terhadap peningkatan pH pada proses fermentasi *green coffee* robusta?
- b. Bagaimana dampak paparan medan magnet ELF dengan intensitas 200 μ T dan 300 μ T selama 45 dan 60 menit terhadap daya hantar listrik pada proses fermentasi *green coffee* robusta?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan penelitian yang disusun ialah sebagai berikut :

- a. Mengkaji pengaruh paparan medan magnet ELF dengan intensitas 200 μ T dan 300 μ T selama 45 dan 60 menit terhadap peningkatan pH pada proses fermentasi *green coffee* robusta
- b. Mengkaji pengaruh paparan medan magnet ELF dengan intensitas 200 μ T dan 300 μ T selama 45 dan 60 menit terhadap daya hantar listrik pada proses fermentasi *green coffee* robusta

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah digunakan sebagai acuan penulis dalam melakukan penelitian, berikut merupakan batasan masalah pada penelitian ini :

- a. Medan magnet diperoleh dari *Current Transformator* (CT) yang menghasilkan medan magnet dengan frekuensi rendah (ELF) dengan batas medan magnet 200 μ T dan 300 μ T, dimana medan magnet dengan frekuensi tersebut memicu perkembangbiakan mikroorganisme sehingga tepat digunakan untuk fermentasi.
- b. Pemaparan dilakukan dengan batas waktu 45 menit dan 60 menit pada saat fermentasi berlangsung.
- c. Lamanya fermentasi kopi *green coffee* robusta ialah 16 jam, 24 jam, 36 dan 48 jam setelah diberi enzim.
- d. Fermentasi kopi *green coffee* robusta dilakukan dengan bantuan enzim α Amilase dan substrat bagi mikroorganisme berupa air kelapa, kopi yang digunakan ialah jenis kopi robusta.
- e. Indikator yang diamati ialah nilai pH dan daya hantar listrik pada kopi *green coffee* robusta yang telah dipapar.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari hasil penelitian ini adalah memberikan informasi ilmiah bagi masyarakat terutama produsen kopi tentang pemanfaatan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) sebagai teknologi alternatif dalam proses fermentasi kopi *green coffee* robusta.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gelombang Elektromagnetik *Extremely Low Frequency* (ELF)

2.1.1 Karakteristik Gelombang Elektromagnetik ELF

Grotel (dalam Sudarti, 2010) menguraikan bahwa gelombang elektromagnetik ELF merupakan salah satu dari spektrum gelombang elektromagnetik yang berada pada frekuensi sangat rendah, yaitu kurang dari 300 Hz dan merupakan sub-kelas dari gelombang elektromagnetik EMF. Grotel dan WHO (dalam Sudarti dan Helianti, 2005) menjelaskan bahwa karakteristik gelombang tersebut antara lain; radiasi gelombang yang dihasilkan bersifat *non-ionizing* yaitu tidak memiliki kemampuan untuk mengionisasi molekul, efek radiasi gelombang yang ditimbulkan bersifat *non termal* yaitu tidak menghasilkan perubahan suhu ketika berinteraksi dengan materi, medan magnet ELF bersifat tidak terhalangi sedangkan medan listrik ELF bersifat terhalangi, dan pada dosis tertentu medan magnet ELF dapat membunuh sel atau bakteri.

WHO (dalam Ervina, 2015) menjelaskan bahwa pada frekuensi 0 – 300 Hz panjang gelombang di udara adalah sangat panjang (6000 km pada 50 Hz dan 5000 km pada 60 Hz) dan dalam perambatannya medan listrik dan medan magnet bertindak independen satu sama lain sehingga dapat diukur secara terpisah. Berikut merupakan karakteristik gelombang elektromagnetik ELF :

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

2.1.2 Sumber Paparan Gelombang Elektromagnetik ELF

Sumber paparan medan magnet ELF secara umum terbagi menjadi dua, yaitu :

a. Sumber Alamiah

Makhluk hidup dan benda mati pada dasarnya terpapar secara alami oleh medan elektromagnetik. Medan elektromagnetik dapat muncul dari berbagai sumber yang ada pada lingkungan. Sumber paparan alamiah dapat berupa medan magnet bumi, sinar matahari maupun radiasi kosmik. Matahari dan medan magnet bumi merupakan beberapa contoh sumber paparan medan elektromagnetik ELF alami. WHO (1984, dalam Rosyidah, 2017) mengemukakan bahwa intensitas paparan medan elektromagnetik ELF alamiah di permukaan bumi menghasilkan medan listrik rata-rata sebesar 10^{-4} V/m dan medan magnet sebesar 10^{-9} mT. Kekuatan medan magnet bergantung pada luas garis lintang geografis, dimana paling rendah berada di kutub dan ekuator sedangkan paling tinggi berada di dekat garis lintang (IARC, 2002).

b. Sumber Buatan

Seiring dengan peningkatan pemanfaatan energi listrik pada teknologi seperti sekarang ini, menyebabkan paparan medan elektromagnetik yang dialami makhluk hidup dan benda mati juga meningkat secara linier. Sumber paparan medan magnet yang terdapat di lingkungan masyarakat sebagian besar berasal dari peralatan elektronika yang dihasilkan oleh aliran arus pada kabel pembangkit listrik (WHO, 2007). Setiap peralatan elektronika mempunyai medan magnet yang sebanding dengan arus yang mengalir dari sumber menuju peralatan yang terhubung. Medan magnet akan berkurang secara linier sesuai dengan jarak piranti elektronik tersebut (Nugroho, 2009). Hal ini sesuai dengan percobaan Hans Christian Oersted pada tahun 1820 yang menemukan bahwa arus listrik dapat menghasilkan medan magnet (Halliday dan Resnick, 1997). Hasil pengukuran bahwa arus listrik menimbulkan medan magnet dapat dilihat pada tabel berikut :

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

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

Kebanyakan peralatan rumah tangga kuat medan magnetnya yang jarak 30 cm adalah dibawah batas yang diijinkan untuk umum adalah μT . Angka yang dihitamkan merupakan jarak kerja normal

(Sumber: Baafai, 2004)

ELF *magnetic fields source* merupakan sumber paparan yang digunakan dalam penelitian ini. ELF *magnetic fields source* terdiri atas dua unit yaitu unit transformator *step down* serta sangkar medan magnet ELF. Paparan medan magnet ELF selalu di iringi dengan medan listrik ELF. Sehingga pada saat penggunaan alat ini harus dikondisikan agar lebih dominan menghasilkan medan magnet daripada medan listrik, dimana medan listrik dibuat seminimal mungkin sehingga yang terdeteksi hanya medan magnetnya. Paparan medan magnet dan medan listrik akan muncul di sekitar lempengan tembaga sangkar alat ini.

Cara kerja alat ini menggunakan sumber tegangan input dari PLN 220 V, kuat arus 5 A, dengan frekuensi 50 Hz yang kemudian diubah dengan menggunakan transformator *step down* dengan tegangan output 7 V dengan kuat arus 85 – 3000 A yang mengalir pada lempengan tembaga sangkar medan magnet. Oleh karena itu dalam kondisi tegangan kecil dan arus maksimal dapat menghasilkan radiasi medan magnet maksimal dan medan listrik minimal mendekati medan listrik alamiah.

2.1.3 Nilai Ambang Batas Paparan

Meningkatnya jumlah penggunaan peralatan elektronika dalam kehidupan sehari-hari mengakibatkan semakin seringnya manusia terpapar oleh radiasi dari peralatan tersebut, sehingga untuk meminimalisir dampak negatif dari radiasi tersebut dibutuhkan peraturan yang tegas mengenai ambang batas paparan medan elektromagnetik ELF. Badan kesehatan dunia WHO (2007, dalam Ari, 2008) menyebutkan bahwa nilai ambang batas paparan medan magnet elektromagnetik ELF terhadap kesehatan telah ditetapkan sebesar 100 μT . Sedangkan batas paparan yang dianjurkan oleh IRPA disajikan dalam *Interim Guidelines on Limits of Exposure to 50/60 Hz Electric and Magnetic Fields*, yaitu:

- Tingkat paparan medan magnet secara terus-menerus yang diperbolehkan bagi masyarakat umum sebesar $10^3 - 10^4$ milligauss dengan lama paparan hingga dua jam per hari.
- Tingkat paparan medan magnet yang diperbolehkan di tempat kerja sebesar 5×10^3 milligauss untuk paparan hingga dua jam per hari (Soesanto, 1996).

Adapun tabel batas paparan medan elektromagnetik sebagai berikut:

Tabel 2.2 Batas paparan medan listrik dan medan magnet 50/60 Hz

No.	Paparan untuk	Intensitas medan listrik (kV/m)	Intensitas medan magnet (μT)
1.	Kelompok Petugas:		
	- Sepanjang hari kerja	10	500
	- Jangka pendek	30	5000
2.	Kelompok Umum:		
	- Sampai 24 jam/hari	5	100
	- Beberapa jam/hari	10	1000

Sumber: WHO (1998, dalam Ari, 2008)

Tabel 2.3 Paparan maksimum

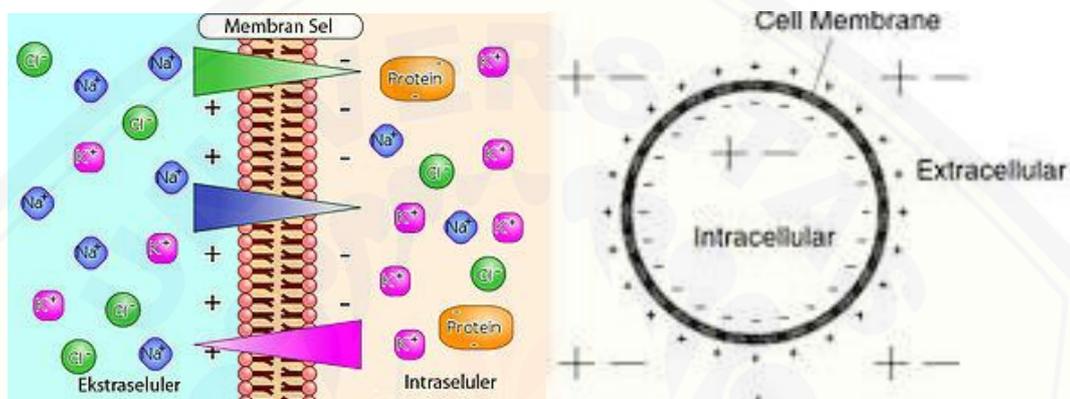
Sumber	Paparan Maksimum	
	Medan Listrik (V/m)	Medan Magnet (μT)
Kelompok Petugas:		
- Sepanjang hari kerja	10	500
- Jangka pendek	30	5000
Kelompok Umum:		
- Sampai 24 jam/hari	5	100
- Beberapa jam/hari	10	1000

Sumber: WHO (1998, dalam Ari, 2008)

2.2 Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF terhadap Proliferasi Sel

2.2.1 Interaksi Paparan Medan Magnet ELF terhadap Potensial Membran Sel

Membran sel merupakan batas antara sel dengan lingkungannya dimana pada bagian ekstraselular dan intraselular membran terdapat cairan yang berisi ion-ion dan nutrisi yang diperlukan untuk kelangsungan hidup sel. Secara sederhana, membran sel digambarkan sebagai lingkaran yang kokoh sebagai berikut :



Gambar 2.1 Ilustrasi Potensial Membran Sel (Sumber: Alfiyah, 2012)

Gambar tersebut mengilustrasikan komposisi ion di kedua sisi membran sel. Komposisi ion kalium (K^+) di bagian intraselular memberan 35 kali lebih tinggi dibandingkan konsentrasi di bagian ekstraselular. Sebaliknya, konsentrasi ion natrium (Na^+) di bagian ekstraselular membran sel 10 kali lebih tinggi dibandingkan konsentrasi di bagian intraselular. Adanya perbedaan konsentrasi ion di bagian intraselular dan bagian ekstraselular membran ini mendorong terjadinya difusi ion-ion tersebut untuk menembus membran sel. Hal ini dikarenakan struktur membran terdiri dari dua lapis lipid (*lipid bilayer*) dan memiliki permeabilitas tertentu sehingga tidak semua molekul dapat melalui membran sel (Alfiyah, 2012).

Membran sel terdapat kanal ion yang berfungsi sebagai pintu gerbang masuk dan keluarnya cairan sehingga menyebabkan terciptanya lalu lintas membran. Kemudian lalu lintas membran akan membuat perbedaan konsentrasi ion sehingga menimbulkan beda potensial pada membran. Beda potensial pada membran tersebut menyebabkan muatan-muatan disekitar membran bergerak dan

berpindah sehingga menghasilkan arus listrik. Medan magnet dapat mempengaruhi atau menimbulkan efek pada jaringan hidup. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa medan magnet dapat mempengaruhi sistem biologi, khususnya sel yang mudah tereksitasi (Itegin dan Gunay, 1993).

Interaksi medan magnet dengan benda hidup berupa induksi medan pada jaringan biologis contohnya sel. Induksi pada sel ini disebabkan adanya muatan-muatan listrik bebas yang terdapat pada ion kaya cairan yang dapat dipengaruhi oleh gaya yang dihasilkan oleh muatan-muatan dan aliran arus listrik (Nair *et al*, 1989). Sel akan merespon medan magnet dengan berbagai fenomena yang tak terduga. Beberapa faktor mempengaruhi fenomena yang terjadi, seperti intensitas dan frekuensi medan magnet yang diberikan, jenis sel yang dimagneitاسasi dan lama waktu magnetisasi. Kindzelskii dan Petty (1997) mengungkapkan bahwa panjang gelombang dan amplitudo medan magnetik bolak-balik serta beda fase antara gelombang medan magnetik tersebut dengan osilasi ion-ion pada sel mempengaruhi respon sel.

2.2.2 Interaksi Paparan Medan Magnet ELF terhadap Pertumbuhan Bakteri

Medan magnet *Extremely Low Frequency* ELF banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang, mulai dari bidang kesehatan, bidang pertanian hingga bidang pangan. Medan magnet ELF memiliki beberapa karakteristik, yaitu dapat menembus bidang, bersifat non-termal sehingga tidak menimbulkan perubahan suhu secara signifikan serta bersifat *non-ionizing radiation* atau radiasi yang tidak menimbulkan ionisasi. Ionisasi merupakan proses fisik yang mengubah atom atau molekul menjadi ion melalui penambahan atau pelepasan partikel bermuatan seperti elektron dari atom atau molekul tersebut. Produk dari proses ionisasi adalah ion bermuatan negatif (anion, biasa disebut elektron bebas) dan ion bermuatan positif (kation).

Penelitian tentang peran medan magnet *Extremely Low Frequency* ELF dalam bidang mikrobiologi saat ini mulai banyak dilakukan. Pemberian paparan medan magnet ELF pada materi hidup bertujuan untuk mempengaruhi interaksi di dalam sel. Penelitian yang dilakukan oleh Pazur, A dan Rassadina, V

menyebutkan bahwa medan magnet statik dapat mempengaruhi aktivasi ion-ion dan polarisasi dipol-dipol yang terdapat dalam sel. Penelitian yang dilakukan oleh Goodman, R dan Blank M., mengatakan bahwa gaya yang diinduksi oleh medan magnetik dapat mengendalikan dan mengubah laju pergerakan elektron-elektron di dalam sel secara signifikan sehingga dapat mempengaruhi berbagai jenis metabolisme sel (Siragih *et al*, 2010).

Penelitian yang dilakukan oleh Sadidah (2015) dapat diketahui bahwa paparan 300 μ T selama 30 menit dapat menurunkan jumlah mikroba pada proses fermentasi tape ketan yaitu sebesar 0,50 x 10¹³ sel/mL. Selain itu penelitian Hersa (2013) menunjukkan bahwa paparan medan magnet ELF 646,7 μ T selama 30 menit, mengakibatkan kematian *Salmonella typhimurum* rata-rata sebesar 32,47% dalam bumbu gado-gado serta terjadi pengecilan ukuran sel dengan panjang dan diameter sebesar 4,341. Penelitian yang dilakukan oleh Putri (2017), diperoleh kesimpulan bahwa paparan medan magnet 0,2 mT selama 10 menit, 20 menit dan 30 menit mampu menurunkan aktivitas enzim protease dibandingkan tanpa paparan medan magnet, sedangkan paparan medan magnet 0,1 mT dengan lama paparan 30 menit mampu meningkatkan aktivitas enzim protease dibandingkan tanpa paparan medan magnet. Sari, *et al* (2012) melakukan penelitian pada pengawetan sari buah apel (*Mallus sylvestris* Mill) dengan bantuan paparan medan magnet tegangan 130 V dan frekuensi 50 Hz selama 25 menit didapatkan bahwa total penurunan mikroba mencapai 99,96% dengan total mikroba akhir sebesar 10 koloni/gram.

Penelitian yang dilakukan oleh Sumardi, *et al* (2018) mengenai pengaruh paparan medan magnet 0,2 mT pada ion logam Fe dan Zn dalam media pertumbuhan terhadap produksi protease *Bacillus sp* mendapatkan hasil berupa ion logam Fe yang terpapar medan magnet mempunyai nilai indeks proteolitik yang lebih baik yaitu 3,36 dengan lama inkubasi 10 jam, dan indeks proteolitik 2,74 dengan lama inkubasi 18 jam, sedangkan pada ion Zn yang terpapar medan magnet dan tidak terpapar medan magnet menyebabkan aktivitas *Bacillus* mati. Aulia (2013) melakukan penelitian terhadap aktivitas enzim α -amilase pada kacang merah dan kacang buncis yang dipapar menggunakan medan magnet ELF,

dari hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa paparan medan magnet 0,1 mT mempengaruhi aktivitas enzim α -amilase pada kacang merah dan kacang buncis hitam. Peningkatan aktivitas enzim α -amilase tertinggi pada kedua varietas tersebut diperoleh dari perlakuan dengan lama paparan medan magnet ELF 15 menit. Dalam penelitiannya ia menegaskan bahwa semakin lama perlakuan pemaparan medan magnet ELF, maka semakin tinggi pula aktivitas enzim α -amilase di dalamnya.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah diuraikan diatas dapat diperoleh kesimpulan bahwa radiasi medan magnet *Extremely Low Frequency* ELF tidak hanya mampu meningkatkan proliferasi sel, namun juga mampu merusak proliferasi sel apabila medan magnet ELF dipapar dengan intensitas yang tinggi. Proliferasi sel merupakan pertumbuhan yang disebabkan oleh pembelahan sel yang aktif dan bukan disebabkan karena penambahan ukuran sel.

2.3 Fermentasi *Green Coffee Robusta*

Pemanfaatan buah kopi mentah berwarna hijau yang telah dipasarkan berupa *green coffee extract* dan kopi beras. *Green coffee extract* adalah ekstrak dari biji kopi yang biasa digunakan sebagai suplemen kesehatan untuk anti obesitas dan anti diabetes (Malkapuram *et al*, 2016). Produk *green coffee extract* umumnya dikeringkan menggunakan *spray dryer* yang kemudian dimasukkan ke dalam kapsul, sedangkan kopi beras dikeringkan menggunakan pengeringan dengan bantuan sinar matahari. Samadi *et al* (2015) menyebutkan bahwa *green coffee extract* mampu meningkatkan metabolisme tubuh dan menurunkan berat badan. Efek sinergis antara asam dan klorogenat dan kafein terbukti menekan kenaikan berat badan dengan cara mengurangi penyerapan karbohidrat dari saluran pencernaan. Senyawa bioaktif dalam *green coffee extract* dapat menghambat penyerapan lemak dan meningkatkan metabolisme lemak di hati.

Green coffee extract dibuat dari biji kopi yang belum disangrai. Hal ini dikarenakan proses penyangraian dapat menguraikan kandungan asam klorogenat menjadi senyawa volatil dan melanoidin. Proses fermentasi sangat berpengaruh terhadap kandungan kafein, senyawa asam klorogenat, dan nilai pH serta

memperbaiki citarasa kopi (Panggabean, 2011). Sulistyowati (2002) menyebutkan bahwa dengan fermentasi yang lama akan menyebabkan keasaman kopi meningkat karena terbentuknya asam-asam alifatik. Apabila fermentasi diperpanjang, terjadi perubahan komposisi kimia biji kopi dimana asam-asam alifatik akan berubah menjadi ester-ester asam karboksilat yang dapat menyebabkan cacat dan cita rasa busuk.

Selama fermentasi kopi *green coffee* terjadi pemecahan komponen lapisan lendir yaitu protopektin dan gula dengan dihasilkan asam dan alkohol. Dengan terjadinya pemecahan komponen lapisan lendir tersebut maka akan terlepas dari permukaan kulit tanduk biji. Djumarti (2005) menjelaskan bahwa perubahan yang terjadi selama fermentasi meliputi pemecahan *pulp*, pemecahan gula, dan perubahan warna kulit ari biji kopi.

2.3.1 Pemecahan *Pulp*

Bagian yang terpenting dari lapisan berlendir/getah adalah komponen protopektin yaitu suatu “*insoluble complex*” tempat terjadinya meta *cellular lactice* dari daging buah yaitu pektin lamella tengah pengikat sel satu dan sel yang lain. Bahan tersebut akan terurai dalam fermentasi oleh kegiatan enzim pemecah protopektin dalam buah kopi. Makin matang buah kopi kandungan enzim pektinase/protopektinase semakin banyak. Enzim ini sangat peka/sensitif terhadap perubahan pH. Pada pH 5,5-6,0 pemecahan getah cukup cepat, pada pH 4,0 bisa dua kali lebih cepat dan pada pH 3,65 bisa 3 kali lebih cepat (Djumarti, 2005)

2.3.2 Pemecahan Gula

Sukrosa merupakan komponen penting dalam daging buah kopi. Kadar gula daging buah akan meningkat dengan cepat selama pematangan buah sehingga rasanya manis. Gula adalah senyawa yang larut dalam air, oleh karena itu dengan adanya pencucian lebih dari 15 menit akan menyebabkan terjadinya banyak kehilangan konsentrasi gula. Oleh karena itu kadar gula dalam daging biji akan mempengaruhi konsentrasi gula di dalam getah beberapa jam setelah fermentasi. Gula ini merupakan substrat bagi mikroorganisme. Bakteri pemecah gula ini bekerja 5 sampai 24 jam dalam fermentasi. Sebagai hasil pemecahan gula adalah asam laktat dan asetat dengan asam laktat yang lebih besar. Dengan

terbentuknya asam ini maka pH turun menjadi lebih kecil dari 5,0. Akan tetapi pada akhir fermentasi asam laktat ini dikonsumsi oleh bakteri sehingga terjadi kenaikan pH. Asam-asam lain yang dihasilkan dari fermentasi ini adalah etanol, asam butirat dan propionat (Djumarti, 2005).

2.3.3 Perubahan Warna Kulit Ari Biji Kopi

Proses *browning* terjadi karena oksidasi polifenol. Peristiwa *browning* ini tidak terjadi bila air pencucian dengan kondisi alkali. Metabolisme pokok dari bakteri asam laktat adalah kemampuannya untuk memfermentasi karbohidrat. Polisakarida terlebih dahulu akan dipecah menjadi gula-gula sederhana sebelum difermentasi. Fermentasi glukosa pada prinsipnya terdiri dari dua tahap yaitu:

- a. Pemecahan rantai karbon dari glukosa dan pelepasan paling sedikit dua pasang atom hidrogen, menghasilkan senyawa karbon lainnya yang lebih teroksidasi daripada glukosa.
- b. Senyawa yang teroksidasi tersebut direduksi kembali oleh atom hidrogen yang dilepaskan dalam tahap pertama, membentuk senyawa-senyawa lain sebagai hasil fermentasi (Djumarti, 2005).

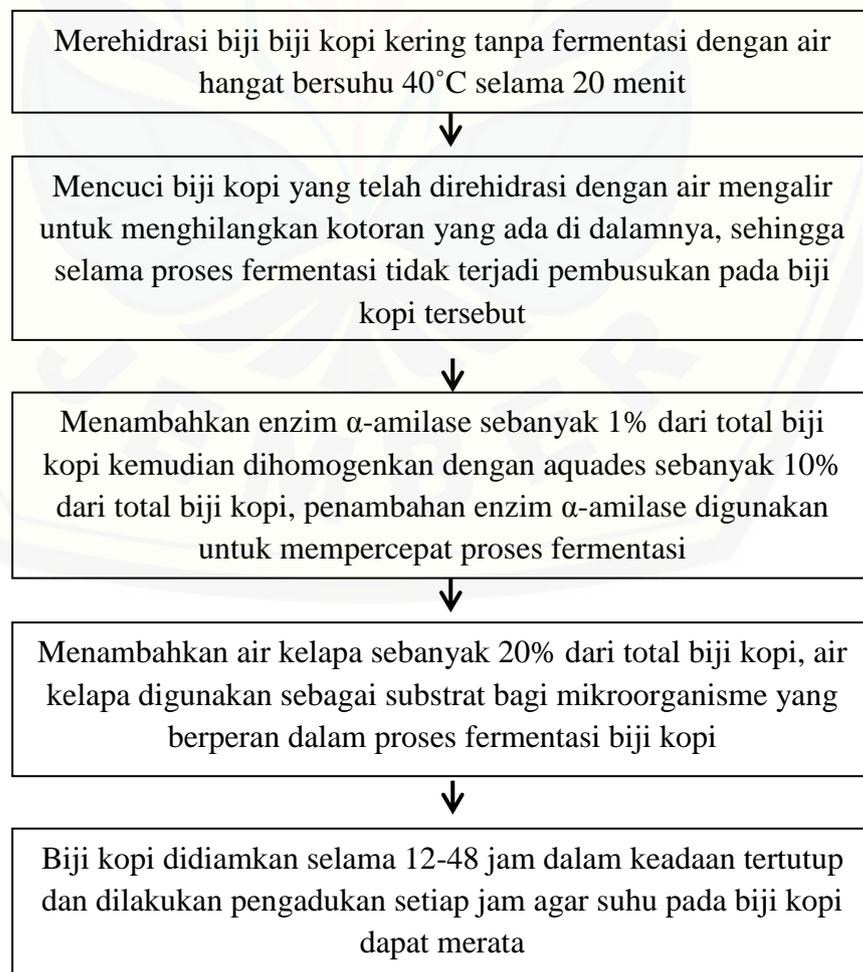
Tahap pertama fermentasi glukosa selalu terbentuk asam piruvat. Banyak kapang menghasilkan enzim yang bermanfaat bagi industri pangan, seperti enzim amilolitik (memecah pati), proteolitik (memecah protein), dan lipolitik (memecah lemak) (Suwasono, 2006). Kehadiran mikroorganisme dalam fermentasi biji kopi merupakan faktor penting yang dapat mempengaruhi kualitas kopi yang dihasilkan. Selama fermentasi biji kopi terdapat bakteri, khamir dan jamur berfilamen. Selama fermentasi biji kopi mikroba yang mendominasi adalah jenis bakteri aerobik, bakteri asam laktat, *Enterobacteriaceae*, yeast dan jamur berfilamen. Jumlah bakteri aerobik, bakteri asam laktat dan *Enterobacteriaceae* meningkat dari awal waktu fermentasi hingga 24 jam. Khamir dan jamur berfilamen memiliki populasi yang lebih sedikit dibandingkan dengan bakteri selama fermentasi.

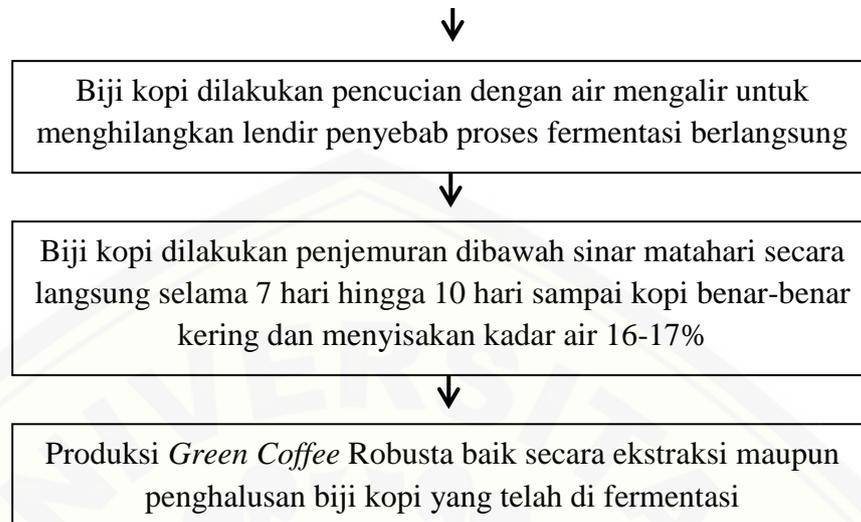
Bakteri dominan yang terdeteksi pada permukaan buah kopi dan biji kopi yang difermentasi adalah *Enterobacteriaceae*. Bakteri asam laktat yang dominan selama fermentasi biji kopi diantaranya yaitu *Lactobacillus plantarum*,

Lactobacillus brevis dan *E. casseliflavus*. Adanya bakteri asam laktat ini menyebabkan penurunan pH. Selain itu jenis *Enterobacteriaceae* memiliki aktivitas pektinolitik yaitu dapat menghidrolisis komponen pektin dari biji kopi (Nasanit dan Satyawut, 2015).

Di dalam biji kopi terdapat kandungan glukosa yang dapat didegradasi menjadi asam laktat oleh *L. plantarum* B1765 pada fermentasi kopi. Selain itu, *L. plantarum* B1765 mempunyai enzim amilolitik yang dapat mendegradasi pati menjadi glukosa kemudian menjadi asam laktat. Oleh karena itu dengan semakin lama *L. plantarum* B1765 memfermentasi biji kopi arabika maka pemecahan glukosa pada kopi akan menghasilkan asam laktat yang semakin banyak sehingga aroma pada kopi fermentasi akan semakin berbau asam seiring dengan lamanya fermentasi (Wilujeng dan Wikandari, 2013).

Berikut merupakan langkah-langkah fermentasi kopi *greencoffe* robusta kering dengan metode basah :





Gambar 2.2 Langkah-langkah Fermentasi *Green Coffee Robusta*

2.4 Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF terhadap Aktivitas Enzim dan Bakteri Asam Laktat pada Proses Fermentasi

Proses fermentasi kopi dibantu oleh beberapa enzim, yaitu enzim pektinase dan enzim α -amilase, selain itu mikroorganisme yang berperan dalam proses fermentasi kopi ialah bakteri aerobik, *enterobacteriaceae*, yeast, jamur berfilamen dan bakteri asam laktat (BAL) seperti *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis* dan *E. casseliflavus*. Pemberian paparan medan magnet ELF diharapkan mampu mengoptimalkan kerja mikroorganisme dalam proses fermentasi kopi dengan cara melakukan proliferasi sel. Proliferasi sel merupakan pertumbuhan yang disebabkan oleh pembelahan sel yang aktif dan bukan disebabkan karena penambahan ukuran sel.

Paparan medan magnet ELF pada bakteri susu fermentasi (*Lactobacillus casei*) menyebabkan perubahan gerakan ion pada ekstraseluler yang melintasi membran sel sehingga paparan medan magnet meningkatkan percepatan pergerakan ion melalui daerah densitas fluks magnetik. Bidang yang terpapar medan magnet akan menghasilkan kekuatan pada ion untuk bergerak dan secara aktif terikat pada saluran protein dan mempengaruhi kondisi pembukaan gerbang saluran (Ridawati, 2017). Ion dalam sel yang dapat terpengaruh medan magnet

pada saat pertumbuhan sel adalah ion Ca^{2+} . Hal tersebut disebabkan ion Ca^{2+} tergolong bahan yang bersifat paramagnetik. Sifat dari suatu bahan paramagnetik adalah dapat terpengaruh oleh medan magnet (termagnetisasi). Bentuk pengaruh medan magnet terhadap bahan tersebut adalah spin elektron yang terdapat pada bahan tersebut yang mulanya acak menjadi terarah oleh medan magnet (Sutrisno dan Gie, 108).

Gaafar *et al* (2006) mengungkapkan bahwa arus induksi yang timbul karena perubahan medan magnet ELF dapat menyebabkan perubahan kecepatan gerakan ion Ca^{2+} ekstraseluler melewati membran sel. Sehingga apabila kebutuhan ion Ca^{2+} cepat terpenuhi dan sesuai dengan kebutuhan sel maka proses pertumbuhan sel akan semakin cepat dan jumlah bakteri semakin banyak. Handoko *et al* (2017), mengungkapkan bahwa sel-sel mikroorganisme yang terpapar medan magnet akan terpengaruh khususnya pada pergerakan atau regulasi ion kalsium. Perubahan kecepatan aliran ion kalsium dapat memberikan perubahan dan perbedaan pada organisme berupa resonansi ion kalsium dalam pengkodean protein yang terjadi pada *Ribose Nucleic Acid* (RNA). Pengkodean protein meningkat akan menyebabkan peningkatan aktivitas enzim dalam sel. Seiring peningkatan enzim maka proses metabolisme dalam sel meningkat sehingga nutrisi-nutrisi yang masuk dalam sel dapat dicerna dan diserap secara optimum.

Peningkatan kadar kalsium (Ca^{2+}) sitoplasma diduga dapat mempengaruhi aktivitas seluler seperti proliferasi. Proliferasi (perbanyakkan sel) berkaitan dengan proses diferensiasi, sehingga sel-sel yang terpapar medan magnet akan mengalami proliferasi lebih cepat akibat berubahnya aliran ion kalsium yang berakibat pada proses diferensiasi yang lebih cepat pada sel yang terpapar medan magnet tersebut (Zhao *et al*, 2008). Pada proses fermentasi kopi ini, bakteri yang diharapkan terpengaruh oleh medan magnet ELF dan melakukan proliferasi sel ialah bakteri asam laktat (BAL). Kuswanto dan Sudarmadji (1989), menyatakan bahwa bakteri asam laktat merupakan kelompok spesies bakteri yang mempunyai kemampuan untuk membentuk asam laktat dari metabolisme karbohidrat dan tumbuh pada pH lingkungan yang rendah. BAL yang dominan pada proses

fermentasi kopi adalah bakteri *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis* dan *E. casseliflavus*.

2.5 Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF terhadap Peningkatan pH pada Proses Fermentasi Kopi

Gandjar dan Rohman (2012: 61-61) menyatakan bahwa suatu molekul memiliki sifat fisika kimia, diantaranya sifat asam dan basa suatu larutan. Sifat asam larutan adalah suatu senyawa yang jika dilarutkan dalam air akan terurai menjadi ion hidrogen (H^+) dan anion, sedangkan basa adalah senyawa yang jika dilarutkan dalam air akan menghasilkan ion hidroksida (OH^-) dan kation.

Tingkat keasaman (pH) suatu larutan didefinisikan sebagai logaritma negatif dari konsentrasi ion hidrogen (dalam mol per liter):

$$pH = -\log [H^+] \quad (2.4)$$

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

Pengukuran pH umumnya dilakukan dengan kertas pH atau *pH water tester*. Indikator ini mempunyai keterbatasan pada tingkat akurasi pengukuran dan dapat terjadi kesalahan pengamatan warna yang disebabkan larutan sampel yang berwarna atau sampel keruh. Pengukuran pH yang lebih akurat biasa dilakukan dengan pH meter (Kordi dan Tacung, 2007: 87). pH meter yaitu suatu alat digital untuk menentukan nilai pH suatu bahan, dengan menusukkan probe sensor kedalam bahan yang akan diperiksa dimana nilai pH bahan dapat dibaca langsung pada alat.

Laju aktivitas enzim dipengaruhi oleh pH dan temperatur. Setiap jenis enzim mempunyai pH optimum untuk aktivitasnya. Temperatur penyimpanan merupakan faktor yang harus dijaga. Temperatur mempengaruhi waktu regenerasi bakteri dan fase pertumbuhan. Temperatur yang rendah akan menghambat

pertumbuhan bakteri dan reaksi-reaksi biokimia sedangkan temperatur yang tinggi akan mempercepat aktivitas tersebut (Daulay, 1990: 206-207).

Berdasarkan pada beberapa hasil penelitian yang melaporkan bahwa paparan medan magnet ELF dengan intensitas 300 μT dan 500 μT berpengaruh terhadap perubahan pH pada proses fermentasi tape ketan. Peningkatan nilai pH tertinggi yaitu sebesar 1,00 terjadi pada perlakuan 500 μT pada waktu paparan 24 jam setelah peragian (Sadidah *et al.*, 2015). Paparan medan magnet ELF berpengaruh terhadap pH susu fermentasi. Semakin besar intensitas medan magnet ELF dan lama paparan yang digunakan, maka nilai rata-rata pH susu fermentasi mengalami peningkatan (Ridawati, 2017). Paparan medan magnet ELF intensitas 100 μT dengan lama paparan 15 menit, 30 menit, 45 menit, dan 60 menit berpengaruh terhadap pH pada proses pembuatan *starter nata de coco*, dosis efektif penurunan pH dibanding kelompok kontrol untuk medium +Za pada lama paparan 30 menit sebesar 0,04 dan kelompok -ZA pada lama paparan 45 menit sebesar 0,11 (Ervina, 2015). Berdasarkan variasi lama paparan medan magnet ELF yang digunakan, lama paparan yang paling berpengaruh terhadap penurunan nilai pH keju jenis *cream cheese* adalah lama paparan 5 menit. Dengan demikian dosis efektif untuk menurunkan nilai pH keju jenis *cream cheese* adalah paparan medan magnet ELF 100 μT selama 5 menit (Kristinawati, 2015). Paparan medan magnet ELF intensitas 700 μT dan 900 μT berpengaruh terhadap pH buah anggur. Dosis yang efektif untuk mempertahankan pH buah anggur adalah paparan medan magnet ELF intensitas 900 μT selama 2 x 30 menit dan 2 x 45 menit (Mina, 2018). Paparan medan magnet ELF berpengaruh terhadap pH ikan bandeng. Dosis efektif dalam menurunkan nilai pH ikan bandeng adalah paparan medan magnet ELF sebesar 730,56 μT selama 2 x 30 menit (Nurhasanah, 2018).

Bakteri Asam Laktat (BAL) merupakan bakteri yang berperan dalam proses fermentasi kopi. BAL digunakan untuk mengubah glukosa menjadi asam laktat dan etanol. Produk akhir berupa asam laktat inilah yang akan memberikan sumbangan ion H^+ pada kopi hasil fermentasi. Konsentrasi ion H^+ berbanding terbalik dengan derajat keasaman (pH) yang akan terukur. Semakin tinggi konsentrasi ion H^+ maka larutan tersebut akan semakin asam. Apabila suatu

larutan menjadi lebih asam, maka indikator pH yang akan ditunjukkan semakin mengecil.

2.6 Korelasi Derajat Keasaman (pH) dan Daya Hantar Listrik (DHL)

Daya hantar listrik adalah ukuran seberapa kuat suatu larutan dapat menghantarkan listrik. Daya hantar listrik digunakan untuk ukuran larutan atau cairan elektrolit. Semakin besar jumlah ion dari suatu larutan maka akan semakin tinggi nilai daya hantar listriknya. Jumlah muatan dalam larutan sebanding dengan nilai daya hantar molar larutan dimana hantaran molar juga sebanding dengan daya hantar listrik larutan. Konsentrasi elektrolit sangat menentukan besarnya daya hantar molar (Δm). Daya hantar molar adalah daya hantar suatu larutan apabila konsentrasi larutan sebesar satu molar. Larutan encer, ion-ion dalam larutan tersebut mudah bergerak sehingga daya hantarnya semakin besar. Larutan yang pekat, pergerakan ion lebih sulit sehingga daya hantarnya menjadi lebih rendah. Hal lain yang mempengaruhi daya hantar listrik selain konsentrasi adalah jenis larutan (Sukardjo, 1997).

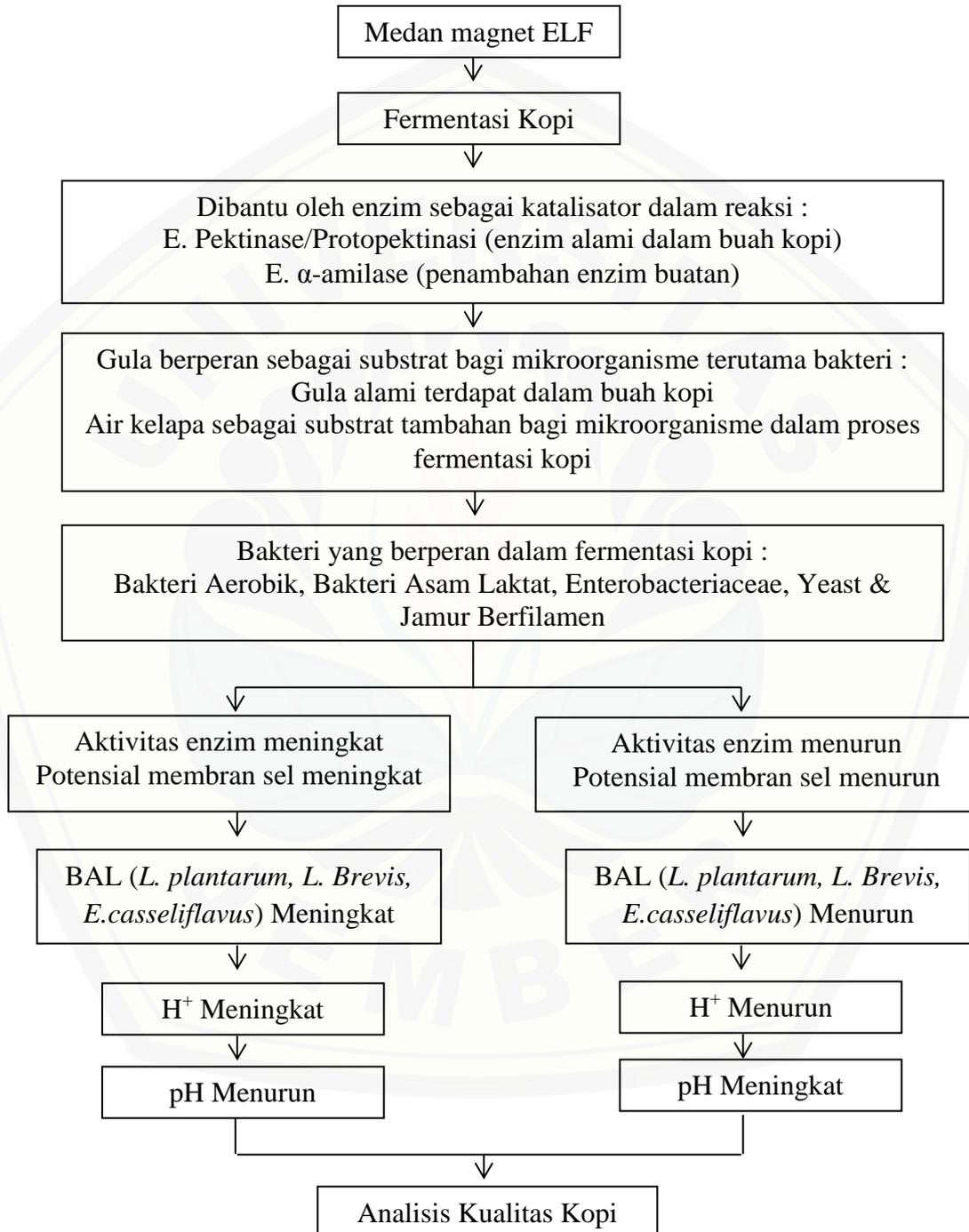
Selain dari ikatannya, terdapat cara lain untuk mengelompokkan senyawa yakni didasarkan pada daya hantar listrik. Berdasarkan daya hantarnya, senyawa dibagi menjadi elektrolit dan non elektrolit. Elektrolit adalah zat yang dapat menghantarkan listrik atau zat yang di dalam larutannya akan terdisosiasi atau akan terurai menjadi ion-ionnya yang menyebabkan kemampuannya untuk menghantarkan listrik. Ditinjau dari kesetimbangan peruraiannya atau derajat disosiasinya, elektrolit dibagi menjadi: elektrolit kuat, yaitu zat yang dalam larutannya terdisosiasi sempurna atau sebagian besar menjadi ion-ion. Zat ini sangat mudah terionisasi dalam larutan, dengan derajat ionisasi 1 atau mendekati 1, misalnya garam-garam alkali, asam kuat dan basa kuat. Elektrolit lemah, yaitu zat yang dalam larutannya hanya sebagian kecil terdisosiasi menjadi ion-ion. Zat ini sukar terionisasi, derajat ionisasinya mendekati 0, misalnya sebagian kecil garam-garam, asam lemah dan basa lemah (Supriyana, 2004).

Kekuatan asam dan basa dapat ditentukan dari pH larutan dengan konsentrasi yang sama. pH asam kuat lebih kecil dibandingkan dengan pH asam

lemah, sedangkan pH basa kuat lebih besar dibandingkan dengan pH basa lemah. Asam kuat dan basa kuat merupakan larutan elektrolit kuat. Asam kuat ketika di dalam air dapat menghasilkan ion H^+ secara sempurna, sedangkan basa kuat ketika di dalam air dapat menghasilkan ion OH^- secara sempurna. Daya Hantar Listrik berbanding lurus dengan sifat elektrolit larutan, apabila suatu larutan memiliki sifat elektrolit kuat, maka akan memiliki konsentrasi ion H^+ atau ion OH^- yang tinggi. Apabila memiliki konsentrasi ion H^+ yang tinggi maka larutan tersebut memiliki derajat keasaman (pH) rendah, sedangkan jika memiliki konsentrasi ion OH^- yang tinggi maka larutan tersebut memiliki derajat keasaman (pH) yang tinggi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa apabila suatu larutan baik asam maupun basa mendekati pH netral yaitu 7, maka daya hantar listrik yang dimiliki oleh larutan tersebut akan semakin kecil.

2.9 Kerangka Konsep

Adapun konsep dan alur dalam penelitian ini ditunjukkan dalam kerangka konsep berikut :

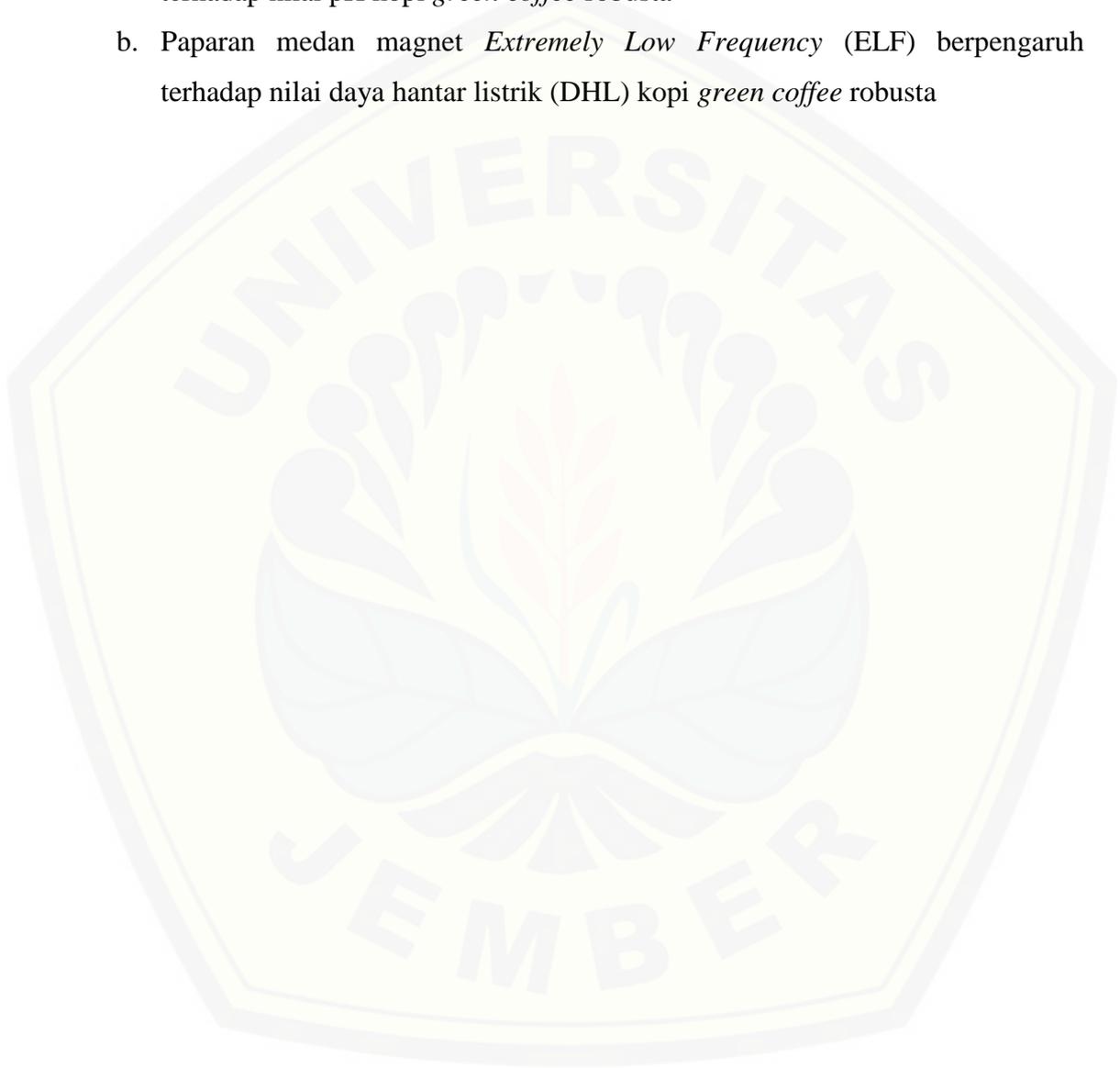


Gambar 2.5 Kerangka Konsep Penelitian

2.7 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan uraian di atas maka hipotesis dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) berpengaruh terhadap nilai pH kopi *green coffee* robusta
- b. Paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) berpengaruh terhadap nilai daya hantar listrik (DHL) kopi *green coffee* robusta



BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan pada semester gasal tahun ajaran 2019/2020 di beberapa tempat antara lain sebagai berikut:

- a. Pemaparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) pada kopi yang difermentasi dilakukan di Laboratorium ELF Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember.
- b. Pengukuran pH dan Daya Hantar Listrik (DHL) pada kopi yang telah difermentasi akan dilakukan di Laboratorium Biologi Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember.

3.2 Jenis dan Desain Penelitian

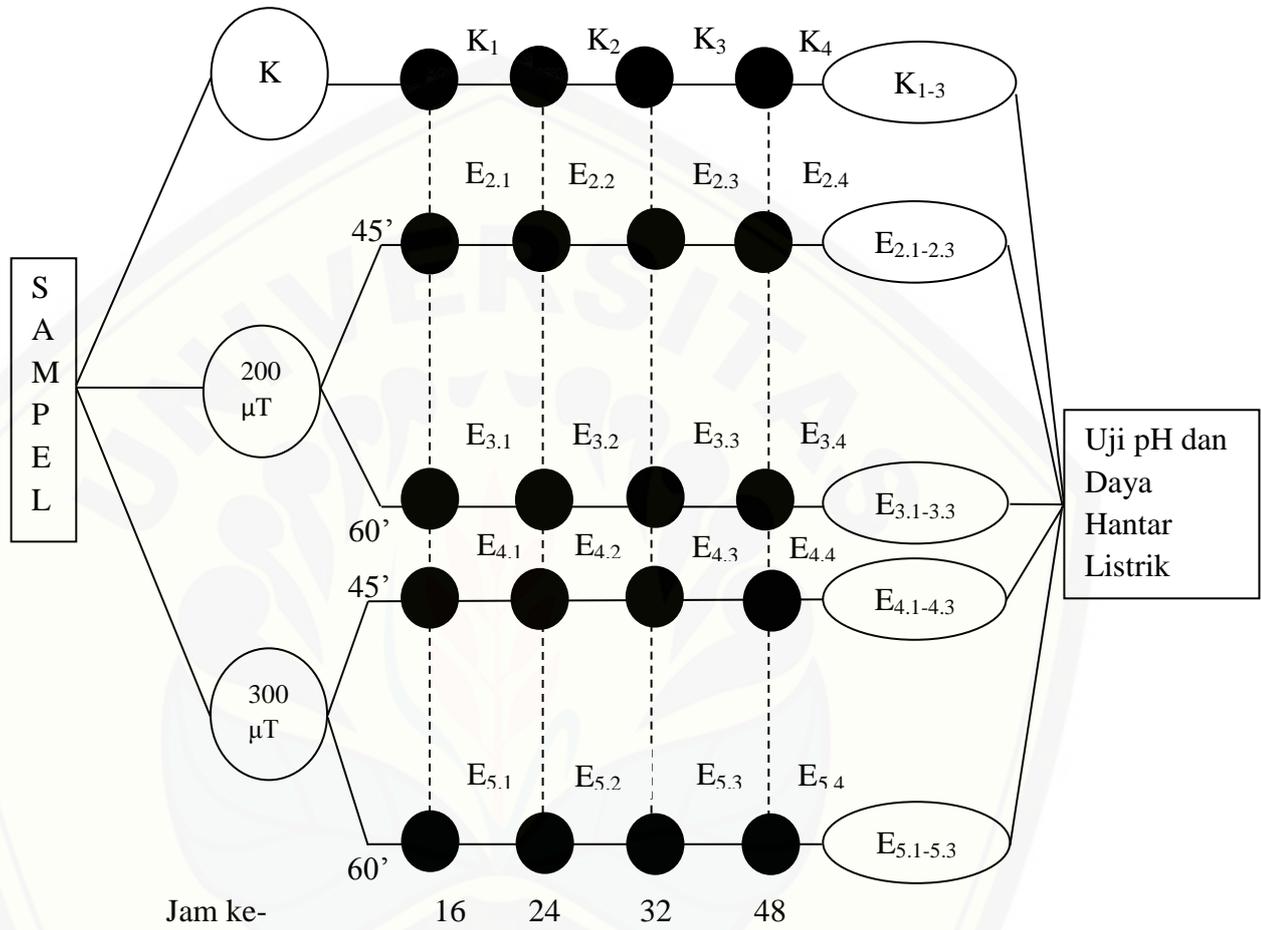
3.2.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimen. Tujuan dari jenis penelitian ini yaitu untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap suatu subjek dalam kondisi terkendali, karena variabel-variabel dapat dipilih dan variabel-variabel lain yang dapat mempengaruhi proses eksperimen itu dapat dikontrol secara ketat (Sugiyono, 2017). Penelitian ini dilakukan dengan cara membandingkan kelompok eksperimen dengan kelompok kontrol.

3.2.2 Desain Penelitian

Desain penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah *randomized subjects post test only control group design*, yaitu terdapat dua kelompok yang dipilih secara random kemudian kelompok pertama diberi perlakuan sedangkan kelompok yang lain tidak. Dalam penelitian ini yang menjadi kelompok kontrol adalah kopi *green coffee* robusta yang difermentasi tanpa dikenai paparan medan magnet ELF, dan yang menjadi kelompok eksperimen adalah kopi *greencoffe* robusta yang difermentasi dengan dikenai paparan medan magnet ELF dengan

intensitas $200\mu\text{T}$ dan $300\mu\text{T}$ selama 45 menit dan 60 menit. Seperti terlihat pada gambar berikut :



Gambar 3.1 Desain penelitian

Keterangan:

- K₁₋₃ : sampel kelompok kontrol tanpa paparan medan magnet ELF
- E_{2.1-2.4} : sampel kelompok eksperimen dengan paparan medan magnet 200 μ T dengan lama paparan 45 menit pada saat jam ke-16, 24, 32 dan 48 setelah fermentasi
- E_{3.1-3.4} : sampel kelompok eksperimen dengan paparan medan magnet 200 μ T dengan lama paparan 60 menit pada saat jam ke-16, 24, 32 dan 48 setelah fermentasi
- E_{4.1-4.4} : Sampel kelompok eksperimen dengan paparan medan magnet 300 μ T dengan lama paparan 45 menit pada saat jam ke-16, 24, 32 dan 48 setelah fermentasi
- E_{5.1-5.4} : sampel kelompok eksperimen dengan paparan medan magnet 300 μ T dengan lama paparan 60 menit pada saat jam ke-16, 24, 32 dan 48 setelah fermentasi

3.3 Variabel Penelitian**3.3.1 Klasifikasi Variabel Penelitian**

- a. Variabel bebas dari penelitian ini adalah :
- 1) Intensitas paparan medan magnet ELF yang digunakan untuk kelompok eksperimen sebesar 100 μ T dan 300 μ T
 - 2) Lama paparan medan magnet ELF, yaitu 30 menit, 45 menit dan 60 menit
 - 3) Lama proses fermentasi, yaitu 16 jam, 24 jam dan 32 jam setelah pemberian enzim
- b. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai pH dan daya hantar listrik pada kopi *greencoffe* robusta

3.3.2 Definisi Operasional Variabel Penelitian

Definisi operasional merupakan uraian yang membatasi setiap istilah atau kata kunci yang digunakan dalam penelitian dengan makna tunggal dan terukur. Hal ini digunakan untuk menghindari terjadinya kesalahan penafsiran beberapa

variabel yang digunakan dalam penelitian. Secara operasional variabel penelitian ini didefinisikan sebagai berikut :

a. Medan Magnet ELF

Medan magnet *Extremely Low Frequency* merupakan spektrum gelombang elektromagnetik yang memiliki frekuensi kurang dari 300 Hz. Penelitian ini menggunakan alat penghasil medan magnet ELF yang mempunyai frekuensi 50 Hz. Alat ini terdiri dari dua unit komponen utama, yaitu transformator step-down dan sangkar (*box*) medan elektromagnetik ELF. Alat tersebut dapat mulai bekerja setelah diberi input sumber tegangan PLN 220 volt, dengan kuat arus mencapai 5A dan frekuensinya 50 Hz. Untuk memperoleh medan magnet ELF yang optimal, maka digunakan transformator step-down dan current transformator dalam alat. Transformator step-down akan mengakibatkan penurunan tegangan pada alat yaitu dari besar tegangan input 220 volt menjadi tegangan 7 volt, sedangkan current transformator akan menaikkan arus listrik yaitu dari arus 5 A menjadi arus sebesar 125 – 2500 A untuk kemudian dialirkan pada lempengan tembaga sangkar medan magnet ELF. Kondisi dimana tegangan yang terpakai kecil namun arus yang digunakan maksimal dapat menghasilkan paparan medan listrik ELF yang minimal mendekati listrik alamiah, sehingga paparan medan magnet yang diharapkan dapat mencapai titik maksimal.

Intensitas paparan medan magnet ELF yang digunakan dalam penelitian ini adalah $100\mu\text{T}$ dan $300\mu\text{T}$ serta medan listrik ELF yang intensitasnya tidak berbeda dengan medan listrik alamiah. Kondisi tersebut dapat tercapai optimal oleh alat dengan menggunakan tegangan 7 volt dan kuat arus sekitar 125 A sampai 700 A pada lempengan sangkar medan magnet ELF. Hal tersebut sesuai dengan beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Lama paparan medan magnet ELF yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 30 menit, 45 menit dan 60 menit. Alasan peneliti memilih waktu tersebut karena berdasarkan pada beberapa penelitian terakait yang telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya.

b. Fermentasi kopi *greencoffe* robusta

Selama fermentasi terjadi pemecahan komponen lapisan lendir yaitu protopektin dan gula dengan dihasilkan asam dan alkohol. Dengan terjadinya pemecahan komponen lapisan lendir tersebut maka akan terlepas dari permukaan kulit tanduk biji. Sehingga perubahan yang terjadi selama fermentasi meliputi pemecahan pulp, pemecahan gula, dan perubahan warna kulit ari biji kopi. Teknik yang digunakan ialah teknik fermentasi basah pada biji kopi robusta kering dengan bantuan enzim α -amilase dan penambahan substrat gula berupa air kelapa. Lama penyimpanan atau proses fermentasi yang digunakan yaitu 16 jam, 24 jam dan 32 jam. Hal ini tersebut diketahui bahwa proses fermentasi kopi umumnya berlangsung 16 – 36 jam.

c. Nilai pH kopi *greencoffe* robusta

pH merupakan satuan ukur yang digunakan untuk mengetahui tingkat derajat keasaman dari kopi *greencoffe* robusta sebagai indikator adanya asam yang dihasilkan pada saat proses fermentasi. Uji pH kopi *greencoffe* robusta dilakukan di Laboratorium Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan dengan menggunakan alat pH meter.

d. Nilai daya hantar listrik kopi *green coffee* robusta

Nilai daya hantar listrik (DHL) merupakan nilai yang menyatakan kemampuan benda dalam menghantarkan arus listrik. Daya hantar listrik dipengaruhi oleh semua ion yang terkandung dalam benda tersebut, dalam hal ini ialah kopi *green coffee* robusta.

3.4 Alat dan Bahan

3.4.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut :

- a. *Current Transformator* (CT), berfungsi sebagai penghasil medan magnet *Extremely Low Frequency* ELF dengan sumber arus AC pada frekuensi 50 Hz



Gambar 3.2 Alat sumber paparan medan magnet ELF

(Sumber: dokumen pribadi)

- b. EMF meter, berfungsi sebagai media atau alat bantu untuk mengukur medan magnet ELF
- c. Indikator universal, berfungsi sebagai alat ukur derajat keasaman (pH) kopi *greencoffe* robusta
- d. Mika plastik, berfungsi sebagai tempat sampel saat dipapar medan magnet ELF
- e. Neraca, berfungsi untuk menimbang kopi pada masing-masing wadah kelompok kontrol dan kelompok eksperimen
- f. Conductivity meter, digunakan sebagai alat ukur untuk menentukan daya hantar listrik susu fermentasi
- g. Beaker gelas, digunakan sebagai wadah larutan yang akan digunakan sebagai kalibrasi conductivity meter
- h. Pipet tetes, digunakan untuk pengambilan sampel *green coffee* robusta
- i. Labu eylene Meyer, digunakan sebagai tempat pencampuran *green coffee* robusta dengan aquades 5 ml

3.4.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- a. Kopi *greencoffe* robusta sebanyak 10 kg (masing-masing perlakuan terdiri dari 2 kg kopi *greencoffe* robusta)
- b. Enzim α Amilase sebanyak 100 mL (1% dari total sampel) dicampur dengan aquades sebanyak 2000 mL (20% dari total sampel)
- c. Air kelapa sebanyak 2000 mL (20% dari total sampel)

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Prosedur Fermentasi Kopi *Green Coffee* Robusta

Proses fermentasi *green coffee* robusta dimulai dengan terlebih dahulu melakukan sortir terhadap kopi robusta segar, penyortiran ini dilakukan agar mendapatkan biji kopi terbaik. Kemudian dilakukan *pulping*, yaitu pemisahan antara biji dengan kulit kopi bagian luar, setelah didapatkan biji kopi tanpa kulit kemudian dilakukan penjemuran selama 2-3 minggu hingga biji kopi kering dan menyisakan kadar air sebesar 16-17%. Setelah biji kopi kering kemudian direhidrasi dengan air hangat bersuhu 40°C selama 20 menit. Kemudian biji kopi dicuci untuk menghilangkan kotoran yang tertinggal di permukaan biji kopi, pencucian ini dilakukan agar tidak terjadi pembusukan selama proses fermentasi berlangsung.

Fermentasi kopi secara basah terhadap biji kopi kering tanpa fermentasi dilakukan dengan cara menambahkan enzim α -amilase sebanyak 100 mL dan dihomogenkan dengan larutan aquades sebanyak 2000 mL, penambahan enzim dilakukan agar dapat mengoptimalkan proses fermentasi yang berlangsung. Kemudian ditambahkan air kelapa sebanyak 2000 mL, air kelapa berperan sebagai substrat tambahan bagi mikroorganisme terutama bakteri yang berperan dalam proses fermentasi kopi. Proses fermentasi dilakukan dalam wadah tertutup selama 12-32 jam, dimana setiap jamnya sampel kopi akan diaduk untuk menjaga suhu selama proses fermentasi tetap merata.

3.5.2 Prosedur Pemaparan Medan Magnet ELF

Penelitian ini terdiri dari dua kelompok, yaitu kelompok kontrol dan kelompok eksperimen. Kelompok kontrol merupakan kelompok yang tidak diberi perlakuan khusus, sehingga kelompok ini mendapat perlakuan secara alamiah di tempat tertutup tanpa sinar matahari. Sedangkan kelompok eksperimen merupakan kelompok yang mendapat paparan medan magnet ELF menggunakan alat ELF *Electromagnetic Fields Sources*. Sampel akan dipapar medan magnet setelah 2 jam dari pemberian enzim, hal ini dilakukan agar mikroorganisme yang berperan dalam proses fermentasi dapat hidup terlebih dahulu.

- a. Input sumber tegangan PLN 220 Volt, kuat arus 5 A, dan frekuensi 50 Hz, dengan tegangan terpakai 7 volt dan kuat arus 125 dan 700 A.
- b. Intensitas paparan medan magnet yang digunakan dalam penelitian ini adalah $100\mu\text{T}$ dan $300\mu\text{T}$
- c. Lama pemaparan medan magnet ELF dalam penelitian ini antara lain 30, 45, dan 60 menit

Adapun alat *Electromagnetic Field Source* dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3.3 *Electromagnetic Field Source* (Sumber: dokumen pribadi)

Prosedur pengoperasian alat ELF *Electromagnetic Field Sources*, sebagai berikut:

Prosedur pengoperasian *Electromagnetik Field Source*, sebagai berikut:

- a. Menghidupkan MCB 2P 50A (terdapat dalam panel). Bila tegangan telah terhubung, pilot lamp akan menyala.
- b. Memastikan output tegangan slide voltage regulator adalah nol, dengan memutar knob berlawanan arah jarum jam (ke kiri) hingga knob tidak dapat diputar lagi.
- c. Menekan *push button* (warna merah) untuk menyalakan regulator arus, bila knob pada no.b belum diputar sampai posisi nol maka kontraktor tidak akan menyala dan peralatan belum dapat digunakan.
- d. Memutar knob searah jarum jam (ke kanan) sampai didapatkan besaran atau intensitas medan magnet yang diinginkan dibantu dengan alat EMF tester.
- e. Menekan *push button* (warna hijau) untuk mematikan regulator arus.

Pada penelitian ini juga menggunakan alat *Electromagnetik Field Tester* yang digunakan untuk memastikan besar medan magnet ELF, berikut prosedur penggunaan EMF tester:

- a. Memosisikan off/range switch ke range yang sesuai. Mulailah dari range tertinggi dan tunggu hingga nilai terukur stabil lalu gantilah ke range yang diinginkan. Karena EM merupakan interferensi dari lingkungan, maka layar akan menunjukkan nilai terkecil sebelum pengukuran misalnya $0.05 \mu\text{T}$. Hal ini bukanlah malfungsi alat.
- b. Memegang probe sensor, lalu cobalah untuk mendekatkan kepala sensor ke objek yang akan diukur sehingga tersentuh secara fisis. Perhatikan bagaimana intensitas medan bertambah ketika kamu mendekatkan objek
- c. Memosisikan kepala sensor disudut yang berbeda terhadap objek yang akan diukur dan lihat bagaimana pengaruhnya terhadap hasil pengukuran
- d. Dengan mencoba pendekatan sudut yang berbeda, catatlah hasil pengukuran yang tertera pada layar. Jika objek yang diukur mati selama pengukuran mendekati nol, jika tidak artinya ada EM lain yang terdeteksi.

- e. Alat ukur didesain untuk membaca satuan μT . Tetapi dapat juga mengukur dalam satuan mG dengan cara mengalikan hasil pengukuran dengan angka 10

Adapun alat *Electromagnetik Field Source* dapat dilihat pada gambar 3.4 berikut:



Gambar 3.4 EMF 287 (Sumber: dokumen pribadi)

3.5.3 Prosedur Pengukuran pH Kopi

Pengukuran pH dilakukan menggunakan alat pH-meter. Sebelum digunakan alat pH-meter dikalibrasi terlebih dahulu dengan buffer pH 7 dan buffer pH 4. Pengukuran pH dilakukan pada cairan fermentasi kopi *green coffee* robusta sebanyak 20 mL. Nilai pH diukur dengan menempatkan elektroda pH-meter pada sampel yang telah diencerkan. Nilai pH sampel akan terbaca secara otomatis dan dapat dilihat pada layar pH-meter.



Gambar 3.5 pH meter ATC 190012 (Sumber: dokumen pribadi)

3.5.4 Prosedur Pengukuran Daya Hantar Listrik Kopi

Langkah-langkah dalam pengukuran daya hantar listrik pada kopi fermentasi:

1. Mengambil sampel kopi fermentasi pada masing-masing perlakuan
2. Sampel yang diukur daya hantar listriknya ialah cairan fermentasi kopi *green coffee* robusta sebanyak 20 mL
3. Mengukur DHL dengan memasukkan probe *electrocity* meter ke dalam larutan kopi yang sudah homogen
4. Menekan tombol *Shift* untuk mengganti dari pengukuran *part per million* (ppm) menjadi daya hantar listrik dengan satuan ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
5. Mencatat nilai DHL yang ditunjukkan di layar *electrocity* meter



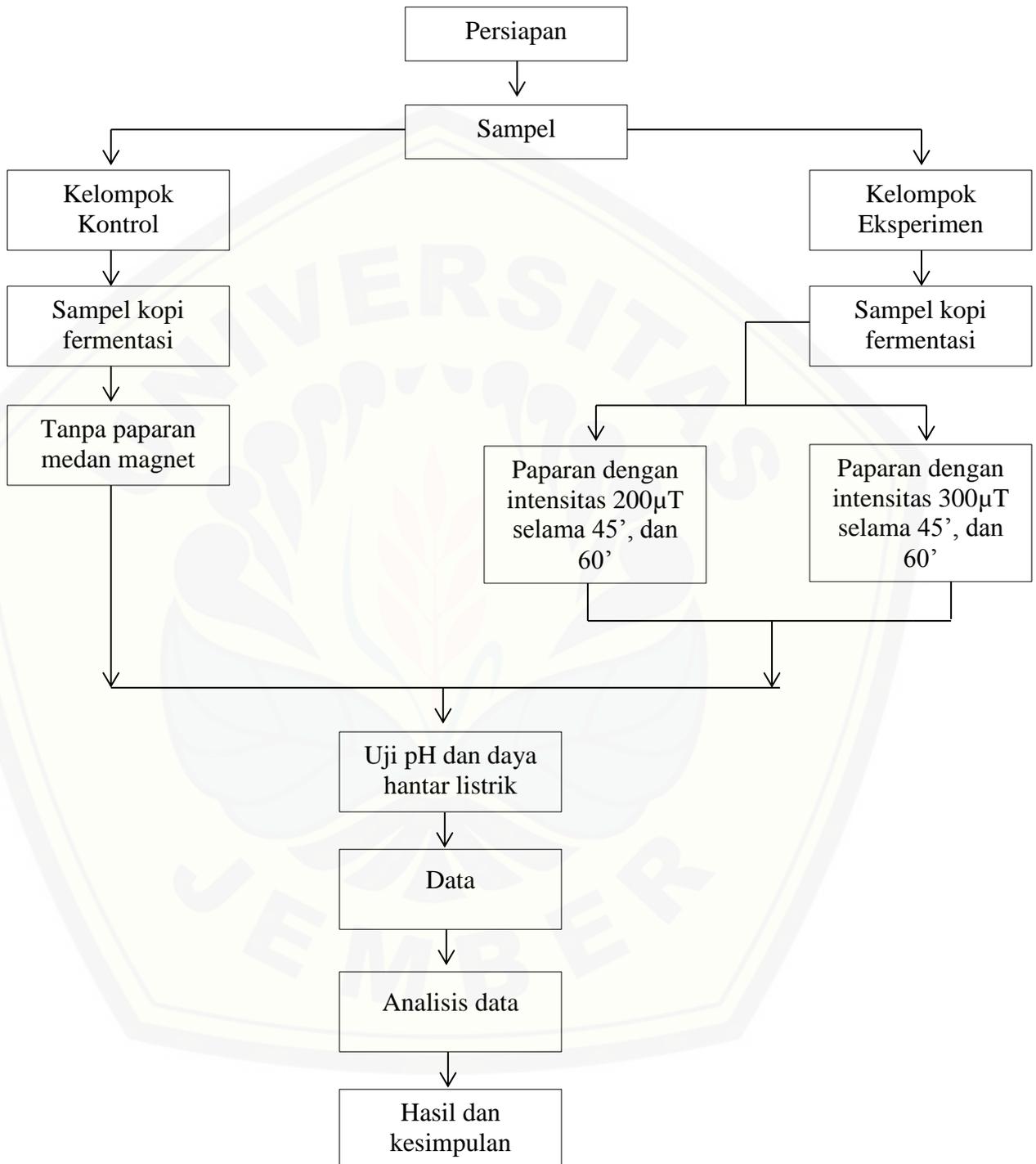
Gambar 3.6 Mediatech 1900131 TDS EC Meter (Sumber: dokumen pribadi)

3.5.5 Bagan-bagan Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Menyiapkan kopi *greencoffe* robusta sebanyak 5 sampel, dengan masing-masing sampel seberat 2 kg, sampel tersebut diletakkan di dalam ember tertutup.
2. Kopi kering tanpa tanpa fermentasi yang telah disiapkan kemudian dilakukan fermentasi dengan penambahan enzim α -amilase dan penambahan substrat tambahan berupa air kelapa.
3. Sampel dibagi menjadi 2 kelompok, yaitu kelompok kontrol sebanyak 1 sampel, dan kelompok eksperimen sebanyak 4 sampel (kelompok eksperimen 1 ($200\mu\text{T}$) sebanyak 2 sampel, dan kelompok eksperimen 2 ($300\mu\text{T}$) sebanyak 2 sampel)
4. Memberikan perlakuan, yaitu kelompok eksperimen dipapar dengan medan magnet ELF dan kelompok kontrol tanpa perlakuan medan magnet ELF
5. Memberikan paparan pada masing-masing kelompok eksperimen selama 45 menit dan 60 menit setelah 24 jam pemberian enzim
6. Setelah 16 jam, 24 jam dan 32 jam fermentasi, kopi yang sudah dipapar dilakukan pengambilan nilai pH dan DHL (pada masing-masing perlakuan)
7. Melakukan analisis data
8. Membahas hasil analisis data

9. Menarik kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan



Gambar 3.7 Bagan Prosedur Penelitian

3.6 Metode Analisa Data

3.6.1 Tabel Hasil Pengukuran

Tabel 3.1 Data hasil pengukuran nilai pH kopi *green coffee robusta*

Jam ke-	Kelompok Kontrol			Kelompok Eksperimen						
	Kel	Nilai pH	Rata-rata	Paparan 200 μ T			Paparan 300 μ T			
				Kel	Nilai pH	Rata-rata	Kel	Nilai pH	Rata-rata	
16	K ₁			E _{2,1} (45')			E _{4,1} (45')			
	K ₁			E _{3,1} (60')			E _{5,1} (60')			
24	K ₂			E _{2,2} (45')			E _{4,2} (45')			
	K ₂			E _{3,2} (60')			E _{5,2} (60')			
36	K ₃			E _{2,3} (45')			E _{4,3} (45')			
	K ₃			E _{3,3} (60')			E _{5,3} (60')			
48	K ₄			E _{2,4} (45')			E _{4,4} (45')			
	K ₄			E _{3,4} (60')			E _{5,4} (60')			

Tabel 3.2 Data hasil pengukuran daya hantar listrik (DHL) kopi *green coffee* robusta

Jam ke-	Kelompok Kontrol			Kelompok Eksperimen						
	Kel	Nilai DHL	Rata-rata	Paparan 200 μ T			Paparan 300 μ T			
				Kel	Nilai DHL	Rata-rata	Kel	Nilai DHL	Rata-rata	
16	K ₁			E _{2.1} (45')			E _{4.1} (45')			
	K ₁			E _{3.1} (60')			E _{5.1} (60')			
24	K ₂			E _{2.2} (45')			E _{4.2} (45')			
	K ₂			E _{3.2} (60')			E _{5.2} (60')			
36	K ₃			E _{2.3} (45')			E _{4.3} (45')			
	K ₃			E _{3.3} (60')			E _{5.3} (60')			
48	K ₄			E _{2.4} (45')			E _{4.4} (45')			
	K ₄			E _{3.4} (60')			E _{5.4} (60')			

3.6.2 Teknik Analisa Data

Proses selanjutnya setelah mendapatkan data hasil pengamatan yang dibutuhkan yaitu membuat grafik. Grafik tersebut merupakan grafik variabel bebas (medan magnet ELF) terhadap variabel terikat (nilai pH dan daya hantar listrik pada *green coffee* robusta). Sumbu x pada grafik menyatakan variabel bebas dan sumbu y menyatakan variabel terikat. Analisis data dalam penelitian ini menggunakan SPSS 23. Sebelum melakukan analisis paramaterik dilakukan uji normalitas menggunakan *Kolmogorov Smirnov* dan uji homogenitas menggunakan *Test of Homogeneity of Variances*. Setelah memenuhi syarat normalitas dan homogenitas, signifikan atau tidaknya pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat dapat diuji menggunakan analisis statistik *one way* Anova dengan metode *Least Significance Different* (LSD) taraf signifikansi 5% (Hasan, 2004:179-180). Hipotesis yang digunakan pada uji statistik ini yaitu hipotesis nol (H_0) dan hipotesis alternatif (H_a). Di dalam penelitian ini H_0 mendefinisikan adanya hipotesis bahwa variasi variabel bebas tidak mempengaruhi variabel terikat secara signifikan. Sedangkan H_a mendefinisikan adanya hipotesis bahwa variasi variabel bebas mempengaruhi variabel terikat secara signifikan. H_0 ditolak apabila nilai dari uji *one way* ANOVA dengan metode *Least Significance Different* (LSD) menunjukkan nilai sig < 0,05. Hal ini mendefinisikan diterimanya hipotesis alternatif (H_a). Namun, ketika nilai dari uji *one way* ANOVA dengan metode *Least Significance Different* (LSD) menunjukkan nilai sig > 0,05, maka H_0 diterima dan H_a ditolak (Sarwono, 2017: 235-255). Grafik dan hasil uji statistik kemudian dianalisis untuk menghasilkan suatu kesimpulan.

Apabila hasil analisis data menunjukkan bahwa variabel bebas mempengaruhi variabel terikat secara signifikan maka dilakukan analisis korelasi untuk mengetahui korelasi antara variabel terikat setelah di papir medan magnet ELF menggunakan uji *korelasi pearson* dengan taraf signifikansi 5%. (Hasan, 2004: 42-46). Hipotesis yang digunakan pada uji statistik ini yaitu hipotesis nol (H_0) dan hipotesis alternatif (H_a). Di dalam penelitian ini H_0 mendefinisikan adanya hipotesis bahwa tidak ada korelasi antara nilai pH dengan daya hantar

listrik pada proses fermentasi *green coffee* robusta yang dipapar medan magnet ELF. Sedangkan H_a mendefinisikan adanya hipotesis bahwa ada korelasi antara pH dengan daya hantar listrik pada proses fermentasi *green coffee* robusta yang dipapar medan magnet ELF. H_0 ditolak apabila nilai dari uji *korelasi pearson* menunjukkan nilai $sig < 0,05$. Hal ini mendefinisikan diterimanya hipotesis alternatif (H_a). Namun, ketika nilai dari uji *korelasi pearson* menunjukkan nilai $sig > 0,05$, maka H_0 diterima dan H_a ditolak (Sukestiyarno, 2014: 2141-156). Grafik dan hasil uji statistik kemudian dianalisis untuk menghasilkan suatu kesimpulan.



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

- a. Paparan medan magnet ELF dengan intensitas 200 μT dan 300 μT berpengaruh terhadap pH pada proses fermentasi *green coffee* robusta.
Dosis efektif paparan medan magnet ELF dengan intensitas 200 μT selama 60 menit dan intensitas 300 μT selama 45 menit terbukti mampu menurunkan nilai pH yang lebih optimal pada jam ke-16 dan mampu meningkatkan nilai pH pada jam ke-24 lebih baik dibandingkan kelompok kontrol.
- b. Paparan medan magnet ELF dengan intensitas 200 μT dan 300 μT berpengaruh terhadap daya hantar listrik pada proses fermentasi *green coffee* robusta.
Dosis efektif paparan medan magnet ELF dengan intensitas 200 μT selama 60 menit dan intensitas 300 μT selama 45 menit mampu meningkatkan nilai DHL lebih baik daripada kelompok kontrol pada jam ke-32 pada proses fermentasi *green coffee* robusta.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka saran yang diberikan sebagai berikut:

- a. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan paparan medan magnet ELF intensitas 200 μT selama 60 menit dan intensitas 300 μT selama 45 menit terhadap kandungan senyawa di dalamnya seperti kandungan antioksidan, kafein dan asam klorogenat yang berperan dalam menurunkan berat badan.
- b. Paparan medan magnet ELF intensitas 200 μT selama 60 menit dan intensitas 300 μT selama 45 menit dapat dimanfaatkan sebagai alternatif teknologi untuk proses fermentasi kopi terutama kopi hijau atau *green coffee* oleh produsen.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfiyah, Dini. 2012. *Pengaruh Medan Elektromagnetik pada Bakteri Staphylococcus aureus*. Skripsi. Surabaya: Universitas Airlangga.
- Badan Pusat Statistik. 2017. *Statistik Kopi Indonesia 2017*.
- Baafai, U. S. 2004. Sistem Tenaga Listrik: Polusi dan Pengaruh Medan Elektromagnetik terhadap Kesehatan Masyarakat. Pidato Pengukuhan. Sumatera Utara: PIDATO Disampaikan pada waktu Pengukuhan Jabatan Guru Besar Tetap Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- Barbosa & Canovas. 1998. *Oscillating Magnetic Fields for Food Processing in Non Thermal Preservation of Foods*. New York: Marcel Dekker Inc.
- Bird, Tony. 1987. *Kimia Fisika untuk Universitas*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Daulay, D. 1990. Fermentasi Keju. Bogor: Pust antar Universitas Pangan dan Gii Institut Pertanian Bogor.
- Djumarti. 2005. Teknologi Pengolahan Kopi. Jember: Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember.
- Ervina, V. 2015. Pengaruh Paparan Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF) Terhadap Jumlah Bakteri Acetobacter Xylinum dan pH Pada Proses Pembuatan Starter Nata De Coco. Skripsi. Jember: Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.
- European Health Risk Assesment Network on Electromagnetic Field Exposure (EFHRAN). 2010. *Risk Analysis of Human Exposure to Electromagnetic Fields*. European Health Risk Assesment Netwrok on Electromagnetic Fields Exposure.
- Fauzi, M. Giyarto dan S. Wulandari. 2016. Karakteristik citarasa dan komponen flavor kopi luwak robusta in vitro berdasarkan dosis ragi kopi luwak dan lama fermentasi. *Seminar Nasional Hasil Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat 2016*.
- Fuad, F., Sudarti, & Alex H. 2018. Analisis Dampak Paparan Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF) terhadap Pertumbuhan Tanaman. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Fisika*. Volume 4. 46-52
- Gaafar, E.S., Hanafi, M.S., Tohamy, E., & Ibrahim, M.H. 2006. Stimulation and Control of *E.Colli* by using an Extremely Low Frequency Magnetic Field. *Romanian J. Biophysic*. Vol. 16(4): 283-296.

- Gandjar, I. G. dan Rohman, A. 2012. *Kimia Farmasi Analisis*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Goodman, R. & Blank, M. 2002. Insight Into Electromagnetic Interaction Mechanisms. *Journal Cellular Physiol.* 192: 16-22.
- Halliday dan Resnick. 1997. *Fisika Dasar*. Jakarta: Erlangga.
- Handoko, Sudarti & Rif'ati D. H. 2017. Analisis Dampak Paparan Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF) pada Biji Cabai Merah Besar (*Capsicum annuum. L*) terhadap Pertumbuhan Tanaman Cabai Merah Besar (*Capsicum annuum. L*). *Jurnal Pendidikan Fisika*. Vol 5(4): 370-377.
- Hasan, I. 2004. *Analisis Data Penelitian Dengan Statistik*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Hersa, V.T. 2014. Respon *Salmonella typhirium* pada Bumbu Gado-gado terhadap Paparan *Extremely Low Frequency (ELF) Magnetic Field*. Skripsi. Jember: Universitas Jember.
- Itegin, M. & I. Gunay. 1993. Influence of Strong Static Magnetic Field on Bioelectrical Characteristic of Rat Hemidiaphragm Muscle. *Islamic Acad Sci.* 5 (4): 12-14.
- Kindzelski, A.L., & Pretty, H.R. 1997. Extremely Low Frequency Electric Fields Promote Metabolic Resonance and Cell Extentio During Neutrophil Migration. *J. Allergy Clin, Immunol.* Volume 99: S317.
- Kristinawati, A. 2015. Pengaruh Lama Paparan Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF) Terhadap pH dan Kadar Air Pada Proses Pembuatan Keju Jenis Cream Cheese. Tidak diterbitkan. Skripsi. Jember: Universitas Jember.
- Malkapuram S *et al.* 2016. Green Coffee Protects H9C2 Cardiomyocytes from Docorubicin Inducted Apoptosis. *Journal of Medicinal Plant.* 10(1): 89-97.
- Nair I., Morgan M.G., & Florig H.K. 1989. Biological Effect of Power Washington, DC: National Environmental Health Frequency Electric and Magnetic Fields. *Technical Report: Con-Science 1.*
- Nasanit, R. dan K. Satayawut. 2015. Microbiological study during coffee fermentation of *coffea arabica* var. Chiangmai 80 in Thailand. *Kasetsart J. (Nat. Sci.)*. Vol 49: 32 – 41.
- Nugroho, A. 2009. Pengaruh Perubahan Konfigurasi Saluran Jaringan SUTET 500 kV terhadap Medan Magnet. *Ijurnal.* 2 (1): 9-17.

- Nurhasanah, Sudarti, & Bambang S. 2018. Analisis Medan Magnet ELF terhadap Nilai pH Ikan dalam Proses Pengawetan Ikan Bandeng (*Chanos chanos*). *Jurnal Pendidikan Fisika*. Vol. 7(2): 116-122.
- Oktadina, F. D., Bambang D., & Bagus H. 2013. Pemanfaatan Nanas (*Ananas Comosus L. Merr*) untuk Penurunan Kadar Kafein dan Perbaikan Citarasa Kopi (*Coffea Sp*) dalam Pembuatan Kopi Bubuk. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*. Vol. 1(3): 265-273.
- Panggabean, E. 2011. *Buku Pintar Kopi*. Jakarta: Agro Media Pustaka.
- Putri, B. A. 2017. Pengaruh Kuat dan Lama Paparan Medan Magnet Pada *Bacillus Sp.* terhadap Produksi Enzim Protease. Skripsi. Lampung: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Universitas Lampung.
- Ras, P.T.P. Studi Tingkat Radiasi Medan Elektromagnetik Yang Ditimbulkan Oleh Telepon Selular. Jaya pura: Universitas Tanjungpura.
- 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.
- Ridwansyah. 2003. *Pengolahan Kopi*. Departemen Teknologi Pertanian. Fakultas Pertanian. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Sadidah, K.R., Sudarti, & A.A. Gani. 2015. Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF (*Extremely Low Frequency*) 300 μ T dan 500 μ T terhadap Perubahan Jumlah Mikroba dan pH pada Proses Fermentasi Tape Ketan. *Jurnal Pendidikan Fisika*. 4(1): 1-8.
- Sagitawaqal, Rudhe *et al.* 2016. *Efektivitas Pemberian IBA (Indole Butyric Acid) Setelah Melalui Jeda Panen terhadap Pertumbuhan Stek Pucuk Jati (Tectona grandis Linn. F)*. Skripsi. Universitas Jember.
- Samadi M, Mohammadshahi M, & Haidari F. 2015. Green Coffee Bean Extract as a Weight Loss Supplement. *Journal Nutritional Disorders and Therapy*. 5(4).
- Sari, E., Bambang S., & Sumardi H. S. 2012. Proses Pengawetan Sari Buah Apel (*Mallus Sylvestris Mill*) Secara Non-Termal Berbasis Teknologi Oscillating Magnetizing Field (OMF). *Jurnal Tekonologi Pertanian*. 13(2): 78-87.
- Sarwono, J. 2017. *Mengenal Prosedur-Prosedur Populer dalam SPSS 23*. Jakarta: Gramedia.

- Sinko, P. J. 2012. *Martin Farmasi Fisika dan Ilmu Farmasetika*. Terjemahan oleh Joshinta Djajadisastra dan Amalia H. Hadinata. Jakarta: EGC.
- Siragih, H. dkk. 2010. Meningkatkan Laju Pengecambahan dan Laju Pertumbuhan Kecambah Kedelai dengan Berbantuan Medan Magnetic Static. Universitas Advent Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional Fisika*.
- Siswoputranto, P. S. 1993. *Kopi Internasional dan Indonesia*. Yogyakarta: Kanisius.
- Sudarti. 2010. Mekanisme Peningkatan Kalsium Sel Germinal pada Mencit Balb/C yang Dipapar Medan Magnet *ELF 100-150* μ T. Jember: Universitas Jember.
- Sudarti, Prihandono. 2014. *Potensi Genotoksik Medan Magnet ELF (Extremely Low Frewuency) terhadap Prevalensi Salmonella dalam Bahan Pangan untuk Meningkatkan Kamanan Pangan bagi Masyarakat*. Jember: Universitas Jember.
- Sugito, Heri & Mujasam. 2009. Konduktivitas Listrik Pulp Kakao dengan Fermentasi dan Pengenceran. *Jurnal Berkala Fisika*. 12(3): 93-98.
- Sukardjo. 1997. *Kimia Fisika*. Yogyakarta: Rinaka Cipta.
- Sukestiyarno. 2014. *Statistika Dasar*. Yogyakarta: Andi.
- Sulistiyowati & Sumartono. 2002. *Metode Uji Cita Rasa Kopi*. Materi Pelatihan Uji Cita Rasa Kopi: 19-21 Februari 2002. Pusar Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia. Jember.
- Sumardi, dkk. 2018. Pengaruh Paparan Medan Magnet 0,2 mT pada Ion Logam Fe dan Zn dalam Media Pertumbuhan terhadap Produksi Protease *Bacillus sp.* *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 16(2): 173-177.
- Supriyana. 2004. *Kimia untuk Universitas Jilid II*. Jakarta: Erlangga.
- Sutrisno & Gie. 1979. *Fisika Dasar: Listrik, Magnet dan Termofisika*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Suwasono, S. 2006. *Teknologi Fermentasi*. Jember: Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.
- Wilujeng, A. 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.
- World Health Organizaion (WHO). 2007. *Enviromental Health Criteria 238, Extremely Low Frequency Field*. Geneva: WHO Press.

World Health Organization (WHO) International Agency for Research on Cancer (IARC). 2002. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. *Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and magnetic Fields. Volume 80: Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and magnetic Fields*. Lyon : IARC Press



LAMPIRAN 1. MATRIK PENELITIAN

MATRIK PENELITIAN

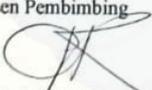
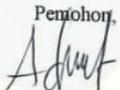
JUDUL	TUJUAN PENELITIAN	VARIABEL	DATA DAN TEKNIK PENGAMBILAN DATA	METODE PENELITIAN
Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF (<i>Extremely Low Frequency</i>) Terhadap Peningkatan pH dan Daya Hantar Listrik dalam Proses Fermentasi <i>Greencoffe Robusta</i>	<ol style="list-style-type: none"> Mengkaji pengaruh paparan medan magnet ELF dengan intensitas 200μT dan 300μT selama 45 dan 60 menit terhadap peningkatan pH pada proses fermentasi <i>greencoffe robusta</i> Mengkaji pengaruh paparan medan magnet ELF dengan intensitas 200μT dan 300μT selama 45 dan 60 menit terhadap daya hantar listrik pada proses fermentasi <i>greencoffe robusta</i> 	<ol style="list-style-type: none"> Variabel bebas dalam penelitian ini adalah: <ol style="list-style-type: none"> Paparan medan magnet <i>Extremely Low Frequency</i> (ELF) untuk kelompok eksperimen menggunakan intensitas medan magnet 200 μT dan 300 μT. Lama paparan medan magnet <i>Extremely Low Frequency</i> (ELF) pada setiap intensitas yaitu 45 dan 60 menit. 	<ol style="list-style-type: none"> Data <ol style="list-style-type: none"> Data diperoleh dari hasil pengamatan, perhitungan, pengukuran daya hantar listrik dan pH pada <i>greencoffe robusta</i>. Bahan rujukan: buku pustaka/literatur yang digunakan. Teknik Pengambilan Data <ol style="list-style-type: none"> Penentuan Sampel Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah kopi jenis <i>robusta</i> dengan jumlah 5 sampel, 1 kelompok kontrol dan 4 kelompok eksperimen, masing- 	<ol style="list-style-type: none"> Jenis penelitian: penelitian eksperimen Desain penelitian: <i>Randomized subjects post test only control group design</i>. Tempat penelitian: <ol style="list-style-type: none"> Laboratorium Fisika ELF FKIP Universitas Jember. Laboratorium Biologi FKIP Universitas Jember. Teknik pengumpulan data: Data diperoleh dari hasil pengukuran langsung

JUDUL	TUJUAN PENELITIAN	VARIABEL	DATA DAN TEKNIK PENGAMBILAN DATA	METODE PENELITIAN
		2. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai pH dan daya hantar listrik pada <i>greencoffe robusta</i>	<p>masing sampel memiliki massa 2 kg. Setiap kelompok Pada proses pengukuran untuk memperoleh data akan diambil 9 kali pengulangan. Adapun teknik penentuan sampel untuk kelompok kontrol dan eksperimen ditentukan secara random (acak).</p> <p>b. Perlakuan Perlakuan untuk kelompok eksperimen yaitu dengan memberi paparan medan magnet ELF 200 μT dan 300 μT dengan lama paparan yang bervariasi. Sedangkan untuk</p>	5. Teknik analisis data: a. Untuk mengetahui pH pada <i>greencoffe robusta</i> dengan mendeskripsikan hasil dari pengukuran pH meter. Pengukuran dilakukan dengan cara menusukkan ujung sensor pada probe ke <i>greencoffe robusta</i> yang telah siap diuji derajat keasamannya (pH). Nilai pH <i>greencoffe robusta</i> dapat dibaca langsung pada layar pH meter. Data yang

JUDUL	TUJUAN PENELITIAN	VARIABEL	DATA DAN TEKNIK PENGAMBILAN DATA	METODE PENELITIAN
			<p>kelompok kontrol dipaparkan secara alamiah yaitu ditempat tertutup tanpa sinar matahari (tidak dipapar medan magnet ELF).</p> <p>c. Mengukur pH Mengukur pH pada <i>greencoffe</i> robusta dengan menggunakan pH meter, yang diukur merupakan larutan hasil fermentasinya.</p> <p>d. Mengukur DHL Mengukur daya hantar listrik pada <i>greencoffe</i> robusta dengan menggunakan <i>Electorcity meter</i>, yang diukur merupakan larutan hasil fermentasinya.</p>	<p>diperoleh kemudian dijumlahkan dan dirata-rata untuk interpretasi data.</p> <p>b. Untuk mengetahui daya hantar listrik pada <i>greencoffe</i> robusta dengan mendeskripsikan hasil dari pengukuran <i>Electorcity meter</i>. Pengukuran dilakukan dengan cara menusukkan ujung sensor pada probe ke <i>greencoffe</i> robusta yang telah siap diuji daya hantar listriknya</p>

JUDUL	TUJUAN PENELITIAN	VARIABEL	DATA DAN TEKNIK PENGAMBILAN DATA	METODE PENELITIAN
				(DHL). Nilai DHL <i>greencoffe</i> robusta dapat dibaca langsung pada layar <i>Electrocity meter</i> . Data yang diperoleh kemudian dijumlahkan dan dirata-rata untuk interpretasi data.

LAMPIRAN 2. SURAT IZIN PENELITIAN

	KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI	
	UNIVERSITAS JEMBER	
	FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN	
	JURUSAN PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN IPA	
	PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA	
	Jalan Kalimantan No.37 Kampus Tegalboto Kotak Pos 162 Telp/Fax: (0331)334988, JEMBER	
Nomor	:	Jember, 21 Juli 2019
Lampiran	:	1
Hal	:	Permohonan Ijin Pemakaian Bahan
Kepada Yth :		
Yth. Kepala Laboratorium P.Fisika FKIP UNEJ		
Di Jember		
Dengan Hormat,		
Yang bertanda tangan di bawah ini :		
Nama	:	Muhammad Adibu Khoiril Anam
NIM	:	160210102068
Program / Jurusan	:	Pendidikan Fisika/Pendidikan MIPA
Tingkat / Semester	:	3/Semester 7
Bermaksud menggunakan bahan laboratorium (keterangan terlampir pada bon pinjam) untuk keperluan Tugas Akhir / Micro Teaching / PPL / Penelitian / lain-lain ^{*)} dengan judul :		
Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF (<i>Extremely Low Frequency</i>) Terhadap Peningkatan pH dan Daya Hantar Listrik dalam Proses Fermentasi Greencoffe Robusta		
Rencananya akan dilaksanakan pada :		
Hari	:	Senin – Jum'at
Tanggal	:	22 Juli 2019 s/d 26 Juli 2019
Demikian surat permohonan pemakaian bahan ini saya buat. Atas perhatian dan bantuannya saya ucapkan terima kasih.		
Mengetahui, Dosen Pembimbing		Pemohon,
		
<u>Dr. Sudarti M. Kes</u> NIP. 196201231988022001		<u>Muhammad Adibu Khoiril Anam</u> NIM. 160210102068
*)coret yang tidak perlu		



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
JURUSAN PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN IPA
PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
Jalan Kalimantan No.37 Kampus Tegalboto Kotak Pos 162 Telp/Fax:(0331)334988, JEMBER

Lampiran :

No.	Nama Bahan	Kode / Spesifikasi	Qty.	Ket.
1.	Neraca Digital (1)			
2.	Beaker Glass 250 mL (1)			
3.	Gelas Ukur Ukuran 10 mL (1)			
4.	Gelas Ukur Ukuran 25 mL (1)			

LAMPIRAN 3. FOTO KEGIATAN PENELITIAN

Gambar 1. Sampel kopi *green coffee* setelah proses pemberian enzim α -amilase



Gambar 2. Pemaparan medan magnet ELF pada sampel kopi *green coffee* yang difermentasi



Gambar 3. Pengukuran nilai pH *green coffee robusta*



Gambar 4. Pengukuran daya hantar listrik *green coffee robusta*

LAMPIRAN 4. DATA HASIL PENELITIAN

a. Data nilai pH pada proses fermentasi *green coffee* robusta jam ke-16

Kontrol	200 μ T 45'	200 μ T 60'	300 μ T 45'	300 μ T 60'
5,2	5,1	4,7	4,8	4,6
4,9	5,3	4,7	4,9	4,9
4,8	5,0	4,8	4,6	5,0
5,0	5,3	4,8	4,7	5,2
5,4	5,2	5,0	5,0	5,1
4,9	4,9	5,0	4,8	4,7
5,3	5,1	5,0	4,7	5,3
5,2	5,0	5,1	4,7	5,1
5,2	5,3	5,1	4,9	5,0
5,1	5,13	4,91	4,78	4,98

b. Data nilai pH pada proses fermentasi *green coffee* robusta jam ke-24

Kontrol	200 μ T 45'	200 μ T 60'	300 μ T 45'	300 μ T 60'
4,8	4,7	5,1	5,3	4,7
4,9	5,2	5,1	5,4	4,9
5,0	4,8	5,1	5,2	4,6
4,7	5,1	5,3	5,0	5,2
5,3	5,3	5,2	5,3	4,8
5,2	4,9	5,3	5,4	5,0
4,8	5,0	5,1	5,4	5,4
4,9	5,2	5,2	5,4	5,4
5,1	4,8	5,3	5,0	5,0
4,96	5,0	5,16	5,26	5,0

c. Data nilai pH pada fermentasi *green coffee* robusta jam ke-32

Kontrol	200 μ T 45'	200 μ T 60'	300 μ T 45'	300 μ T 60'
4,7	4,8	4,5	5,1	4,6
4,7	4,5	4,5	4,8	4,8
4,6	4,5	4,4	4,6	4,5
5,2	4,7	4,5	5,2	4,9
4,5	4,9	4,7	5,3	5,0
4,8	4,6	4,9	4,6	5,1
4,9	4,8	4,8	4,7	5,3
5,1	4,9	4,5	5,3	4,8
5,0	5,1	4,4	4,8	4,7
4,83	4,75	4,57	4,93	4,85

d. Data nilai pH pada fermentasi *green coffee* robusta jam ke-48

Kontrol	200 μ T 45'	200 μ T 60'	300 μ T 45'	300 μ T 60'
4,6	4,1	4,3	4,5	4,4
4,4	4,3	4,5	4,6	4,3
4,6	4,3	4,8	4,5	4,6
4,8	4,1	4,9	4,3	4,3
4,7	4,3	4,5	4,8	4,5
5,0	4,7	4,3	5,0	4,9
4,5	4,7	4,9	4,9	4,4
4,7	4,4	4,7	4,7	4,6
5,0	4,6	4,5	4,9	5,0
4,7	4,38	4,6	4,68	4,55

e. Data nilai DHL pada fermentasi *green coffee* robusta jam ke-16

Kontrol	200 μ T 45'	200 μ T 60'	300 μ T 45'	300 μ T 60'
12468	13554	13174	12358	11430
14818	12140	12358	13174	10812
15620	10876	11724	12580	11430
12418	12554	13374	12158	11410
14868	10140	12758	12574	10832
15680	13876	11124	12380	11440
12868	13154	13178	12350	11830
14618	12840	12354	13178	10412
15420	10576	11722	12584	11530
14308,67	12190	12418,44	12704	11236,22

f. Data nilai DHL pada fermentasi *green coffee* robusta jam ke-24

Kontrol	200 μ T 45'	200 μ T 60'	300 μ T 45'	300 μ T 60'
13174	13195	13956	14670	13090
14522	11724	13554	11724	13730
12922	12120	12808	12848	12616
13182	11713	13906	14620	13030
14524	12142	13554	11784	13710
12933	13254	12868	12878	12696
13134	11644	13908	14674	13096
14572	12140	13556	11728	13731
12922	13183	12864	12840	12610
13542,78	12346,11	13441,56	13085,11	13145,44

g. Data nilai DHL pada fermentasi *green coffee* robusta jam ke-32

Kontrol	200 μ T 45'	200 μ T 60'	300 μ T 45'	300 μ T 60'
13864	14140	13868	13764	13590
12388	12968	14002	14782	13864
13214	12848	14130	13090	13468
13264	14830	13408	13794	13884
12888	12168	14432	14762	13478
13314	12948	13760	13080	13890
13814	14160	13860	13762	13464
12368	12948	14008	14780	13568
13284	12858	13732	13094	13560
13155,33	13318,67	13911,11	13878,67	13640,67

h. Data nilai DHL pada fermentasi *green coffee* robusta jam ke-48

Kontrol	200 μ T 45'	200 μ T 60'	300 μ T 45'	300 μ T 60'
12590	14690	12468	14002	13550
14864	15092	15026	13136	13904
13468	14590	15140	14228	13468
13490	14490	13068	14032	13560
12564	14692	15126	13126	13954
14868	14190	14440	14208	13408
13560	15690	13460	14202	13554
13984	1492	15028	13036	13908
13378	13490	14146	14128	13460
13640	14568,44	14211,33	13788,67	13640,67