

**PENGARUH PAPARAN MEDAN MAGNET TERHADAP  
PERTUMBUHAN BAKTERI *Lactobacillus acidophilus*, DERAJAT  
KEASAMAN (pH), KADAR LEMAK, DAN PROTEIN SUSU SAPI**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**SYIFA' INDANA**  
**NIM. 19640036**



**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2023**

**HALAMAN PENGANTAR**

**PENGARUH PAPARAN MEDAN MAGNET TERHADAP  
PERTUMBUHAN BAKTERI *Lactobacillus acidophilus*, DERAJAT  
KEASAMAN (pH), KADAR LEMAK, DAN PROTEIN SUSU SAPI**

**SKRIPSI**

**Diajukan kepada:  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang  
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:  
SYIFA' INDANA  
NIM. 19640036**

**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2023**

HALAMAN PERSETUJUAN

PENGARUH PAPARAN MEDAN MAGNET TERHADAP PERTUMBUHAN  
BAKTERI *Lactobacillus acidophilus*, DERAJAT KEASAMAN (pH), KADAR  
LEMAK, DAN PROTEIN SUSU SAPI

SKRIPSI

Oleh:  
Syifa' Indana  
NIM. 19640036

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji  
Pada tanggal, 08 Juni 2023

Pembimbing I



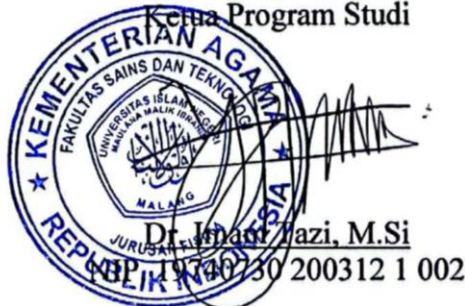
Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes  
NIP. 19750808 199903 1 003

Pembimbing II



Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si  
NIDT. 19870215 20180201 2 233

Mengetahui,  
Kepada Program Studi



Dr. Indani Izzati, M.Si  
NIP. 19740730 200312 1 002





## HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH PAPARAN MEDAN MAGNET TERHADAP PERTUMBUHAN BAKTERI *Lactobacillus acidophilus*, DERAJAT KEASAMAN (pH), KADAR LEMAK, DAN PROTEIN SUSU SAPI

### SKRIPSI

Oleh:  
Syifa' Indana  
NIM. 19640036

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji  
Dan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Pada Tanggal, 08 Juni 2023

Penguji Utama	<u>Dr. H. Mokhammad Tirono, M.Si</u> NIP. 19641211 199111 1 001	
Ketua Penguji	<u>Ahmad Luthfin, S.Si, M.Si</u> NIP. 19860504 201903 1 009	
Sekretaris Penguji	<u>Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes</u> NIP. 19750808 199903 1 003	
Anggota Penguji	<u>Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si</u> NIDT. 19870215 20180201 2 233	

Mengesahkan,  
Kepala Program Studi



Imam Tazi, M.Si  
NIP. 19740730 200312 1 002

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : SYIFA' INDANA  
NIM : 19640036  
Jurusan : FISIKA  
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI  
Judul Penelitian : Pengaruh Paparan Medan Magnet Terhadap Pertumbuhan Bakteri *Lactobacillus acidophilus*, Derajat Keasaman (pH), Kadar Lemak dan Protein Susu Sapi

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur – unsur jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 18 Juni 2023  
Yang Membuat Pernyataan

  
Syifa Indana  
NIM. 19640036

## **MOTTO**

All big things come from small beginnings

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

- Kedua orang tua saya, Agus Budi Harjo dan Endang Kusmiati yang selalu mendoakan, memberi motivasi, kasih sayang, dan *support* untuk putrinya
- Adik saya, Fitri yang selalu memberi doa dan semangat
- Diri saya sendiri Syifa' Indana, jangan puas hanya karena telah sampai disini, *you got dreams to chase*
- Bapak Agus Mulyono, M.Kes dan Ibu Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si, terima kasih atas segala bantuan, bimbingan, dan motivasi
- Mak Tik yang selalu menghibur saya dengan masakan enaknyanya saat di Probolinggo
- Mbah Kus Ahmad, dan seluruh keluarga besar di Probolinggo dan di Besuki, terima kasih atas doa dan dukungannya
- Hanif, Ulfa, Nindia, Imala, Defy, Eva, dan seluruh teman-teman saya, terima kasih telah menemani dan memberi semangat
- Taylor Swift, terima kasih atas karya lagu-lagunya yang telah menemani dan menghibur saat mengerjakan skripsi

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT. Dengan rahmat dan hidayah dari Allah SWT, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Pengaruh Paparan Medan Magnet Terhadap Pertumbuhan Bakteri *Lactobacillus acidophilus*, Derajat Keasaman (pH), Kadar Lemak dan Protein Susu Sapi". Penulis juga mengucapkan shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW., para sahabat, dan seluruh umat Islam yang mengikuti jejaknya.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dari Program Studi Fisika UIN Malang. Skripsi ini disusun dengan tujuan untuk memberikan kontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pangan di bidang fisika. Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak yang telah membantu, memberi pengarahan, bimbingan supaya skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik, khususnya kepada;

1. Allah SWT dengan segala nikmat-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
2. Ibu dan Ayah penulis yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan bagi putri mereka dalam segala hal.
3. Prof. Dr. M. Zainuddin MA, selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Dr. Imam Tazi, M.Si, selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.



6. Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes dan Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si selaku Dosen Pembimbing Skripsi.
7. Dr. Mokhammad Tirono, M.Si dan Ahmad Luthfin, S.Si, M.Si selaku dewan penguji skripsi.
8. Arista, M.Sc selaku dosen wali yang selalu memberi bimbingan, motivasi, ilmu pengetahuan, dan arahan.
9. Seluruh jajaran dosen, laboran, dan admin Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
10. Sahabat-sahabat serta teman dekat yang telah membantu dan memberikan semangat saat proses penulisan skripsi.
11. Semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penulisan skripsi ini.

Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan yang telah diberikan dengan pahala yang berlipat ganda, baik di dunia maupun di akhirat. Saya berharap bahwa skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan penulis, serta memberikan kontribusi yang positif bagi perkembangan ilmu pengetahuan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat konstruktif untuk kemajuan bersama.

Malang, 18 Juni 2023

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGAJUAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>MOTTO</b> .....	<b>vi</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xiv</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xvi</b>
<b>المخلص البحث</b> .....	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
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
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA</b> .....	<b>8</b>
2.1 Medan Magnet .....	8
2.1.1 Medan Magnet dari Kumpanan Helmholtz .....	12
2.1.2 Interaksi Medan Magnet dengan Susu Sapi .....	19
2.1.3 Pengaruh Medan Magnet Terhadap Bakteri <i>Lactobacillus acidophilus</i> 20	
2.2 Susu Sapi .....	22
2.3 Bakteri <i>Lactobacillus acidophilus</i> pada Susu Sapi .....	24
2.4 Derajat Keasaman (pH) Susu Sapi .....	26
2.5 Kadar Lemak Susu Sapi .....	28
2.6 Kadar Protein Susu Sapi .....	28
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>31</b>
3.1 Jenis Penelitian .....	31
3.2 Rancangan Percobaan .....	31
3.3 Variabel .....	32
3.4 Waktu dan Tempat Pelaksanaan .....	32
3.5 Alat dan Bahan .....	32
3.6 Diagram Alir Penelitian .....	34
3.7 Prosedur Penelitian .....	35
3.7.1 Tahap Persiapan .....	35
3.7.2 Tahap Perlakuan .....	35
3.7.3 Tahap Penyimpanan .....	35
3.7.4 Uji Jumlah Bakteri <i>Lactobacillus acidophilus</i> .....	36
3.7.5 Uji pH (Derajat Keasaman) .....	37

3.7.6 Uji Kadar Lemak .....	38
3.7.7 Uji Kadar Protein .....	38
3.7.8 Pengolahan Data .....	41
3.7.9 Analisis Data .....	45
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>46</b>
4.1 Data Hasil Penelitian .....	46
4.1.1 Pengaruh Kerapatan Fluks Magnet dan Lama Paparan Medan Magnet terhadap Jumlah Bakteri <i>Lactobacillus acidophilus</i> .....	46
4.1.2 Pengaruh Kerapatan Fluks Magnet dan Lama Paparan Medan Magnet terhadap pH Susu .....	52
4.1.3 Pengaruh Kerapatan Fluks Magnet dan Lama Paparan Medan Magnet terhadap Kadar Lemak Susu Sapi.....	58
4.1.4 Pengaruh Kerapatan Fluks Magnet dan Lama Paparan Medan Magnet terhadap Kadar Protein Susu Sapi .....	62
4.2 Pembahasan .....	66
4.2.1 Pengaruh Kerapatan Fluks Magnet dan Lama Paparan Medan Magnet terhadap Jumlah Bakteri <i>Lactobacillus acidophilus</i> .....	66
4.2.2 Pengaruh Kerapatan Fluks Magnet dan Lama Paparan Medan Magnet terhadap pH Susu .....	71
4.2.3 Pengaruh Kerapatan Fluks Magnet dan Lama Paparan Medan Magnet terhadap Kadar Lemak Susu Sapi.....	73
4.2.4 Pengaruh Kerapatan Fluks Magnet dan Lama Paparan Medan Magnet terhadap Kadar Protein Susu Sapi .....	76
4.3 Integrasi dengan Al-Qur'an .....	78
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>80</b>
5.1 Kesimpulan.....	80
5.2 Saran .....	80
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>82</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>88</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Kumparan helmholtz .....	14
<b>Gambar 2.2</b> Geometri untuk menghitung medan magnet di titik P yang terletak pada sumbu arus. Secara simetri, total medan B berada di sepanjang sumbu .....	15
<b>Gambar 2.3</b> Kumparan helmholtz dengan jarak l.....	16
<b>Gambar 2.4</b> Bakteri <i>Lactobacillus acidophilus</i> .....	25
<b>Gambar 4.1</b> Grafik pengaruh lama paparan terhadap jumlah koloni bakteri <i>Lactobacillus acidophilus</i> .....	48
<b>Gambar 4.2</b> Grafik pengaruh kerapatan fluks magnet terhadap jumlah koloni bakteri <i>Lactobacillus acidophilus</i> .....	49
<b>Gambar 4.3</b> Grafik pengaruh lama paparan medan magnet terhadap pH susu ...	54
<b>Gambar 4.4</b> Grafik pengaruh kerapatan fluks magnet terhadap pH susu sapi ....	55
<b>Gambar 4.5</b> Diagram pengaruh lama paparan terhadap kadar lemak susu sapi ..	60
<b>Gambar 4.6</b> Diagram pengaruh kerapatan fluks magnet terhadap kadar lemak susu sapi.....	61
<b>Gambar 4.7</b> Diagram pengaruh lama paparan terhadap kadar protein susu sapi	64
<b>Gambar 4.8</b> Diagram pengaruh kerapatan fluks magnet terhadap kadar protein susu sapi.....	64

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Kandungan gizi susu sapi .....	24
<b>Tabel 3.1</b> Kombinasi perlakuan (kerapatan fluks magnet dan lama paparan medan magnet) .....	31
<b>Tabel 3.2</b> Tabel uji jumlah koloni bakteri .....	41
<b>Tabel 3.3</b> Tabel uji pH susu.....	42
<b>Tabel 3.4</b> Tabel uji kadar lemak .....	43
<b>Tabel 3.5</b> Tabel uji kadar protein .....	44
<b>Tabel 4.1</b> Data pengaruh kerapatan fluks magnet dan lama paparan medan magnet terhadap jumlah bakteri <i>Lactobacillus acidophilus</i> .....	46
<b>Tabel 4.2</b> Hasil analisis faktorial pada jumlah koloni bakteri <i>Lactobacillus acidophilus</i> .....	50
<b>Tabel 4.3</b> Hasil uji DMRT lama paparan terhadap jumlah koloni bakteri <i>Lactobacillus acidophilus</i> .....	50
<b>Tabel 4.4</b> Hasil uji DMRT kerapatan fluks magnet terhadap jumlah koloni bakteri <i>Lactobacillus acidophilus</i> .....	51
<b>Tabel 4.5</b> Data pengaruh kerapatan fluks magnet dan lama paparan medan magnet terhadap pH susu sapi .....	53
<b>Tabel 4.6</b> Hasil analisis faktorial pada pH susu sapi .....	56
<b>Tabel 4.7</b> Hasil uji DMRT lama paparan terhadap pH susu sapi .....	56
<b>Tabel 4.8</b> Hasil uji DMRT kerapatan fluks magnet terhadap pH susu sapi .....	57
<b>Tabel 4.9</b> Data pengaruh kerapatan fluks magnet dan lama paparan medan magnet terhadap kadar lemak susu sapi .....	59
<b>Tabel 4.10</b> Hasil analisis faktorial pada kadar lemak susu sapi .....	61
<b>Tabel 4.11</b> Data pengaruh kerapatan fluks magnet dan lama paparan medan magnet terhadap kadar protein susu sapi.....	63
<b>Tabel 4.12</b> Hasil analisis faktorial pada kadar protein susu sapi.....	65

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar Penelitian.....	73
Lampiran 2. Hasil Analisis Uji Faktorial.....	74
Lampiran 3. Hasil Uji Lanjutan DMRT.....	76

## ABSTRAK

Indana, Syifa'. 2023. **Pengaruh Paparan Medan Magnet terhadap Pertumbuhan Bakteri *Lactobacillus acidophilus*, Derajat Keasaman (pH), Kadar Lemak dan Protein Susu Sapi**. Skripsi. Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes (II) Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si

---

**Kata Kunci:** medan magnet, bakteri, pH, kadar lemak, kadar protein

Susu memiliki masa simpan yang relatif rendah dan mudah rusak. Salah satu penyebab kerusakan adalah pertumbuhan bakteri patogen dalam susu. Susu rusak juga dapat disebabkan oleh proses pengolahannya. Bakteri *Lactobacillus acidophilus* terbukti efektif sebagai antibakteri terhadap patogen. Medan magnet dapat menjaga kandungan gizi susu karena memiliki sifat non-thermal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kerapatan fluks magnetik dan lama paparan yang menghasilkan pertumbuhan optimum bakteri *Lactobacillus acidophilus* serta efeknya terhadap pH, kadar lemak, dan kadar protein susu fermentasi. Sampel penelitian adalah susu yang difermentasi dengan bakteri *Lactobacillus acidophilus*. Paparan yang diberikan menggunakan medan magnetik dengan kerapatan fluks magnet sebesar 0.1 mT, 0.2 mT, 0.3 mT, 0.4 mT, dan 0.5 mT untuk masing-masing rentang waktu 0-20 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pertumbuhan bakteri optimum terjadi pada sampel yang terpapar medan magnet sebesar 0.2 mT selama 5 menit. Sementara itu, penghambatan pertumbuhan bakteri terjadi pada paparan medan magnet sebesar 0.3 mT, 0.4 mT, dan 0.5 mT. Selain itu, ditemukan bahwa pH terendah diperoleh pada susu yang terpapar medan magnet sebesar 0.2 mT selama 5 menit. Medan magnet tidak memberi pengaruh yang signifikan terhadap kadar lemak dan kadar protein. Jumlah koloni bakteri *Lactobacillus acidophilus* yang meningkat menyebabkan pH susu menurun.

## ABSTRACT

Indana, Syifa'. 2023. **The Effect of Magnetic Field Exposure on the Growth of *Lactobacillus acidophilus* Bacteria, Acidity (pH), Fat and Protein Content of Cow's Milk**. Thesis. Physics Study Program, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University Malang. Supervisor: (I) Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes (II) Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si

---

**Keywords:** magnetic field, bacteria, pH, fat content, protein content

Milk has a relatively low shelf life and spoils easily. One of the causes of damage is the growth of pathogenic bacteria in milk. Spoiled milk can also be caused by its processing. The bacterium *Lactobacillus acidophilus* proved effective as an antibacterial against pathogens. The magnetic field can maintain the nutritional content of milk because it has non-thermal properties. This study aims to determine the magnetic flux density and duration of exposure that results in optimal growth of *Lactobacillus acidophilus* bacteria and their effects on pH, fat content, and protein content of fermented milk. The study sample was milk fermented with *Lactobacillus acidophilus* bacteria. The exposure provided uses a magnetic field with magnetic flux densities of 0.1 mT, 0.2 mT, 0.3 mT, 0.4 mT, and 0.5 mT for each time span of 0-20 minutes. The results showed that optimal bacterial growth occurred in samples exposed to a magnetic field of 0.2 mT for 5 minutes. Meanwhile, inhibition of bacterial growth occurs in exposure to magnetic fields of 0.3 mT, 0.4 mT, and 0.5 mT. In addition, it was found that the lowest pH was obtained in milk exposed to a magnetic field of 0.2 mT for 5 minutes. The magnetic field does not have a significant effect on fat content and protein content. The increased number of colonies of *Lactobacillus acidophilus* bacteria causes the pH of milk to decrease.



## الملخص البحث

إندانا، سيفاً. 2023. تأثير التعرض للمجال المغناطيسي على نمو بكتيريا اللاكتوباسيلوس أسيدوفيلوس، درجة الحموضة ، مستوى الدهون والبروتين في حليب البقر. رسالة بكالوريوس. برنامج الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة (pH) إسلامية نيجيريا مولانا مالك إبراهيم مالانغ. المشرفون: (الأول) الدكتور أغوس مولونو، ماجستير في العلوم الصحية (الثاني) ويويس ساسميتانينغهيدياه، ماجستير في العلوم

الكلمات المفتاحية: المجال المغناطيسي، البكتيريا، الحموضة، مستوى الدهون، مستوى البروتين

الحليب له مدة صلاحية منخفضة نسبياً ويفسد بسهولة. أحد أسباب الضرر هو نمو البكتيريا المسببة للأمراض في الحليب. يمكن أيضاً أن يكون سبب الحليب الفاسد معالجته. أثبتت بكتيريا *Lactobacillus acidophilus* فعاليتها كمضاد للبكتيريا ضد مسببات الأمراض. يمكن للمجال المغناطيسي الحفاظ على المحتوى الغذائي للحليب لأنه يحتوي على خصائص غير حرارية تهدف هذه الدراسة إلى تحديد كثافة التدفق المغناطيسي ومدة التعرض التي تؤدي إلى النمو الأمثل لبكتيريا *Lactobacillus acidophilus* وتأثيراتها على درجة الحموضة ومحتوى الدهون ومحتوى البروتين في الحليب المخمر. كانت عينة الدراسة عبارة عن حليب مخمر ببكتيريا *Lactobacillus acidophilus*. يستخدم التعرض المقدم مجالا مغناطيسيا بكثافة تدفق مغناطيسي تبلغ 0.1 mT و 0.2 mT و 0.3 mT و 0.4 mT و 0.5 mT لكل فترة زمنية من 0-20 دقيقة. أظهرت النتائج أن النمو البكتيري الأمثل حدث في العينات المعرضة لمجال مغناطيسي 0.2 mT لمدة 5 دقائق. وفي الوقت نفسه ، يحدث تثبيط نمو البكتيريا في التعرض للمجالات المغناطيسية من 0.3 mT و 0.4 mT و 0.5 mT. بالإضافة إلى ذلك ، وجد أنه تم الحصول على أدنى درجة حموضة في الحليب المعرض لمجال مغناطيسي يبلغ 0.2 mT لمدة 5 دقائق. المجال المغناطيسي ليس له تأثير كبير على محتوى الدهون ومحتوى البروتين. يؤدي زيادة عدد مستعمرات بكتيريا *Lactobacillus acidophilus* إلى انخفاض درجة حموضة الحليب.

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Medan magnet adalah suatu daerah di sekitar magnet yang dipengaruhi oleh gaya magnet. Medan magnet diciptakan oleh muatan listrik yang bergerak, seperti pada inti atom, elektron atau magnet permanen (Sari et al., 2018). Selain itu, medan magnet dapat terbentuk akibat pergerakan partikel bermuatan seperti elektron. Medan magnet yang kuat dapat dihasilkan oleh kumparan yang dilalui oleh arus listrik yang cukup besar. Medan magnet juga memiliki kemampuan untuk menembus benda atau bahan tanpa mengionisasi atau meningkatkan suhu bahan tersebut. Oleh karena itu, paparan medan magnet dianggap sebagai sifat non-pengion dan non-termal, yang artinya medan magnet tidak dapat menimbulkan efek pengion pada atom-atom bahan, dan tidak menyebabkan peningkatan suhu melalui interaksi atau induksi dengan bahan tersebut (Amanda, 2019). Karena sifatnya, medan magnet dapat digunakan di berbagai bidang termasuk pertanian, kesehatan, dan pangan, terutama sebagai aplikasi ketahanan pangan.

Beberapa penelitian yang relevan dengan medan magnet dalam bidang pangan antara lain penelitian (Tirono, 2022a) yang menunjukkan bahwa susu yang dipapari medan magnet 0,2 mT selama 5 menit dapat meningkatkan pertumbuhan bakteri asam laktat, sehingga konsentrasi asam laktat menjadi tinggi dan pH menurun. Diketahui bahwa medan magnet meningkatkan kecepatan gerak ion pada membran sel, sehingga dapat meningkatkan aktivitas metabolisme bakteri (Sumardi, 2019). Ketika jumlah bakteri asam laktat tinggi, bakteri patogen mengalami penghambatan pertumbuhan karena bakteri patogen tidak dapat hidup

dalam lingkungan dengan derajat keasaman (pH) yang rendah (Ayechu-Muruzabal et al., 2021). Setelah diberi perlakuan medan magnet, kandungan protein susu tidak mengalami perubahan yang signifikan. Pada perlakuan selama 60 detik, kandungan protein susu menurun sedikit dari 2,83% menjadi 2,78%. Sedangkan pada perlakuan selama 120 detik, kandungan protein susu menurun menjadi 2,73% (Rahayu, 2017). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa perlakuan medan magnet pada susu sapi dapat meningkatkan pertumbuhan bakteri asam laktat dan menghambat pertumbuhan bakteri patogen seperti E. coli dan Staphylococcus aureus. Selain itu, medan magnet dapat menjaga kandungan nutrisi yang ada di dalam susu, sehingga banyak peneliti yang tertarik untuk mempelajari pengaruh medan magnet terhadap makanan yang mudah rusak, salah satunya adalah susu sapi.

Susu sapi merupakan minuman alami kaya nutrisi yang berperan penting dalam pertumbuhan manusia. Kandungan nutrisi dalam susu sapi yang dibutuhkan oleh tubuh sangatlah banyak, beberapa diantaranya adalah protein dan lemak. Pada Qur'an Surah Al-Mu'minin [23] ayat 21, Allah berfirman:

وَإِنَّ لَكُمْ فِي الْأَنْعَامِ لَعِبْرَةً نُسْقِيكُمْ مِمَّا فِي بُطُونِهَا وَلَكُمْ فِيهَا مَنَافِعُ كَثِيرَةٌ وَمِنْهَا تَأْكُلُونَ

Artinya: *"Dan sungguh pada hewan-hewan ternak terdapat suatu pelajaran bagimu. Kami memberi minum kamu dari (air susu) yang ada dalam perutnya, dan padanya juga terdapat banyak manfaat untukmu, dan sebagian darinya kamu makan,"* [QS. Al-Mu'minin 23:21]

Qur'an Surah Al-Mu'minin ayat 21 berisi tentang hewan ternak, susu, konsumsi, dan hewan (Jaelani et al., 2017). Tafsir menurut Syaikh Dr. Muhammad Sulaiman Al-Asyqar dalam kitab Zubdatut Tafsir Min Fathil Qadir mengenai ayat diatas adalah sebagai berikut;

1. **وَأِنَّ لَكُمْ فِي الْأَنْعَامِ لَعِبْرَةً** yang bermakna (dan sesungguhnya pada binatang-binatang ternak, benar-benar terdapat pelajaran bagi kamu). Ciptaan dan perilakunya dapat dijadikan sebagai tanda kekuasaan Allah yang besar.

2. **نُسَوِّقُكُمْ مِمَّا فِي بُطُونِهَا** yang bermakna (kami memberi minum kamu dari apa yang ada di dalam perutnya), yakni berupa air susunya.

3. **وَأَنَّكُمْ فِيهَا مَنَافِعُ كَثِيرَةٌ** yang bermakna (dan juga pada binatang-binatang ternak itu terdapat faedah yang banyak untuk kamu), seperti ketika untuk menunggangi kuda, untuk beternak, dan untuk diambil bulu dan rambutnya.

Susu sapi dapat diolah dengan berbagai cara, salah satunya adalah dengan cara difermentasi. Susu fermentasi merupakan susu yang telah diolah melalui proses fermentasi oleh bakteri asam laktat (BAL). Proses fermentasi ini dapat menghasilkan produk akhir yang lebih mudah dicerna oleh tubuh. Selain itu, susu fermentasi juga dapat meningkatkan keawetan produk dan menghambat pertumbuhan bakteri patogen, sehingga membuat produk menjadi lebih aman untuk dikonsumsi. Kualitas susu fermentasi yang baik berdasarkan SNI (Standar Nasional Indonesia) adalah susu yang memiliki nilai pH 3.8-4.6 (Ningsih et al., 2018), kadar lemak maksimum 3.8% dan kadar protein minimum 3.2% (Zakaria, 2019). Mutu susu fermentasi yang baik adalah susu yang memiliki jumlah bakteri baik yang tinggi sehingga hal tersebut dapat menghambat pertumbuhan bakteri patogen (Ayechu-Muruzabal et al., 2021).

Susu dapat dinikmati oleh berbagai kalangan usia, karena kandungan nutrisinya yang sangat baik untuk pertumbuhan dan kesehatan tubuh. Anak-anak membutuhkan susu untuk pertumbuhan tulang dan gigi, sedangkan orang dewasa membutuhkan susu untuk menjaga kesehatan tulang, gigi, serta untuk menjaga

kesehatan jantung dan pembuluh darah. Oleh karena itu, susu menjadi salah satu makanan yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari. Namun, susu memiliki masa simpan relatif rendah sehingga susu tidak dapat dibiarkan dalam waktu yang lama. Susu sapi memiliki waktu simpan yang terbatas apabila berada pada suhu ruang dan dapat terkontaminasi bakteri. Susu yang disimpan pada suhu ruang akan rusak setelah 14 jam (Richardson et al., 2020).

Pembusukan susu dapat dicirikan dengan perubahan rasa, tekstur, dan warna sehingga tidak layak untuk dikonsumsi. Karakteristik lain yang dapat menggambarkan kualitas susu adalah sifat kimianya, yakni derajat keasaman (pH). Menurut (Tirono, 2022a), kandungan asam laktat dan pH erat kaitannya dengan jumlah koloni bakteri *Lactobacillus acidophilus*. Bakteri asam laktat dapat mengubah laktosa dalam susu menjadi asam laktat, yang dapat menurunkan pH susu sapi segar. Semakin banyak bakteri yang ada, semakin tinggi konsentrasi asam laktat yang dihasilkan, sehingga pH susu semakin turun dan menjadi lebih asam. Proses ini merupakan bagian dari proses fermentasi, yang dapat meningkatkan kandungan bakteri baik dalam susu (Muharromah et al., 2018). Permasalahan susu sapi segar adalah masa simpan yang relatif rendah. Selain masa simpan yang relatif rendah, permasalahan lain yang berkaitan dengan susu sapi adalah cara pengolahannya. Susu yang diolah dengan cara tidak tepat dapat merusak kandungan yang ada dalam susu. Pengolahan susu seperti pengawetan dengan metode termal dapat mengurangi dan merusak kandungan nutrisi yang ada dalam susu, seperti kandungan lemak dan protein (Muharromah, 2018).

Berdasarkan permasalahan di atas, dibutuhkan pengolahan susu sapi yang efektif dengan tujuan untuk meningkatkan jumlah bakteri *Lactobacillus*

*acidophilus*, serta mencapai nilai pH, kadar lemak, dan kadar protein yang sesuai dengan mutu susu fermentasi berdasarkan SNI (Standar Nasional Indonesia). Tidak hanya mengawetkan susu, tetapi juga dapat mempertahankan kandungan nutrisi yang ada di dalam susu sehingga kandungan nutrisi tidak rusak dan terbuang sia-sia. Permasalahan tersebut dapat diselesaikan dengan menggunakan medan magnet karena dapat meningkatkan jumlah bakteri baik seperti bakteri *Lactobacillus acidophilus* dan menurunkan jumlah bakteri patogen sehingga masa simpan susu menjadi lebih lama serta karena sifatnya yang non-termal sehingga nilai gizi yang ada dalam susu tetap terjaga. Maka dari itu, perlu dilakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Paparan Medan Magnet terhadap Pertumbuhan Bakteri *Lactobacillus acidophilus*, Derajat Keasaman (pH), Kadar Lemak dan Protein Susu Sapi”.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang, permasalahan yang akan diteliti dalam penelitian ini adalah sebagai berikut;

1. Bagaimana pengaruh kerapatan fluks magnet dan lama paparan medan magnet terhadap jumlah bakteri *Lactobacillus acidophilus* susu sapi?
2. Bagaimana pengaruh kerapatan fluks magnet dan lama paparan medan magnet terhadap derajat keasaman (pH) susu sapi?
3. Bagaimana pengaruh kerapatan fluks magnet dan lama paparan medan magnet terhadap kadar lemak susu sapi?
4. Bagaimana pengaruh kerapatan fluks magnet dan lama paparan medan magnet terhadap kadar protein susu sapi?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini antara lain;

1. Untuk mengetahui pengaruh kerapatan fluks magnet dan lama paparan medan magnet terhadap jumlah bakteri *Lactobacillus acidophilus* susu sapi.
2. Untuk mengetahui pengaruh kerapatan fluks magnet dan lama paparan medan magnet terhadap derajat keasaman (pH) susu sapi.
3. Untuk mengetahui pengaruh kerapatan fluks magnet dan lama paparan medan magnet terhadap kadar lemak susu sapi.
4. Untuk mengetahui pengaruh kerapatan fluks magnet dan lama paparan medan magnet terhadap kadar protein susu sapi.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut;

1. Sumber medan magnet yang dipakai dalam penelitian ini adalah kumparan Helmholtz.
2. Susu sapi yang digunakan dalam penelitian ini adalah susu sapi segar yang belum diolah dan belum diberi perlakuan.
3. Perlakuan yang dilakukan adalah pemberian paparan medan magnet dengan kerapatan fluks magnet 0,1 mT, 0,2 mT, 0,3 mT, 0,4 mT, dan 0,5 mT.
4. Data yang diambil adalah jumlah bakteri *Lactobacillus acidophilus*, pH, kadar lemak, dan kadar protein susu sapi yang dipengaruhi oleh kerapatan fluks magnet sebesar 0.1-0.5 mT dan lama paparan 0-20 menit.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut;

1. Memberi informasi terkait pengaruh paparan medan magnet terhadap pertumbuhan bakteri *Lactobacillus acidophilus*, pH, kadar lemak, dan kadar protein susu sapi.

2. Memberikan pandangan baru tentang potensi fermentasi susu sapi menggunakan medan magnet bagi masyarakat.
3. Berkontribusi dalam pengembangan ilmu teknologi, terutama teknologi ketahanan pangan, dengan tujuan meningkatkan pengawetan makanan dan minuman.



## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **2.1 Medan Magnet**

Medan magnet dihasilkan dari gerakan muatan listrik. Dua efek paling umum yang menghasilkan medan magnet adalah spin elektron dan pergerakan muatan. Beberapa atom, seperti pada besi dan nikel, memiliki ketidakseimbangan dalam total spin elektron di kulit elektronnya sehingga dapat memengaruhi sifat "magnetik" material itu sendiri. Muatan yang bergerak, seperti yang membentuk arus listrik, juga dapat menghasilkan medan magnet (Sari et al., 2018).

Besaran kuat medan magnet diukur dengan menggunakan satuan ampere per meter (A/m) sedangkan besaran kerapatan fluks magnet menggunakan satuan mikrottesla ( $\mu\text{T}$ ). Medan magnet dihasilkan ketika suatu perangkat dihidupkan atau saat arus listrik mengalir melaluinya. Semakin besar arus yang mengalir, maka semakin besar pula medan magnetnya (Mardhika Wulansari, Sudarti, 2017). Terdapat perbedaan yang mencolok antara medan magnet dan medan listrik, di mana medan magnet dapat menembus bangunan dan kabel tanpa terhalang, sehingga dapat menyebar ke dalam jaringan dan bangunan dengan mudah. Sebaliknya, medan listrik dapat terhambat oleh benda atau bahan penghalang tertentu. Oleh karena itu, medan magnet memiliki sifat yang unik dan dapat digunakan dalam berbagai aplikasi teknologi dan ilmu pengetahuan (Mardhika Wulansari, Sudarti, 2017).

Kerapatan fluks magnet dilambangkan dengan  $B$  satuan Tesla dan kuat medan magnet dengan  $H$ . Pada penelitian ini, intensitas medan magnet mengacu pada kerapatan fluks magnet ( $B$ ), yang diukur dalam satuan Tesla. Selain satuan

Tesla, terdapat juga satuan Gauss yang dapat digunakan untuk mengukur intensitas medan magnet. Satuan Gauss ditemukan sebelum adanya satuan Tesla, dan seringkali masih digunakan dalam berbagai aplikasi, terutama dalam bidang industri. Satu Tesla sama dengan 10.000 Gauss, sehingga konversi antara satuan Tesla dan satuan Gauss dapat dilakukan dengan mudah (Munthe, Nugraha; Gultom et al., 2016).

Penelitian Oersted pada tahun 1820 menunjukkan bahwa medan magnet dapat tercipta saat arus listrik mengalir melalui sebuah penghantar. Oleh karena itu, semua perangkat elektronik yang menggunakan arus listrik untuk beroperasi, termasuk kabel listrik, motor listrik, dan perangkat elektronik lainnya, dapat menghasilkan medan magnet. Spektrum yang dihasilkan oleh medan magnet sangat luas, mencakup berbagai rentang frekuensi, mulai dari yang sangat rendah hingga yang sangat tinggi. Medan magnet dengan frekuensi yang sangat rendah, seperti medan magnet bumi, memiliki frekuensi kurang dari 3 Hz. Sedangkan medan magnet dengan frekuensi yang lebih tinggi, seperti medan magnet radio, memiliki frekuensi yang lebih tinggi dari 3 kHz (Sadidah et al., 2015).

Medan magnet memiliki sifat non-pengion dan non-termal, artinya medan magnet tidak dapat menyebabkan atom-atom dalam bahan menjadi terionisasi atau mengalami perubahan suhu dengan berinteraksi atau menginduksi bahan. Oleh karena itu, medan magnet seringkali dianggap sebagai metode yang lebih aman dalam berbagai aplikasi teknologi yang melibatkan medan magnet (Nuraini et al., 2018).

Sifat lain dari medan magnet adalah kemampuannya untuk dengan mudah menembus bahan atau material. Hal ini karena medan magnet tidak terhalang oleh

bahan atau material, sehingga dapat menembus berbagai jenis bahan (Amanda, 2019). Selain itu, medan magnet juga dapat dengan mudah diperoleh dengan menggunakan peralatan sederhana seperti kumparan yang dialiri arus listrik. Medan magnet dan medan listrik adalah dua jenis medan yang berbeda dan tidak saling tergantung satu sama lain. Kedua jenis medan ini dapat dihitung secara terpisah (Amanda, 2019). Dalam penelitian ini, kumparan Helmholtz digunakan sebagai sumber medan magnet. Kumparan Helmholtz terdiri dari dua buah kumparan yang ditempatkan pada jarak tertentu satu sama lain dan dialiri oleh arus listrik yang sama. Kumparan ini menghasilkan medan magnet yang homogen di antara keduanya dan sering digunakan dalam berbagai aplikasi penelitian yang membutuhkan medan magnet homogen, seperti dalam penelitian biologi atau fisika.

وَسَخَّرَ لَكُم مَّا فِي السَّمٰوٰتِ وَمَا فِي الْاَرْضِ جَمِيعًا مِّنْهُ ؕ اِنَّ فِيْ ذٰلِكَ لَاٰيٰتٍ لِّقَوْمٍ يَّتَفَكَّرُوْنَ

Artinya: “Dia telah menundukkan (pula) untukmu apa yang ada di langit dan apa yang ada di bumi semuanya (sebagai rahmat) dari-Nya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang berpikir.” [QS. Al-Jasiya:13]

Berdasarkan tafsir Zubdatut Tafsir Min Fathil Qadir, وَسَخَّرَ لَكُم مَّا فِي السَّمٰوٰتِ (Dan Dia telah menundukkan untukmu apa yang di langit dan apa yang di bumi semuanya, (sebagai rahmat) dari-Nya). Dengan kata lain, Tuhan menaklukkan semua makhluk-Nya seperti matahari, bulan, bintang, komet, hujan, awan, dan angin; dan makhluk di bumi. Semua itu merupakan anugrah Allah kepada hamba-hamba-Nya sebagai kenikmatan dan anugerah bagi mereka.

Allah berfirman bahwa Dia menyerahkan semua yang Dia ciptakan di surga dan di bumi untuk digunakan manusia. Ayat tersebut mengajarkan tentang bagaimana Allah SWT menundukkan langit dan bumi kepada manusia, sebagai

bentuk rahmat dan anugerah-Nya kepada makhluk-Nya. Alam semesta yang tercipta oleh Allah SWT memiliki sifat-sifat fisik yang merupakan bagian dari Sunatullah, atau ketentuan-Nya dalam menciptakan alam semesta. Salah satu contoh dari sifat fisik alam adalah kelistrikan, kemagnetan, elastisitas, dan kerapatan massa yang dimiliki oleh bumi. Sifat-sifat ini memungkinkan para ahli geosains untuk mempelajari dan memahami bumi bahkan di dalamnya, seperti mempelajari struktur bawah tanah atau mengidentifikasi sumber daya mineral yang tersembunyi. Selain itu, bumi juga memiliki inti yang bersifat cair di bagian luarnya, yang menciptakan medan magnet bumi yang kuat. Medan magnet ini memiliki peran penting dalam menjaga kelangsungan hidup di bumi, seperti melindungi atmosfer dari radiasi berbahaya yang berasal dari matahari. Dalam keseluruhan, sifat-sifat fisik alam semesta merupakan bagian dari ciptaan Allah SWT yang mampu memberikan manfaat dan kegunaan bagi manusia. Karena itu, kita sebagai umat manusia harus senantiasa bersyukur dan mempergunakan sifat-sifat tersebut dengan sebaik-baiknya untuk kepentingan dan kebaikan bersama.

Medan magnet berasal dari alam dan buatan manusia (Yulia, 2017). Contoh medan magnet yang terjadi secara alami adalah medan magnet yang berkaitan dengan peristiwa atmosfer yang tidak teratur dan disebabkan oleh fenomena resonansi schumann. Medan ini dihasilkan oleh pelepasan petir dan menyebar di rongga atmosfer resonansi yang dibentuk oleh permukaan bumi dan batas bawah ionosfer. Sedangkan medan magnet yang berasal dari buatan manusia umumnya memiliki intensitas yang jauh lebih tinggi daripada medan atmosfer alami. Intensitas medan magnet yang berada di bawah saluran listrik 765-kV, 60-Hz yang membawa 1 kA per fase adalah 15 T (Scott-Walton, al., n.d.). Peralatan rumah

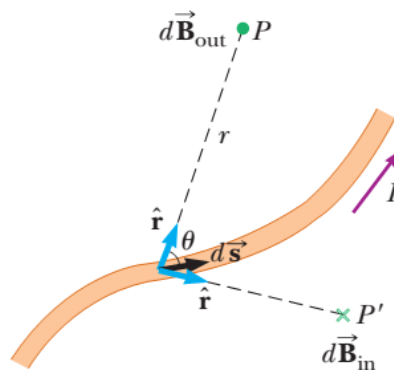
tangga yang dioperasikan dari sumber tegangan saluran 60- Hz menghasilkan medan magnet lokal di sekitarnya dengan kerapatan fluks setinggi 2,5 mT (Driessen et al., 2020).

Medan magnet telah banyak dikaji oleh para peneliti. Medan magnet dengan MFD (*magnetic flux density*) 0,2 mT selama 5 menit dapat mengoptimalkan pertumbuhan bakteri dan teknik ini bisa digunakan dalam produksi komersial susu (Tirono, 2022a). Fojt dkk menemukan bahwa kelangsungan hidup *E.coli*, *Leclercia adecarboxylata* dan *Staphylococcus aureus* dipengaruhi oleh medan magnet (10 mT,  $f= 50$  Hz) (Mousavian-Roshanzamir & Makhdoumi-Kakhki, 2017). Paparan medan magnet 500  $\mu$ T selama 60 menit dapat membunuh *Salmonella* sp. (Sudarti; et al., 2022).

### **2.1.1 Medan Magnet dari Kumparan Helmholtz**

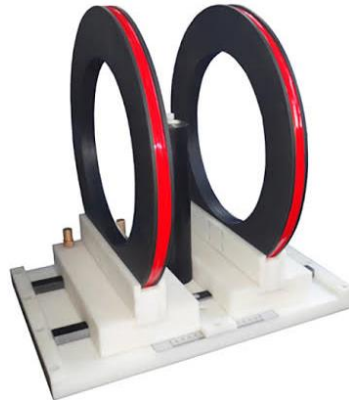
Medan magnet ditemukan oleh Hans Christian Oersted pada tahun 1820 (Griffiths, 2013). Oersted menemukan bahwa arus listrik yang mengalir melalui kawat dapat menghasilkan medan magnet. Setelah penemuan Oersted (1819), Jean Baptiste Biot dan Felix Savart melakukan eksperimen kuantitatif pada gaya yang dikeluarkan oleh arus listrik pada magnet didekatnya. Diamati dari eksperimen tersebut bahwa (Hukum Biot Savart) kuat medan magnet di sekitar kawat berarus listrik berbanding lurus dengan arus listrik ( $I$ ), berbanding lurus dengan panjang elemen kawat penghantar ( $a$ ), berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara titik itu ke elemen kawat penghantar. Dari hasil eksperimen tersebut, Jean Baptiste Biot dan Felix Savart menyimpulkan persamaan sebagai berikut (Serway & Jewett, 2004):

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I d\mathbf{s} \times \hat{\mathbf{r}}}{4\pi r^2} \quad (2.1)$$



**Gambar 2.1** Medan magnet  $d\mathbf{B}$  pada suatu titik karena arus  $I$  melalui elemen panjang  $ds$

Kumparan Helmholtz adalah jenis kumparan yang dirancang untuk menghasilkan medan magnet yang hampir seragam di dalam daerah di antara dua kumparan identik. Nama "kumparan Helmholtz" diberikan sebagai penghormatan kepada fisikawan Jerman Hermann von Helmholtz, yang mengembangkan konsep tersebut. Kumparan Helmholtz terdiri dari dua kumparan yang ditempatkan pada jarak tertentu satu sama lain, dengan sumbu kumparan sejajar. Kedua kumparan ini dialiri arus listrik dengan arah yang sama. Ketika arus listrik mengalir melalui kumparan, medan magnet yang dihasilkan oleh masing-masing kumparan akan saling berinteraksi. Interaksi ini menghasilkan medan magnet yang homogen atau hampir seragam di antara kedua kumparan. Dalam fisika eksperimental, kumparan Helmholtz telah menjadi salah satu alat yang penting dalam mempelajari sifat-sifat magnetik dan menganalisis fenomena yang terkait dengan medan magnet. Dalam kumparan Helmholtz, terdapat dua kumparan melingkar dengan jarak relatif sempit yang dipisahkan oleh jari-jari  $R$ . Kumparan Helmholtz menghasilkan medan yang sangat seragam di wilayah yang luas yang terletak di antara dua belitan (Manamanchaiyaporn et al., 2020).

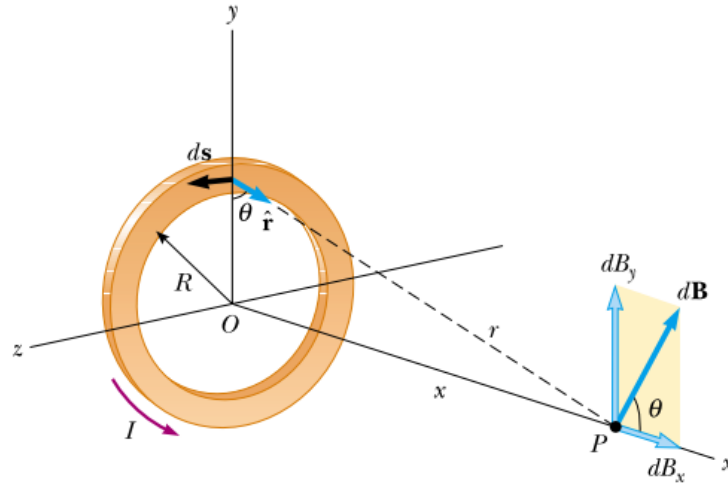


**Gambar 2.2** Kumparan helmholtz

Selain menghasilkan medan magnet, kumparan Helmholtz juga dapat digunakan untuk mengukur medan magnet. Koil Helmholtz banyak digunakan sebagai koil sensor magnetik untuk fluksmeter (Nowicki, Michal; Jackiewicz, Dorota; Szewczyk, 2015).

Setiap elemen panjang  $d\mathbf{s}$  tegak lurus dengan vektor  $\hat{\mathbf{r}}$  dalam kondisi gambar 2.3. Semua elemen panjang di sekitar loop berjarak sama dari P, dimana  $r^2 = x^2 + R^2$ . Oleh karena itu, besar  $d\mathbf{B}$  akibat aliran arus setiap elemen dengan panjang  $d\mathbf{s}$  adalah sebagai berikut (Riski, 2017);

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{|d\mathbf{s} \times \hat{\mathbf{r}}|}{r^2} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{ds}{(x^2 + R^2)} \quad (2.2)$$



**Gambar 2.3** Geometri untuk menghitung medan magnet di titik P yang terletak pada sumbu arus. Secara simetri, total medan B berada di sepanjang sumbu

Pada Gambar 2.3, Arah  $d\mathbf{B}$  tegak lurus terhadap bidang yang dibentuk oleh  $\hat{\mathbf{r}}$  dan  $d\mathbf{s}$  (Riski, 2017). Ketika komponen  $d\mathbf{B}$  ditambahkan ke semua elemen di sekitar loop, komponen yang dihasilkan adalah 0. Jadi secara simetris, arus di setiap elemen di sisi lain loop menciptakan komponen  $d\mathbf{B}$  tegak lurus yang meniadakan komponen tegak lurus yang dibuat oleh arus melalui elemen yang berlawanan secara diametris. Oleh karena itu, medan yang dihasilkan pada titik P harus sepanjang sumbu x dan dapat diperoleh dengan mengintegrasikan komponen  $dB_x = dB \cos \theta$  (Riski, 2017). Dengan kata lain,  $\mathbf{B} = B_x \hat{\mathbf{i}}$  dimana

$$B_x = \oint dB \cos \theta = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \oint \frac{ds \cos \theta}{x^2 + R^2} \quad (2.3)$$

Karena  $\theta$ ,  $x$ , dan  $R$  adalah konstanta untuk semua elemen loop dan karena  $\cos \theta = R/(x^2 + R^2)^{1/2}$ , sehingga diperoleh (Riski, 2017);

$$B_x = \frac{\mu_0 I R}{4\pi(x^2 + R^2)^{3/2}} \oint ds = \frac{\mu_0 I R^2}{2(x^2 + R^2)^{3/2}} \quad (2.4)$$

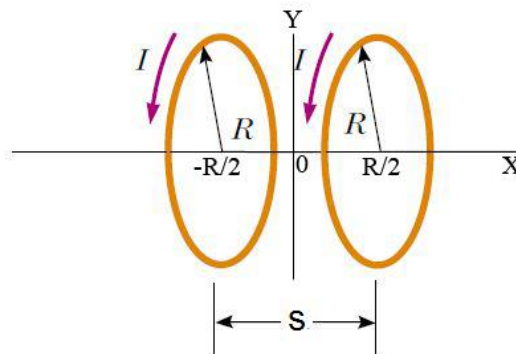


Apabila terdapat N lilitan, medan magnet yang dihasilkan adalah sebagai berikut (Riski, 2017);

$$B_x = \frac{\mu_0 N I R^2}{2(x^2 + R^2)^{3/2}} \quad (2.5)$$

Kumparan Helmholtz memiliki dua belitan dan disusun secara sejajar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Besarnya medan magnet di titik P yang berada di tengah-tengah kumparan merupakan penjumlahan dari masing-masing kumparan (Riski, 2017);

$$B = \frac{N\mu_0 I R^2}{2} \left[ \frac{1}{\left( \left( x + \frac{s}{2} \right)^2 + R^2 \right)^{3/2}} + \frac{1}{\left( \left( x - \frac{s}{2} \right)^2 + R^2 \right)^{3/2}} \right] \quad (2.6)$$



**Gambar 2.4** Kumparan helmholtz dengan jarak l

Persamaan (2.7) digunakan untuk menemukan medan magnet yang seragam antara dua kumparan, turunan B terhadap x harus nol pada titik nol (Riski, 2017);

$$\left. \frac{dB}{dx} \right|_{x=0} = 0 \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned} \frac{dB}{dx} \Big|_{x=0} = & -\frac{3\mu_0 N I R^2}{2} \left[ \left( \left( x + \frac{s}{2} \right)^2 + R^2 \right)^{-5/2} 2 \left( x + \frac{s}{2} \right) \right. \\ & \left. + \left( \left( x - \frac{s}{2} \right)^2 + R^2 \right)^{-5/2} 2 \left( x - \frac{s}{2} \right) \right] \end{aligned} \quad (2.8)$$

Untuk menemukan medan magnet yang seragam, turunan kedua dari persamaan (2.8) juga harus nol (Riski, 2017);

$$\frac{d^2B}{dx^2} \Big|_{x=0} = -\frac{3}{2} \mu_0 N I R^2 \left[ 2 \left( \frac{s^2}{4} + R^2 \right)^{-5/2} - \frac{5}{2} s^2 \left( \frac{s^2}{4} + R^2 \right)^{-7/2} \right]$$

$$0 = -\frac{3}{2} \mu_0 N I R^2 \left[ 2 \left( \frac{s^2}{4} + R^2 \right)^{-5/2} - \frac{5}{2} s^2 \left( \frac{s^2}{4} + R^2 \right)^{-7/2} \right]$$

$$2 \left( \frac{s^2}{4} + R^2 \right)^{-5/2} = \frac{5}{2} s^2 \left( \frac{s^2}{4} + R^2 \right)^{-7/2}$$

$$\left( \frac{s^2}{4} + R^2 \right)^{-5} = \left( \frac{5}{4} s^2 \right)^2 \left( \frac{s^2}{4} + R^2 \right)^{-7}$$

$$\left( \frac{s^2}{4} + R^2 \right)^2 = \left( \frac{5}{4} s^2 \right)^2$$

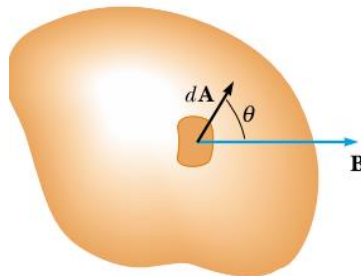
$$\frac{s^2}{4} + R^2 = \frac{5}{4} s^2$$

$$R^2 = \frac{5}{4} s^2 - \frac{s^2}{4}$$

$$R^2 = s^2$$

$$R = s \quad (2.9)$$

Ini menunjukkan bahwa jika jarak antara dua kumparan pada kumparan Helmholtz sama dengan jari-jari kumparan, medan magnet yang dihasilkan di antara kumparan tersebut akan menjadi seragam di area terbatas (Riski, 2017).



**Gambar 2.5** Fluks magnetik melalui elemen area  $dA$

Pada Gambar 2.5, jika medan magnet pada elemen adalah  $B$ , maka fluks magnetik melalui elemen tersebut adalah  $B \cdot dA$ , dimana  $dA$  adalah vektor yang tegak lurus terhadap permukaan dan memiliki magnitudo yang sama dengan luas  $dA$ . Oleh karena itu, fluks magnetik total  $\Phi_B$  yang melalui permukaan tersebut adalah:

$$\Phi_B = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} \quad (2.10)$$

Hukum Ampere berlaku untuk lintasan tertutup dengan bentuk apa pun (Loop Amperian) yang mengelilingi arus yang ada dalam rangkaian yang utuh dan dihitung untuk kasus khusus dari lintasan lingkaran yang mengelilingi sebuah kawat. Hukum Ampere dinyatakan dengan:

Integral garis dari  $B \cdot ds$  di sepanjang lintasan tertutup manapun sama dengan  $\mu_0 I$ , dimana  $I$  adalah total arus stabil yang melewati permukaan yang dibatasi oleh lintasan tertutup.

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 I \quad (2.11)$$

dimana  $\oint ds = 2\pi r$  adalah keliling lintasan lingkaran.

### 2.1.2 Interaksi Medan Magnet dengan Susu Sapi

Nilai pH susu fermentasi yang baik menurut Badan Standarisasi Nasional (BSN) adalah antara 3.8-4.6 (Ningsih et al., 2018). pH susu sapi segar dapat menurun ketika dipengaruhi oleh bakteri yang mengubah laktosa dalam susu menjadi asam laktat. Sehingga ketika bakteri semakin banyak, asam laktat di dalam susu semakin meningkat. Ketika asam laktat terbentuk, jumlah ion  $H^+$  yang dilepaskan meningkat sehingga susu sapi menjadi lebih asam.

Penelitian yang dilakukan oleh Rahayu menunjukkan bahwa perlakuan medan magnet osilasi pada susu sapi tidak mengakibatkan perubahan signifikan pada kandungan protein. Hasil penelitian tersebut mencatat bahwa persentase kandungan protein pada susu setelah diberi perlakuan medan magnet osilasi selama 60 detik mengalami penurunan yang tidak signifikan dari 2,83% menjadi 2,78%, dan pada lama perlakuan 120 detik mengalami penurunan dari 2,83% menjadi 2,73% (Rahayu, 2017). Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa paparan medan magnet tidak merusak kandungan gizi, khususnya protein, yang ada dalam susu sapi. Ini menunjukkan potensi bahwa medan magnet dapat digunakan sebagai metode perlakuan yang dapat mempertahankan kandungan protein dan lemak pada susu sapi (Rahayu, 2017).

Medan magnet dengan intensitas yang rendah dapat mempengaruhi pergerakan ion yang melintasi membran sel (Florez et al., 2019). Medan magnet dapat mempengaruhi pergerakan ion karena ion-ion yang bermuatan listrik merupakan partikel yang sensitif terhadap medan magnet. Medan magnet yang diterapkan pada membran sel dapat berinteraksi dengan gaya Lorentz, yang merupakan gaya yang bekerja pada partikel bermuatan yang bergerak dalam medan

magnet. Gaya Lorentz ini dapat mempengaruhi arah, kecepatan, atau distribusi ion-ion di sekitar membran sel.

Paparan medan magnet juga mempengaruhi konduktansi saluran  $K^+$  pada membran sel (Cecchetto et al., 2015). Medan magnet dapat berinteraksi dengan komponen membran sel, seperti protein saluran ion, dan mempengaruhi konformasi atau aktivitasnya. Hal ini dapat mengubah konduktansi saluran  $K^+$  dan, akibatnya, mempengaruhi pergerakan ion kalium melintasi membran sel. Perubahan konduktivitas membran sel ini nantinya akan mempengaruhi pertumbuhan bakteri (Tirono et al., 2018), dimana perubahan kecil akan mempercepat pertumbuhan bakteri, sedangkan perubahan yang signifikan akan menghambat pertumbuhan.

Paparan medan magnet dengan MFD (densitas fluks magnet) rendah dapat mempercepat pertumbuhan bakteri *Lactobacillus acidophilus*. Oleh karena itu, dengan menumbuhkan Bakteri *Lactobacillus acidophilus* dalam susu dan diberi perlakuan medan magnet dengan MFD rendah, bakteri akan tumbuh lebih cepat. Selanjutnya, kandungan asam laktat meningkat lebih cepat, dan pH menurun lebih cepat. Penurunan pH yang lebih cepat akan menghambat pertumbuhan bakteri patogen, sehingga dapat meminimalkan kerusakan susu (Tirono, 2022a).

### **2.1.3 Pengaruh Medan Magnet Terhadap Bakteri *Lactobacillus acidophilus***

Penelitian yang dilakukan oleh Sumardi et al. pada tahun 2018 menunjukkan bahwa paparan medan magnet dapat meningkatkan aktivitas enzim dan laju pertumbuhan sel (Sumardi et al., 2018). Selain itu, medan magnet diketahui dapat meningkatkan kecepatan gerak ion pada membran sel, yang selanjutnya dapat mempengaruhi aktivitas metabolisme bakteri (Sumardi, 2019). Selain itu, medan magnet dapat mempengaruhi laju pertumbuhan sel dengan merangsang aktivitas

metabolisme. Berdasarkan penelitian (Sudarti, Nurhayati, 2014), paparan medan magnet mempengaruhi aktivitas metabolisme sel bakteri.

Baru-baru ini, ada banyak penelitian yang mengkaji tentang efek paparan medan magnet (MF) pada jaringan biologis. Sebagian besar penelitian ini menggambarkan efek medan magnet pada tingkat molekuler, di mana medan magnet dapat mempengaruhi fungsi biologis organisme melalui perubahan sekresi hormon, aktivitas enzim, atau transportasi ion oleh membran sel (Konopacki & Rakoczy, 2019).

Beberapa penelitian sebelumnya juga telah menyatakan bahwa sebagian besar jaringan biologis bersifat diamagnetik (Liu et al., 2017). Respons diamagnetik terhadap medan magnet eksternal akan menghasilkan induksi magnetik ke arah yang berlawanan (Butler, 2014). Secara khusus, medan magnet dengan intensitas mempengaruhi pergerakan ion yang melintasi membran sel (Florez et al., 2019). Selain itu, MF juga mempengaruhi konduktansi  $K^+$  saluran pada membran sel (Tirono, 2022a).

Perubahan konduktivitas membran sel ini nantinya akan mempengaruhi pertumbuhan bakteri (Tirono et al., 2018), dimana perubahan kecil akan mempercepat pertumbuhan bakteri, sedangkan perubahan yang signifikan akan menghambat pertumbuhan. Oleh karena itu, dengan diberi paparan medan magnet intensitas rendah, bakteri *Lactobacillus acidophilus* akan tumbuh lebih cepat. Selanjutnya, kandungan asam laktat meningkat lebih cepat, dan pH menurun lebih cepat. Penurunan pH yang lebih cepat akan menghambat pertumbuhan bakteri patogen, sehingga dapat meminimalkan kerusakan pada susu dan mempercepat proses fermentasi (Tirono, 2022a).

## 2.2 Susu Sapi

Susu sapi merupakan minuman alami yang mengandung banyak nutrisi yang berperan penting dalam pertumbuhan manusia. Kandungan nutrisi dalam susu sapi yang dibutuhkan oleh tubuh sangatlah banyak, beberapa diantaranya adalah protein dan lemak. Kesehatan masyarakat akan meningkat ketika semua orang dapat menikmati susu berkualitas tinggi. Diperlukan teknik pengolahan susu yang tepat sebelum dikonsumsi untuk menjaga kandungan protein dan lemak susu (Muharromah, 2018).

Allah menciptakan alam dan segala isinya sebagai anugerah untuk kepentingan umat manusia. Manusia diberikan hak untuk memanfaatkan sumber daya alam dengan sebaik-baiknya sebagai bukti rasa syukur atas nikmat yang telah diberikan oleh Allah SWT. Al-Quran Surah An-Nahl ayat 66, Allah berfirman:

وَإِنَّ لَكُمْ فِي الْأَنْعَامِ لَعِبْرَةً ۚ نُسْقِيكُمْ مِمَّا فِي بُطُونِهِ ۖ مِنْ بَيْنِ فَرْثٍ وَدَمٍ لَبْنَا خَالِصًا سَائِبًا ۖ لِلشَّرِيبِ

Artinya: “*Sesungguhnya pada hewan ternak itu benar-benar terdapat pelajaran bagi kamu. Kami memberi kamu minum dari sebagian apa yang ada dalam perutnya, dari antara kotoran dan darah (berupa) susu murni yang mudah ditelan oleh orang-orang yang meminumnya.*” [QS. An-Nahl: 66]

Lafadz لَبْنَا خَالِصًا “susu yang bersih” tidak mengandung kotoran dan darah, tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa. Bukan hanya air hujan, tetapi juga hewan ternak seperti onta, sapi, kambing dan domba merupakan pelajaran yang sangat berharga bahwa manusia dapat menghargai kekuasaan dan kebesaran-Nya jika manusia memperhatikannya. Binatang-binatang itu mempersembahkan minuman yang segar dan bergizi bagi perut, yaitu lembu betina, berupa susu murni yang diekstrak dari antara kotoran dan darahnya; susu murni dari campuran

keduanya dan mudah ditelan oleh yang meminumnya. Selain itu, susu memiliki banyak manfaat karena kandungan nutrisinya (Kemenag, 2020).

Susu mengandung 3036 g/L protein dan memiliki kualitas nutrisi yang sangat tinggi. Susu juga mengandung beberapa komponen "protein" yang sebenarnya merupakan polipeptida besar (Lestari, Rika Ayu; Dziaulhaq, 2023). Susu mengandung 87,90% air yang berfungsi sebagai pelarut bahan kering. Susu mengandung 3,45% lemak. Kandungan lemak sangat penting untuk nilai gizi susu. Kandungan lemak ditentukan oleh kadar air susu (Tim EWS, n.d.). Makanan yang dihasilkan dari olahan susu seperti mentega dan keju mengandung lemak. Sedangkan kadar protein rata-rata yang ada di dalam susu adalah 3.20% (Tim EWS, n.d.).



**Tabel 2.1** Kandungan gizi susu sapi

		<b>%AKG*</b>
<b>Energi</b>	61 kkal	2.84 %
<b>Lemak total</b>	3.50 g	5.22%
<b>Vitamin A</b>	39 mcg	6.50%
<b>Vitamin B1</b>	0.03 mg	3%
<b>Vitamin B2</b>	0.18 mg	18%
<b>Vitamin B3</b>	0.20 mg	1.33%
<b>Vitamin C</b>	1 mg	1.11%
<b>Karbohidrat total</b>	4.30 g	1.32%
<b>Protein</b>	3.20 g	5.33%
<b>Serat pangan</b>	0 g	0%
<b>Kalsium</b>	143 mg	13%
<b>Fosfor</b>	60 mg	8.57%
<b>Natrium</b>	36 mg	2.40%
<b>Kalium</b>	149 mg	3.17%
<b>Tembaga</b>	20 mcg	2.50%
<b>Besi</b>	1.70 mg	7.73%
<b>Seng</b>	0.30 mg	2.31%
<b>B-Karoten</b>	12 mcg	-
<b>Karoten total</b>		-
<b>Air</b>	88.30 g	-
<b>Abu</b>	0.70 g	-
<i>* Persen AKG berdasarkan kebutuhan energi 2150kkal. Kebutuhan energi anda mungkin lebih tinggi atau lebih rendah.</i>		

### 2.3 Bakteri *Lactobacillus acidophilus* pada Susu Sapi

*Lactobacillus acidophilus* adalah mikroorganisme gram positif homofermentatif dengan morfologi batang yang memiliki bakteriosin kelas II a. Bakteri *Lactobacillus acidophilus* ada di berbagai lingkungan, mulai dari susu hingga ke saluran gastrointestinal manusia. Bakteri ini umumnya bergram positif, non motil, non sporulasi berbentuk bulat atau batang yang menghasilkan asam laktat sebagai produk akhir dari metabolisme fermentasi. Bakteri ini bertahan pada pH 4-5 atau lebih rendah (Anjum et al., 2014).



**Gambar 2.6** Bakteri *Lactobacillus acidophilus*

Bakteri *Lactobacillus acidophilus* merupakan bakteri yang menghasilkan asam laktat. Klasifikasi biologi bakteri asam laktat (BAL) *Lactobacillus acidophilus* adalah sebagai berikut;

Kerajaan	: Bacteria
Divisi	: Firmicutes
Kelas	: Bacilli
Bangsa	: Lactobacillales
Famili	: Lactobacillaceae
Marga	: Lactobacillus
Spesies	: Lactobacillus acidophilus

Diantara bakteri asam laktat lainnya, hanya *Lactobacillus acidophilus* yang telah diketahui secara luas. Kira-kira ukurannya sebesar 2-10  $\mu\text{m}$ . *Lactobacillus acidophilus* telah banyak diaplikasikan dalam bidang industri pangan, seperti susu. Bakteri ini digunakan sebagai kontaminan alami. *Lactobacillus acidophilus* sering digunakan sebagai starter dalam proses fermentasi makanan. Selain itu, *Lactobacillus acidophilus* menghasilkan berbagai senyawa antimikroba sehingga sangat berkontribusi pada produk akhir (Anjum et al., 2014).

#### 2.4 Derajat Keasaman (pH) Susu Sapi

Molekul memiliki berbagai sifat fisika dan kimia, termasuk sifat asam dan basa yang dapat memengaruhi sifat larutan. Sifat asam larutan terkait dengan kemampuan suatu senyawa untuk melepaskan ion hidrogen ( $H^+$ ) dan anion ketika larut dalam air. Sementara itu, sifat basa larutan terkait dengan kemampuan suatu senyawa untuk menghasilkan ion hidroksida ( $OH^-$ ) dan kation ketika larut dalam air. Dengan demikian, sifat asam dan basa suatu larutan dapat dijelaskan oleh reaksi kimia antara senyawa tersebut dengan molekul air dalam larutan (Masruro, 2017).

Pengukuran tingkat keasaman atau pH adalah salah satu indikator yang dapat digunakan untuk menentukan kualitas dan keamanan susu dari segi kimia, terutama dalam kaitannya dengan kelangsungan hidup mikroorganisme. Keasaman optimal untuk pertumbuhan beberapa jenis bakteri pada susu adalah antara 4,6 hingga 7,0. Secara umum, pH pada makanan dapat bervariasi antara 3,0 hingga 8,0. Kebanyakan mikroorganisme dapat tumbuh pada pH sekitar 5,0 hingga 8,0, sehingga hanya beberapa jenis mikroorganisme yang mampu bertahan pada makanan dengan pH yang rendah. Oleh karena itu, pemantauan pH pada susu dan produk makanan lainnya dapat membantu untuk menjaga keamanan pangan dan mencegah pertumbuhan mikroorganisme yang dapat menyebabkan kerusakan atau penyakit (Qumairoh et al., 2021). Bakteri asam laktat adalah jenis bakteri yang dianggap menguntungkan karena dapat bertahan pada lingkungan dengan pH yang rendah. Sebaliknya, bakteri patogen umumnya tidak dapat tumbuh pada lingkungan dengan pH yang rendah. Selain itu, medan magnetik dapat memengaruhi arah migrasi dan memodifikasi pertumbuhan serta reproduksi mikroorganisme pembentuk asam. Meskipun demikian, pengaruh medan magnetik terhadap

mikroorganismenya masih perlu dipelajari lebih lanjut untuk memahami mekanisme di balik pengaruh tersebut dan bagaimana dapat diaplikasikan dalam pengolahan pangan dan bidang lainnya (Ma'rufiyanti et al., 2014).

Mempercepat aktivitas mikroorganismenya pembentuk asam dalam larutan dapat mengurangi tingkat keasaman dari larutan tersebut. Seiring dengan meningkatnya jumlah mikroorganismenya pembentuk asam, keasaman larutan dapat menurun dan berpotensi mematikan bakteri patogen yang tidak mampu bertahan pada lingkungan dengan pH yang rendah. Namun, perlu diperhatikan bahwa peningkatan aktivitas mikroorganismenya pembentuk asam juga dapat meningkatkan risiko kontaminasi dan pertumbuhan bakteri patogen lainnya jika sanitasi dan proses pengolahan yang tepat tidak diterapkan dengan benar. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengendalian ketat terhadap lingkungan pertumbuhan mikroorganismenya dan penggunaan teknik pengolahan yang tepat untuk menjaga kualitas dan keamanan produk pangan (Ma'rufiyanti et al., 2014).

Keasaman atau pH adalah suatu ukuran yang menunjukkan aktivitas ion hidrogen dalam sebuah larutan dan dinyatakan dalam skala logaritmik. Untuk mengukur keasaman atau pH susu, digunakan alat yang disebut pH meter. Pada suhu 25 °C, pH susu biasanya berkisar antara 6,5 hingga 6,7, dan pada rentang tersebut susu berperan sebagai penyangga. Penurunan pH susu di luar rentang normal dapat mengubah komposisi dari komponen susu. Penurunan pH susu terjadi karena adanya pemecahan fosfat koloid dan pengurangan ikatan antara kation dan protein dalam susu (Sulmiyati et al., 2016).

## 2.5 Kadar Lemak Susu Sapi

Lemak terdiri dari kombinasi trigliserida yang terbentuk dari gliserol dan asam lemak. Lemak susu memiliki kandungan lemak jenuh sebesar 60-75%, lemak tak jenuh sebesar 25-30%, dan asam lemak poliunsaturasi sekitar 4%. Selain itu, lemak susu juga mengandung mikrokomponen seperti fosfolipid, sterol,  $\alpha$ -tokoferol (vitamin E), karoten, serta vitamin D dan A. Lemak susu diproduksi dalam bentuk gumpalan dengan diameter mencapai 0,1 sampai 15 mikron oleh sel epitel susu (Anwar, 2016). Tetesan lemak susu terdiri dari butiran trigliserida yang dilapisi oleh membran tipis yang disebut membran gumpalan lemak (FGM). Kandungan lemak susu bervariasi antara 2,4 hingga 5,5% (Anwar, 2016).

Lemak susu adalah komponen penting yang terkandung dalam susu. Lemak susu terdiri dari trigliserida, yaitu molekul lemak yang terdiri dari satu molekul gliserol dan tiga molekul asam lemak. Lemak susu diproduksi oleh sel-sel kelenjar susu pada hewan mamalia dan merupakan sumber energi yang penting bagi bayi dan anak kecil yang mengonsumsi susu sebagai makanan utama mereka. Lemak pada susu terdiri dari trigliserida yang terdiri dari satu molekul gliserol dan tiga molekul asam lemak (fatty acid) yang terikat melalui ikatan ester. Asam lemak dalam susu dapat berasal dari fungsi mikrobiologi dalam rumen (lambung ruminansia) atau sintesis oleh sel-sel ekskretoris (R. C. Kurniawan et al., 2019).

## 2.6 Kadar Protein Susu Sapi

Asal kata "protein" berasal dari "proteos" yang berarti "utama" atau "awal". Protein adalah senyawa makromolekul yang memainkan peran penting dalam kehidupan setiap makhluk hidup. Protein merupakan salah satu jenis polipeptida yang memiliki berbagai bobot molekul, mulai dari 5000 hingga lebih dari satu juta.

Protein memiliki berbagai fungsi, seperti sebagai enzim, zat pengatur pergerakan, pertahanan tubuh, pengangkut, dan banyak lagi, tergantung pada struktur protein tiga dimensi (Ramaiyulis et al., 2022). Terdapat berbagai jenis protein yang sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan. Ketika konformasi molekul protein mengalami perubahan, seperti perubahan suhu atau pH, atau akibat adanya interaksi dengan senyawa lain atau ion logam, maka aktivitas biokimia protein tersebut dapat menurun. Proses perubahan konformasi protein dari keadaan stabil menjadi tidak stabil disebut sebagai denaturasi, dan merupakan proses yang tidak dapat diprediksi secara pasti (Vidyana et al., 2014).

Protein yang dibutuhkan oleh organisme dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok utama. Kelompok pertama adalah protein sederhana, yaitu protein yang dapat dihidrolisis menjadi asam amino serta komponen organik dan anorganik yang disebut sebagai gugus prostetik (Putri, 2018). Protein memiliki 16 atom nitrogen. Oleh karena itu, jumlah protein dapat dihitung dengan menentukan jumlah nitrogen dalam senyawa tersebut. Pada orang dewasa, umumnya terdapat keseimbangan nitrogen, yang berarti jumlah nitrogen yang dikonsumsi sama dengan jumlah nitrogen yang diekskresikan dari tubuh. Selain itu, nilai kimia atau jumlah protein dalam makanan tertentu juga dapat digunakan untuk menganalisis kualitas protein. Nilai ini dapat dibandingkan dengan nilai protein standar atau protein teoretis yang memiliki asam amino esensial yang lengkap untuk tubuh manusia (Nisak, 2018).

Kandungan protein dalam suatu larutan dapat diukur menggunakan metode optik yang bergantung pada kepadatan optik pada panjang gelombang tertentu. Pada suatu larutan protein, penambahan garam fosfatungstat dalam suasana alkali akan menghasilkan warna biru dengan intensitas yang berhubungan dengan

konsentrasi protein yang ada (Handayani, 2016). Kurva standar adalah kurva kalibrasi yang digunakan untuk mengukur konsentrasi suatu senyawa dalam suatu larutan dengan cara membandingkan nilai optik suatu larutan yang diketahui konsentrasinya dengan kurva standar yang sudah ditentukan. Kurva standar terdiri dari deretan larutan standar yang memiliki konsentrasi yang diketahui dan beragam, dan biasanya dibuat dengan menggunakan larutan baku yang telah dikalibrasi. Dalam membuat kurva standar, diperlukan pengukuran nilai optik pada panjang gelombang tertentu untuk setiap larutan standar, dan kemudian nilai tersebut digunakan untuk membuat grafik yang menunjukkan hubungan antara konsentrasi larutan dan nilai optik. Pada umumnya, nilai optik pada kurva standar didasarkan pada absorptivitas molar yang telah diketahui untuk senyawa tersebut. Dalam hal ini, penggunaan nilai absorptivitas molar yang tepat sangat penting untuk menghasilkan kurva standar yang akurat. Jika absorptivitas molar yang digunakan tidak tepat, maka hasil pengukuran konsentrasi suatu senyawa dalam sampel akan menjadi tidak akurat (Nisak, 2018). Protein pada bahan yang berbeda memiliki kadar yang berbeda. Pengukuran kandungan protein suatu bahan sangat dibutuhkan sebab erat kaitannya dengan tingkat konsumsi kandungan gizi bagi manusia (Nisak, 2018).

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimental, dimana penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan medan magnet terhadap pertumbuhan bakteri *Lactobacillus acidophilus*, pH, kadar protein dan kadar lemak pada susu sapi segar. Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan beberapa kelompok eksperimen yang diberi perlakuan medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan Helmholtz.

### 3.2 Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan *randomized complete design* atau bisa disebut dengan rancangan acak lengkap. Perlakuan yang digunakan merupakan medan magnet dengan kerapatan fluks magnet 0,1 mT, 0,2 mT, 0,3 mT, 0,4 mT, 0,5 mT dengan lama paparan 0 menit, 5 menit, 10 menit, 15 menit dan 20 menit untuk setiap kerapatan fluks magnet.

**Tabel 3.1** Kombinasi perlakuan (kerapatan fluks magnet dan lama paparan medan magnet)

Kerapatan Fluks Magnet (B)	Lama Paparan (T)				
	T1	T2	T3	T4	T5
B1	B1T1	B1T2	B1T3	B1T4	B1T5
B2	B2T1	B2T2	B2T3	B2T4	B2T5
B3	B3T1	B3T2	B3T3	B3T4	B3T5
B4	B4T1	B4T2	B4T3	B4T4	B4T5
B5	B5T1	B5T2	B5T3	B5T4	B5T5

Keterangan :

Kerapatan fluks magnet (B);

B1 = 0,1 mT

B2 = 0,2 mT

B3 = 0,3 mT

B4 = 0,4 mT

B5 = 0,5 mT

Waktu (T);

T1 = 0 menit

T2 = 5 menit

T3 = 10 menit

T4 = 15 menit

T5 = 20 menit



### 3.3 Variabel

Variabel dalam penelitian ini ada dua yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah jumlah bakteri *Lactobacillus acidophilus*, keasaman (pH), kadar protein dan kadar lemak susu sapi. Variabel bebasnya adalah kerapatan fluks magnetik (mT) dan lama paparan medan magnet (menit).

### 3.4 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian berjudul “Pengaruh Paparan Medan Magnet Terhadap Pertumbuhan Bakteri *Lactobacillus acidophilus*, Derajat Keasaman (pH), Kadar Lemak dan Protein Susu Sapi” ini dilakukan di Laboratorium Biofisika Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang dan Laboratorium Pengujian Mutu dan Ketahanan Pangan Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brajiwaya Malang. Penelitian ini dilakukan mulai November 2022 sampai Januari 2023.

### 3.5 Alat dan Bahan

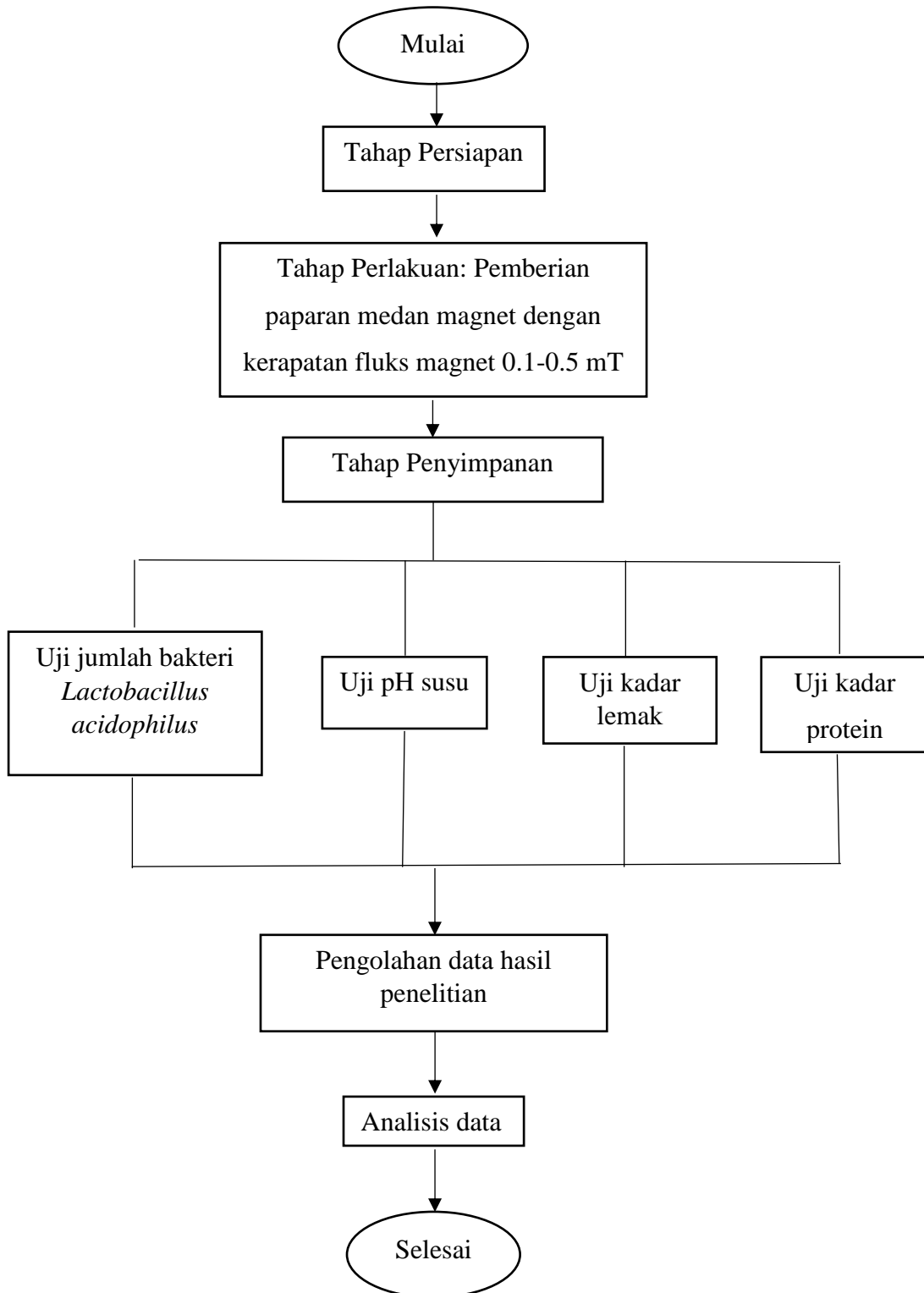
Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah kumparan Helmholtz sebagai sumber medan magnet, teslameter untuk mengukur kerapatan fluks magnet, pH meter untuk mengukur kadar keasaman (pH), *colony counter* untuk menghitung jumlah bakteri *Lactobacillus acidophilus*, butyrometer untuk mengukur kadar lemak, sentrifus, multimeter digital, power supply sebagai sumber tegangan, connecting, pipet tetes, cawan petri, gelas ukur 10 ml, tabung reaksi tertutup, pipet ukur 1 ml, beaker glass 100 ml, batang pengaduk, pipet pump, sendok spatula, gelas ukur 50 ml, kawat ose, kaca arloji, erlen meyer, botol semprot

untuk aquades, hotplate untuk mensterilisasi susu, pembakar spirtus, dan botol sampel.

Adapun bahan yang diperlukan adalah

1. susu sapi segar,
2. asam sulfat,
3. aquades,
4. amyl alkohol,
5. media tanam plate count agar,
6. etanol 70% sebagai antiseptik,
7. dan tissue.

### 3.6 Diagram Alir Penelitian



3.1 Diagram Alir

### **3.7 Prosedur Penelitian**

#### **3.7.1 Tahap Persiapan**

Tahap pertama penelitian ini adalah tahap persiapan penelitian. Langkah-langkah pada tahap awal penelitian ini adalah sebagai berikut;

1. Menyiapkan alat dan bahan penelitian
2. Menyiapkan sampel penelitian

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah susu sapi segar dari supplier susu sapi KUD Batu yang belum diolah dan belum diberikan perlakuan apapun. Sampel diletakkan dalam wadah plastik klip agar terhindar dari faktor eksternal yang masuk ke dalam susu. Masing-masing sampel adalah susu sapi segar sebanyak 50 ml.

3. Susu disterilkan dengan dipanaskan menggunakan hotplate selama 30 menit suhu 60 °C. Lalu susu didiamkan sampai suhunya menjadi 37°C.
4. Ditumbuhkan starter bakteri *Lactobacillus acidophilus* pada susu. Lalu, susu didiamkan selama 2 jam sebelum dipapari medan magnet.

#### **3.7.2 Tahap Perlakuan**

Tahap kedua dari penelitian ini adalah tahap perlakuan. Perlakuan dalam penelitian ini yakni memberikan paparan medan magnet dengan kerapatan fluks magnet 0,1 mT, 0,2 mT, 0,3 mT, 0,4 mT, 0,5 mT dan lama paparan 0 menit, 5 menit, 10 menit, 15 menit, dan 20 menit. Sumber medan magnet yang digunakan dalam penelitian ini adalah kumparan Helmholtz.

#### **3.7.3 Tahap Penyimpanan**

Tahap ketiga adalah tahap penyimpanan. Dalam tahap ini, susu sapi disimpan dalam suhu ruang. Hal ini ditinjau dari nilai pH, kadar protein, dan

kadar lemak susu sapi untuk mendapatkan hasil data susu sapi dalam suhu ruang.

#### **3.7.4 Uji Jumlah Bakteri *Lactobacillus acidophilus***

Uji jumlah bakteri *Lactobacillus acidophilus* ini menggunakan metode TPC, berikut adalah tahapan-tahapannya;

1. Sebelum melakukan metode TPC, perlu dilakukan persiapan area kerja yang aseptis dengan membersihkan meja kerja dengan menggunakan alcohol 70%. Kemudian, letakkan pembakar spirtus yang sedang menyala. Tata semua peralatan dengan rapi di atas meja yang sudah disterilkan.
2. Pembuatan Media Biakan  
Timbang PCA (Plate Count Agar) kurang lebih sebanyak 2 gram. Kemudian siapkan aquades sebanyak 50ml untuk melarutkan PCA tersebut. Tuang PCA yang sudah ditimbang dan larutkan dengan 50 ml aquades. Aduk agar homogen.
3. Didihkan media yang sudah dibuat di dalam Erlen Meyer. Erlen Meyer harus disumbat dan tidak boleh dibuka agar terjaga kesterilannya.
4. Siapkan cawan petri.
5. Isi media PCA yang sudah mendidih kedalam cawan petri yang sudah disiapkan. Lakukan penuangan media secara aseptis. Biarkan media memadat di dalam cawan petri.
6. Sambil menunggu media siap, langkah berikutnya adalah melakukan proses sampling sampel yang akan diuji. Sampel yang diuji adalah susu sapi.
7. Ambil botol sampel yang sudah steril dan isi dengan susu sapi secara aseptis.

8. Melakukan pengenceran bertingkat sampel susu pada tabung reaksi dengan label pengenceran. Isi setiap tabung reaksi dengan aquades sebanyak 9 ml. Diambil sampel susu dalam botol sampel dan dipipet sebanyak 1 ml, tuangkan kedalam tabung berlabel  $10^{-1}$  dan homogenkan. Pipet 1 ml dari hasil pengenceran  $10^{-1}$  kemudian tuangkan kedalam tabung berlabel  $10^{-2}$  lalu homogenkan. Kemudian, pipet 1 ml dari hasil pengenceran  $10^{-2}$  kedalam tabung berlabel  $10^{-3}$  lalu homogenkan, dan seterusnya.
9. Proses inokulasi sampel pada media biakan yang sudah memadat. Diambil tabung reaksi hasil dari pengenceran, pipet sebanyak 1 ml, kemudian tanamkan pada media. Dilakukan secara aseptis. Metode inokulasi yang akan dilakukan adalah metode spread plate atau metode sebar. Gunakan kawat ose yang dibentuk menjadi huruf L untuk membantu menyebarkan sampel pada media atau bisa menggunakan glass rod untuk proses penyebarannya. Sebar secara merata.
10. Melakukan proses inkubasi pada sebuah inkubator. Inkubator diatur dengan waktu 20 jam dengan suhu  $37^{\circ}\text{C}$ . Tempatkan cawan petri dengan posisi terbalik untuk menghindari terjadinya pengembunan.
11. Tahap yang terakhir adalah perhitungan mikroba metode TPC dengan alat colony counter untuk menghitung jumlah koloni bakteri *Lactobacillus acidophilus* yang tumbuh pada media tersebut.

### **3.7.5 Uji pH (Derajat Keasaman)**

Tahap pengambilan data kedua adalah uji pH (keasaman derajat). Alat yang digunakan adalah pH meter. pH meter dikalibrasi sebelum digunakan. Kalibrasi pH meter dengan buffer. Pengukuran dilakukan dengan cara

merendam elektroda pH meter pada sampel susu. Tunggu beberapa saat hingga mencapai nilai stabil. Pengukuran pH diulang sebanyak 3 kali.

### **3.7.6 Uji Kadar Lemak**

Pengujian kadar lemak susu pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode Gerber.

1. Lemak dipisahkan dengan menambahkan asam sulfat ke dalam susu.
2. Kemudian diputar dengan alat sentrifus. Asam sulfat pekat menguraikan dan melarutkan kasein dan protein lainnya, lemak dilelehkan oleh panas amyl alcohol dan membuat lemak menjadi terpisah.
3. Perolehan data kadar lemak dapat dilihat dari skala butyrometer karena sentrifugasi menyebabkan lemak menumpuk pada bagian skala butyrometer.

### **3.7.7 Uji Kadar Protein**

Metode yang digunakan untuk menguji kadar protein adalah metode Kjeldahl. Metode pengujian protein ini terdiri dari 3 tahap yaitu tahap destruksi (penghancuran), tahap destilasi (penyulingan) dan tahap titrasi (Hermawan, 2020). Metode ini merupakan metode dengan menganalisis kandungan protein bahan secara tidak langsung, karena metode ini dilakukan dengan menghitung kandungan nitrogen.

Prinsip kerja metode Kjeldahl adalah protein dan komponen organik dalam sampel dihancurkan oleh asam sulfat dan katalis. Hasil penghancuran dinetralkan dengan larutan basa dan distilasi. Distilat dikumpulkan dalam larutan asam borat. Selain itu, ion borat yang terbentuk dititrasi dengan larutan HCl.

Tata cara pengujian kandungan protein susu sapi dengan metode Kjeldahl adalah sebagai berikut;

1. Disiapkan  $K_2SO_4$ ,  $CuSO_4$ , dan sampel susu.
2. Sebanyak 1-2 mL sampel dimasukkan ke dalam labu Kjeldahl 300 mL, ditambahkan  $1,9 \pm 0,1$  g  $K_2SO_4$ , 10 mg  $CuSO_4$  dan 10 mL  $H_2SO_4$  ditambahkan bersama beberapa batu didih, setelah itu sampel dididihkan selama 1-1,5 jam hingga cairannya bening.
3. Cairan didinginkan dan perlahan ditambahkan sedikit air untuk mendinginkan isi botol, dipindahkan ke alat distilasi, dicuci dan dibilas 5-6 kali dengan total air 100ml, kemudian dipindahkan air pencucian dan 40% NaOH (sampai basa) ditambahkan ke dalam penyuling.
4. Labu Erlenmeyer 250 mL yang berisi 25 mL larutan HCl 0,1 M dan 3 tetes indikator PP 1% diletakkan di bawah kondensor. Ujung tabung kondensor harus direndam dalam larutan HCl. Ditambahkan 30 mL larutan NaOH, kemudian distilasi dilanjutkan hingga 150 mL destilat masuk ke dalam labu Erlenmeyer.
5. Tabung kondensor dicuci dengan air, bilasannya dikumpulkan dalam Erlenmeyer yang sama. Encerkan isi labu Erlenmeyer hingga kurang lebih 50 mL, kemudian titrasi dengan NaOH 0,1 N hingga warna berubah menjadi merah muda.
6. Dengan cara yang sama dilakukan juga penetapan dengan blangko.

Fungsi larutan yang digunakan adalah K-oksalat jenuh untuk memblokir gugus amina, fenolftalein 1% sebagai indikator warna, NaOH 0,1N untuk menciptakan suasana basa dan menetralkan sifat asam amino, formaldehid



untuk menciptakan suasana asam, aquades sebagai pelarut, larutan standar berfungsi untuk standarisasi warna, larutan blanko untuk menentukan jumlah NaOH dalam reaksi bahan dalam susu.

Penetapan kadar protein dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Purnama et al., 2019);

$$\text{Normalitas (N)} = \frac{\text{mg sampel} \times 0,1}{\text{mltitran} \times 20,42} \quad (3.1)$$

$$\%N = \frac{V \text{ NaOH Blanko} - V \text{ NaOH Sampel}}{\text{Bobot (g)}} \times N \text{ NaOH} \times 14.008 \times 100 \% \quad (3.2)$$

Kemudian dihitung kadar protein dengan mengalikan nilai %N dengan faktor konversi susu (FK) yaitu 6,38 (Purnama et al., 2019).

$$\% \text{Protein} = \%N \times 6.38 \quad (3.3)$$

### 3.7.8 Pengolahan Data

Data jumlah koloni bakteri *Lactobacillus acidophilus* pada susu sapi dimasukkan dalam Tabel 3.2. Satuan jumlah bakteri yang digunakan adalah CFU/ml.

**Tabel 3.2** Tabel uji jumlah koloni bakteri

Kerapatan fluks magnet	Lama Paparan	Jumlah Sel Bakteri (CFU/ml)			Rata-rata
		1	2	3	
0,1 mT	0 menit				
	5 menit				
	10 menit				
	15 menit				
	20 menit				
0,2 mT	0 menit				
	5 menit				
	10 menit				
	15 menit				
	20 menit				
0,3 mT	0 menit				
	5 menit				
	10 menit				
	15 menit				
	20 menit				
0,4 mT	0 menit				
	5 menit				
	10 menit				
	15 menit				
	20 menit				
0,5 mT	0 menit				
	5 menit				
	10 menit				
	15 menit				
	20 menit				

Nilai pH susu sapi dimasukkan dalam Tabel 3.3. Setiap faktor perlakuan diulang sebanyak 3 kali.

**Tabel 3.3** Tabel uji pH susu

Kerapatan fluks magnet	Lama Paparan	pH susu			Rata-rata
		1	2	3	
0,1 mT	0 menit				
	5 menit				
	10 menit				
	15 menit				
	20 menit				
0,2 mT	0 menit				
	5 menit				
	10 menit				
	15 menit				
	20 menit				
0,3 mT	0 menit				
	5 menit				
	10 menit				
	15 menit				
	20 menit				
0,4 mT	0 menit				
	5 menit				
	10 menit				
	15 menit				
	20 menit				
0,5 mT	0 menit				
	5 menit				
	10 menit				
	15 menit				
	20 menit				

Data kadar lemak dimasukkan pada Tabel 3.4 dengan faktor perlakuan yang berbeda. Tujuannya adalah untuk mengetahui perubahan kadar lemak pada susu dan untuk mengetahui apakah kerapatan fluks magnet dan lama paparan medan magnet berpengaruh terhadap kadar lemak susu.

**Tabel 3.4** Tabel uji kadar lemak

Kerapatan fluks magnet	Lama Paparan	Kadar Lemak (%)			Rata-rata
		1	2	3	
0,1 mT	0 menit				
	5 menit				
	10 menit				
	15 menit				
	20 menit				
0,2 mT	0 menit				
	5 menit				
	10 menit				
	15 menit				
	20 menit				
0,3 mT	0 menit				
	5 menit				
	10 menit				
	15 menit				
	20 menit				
0,4 mT	0 menit				
	5 menit				
	10 menit				
	15 menit				
	20 menit				
0,5 mT	0 menit				
	5 menit				
	10 menit				
	15 menit				
	20 menit				

Data kadar protein dimasukkan pada Tabel 3.5 dengan faktor perlakuan yang bervariasi. Hal ini bertujuan untuk mengetahui perubahan kadar protein dan sebagai bahan untuk analisis apakah kandungan gizi (kadar protein) mengalami pengurangan atau tetap terjaga.

**Tabel 3.5** Tabel uji kadar protein

Kerapatan fluks magnet	Lama Paparan	Kadar Protein (%)			Rata-rata
		1	2	3	
0,1 mT	0 menit				
	5 menit				
	10 menit				
	15 menit				
	20 menit				
0,2 mT	0 menit				
	5 menit				
	10 menit				
	15 menit				
	20 menit				
0,3 mT	0 menit				
	5 menit				
	10 menit				
	15 menit				
	20 menit				
0,4 mT	0 menit				
	5 menit				
	10 menit				
	15 menit				
	20 menit				
0,5 mT	0 menit				
	5 menit				
	10 menit				
	15 menit				
	20 menit				

Seluruh data hasil penelitian diolah menjadi bentuk grafik hubungan antara kerapatan fluks magnet, lama paparan, dan waktu pengukuran terhadap jumlah bakteri *Lactobacillus acidophilus*, pH, kadar protein, dan kadar lemak susu sapi.

### 3.7.9 Analisis Data

Teknik analisis data dalam penelitian ini adalah analisis dengan menggunakan IBM SPSS Statistics. Untuk mengetahui pengaruh paparan medan magnet pada kelompok eksperimen, perlu dilakukan analisis ANOVA dan uji faktorial. Jika disimpulkan bahwa paparan medan magnet mempengaruhi kelompok eksperimen, maka dilanjutkan dengan uji DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*).

Kriteria kesimpulan yang didapat dari signifikansi hasil analisis IBM SPSS Statistics adalah jika signifikansi  $> 0.05$ , dapat disimpulkan tidak ada pengaruh dari medan magnet, sehingga tidak terdapat adanya perbedaan dan jika signifikansi  $< 0.05$ , dapat disimpulkan ada pengaruh dari medan magnet, sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan.

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data Hasil Penelitian

##### 4.1.1 Pengaruh Kerapatan Fluks Magnet dan Lama Paparan Medan

##### Magnet terhadap Jumlah Bakteri *Lactobacillus acidophilus*

Sampel penelitian adalah susu sapi yang sudah ditumbuhi bakteri starter *Lactobacillus acidophilus*. Proses pembuatan dimulai dengan sterilisasi susu dengan memanaskannya pada temperatur 60°C dengan waktu 30 menit. Lalu, susu dibiarkan sampai temperaturnya turun menjadi 37°C. Setelah itu, susu murni dicampur dengan bakteri starter *Lactobacillus acidophilus* dengan perbandingan 100:1 yang kemudian didiamkan selama 2 jam sebelum dipapari medan magnet.

Setelah didiamkan, susu tersebut dipapari medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan helmholtz dengan kerapatan fluks magnet dari 0,1 hingga 0,5 mT selama 0-20 menit. Tahap berikutnya adalah proses inkubasi pada suhu 37°C selama 20 jam. Setelah itu, jumlah bakteri segera dihitung. Perhitungan jumlah koloni bakteri *Lactobacillus acidophilus* di peroleh dengan menggunakan persamaan:

$$\Sigma \text{Total bakteri} = \Sigma \text{bakteri} \times \frac{1}{\text{Faktor Pengenceran}} \quad (4.1)$$

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa kerapatan fluks magnet dan waktu paparan dapat mempengaruhi jumlah koloni bakteri *Lactobacillus acidophilus* dalam susu sapi. Jumlah koloni bakteri yang tidak terpapar medan magnet adalah sebesar  $20,66 \pm 0,47 \times 10^8$  CFU/ml.

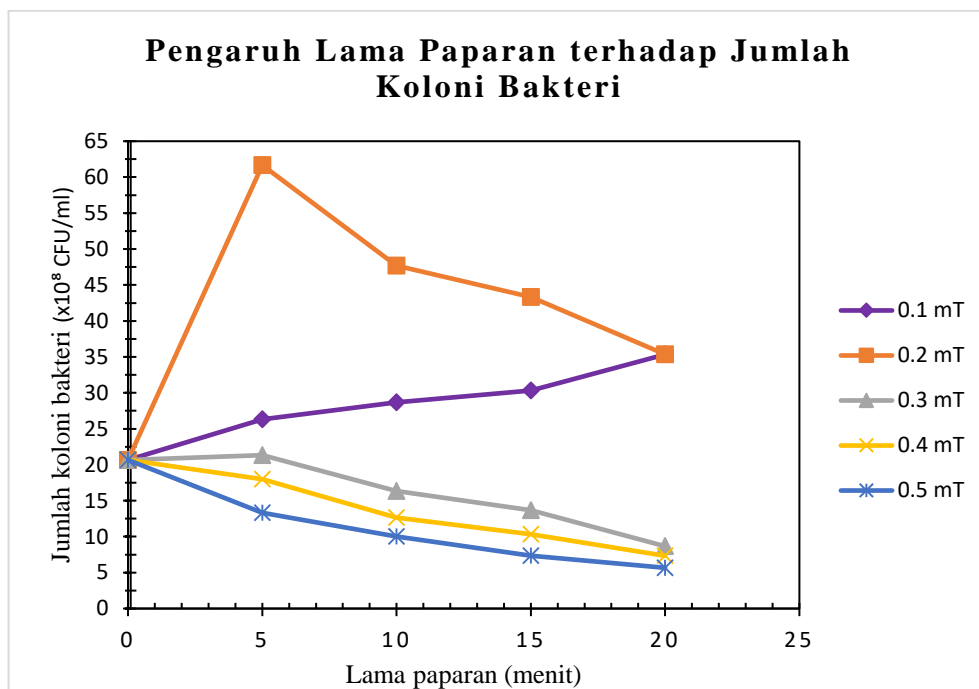
**Tabel 4.1** Data pengaruh kerapatan fluks magnet dan lama paparan medan magnet terhadap jumlah bakteri *Lactobacillus acidophilus*

Kerapatan fluks magnet	Lama Paparan	Jumlah Sel Bakteri (x10 <sup>8</sup> CFU/ml)			Rata-rata ± Standar Deviasi (x10 <sup>8</sup> CFU/ml)
		1	2	3	
0,1 mT	0 menit	21	20	21	<b>20.66 ± 0.47</b>
	5 menit	29	21	29	<b>26.33 ± 3.77</b>
	10 menit	27	34	25	<b>28.66 ± 3.85</b>
	15 menit	46	22	23	<b>30.33 ± 11.08</b>
	20 menit	39	45	22	<b>35.33 ± 9.74</b>
0,2 mT	0 menit	20	21	21	<b>20.66 ± 0.47</b>
	5 menit	67	54	64	<b>61.66 ± 5.55</b>
	10 menit	59	35	49	<b>47.66 ± 9.84</b>
	15 menit	44	37	49	<b>43.33 ± 4.92</b>
	20 menit	37	33	36	<b>35.33 ± 1.69</b>
0,3 mT	0 menit	21	21	20	<b>20.66 ± 0.47</b>
	5 menit	22	20	22	<b>21.33 ± 0.94</b>
	10 menit	17	16	16	<b>16.33 ± 0.47</b>
	15 menit	13	14	14	<b>13.66 ± 0.47</b>
	20 menit	9	8	9	<b>8.66 ± 0.47</b>
0,4 mT	0 menit	21	20	21	<b>20.66 ± 0.47</b>
	5 menit	19	17	18	<b>18.00 ± 0.81</b>
	10 menit	12	13	13	<b>12.66 ± 0.47</b>
	15 menit	10	11	10	<b>10.33 ± 0.47</b>
	20 menit	7	8	7	<b>7.33 ± 0.47</b>
0,5 mT	0 menit	20	21	21	<b>20.66 ± 0.47</b>
	5 menit	16	12	12	<b>13.33 ± 1.88</b>
	10 menit	13	9	8	<b>10.00 ± 2.16</b>
	15 menit	9	7	6	<b>7.33 ± 1.24</b>
	20 menit	6	6	5	<b>5.66 ± 0.47</b>

Jumlah koloni bakteri pada sampel yang terkena paparan medan magnet dengan kerapatan fluks magnet 0,1 mT selama 5 hingga 20 menit mengalami peningkatan yang signifikan. Ketika sampel diberikan perlakuan dengan kerapatan fluks magnet 0,2 mT selama 5 menit, jumlah koloni bakteri meningkat menjadi  $61,66 \pm 5,55 \times 10^8$  CFU/ml, tetapi mengalami penurunan pada sampel yang diberikan perlakuan dengan lama paparan selama 10, 15, dan 20 menit. Hal yang sama juga terjadi pada kepadatan fluks magnet 0,3-0,5 mT, di mana sampel yang

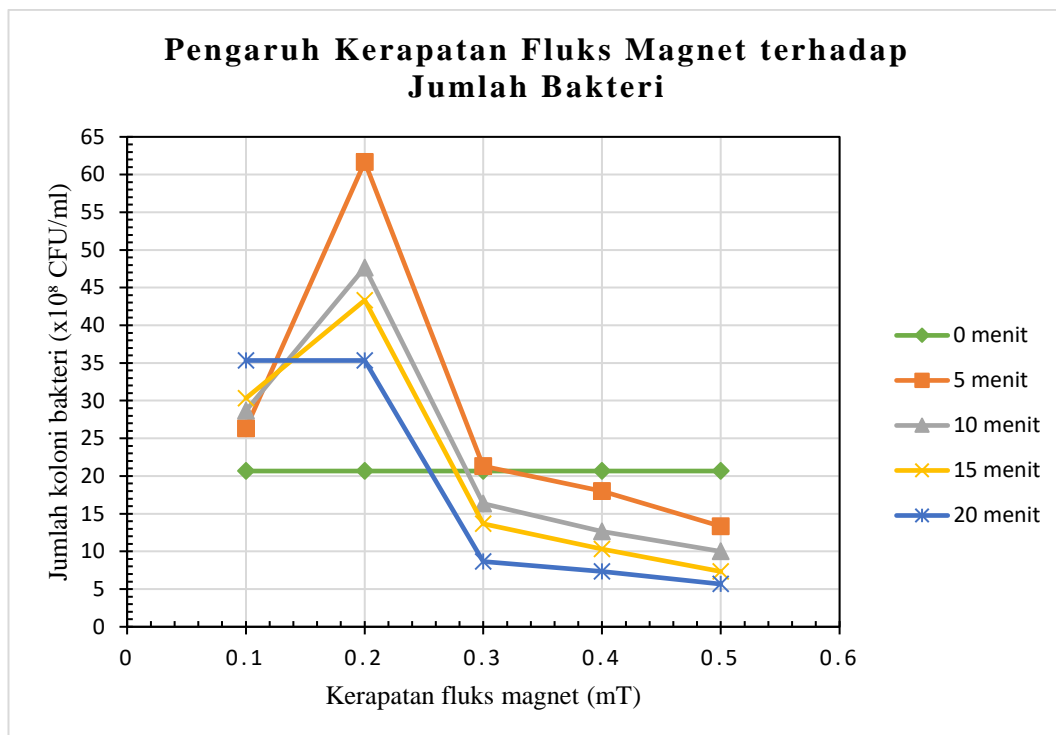


terpapar selama 5-20 menit mengalami penurunan. Sampel yang diberikan perlakuan dengan kepadatan fluks magnet 0,2 mT selama 5 menit menghasilkan pertumbuhan jumlah bakteri yang optimal.



**Gambar 4.1** Grafik pengaruh lama paparan terhadap jumlah koloni bakteri *Lactobacillus acidophilus*

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa grafik jumlah bakteri pada kerapatan fluks magnet 0.1 mT selama 0-20 menit meningkat secara signifikan. Pada kerapatan fluks magnet 0.2 mT selama 5 menit menunjukkan jumlah koloni bakteri lebih banyak, lalu mengalami penurunan jumlah bakteri pada lama paparan 10-20 menit. Pada kerapatan fluks magnet 0.3 mT, 0.4 mT, dan 0.5 mT, jumlah koloni bakteri pada lama paparan 5-20 menit mengalami penurunan secara signifikan. Jumlah koloni bakteri pada 0.2 mT dan 0.1 mT dengan lama paparan 5-20 menit lebih banyak daripada jumlah bakteri dengan lama paparan 0 menit (tidak diberi perlakuan). Jumlah bakteri optimum dihasilkan oleh kerapatan fluks magnet 0.2 mT selama 5 menit.



**Gambar 4.2** Grafik pengaruh kerapatan fluks magnet terhadap jumlah koloni bakteri *Lactobacillus acidophilus*

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa kerapatan fluks magnet 0.1-0.5 mT dengan lama paparan 0 menit memiliki jumlah bakteri yang sama. Jumlah bakteri meningkat pada kerapatan fluks magnet 0.2 mT dengan lama paparan 5-15 menit. Pada kerapatan fluks magnet 0.3 mT, 0.4 mT, dan 0.5 mT dengan lama paparan 5-20 menit menunjukkan terjadinya penurunan jumlah koloni bakteri secara signifikan. Jumlah bakteri optimum dihasilkan oleh kerapatan fluks magnet 0.2 mT selama 5 menit.

Berdasarkan data jumlah koloni bakteri setelah dipapari medan magnet pada Tabel 4.1, Gambar 4.1, dan Gambar 4.2, dilakukan uji faktorial untuk membandingkan rata-rata pengaruh kerapatan fluks magnet dan lama paparan terhadap jumlah koloni bakteri agar mengetahui perbedaan signifikan dari dua atau lebih kelompok data yang terdapat pada tabel berikut:

**Tabel 4.2** Hasil analisis faktorial pada jumlah koloni bakteri *Lactobacillus acidophilus*

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Lama Paparan	804.933	4	201.233	8.067	0.00
Kerapatan Fluks Magnet	9635.067	4	2408.767	96.557	0.00
Lama Paparan*Kerapatan Fluks Magnet	3413.333	16	213.333	8.552	0.00
Total	52286.000	75			

Berdasarkan analisis data statistik menggunakan SPSS dengan uji faktorial pada Tabel 4.2 menunjukkan bahwa faktor kerapatan fluks magnet memiliki pengaruh nyata terhadap pertumbuhan bakteri *Lactobacillus acidophilus* dengan nilai signifikansi 0.00 atau lebih kecil dari  $\alpha$  (0.05) sehingga kerapatan fluks magnet mempunyai pengaruh nyata terhadap pertumbuhan bakteri *Lactobacillus acidophilus*. Nilai signifikansi faktor lama paparan sebesar 0.00 dan interaksi keduanya sebesar 0.00. Hasil dari kedua faktor menunjukkan hasil yang lebih kecil dari  $\alpha$  (0.05) sehingga lama paparan dan interaksi keduanya memiliki pengaruh nyata terhadap pertumbuhan bakteri *Lactobacillus acidophilus*, sehingga diperlukan uji lanjut. Selanjutnya dilakukan uji DMRT untuk membandingkan rata-rata masing-masing kelompok data. Berikut merupakan hasil DMRT untuk dapat mengetahui pengaruh kerapatan fluks magnet dan lama paparan yang paling berpengaruh.

**Tabel 4.3** Hasil uji DMRT lama paparan terhadap jumlah koloni bakteri *Lactobacillus acidophilus*

Lama Paparan	Jumlah Bakteri (CFU/ml)	Notasi huruf
20 menit	18.4667	a
0 menit	20.6667	ab
15 menit	21.0000	ab
10 menit	23.0667	b
5 menit	28.1333	c

Notasi yang mengandung huruf sama menunjukkan bahwa perlakuan tersebut tidak berbeda. Notasi yang mengandung huruf berbeda menunjukkan

bahwa perlakuan tersebut berbeda. Berdasarkan tabel 4.3, perlakuan dengan lama paparan 5 menit dan 10 menit menunjukkan notasi yang berbeda, artinya kedua perlakuan tersebut berbeda nyata. Perlakuan 5 menit dengan 20 menit memiliki notasi yang berbeda, artinya kedua perlakuan tersebut berbeda nyata. Lama paparan 15 menit dan 10 menit memiliki notasi yang mengandung huruf sama, sehingga dapat disimpulkan bahwa kedua perlakuan tersebut tidak berbeda. Lama paparan medan magnet 0 menit dan 20 menit mengandung notasi huruf yang sama, sehingga dapat disimpulkan bahwa kedua perlakuan tersebut tidak berbeda. Lama paparan 20 menit dan 10 menit menunjukkan notasi yang berbeda, artinya kedua perlakuan tersebut berbeda nyata. Lama paparan 5 menit menghasilkan jumlah koloni bakteri paling besar, yang dinotasikan dengan huruf c.

**Tabel 4.4** Hasil uji DMRT kerapatan fluks magnet terhadap jumlah koloni bakteri *Lactobacillus acidophilus*

Kerapatan Fluks Magnet	Jumlah Bakteri (CFU/ml)	Notasi huruf
0.5 mT	11.4000	a
0.4 mT	13.8000	ab
0.3 mT	16.1333	b
0.1 mT	28.2667	c
0.2 mT	41.7333	d

Notasi yang mengandung huruf sama menunjukkan bahwa perlakuan tersebut tidak berbeda. Notasi yang mengandung huruf berbeda menunjukkan bahwa perlakuan tersebut berbeda. Berdasarkan tabel 4.4, perlakuan dengan kerapatan fluks magnet 0.1 mT dan 0.2 mT menunjukkan notasi yang berbeda, artinya kedua perlakuan tersebut berbeda nyata. Perlakuan 0.1 mT dengan 0.3 mT memiliki notasi yang berbeda, artinya kedua perlakuan tersebut berbeda nyata. Kerapatan fluks magnet 0.5 mT dan 0.4 mT memiliki notasi yang mengandung huruf sama, sehingga dapat disimpulkan bahwa kedua perlakuan tersebut tidak berbeda. Kerapatan fluks magnet 0.4 mT dan 0.3 mT mengandung notasi huruf

yang sama, sehingga dapat disimpulkan bahwa kedua perlakuan tersebut tidak berbeda. Perlakuan dengan kerapatan fluks magnet 0.2 mT dan 0.5 mT menunjukkan notasi yang berbeda, artinya kedua perlakuan tersebut berbeda nyata. Kerapatan fluks magnet 0.2 mT menghasilkan jumlah koloni bakteri paling besar, yang dinotasikan dengan huruf d.

Perlakuan yang menghasilkan jumlah bakteri paling banyak adalah kerapatan fluks magnet 0.2 mT dan lama paparan 5 menit. Hal ini disebabkan oleh perlakuan medan magnet mengenai ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dalam saluran protein pada membran sel yang secara efektif meningkatkan masuknya ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) tanpa adanya efek proliferasi, sehingga menyebabkan peningkatan permeabilitas membran sel. Peningkatan ion kalsium ke dalam membran sel dapat meningkatkan metabolisme sehingga proses pertumbuhan sel semakin cepat dan jumlah bakteri semakin banyak (Tirono, 2022b).

#### **4.1.2 Pengaruh Kerapatan Fluks Magnet dan Lama Paparan Medan**

##### **Magnet terhadap pH Susu**

Uji pH (derajat keasaman) dilakukan menggunakan alat pH meter. pH meter dikalibrasi terlebih dahulu dengan buffer sebelum digunakan. Pengukuran dilakukan dengan merendam elektroda pH meter dalam sampel susu. Pengukuran pH dilakukan 20 jam setelah sampel diberi perlakuan medan magnet dengan kerapatan fluks magnet 0.1-0.5 mT dengan masing-masing 0-20 menit. Data pengaruh kerapatan fluks magnet dan lama paparan medan magnet terhadap pH susu ditunjukkan pada Tabel 4.5.

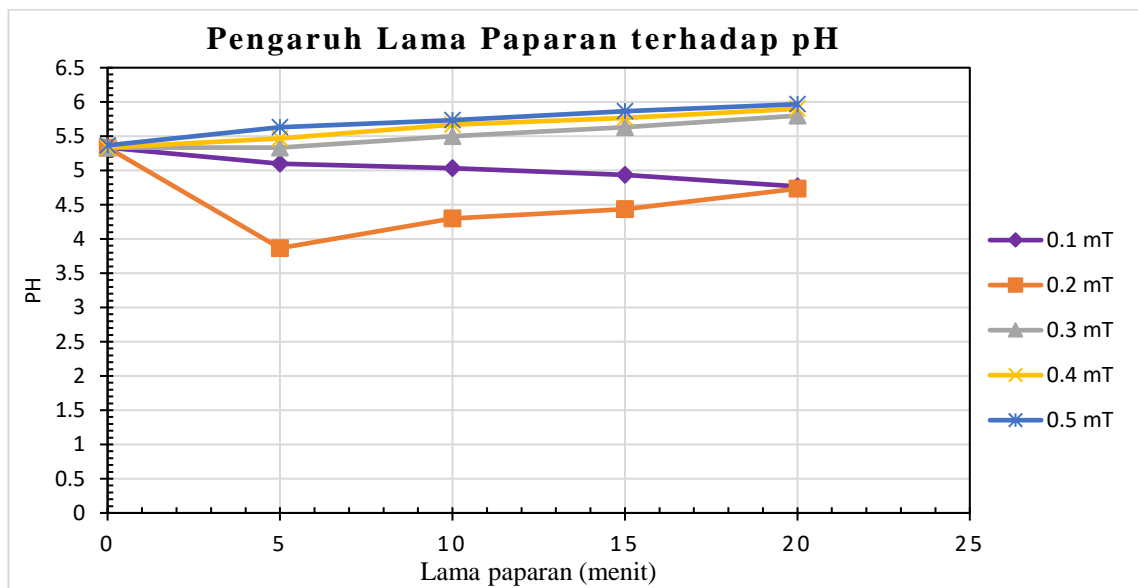
**Tabel 4.5** Data pengaruh kerapatan fluks magnet dan lama paparan medan magnet terhadap pH susu sapi

Kerapatan fluks magnet	Lama Paparan	pH susu			Rata-rata $\pm$ Standar Deviasi
		1	2	3	
0,1 mT	0 menit	5.3	5.4	5.3	<b>5.33</b> $\pm$ 0.047
	5 menit	5	5.3	5	<b>5.10</b> $\pm$ 0.141
	10 menit	5.1	4.8	5.2	<b>5.03</b> $\pm$ 0.169
	15 menit	4.3	5.3	5.2	<b>4.93</b> $\pm$ 0.449
	20 menit	4.6	4.4	5.3	<b>4.76</b> $\pm$ 0.385
0,2 mT	0 menit	5.4	5.3	5.3	<b>5.33</b> $\pm$ 0.047
	5 menit	3.8	4	3.8	<b>3.86</b> $\pm$ 0.094
	10 menit	3.9	4.8	4.2	<b>4.30</b> $\pm$ 0.374
	15 menit	4.4	4.7	4.2	<b>4.43</b> $\pm$ 0.205
	20 menit	4.7	4.8	4.7	<b>4.73</b> $\pm$ 0.047
0,3 mT	0 menit	5.3	5.3	5.4	<b>5.33</b> $\pm$ 0.047
	5 menit	5.3	5.4	5.3	<b>5.33</b> $\pm$ 0.047
	10 menit	5.5	5.5	5.5	<b>5.50</b> $\pm$ 0.000
	15 menit	5.7	5.6	5.6	<b>5.63</b> $\pm$ 0.047
	20 menit	5.8	5.8	5.8	<b>5.80</b> $\pm$ 0.000
0,4 mT	0 menit	5.3	5.4	5.3	<b>5.33</b> $\pm$ 0.047
	5 menit	5.4	5.5	5.5	<b>5.46</b> $\pm$ 0.047
	10 menit	5.7	5.6	5.7	<b>5.66</b> $\pm$ 0.047
	15 menit	5.8	5.7	5.8	<b>5.76</b> $\pm$ 0.047
	20 menit	5.9	5.9	5.9	<b>5.90</b> $\pm$ 0.000
0,5 mT	0 menit	5.4	5.3	5.4	<b>5.36</b> $\pm$ 0.047
	5 menit	5.5	5.7	5.7	<b>5.63</b> $\pm$ 0.094
	10 menit	5.6	5.8	5.8	<b>5.73</b> $\pm$ 0.094
	15 menit	5.8	5.9	5.9	<b>5.86</b> $\pm$ 0.047
	20 menit	5.9	6	6	<b>5.96</b> $\pm$ 0.047

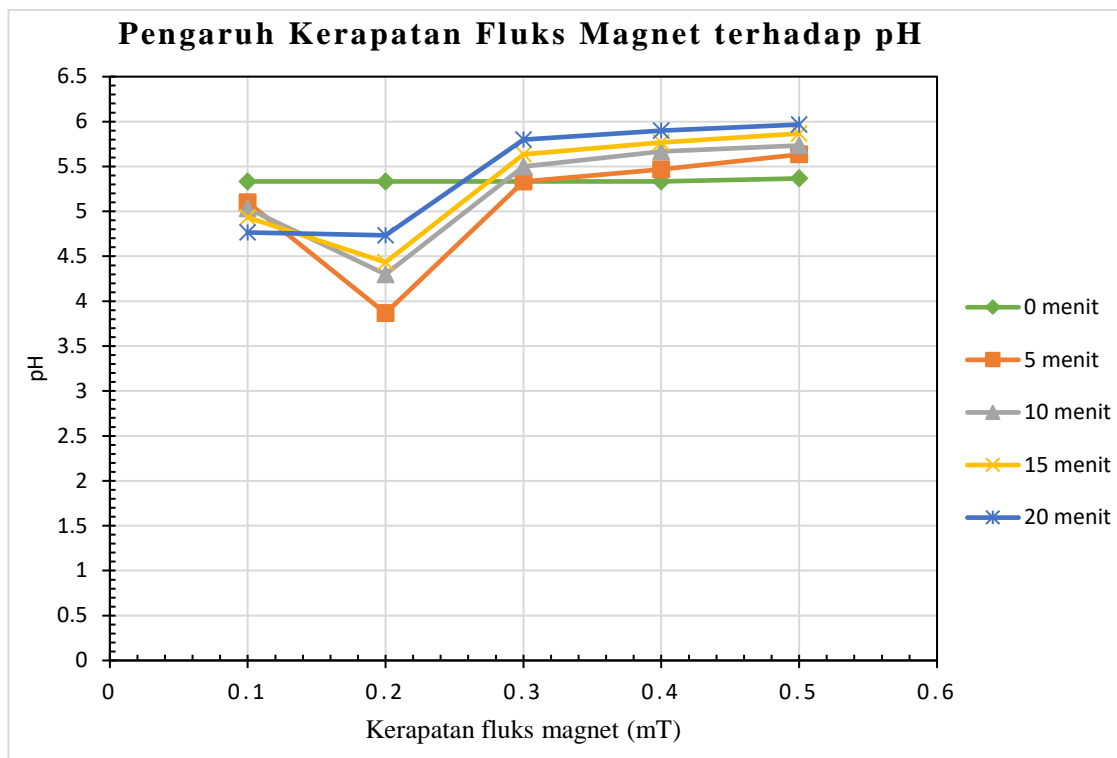
Tabel 4.5 menunjukkan bahwa kerapatan fluks magnet dan lama paparan berpengaruh terhadap pH susu sapi. pH kontrol adalah  $5.33-5.36 \pm 0.047$ . Setelah diberi perlakuan kerapatan fluks magnet 0.1 mT, sampel dengan lama paparan 5-20 menit mengalami penurunan nilai pH secara signifikan. Pada kerapatan fluks magnet 0.2 mT, pH susu yang diberi paparan selama 5 menit mengalami penurunan, namun pH susu yang diberi paparan selama 10-20 menit mengalami peningkatan. Begitu pula dengan kerapatan fluks magnet 0.3 mT, 0.4 mT, dan 0.5 mT, pH susu

yang diberi paparan selama 5-20 menit mengalami peningkatan. pH terendah dihasilkan oleh susu yang diberi perlakuan dengan kerapatan fluks magnet 0.2 mT selama 5 menit, yakni  $3.86 \pm 0.094$ .

Analisis data yang diperoleh menunjukkan hubungan antara kerapatan fluks magnet dan lama paparan terhadap pH susu sapi. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.



**Gambar 4.3** Grafik pengaruh lama paparan medan magnet terhadap pH susu sapi



**Gambar 4.4** Grafik pengaruh kerapatan fluks magnet terhadap pH susu sapi

Berdasarkan grafik pada gambar 4.3 diperoleh bahwa pada lama paparan 5-20 menit dengan kerapatan fluks magnet 0.1 mT mengalami penurunan pH secara signifikan. Sedangkan lama paparan selama 5 menit dengan kerapatan fluks magnet 0.2 mT mengalami penurunan dan pada lama paparan selama 10-20 menit mengalami peningkatan. Pada lama paparan 5-20 menit dengan kerapatan fluks magnet 0.3 mT, 0.4 mT, dan 0.5 mT mengalami peningkatan pH. Berdasarkan grafik pada gambar 4.4 diperoleh bahwa kerapatan fluks magnet 0.1-0.5 mT pada lama paparan 0 menit memiliki nilai pH yang sama. Kerapatan fluks magnet 0.2 mT selama 5-20 menit mengalami penurunan pH. Sedangkan kerapatan fluks magnet 0.3 mT, 0.4 mT, 0.5 mT dengan lama paparan selama 5-20 menit mengalami peningkatan nilai pH. pH terendah berada pada kerapatan fluks magnet 0.2 mT selama 5 menit yakni  $3.86 \pm 0.094$ .



Berdasarkan data pH pada Tabel 4.5, Gambar 4.3 dan Gambar 4.4, dilakukan uji faktorial untuk membandingkan rata-rata pengaruh kerapatan fluks magnet dan lama paparan terhadap pH agar mengetahui perbedaan signifikan dari data yang terdapat pada tabel berikut:

**Tabel 4.6** Hasil analisis faktorial pada pH susu sapi

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Lama Paparan	1.054	4	0.263	6.885	0.00
Kerapatan Fluks Magnet	14.757	4	3.689	96.406	0.00
Lama Paparan*Kerapatan Fluks Magnet	4.790	16	0.299	7.824	0.00
Total	2117.620	75			

Berdasarkan analisis data statistik menggunakan SPSS dengan uji faktorial menunjukkan bahwa faktor kerapatan fluks magnet memiliki pengaruh nyata terhadap pH susu sapi dengan nilai signifikansi 0.00 kurang dari  $\alpha$  (0.05). Nilai signifikansi lama paparan dan nilai interaksi keduanya sebesar 0.00 dimana nilai kedua faktor tersebut kurang dari  $\alpha$  (0.05), sehingga dapat disimpulkan bahwa faktor lama paparan dan interaksi keduanya memiliki pengaruh nyata terhadap pH susu sapi dan diperlukan uji lanjut. Selanjutnya dilakukan uji DMRT untuk membandingkan rata-rata dari masing-masing kelompok data. Berikut merupakan hasil uji DMRT untuk mengetahui pengaruh kerapatan fluks magnet yang paling berpengaruh.

**Tabel 4.7** Hasil uji DMRT lama paparan terhadap pH susu sapi

Lama Paparan	pH	Notasi huruf
5 menit	5.0800	a
10 menit	5.2467	b
15 menit	5.3267	bc
0 menit	5.3400	bc
20 menit	5.4333	c

Notasi yang mengandung huruf sama menunjukkan bahwa perlakuan tersebut tidak berbeda. Notasi yang mengandung huruf berbeda menunjukkan

bahwa perlakuan tersebut berbeda. Berdasarkan tabel 4.7, lama paparan medan magnet 5 menit dan 10 menit memiliki notasi yang berbeda, artinya kedua perlakuan tersebut berbeda nyata. Lama paparan medan magnet 10 menit dan 15 menit memiliki notasi yang mengandung huruf sama, artinya kedua perlakuan tersebut tidak berbeda. Lama paparan medan magnet 5 menit dan 20 menit memiliki notasi yang berbeda, artinya kedua perlakuan tersebut berbeda nyata. Lama paparan medan magnet 5 menit dan 0 menit memiliki notasi yang berbeda, artinya kedua perlakuan tersebut berbeda nyata. Lama paparan yang menghasilkan nilai pH paling kecil adalah 5 menit, yang dinotasikan dengan huruf a.

**Tabel 4.8** Hasil uji DMRT kerapatan fluks magnet terhadap pH susu sapi

Kerapatan Fluks Magnet	pH	Notasi huruf
0.2 mT	4.5333	a
0.1 mT	5.0333	b
0.3 mT	5.5200	c
0.4 mT	5.6267	cd
0.5 mT	5.7133	d

Notasi yang mengandung huruf sama menunjukkan bahwa perlakuan tersebut tidak berbeda. Notasi yang mengandung huruf berbeda menunjukkan bahwa perlakuan tersebut berbeda. Berdasarkan tabel 4.8, perlakuan kerapatan fluks magnet 0.2 mT dan 0.1 mT memiliki notasi yang berbeda, artinya kedua perlakuan tersebut berbeda nyata. Perlakuan medan magnet 0.2 mT dan 0.3 mT memiliki notasi yang berbeda sehingga dapat disimpulkan bahwa kedua perlakuan tersebut berbeda nyata. Namun, kerapatan fluks magnet 0.3 mT dan 0.4 mT memiliki notasi yang mengandung huruf sama sehingga dapat disimpulkan bahwa kedua perlakuan tersebut tidak berbeda. Kerapatan fluks magnet 0.2 mT dan 0.4 mT memiliki notasi yang berbeda, artinya kedua perlakuan tersebut berbeda nyata.

Kerapatan fluks magnet 0.4 mT dan 0.5 mT memiliki notasi yang mengandung huruf sama, artinya kedua perlakuan tersebut tidak berbeda.

Kerapatan fluks magnet yang menghasilkan pH terendah adalah 0.2 mT selama 5 menit. Hal ini dikarenakan semakin banyak jumlah bakteri *Lactobacillus acidophilus* atau bakteri asam laktat maka asam laktat akan semakin banyak. Ion H<sup>+</sup> yang dilepaskan selama proses pembentukan asam laktat menjadi semakin banyak. Dengan begitu, pH susu akan semakin menurun (Muharromah, 2018).

#### **4.1.3 Pengaruh Kerapatan Fluks Magnet dan Lama Paparan Medan Magnet terhadap Kadar Lemak Susu Sapi**

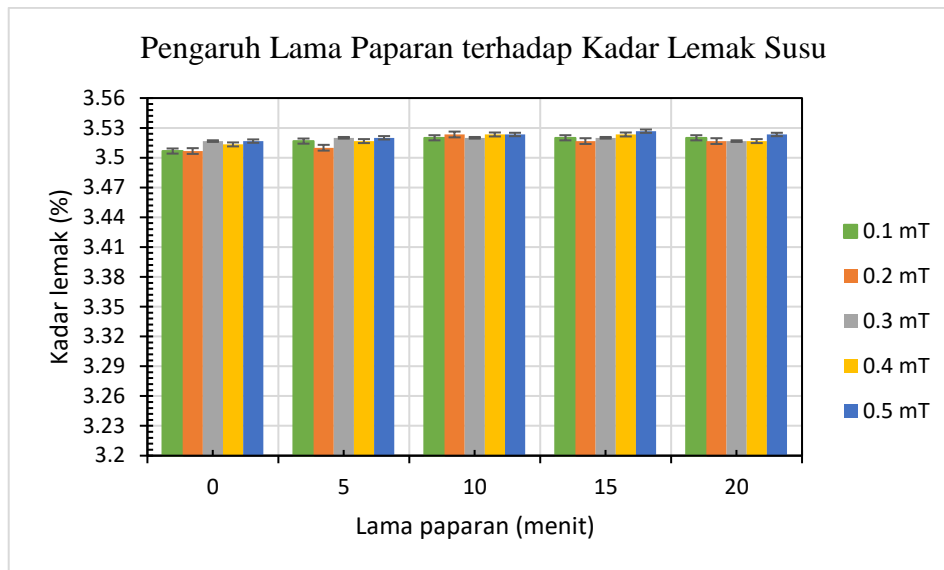
Bakteri starter *Lactobacillus acidophilus* ditumbuhkan dalam susu yang memiliki kadar lemak 3.6 %. Setelah didiamkan, susu dipapari medan magnet dengan kerapatan fluks magnet 0.1-0.5 mT dengan lama paparan masing-masing 0-20 menit. Tahap selanjutnya adalah uji kadar lemak dengan metode Gerber.

Tabel 4.9 menunjukkan bahwa kadar lemak pada sampel yang tidak dipapari medan magnet adalah  $3.50 \pm 0.0124\%$ . Setelah dipapari medan magnet sebesar 0.1 mT, sampel dengan lama paparan 5 menit memiliki kadar lemak sebesar  $3.51 \pm 0.0124\%$  dan sampel dengan lama paparan 10-15 menit memiliki kadar lemak  $3.52 \pm 0.0141\%$ . Pada saat dipapari medan magnet sebesar 0.2 mT dengan lama paparan 5 menit kadar lemaknya menjadi  $3.51 \pm 0.0141\%$ . Pada saat dipapari medan magnet sebesar 0.3 mT selama 5-15 menit kadar lemaknya menjadi  $3.52 \pm 0.0081\%$ . Pada saat dipapari medan magnet sebesar 0.4 mT, sampel dengan lama paparan 10-15 menit memiliki kadar lemak  $3.52 \pm 0.0094\%$  dan sampel dengan lama paparan 20 menit memiliki kadar lemak sebesar  $3.51 \pm 0.0094\%$ . Kemudian kadar lemak sampel yang diberi paparan dengan kerapatan fluks magnet 0.5 mT selama 5-10

menit memiliki kadar lemak  $3.52 \pm 0.0094\%$ . Hal ini menunjukkan bahwa bertambahnya kerapatan fluks magnet tidak mempengaruhi jumlah kadar lemak pada susu sapi. Susu sapi tetap terjaga kadar lemaknya.

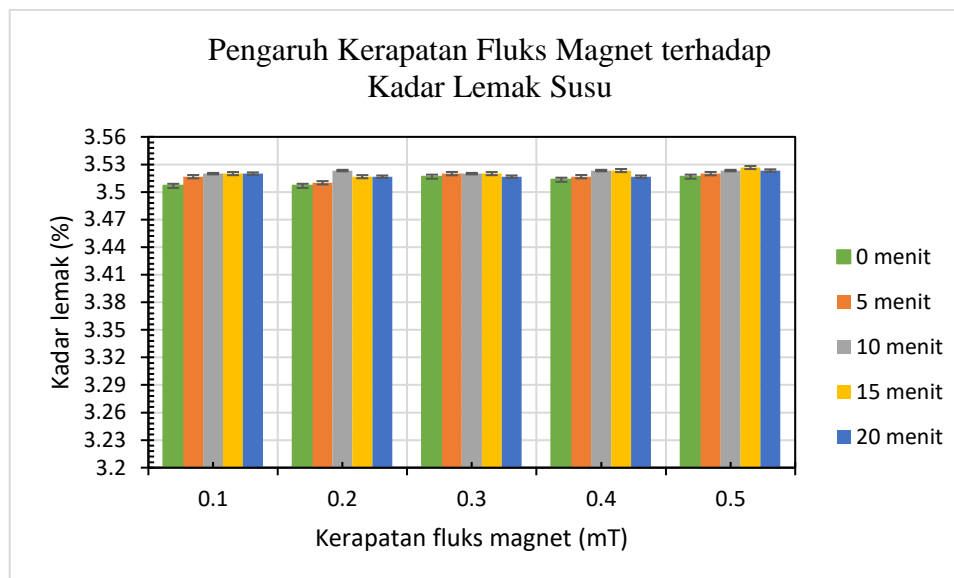
**Tabel 4.9** Data pengaruh kerapatan fluks magnet dan lama paparan medan magnet terhadap kadar lemak susu sapi

Kerapatan fluks magnet	Lama Paparan	Kadar Lemak (%)			Rata-rata $\pm$ Standar Deviasi
		1	2	3	
0,1 mT	0 menit	3.49	3.51	3.52	<b>3.50</b> $\pm$ 0.0124
	5 menit	3.5	3.52	3.53	<b>3.51</b> $\pm$ 0.0124
	10 menit	3.5	3.53	3.53	<b>3.52</b> $\pm$ 0.0141
	15 menit	3.5	3.53	3.53	<b>3.52</b> $\pm$ 0.0141
	20 menit	3.5	3.53	3.53	<b>3.52</b> $\pm$ 0.0141
0,2 mT	0 menit	3.5	3.5	3.52	<b>3.50</b> $\pm$ 0.0124
	5 menit	3.49	3.52	3.52	<b>3.51</b> $\pm$ 0.0141
	10 menit	3.51	3.53	3.53	<b>3.52</b> $\pm$ 0.0094
	15 menit	3.51	3.52	3.52	<b>3.51</b> $\pm$ 0.0047
	20 menit	3.51	3.52	3.52	<b>3.51</b> $\pm$ 0.0047
0,3 mT	0 menit	3.52	3.52	3.51	<b>3.51</b> $\pm$ 0.0047
	5 menit	3.53	3.51	3.52	<b>3.52</b> $\pm$ 0.0081
	10 menit	3.53	3.52	3.51	<b>3.52</b> $\pm$ 0.0081
	15 menit	3.53	3.51	3.52	<b>3.52</b> $\pm$ 0.0081
	20 menit	3.53	3.51	3.51	<b>3.51</b> $\pm$ 0.0094
0,4 mT	0 menit	3.51	3.51	3.52	<b>3.51</b> $\pm$ 0.0047
	5 menit	3.52	3.52	3.51	<b>3.51</b> $\pm$ 0.0047
	10 menit	3.53	3.53	3.51	<b>3.52</b> $\pm$ 0.0094
	15 menit	3.53	3.53	3.51	<b>3.52</b> $\pm$ 0.0094
	20 menit	3.51	3.51	3.53	<b>3.51</b> $\pm$ 0.0094
0,5 mT	0 menit	3.52	3.52	3.51	<b>3.51</b> $\pm$ 0.0047
	5 menit	3.53	3.53	3.5	<b>3.52</b> $\pm$ 0.0094
	10 menit	3.51	3.53	3.53	<b>3.52</b> $\pm$ 0.0094
	15 menit	3.53	3.53	3.52	<b>3.52</b> $\pm$ 0.0047
	20 menit	3.53	3.52	3.52	<b>3.52</b> $\pm$ 0.0047



**Gambar 4.5** Diagram pengaruh lama paparan terhadap kadar lemak susu sapi

Berdasarkan Gambar 4.5, lama paparan 0 menit memiliki kisaran kadar lemak sebesar 3.50-3.51%. Lama paparan 5 menit untuk kerapatan fluks magnet 0.1-0.5 mT memiliki kadar lemak kisaran 3.51-3.52%. Lama paparan 10 menit untuk kerapatan fluks magnet 0.1-0.5 mT memiliki kadar lemak kisaran 3.52-3.525%. Lama paparan 15 menit dan 20 menit untuk 0.1-0.5 mT memiliki kadar lemak kisaran 3.51-3.52%. Berdasarkan Gambar 4.6, kadar lemak susu yang dipapari oleh medan magnet memiliki kadar lemak berkisar 3.50-3.52%. Seluruh sampel memiliki kadar protein yang cenderung sama. Hal ini menunjukkan bahwa faktor perlakuan lama paparan tidak mempengaruhi kadar lemak secara signifikan.



**Gambar 4.6** Diagram pengaruh kerapatan fluks magnet terhadap kadar lemak susu sapi

Berdasarkan data kadar lemak setelah dipapari medan magnet pada Tabel 4.9, Gambar 4.5, dan Gambar 4.6, dilakukan uji faktorial untuk membandingkan rata-rata pengaruh kerapatan fluks magnet dan lama paparan terhadap kadar lemak agar mengetahui perbedaan signifikan dari data yang terdapat pada tabel berikut:

**Tabel 4.10** Hasil analisis faktorial pada kadar lemak susu sapi

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Kerapatan Fluks Magnet	0.001	4	0.000	0.961	0.437
Lama Paparan	0.001	4	0.000	1.908	0.124
Kerapatan Fluks Magnet* Lama Paparan	0.000	16	2.700E-5	0.197	1.000
Total	928.374	75			

Hasil analisis data statistik menggunakan SPSS dengan uji faktorial menunjukkan bahwa faktor kerapatan fluks magnet tidak memiliki pengaruh nyata terhadap kadar lemak susu sapi dengan nilai signifikansi 0.437 lebih dari  $\alpha$  (0.05). Nilai signifikansi lama paparan terhadap kadar lemak susu sapi adalah 0.124 lebih dari  $\alpha$  (0.05) sehingga dapat disimpulkan bahwa lama paparan tidak memiliki pengaruh nyata terhadap kadar lemak susu sapi. Nilai signifikansi interaksi

kerapatan fluks magnet dengan lama paparan sebesar 1.000 dimana nilai interaksi kedua faktor tersebut lebih dari  $\alpha$  (0,05) sehingga dapat disimpulkan bahwa interaksi keduanya tidak memiliki pengaruh nyata terhadap kadar lemak susu sapi dan tidak diperlukan uji lanjut.

Berdasarkan Tabel 4.10, kerapatan fluks magnet dan lama paparan medan magnet tidak mempengaruhi kadar lemak. Hal ini dapat disebabkan oleh sifat medan magnet yang non-thermal sehingga tidak mempengaruhi kandungan gizi (kadar lemak) susu (Ratnasari et al., 2021). Kadar lemak susu sebelum dan sesudah diberi perlakuan mengalami penurunan kadar lemak, namun tidak signifikan.

#### **4.1.4 Pengaruh Kerapatan Fluks Magnet dan Lama Paparan Medan Magnet terhadap Kadar Protein Susu Sapi**

Uji kadar protein susu dilakukan dengan menggunakan metode Kjeldahl. Kadar protein susu sebelum diberi perlakuan adalah 3.45 %. Pengukuran uji kadar protein dilakukan setelah sampel diberi perlakuan medan magnet dengan kerapatan fluks magnet 0.1-0.5 mT dengan masing-masing 0-20 menit. Data pengaruh kerapatan fluks magnet dan lama paparan medan magnet terhadap kadar protein susu ditunjukkan pada Tabel 4.11.

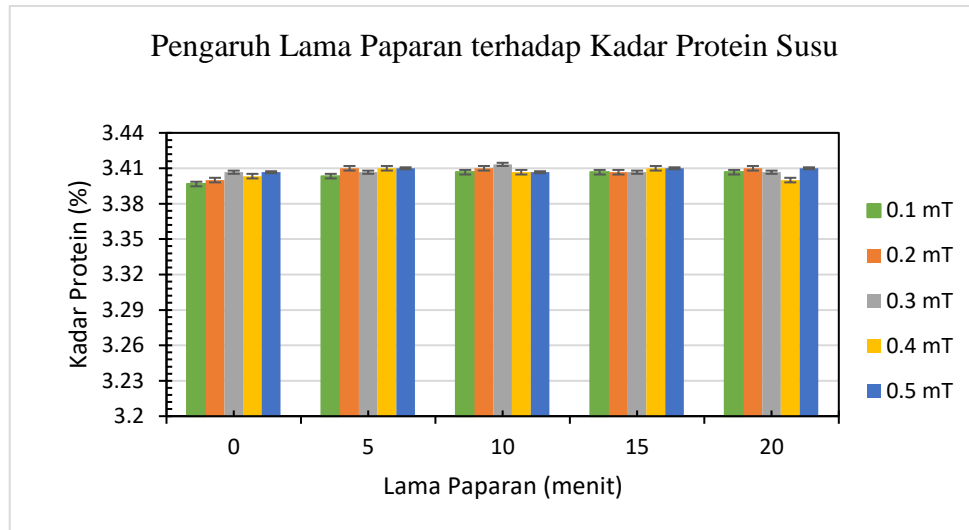
Tabel 4.11 menunjukkan bahwa kadar protein pada sampel yang tidak dipapari medan magnet adalah  $3.39 \pm 0.0047$  %. Setelah dipapari medan magnet sebesar 0.1 mT dengan lama paparan 5-20 menit, sampel memiliki kadar protein  $3.40 \pm 0.0047$ %. Pada saat dipapari medan magnet sebesar 0.2 mT dengan lama paparan 5-10 menit kadar proteinnya menjadi  $3.41 \pm 0.0081$  % dan dengan lama paparan 15 menit kadar proteinnya menjadi  $3.40 \pm 0.0094$ %. Kemudian kadar

protein sampel yang diberi paparan dengan kerapatan fluks magnet 0.5 mT selama 15-20 menit memiliki kadar protein  $3.41 \pm 0.0000$  %.

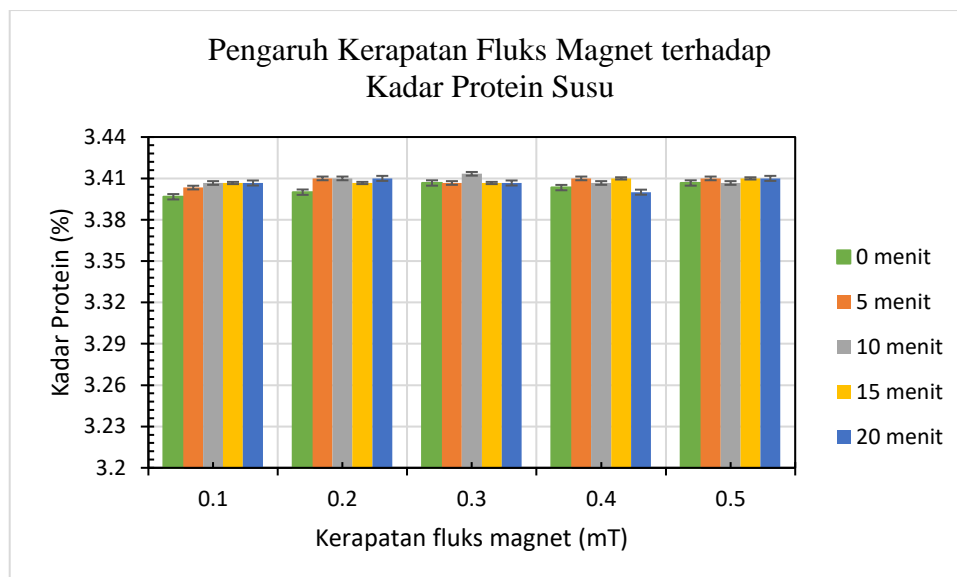
**Tabel 4.11** Data pengaruh kerapatan fluks magnet dan lama paparan medan magnet terhadap kadar protein susu sapi

Kerapatan fluks magnet	Lama Paparan	Kadar Protein (%)			Rata-rata $\pm$ Standar Deviasi
		1	2	3	
0,1 mT	0 menit	3.39	3.4	3.4	<b>3.39</b> $\pm$ 0.0047
	5 menit	3.4	3.4	3.41	<b>3.40</b> $\pm$ 0.0047
	10 menit	3.41	3.41	3.4	<b>3.40</b> $\pm$ 0.0047
	15 menit	3.41	3.4	3.41	<b>3.40</b> $\pm$ 0.0047
	20 menit	3.41	3.4	3.41	<b>3.40</b> $\pm$ 0.0047
0,2 mT	0 menit	3.4	3.4	3.4	<b>3.40</b> $\pm$ 0.0000
	5 menit	3.42	3.4	3.41	<b>3.41</b> $\pm$ 0.0081
	10 menit	3.42	3.4	3.41	<b>3.41</b> $\pm$ 0.0081
	15 menit	3.42	3.4	3.4	<b>3.40</b> $\pm$ 0.0094
	20 menit	3.42	3.4	3.41	<b>3.41</b> $\pm$ 0.0081
0,3 mT	0 menit	3.4	3.4	3.42	<b>3.40</b> $\pm$ 0.0094
	5 menit	3.41	3.41	3.4	<b>3.40</b> $\pm$ 0.0047
	10 menit	3.41	3.42	3.41	<b>3.41</b> $\pm$ 0.0047
	15 menit	3.41	3.41	3.4	<b>3.40</b> $\pm$ 0.0047
	20 menit	3.4	3.41	3.41	<b>3.40</b> $\pm$ 0.0047
0,4 mT	0 menit	3.4	3.4	3.41	<b>3.40</b> $\pm$ 0.0047
	5 menit	3.4	3.41	3.42	<b>3.41</b> $\pm$ 0.0081
	10 menit	3.41	3.41	3.4	<b>3.40</b> $\pm$ 0.0047
	15 menit	3.41	3.41	3.41	<b>3.41</b> $\pm$ 0.0000
	20 menit	3.39	3.41	3.4	<b>3.40</b> $\pm$ 0.0081
0,5 mT	0 menit	3.4	3.41	3.41	<b>3.40</b> $\pm$ 0.0047
	5 menit	3.41	3.4	3.42	<b>3.41</b> $\pm$ 0.0081
	10 menit	3.4	3.41	3.41	<b>3.40</b> $\pm$ 0.0047
	15 menit	3.41	3.41	3.41	<b>3.41</b> $\pm$ 0.0000
	20 menit	3.41	3.41	3.41	<b>3.41</b> $\pm$ 0.0000





**Gambar 4.7** Diagram pengaruh lama paparan terhadap kadar protein susu sapi



**Gambar 4.8** Diagram pengaruh kerapatan fluks magnet terhadap kadar protein susu sapi

Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 menunjukkan persentase kadar protein pada susu sapi setelah dipapari medan magnet dengan kerapatan fluks magnet 0.1-0.5 mT selama 0-20 menit. Grafik 4.7 menunjukkan bahwa persentase kadar protein pada sampel yang diberi paparan medan magnet lebih tinggi dibandingkan dengan sampel yang tidak diberi paparan medan magnet (0 menit). Pada kerapatan fluks magnet 0.1 mT, sampel dengan lama paparan 5-20 menit memiliki kadar protein

yang cenderung sama, yakni 3.40 %. Pada kerapatan fluks magnet 0.3 mT, sampel dengan lama paparan 5-20 menit memiliki kadar protein yang cenderung sama, yakni 3.40-3.41 %. Hal tersebut menunjukkan bertambahnya kerapatan fluks magnet dan lama paparan medan magnet yang dipaparkan pada susu sapi tidak mempengaruhi jumlah kadar protein.

Berdasarkan data kadar protein setelah dipapari medan magnet pada Tabel 4.11, Gambar 4.7, dan Gambar 4.8, dilakukan uji faktorial untuk membandingkan rata-rata pengaruh kerapatan fluks magnet dan lama paparan terhadap jumlah kadar protein agar mengetahui perbedaan signifikan dari data yang terdapat pada tabel berikut:

**Tabel 4.12** Hasil analisis faktorial pada kadar protein susu sapi

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig
Kerapatan Fluks Magnet	0.000	4	5.133E-5	0.987	0.423
Lama Paparan	0.000	4	8.800E-5	1.692	0.167
Kerapatan Fluks Magnet* Lama Paparan	0.000	16	2.967E-5	0.571	0.891
Total	870.475	75			

Hasil analisis data statistik menggunakan SPSS dengan uji faktorial menunjukkan bahwa faktor kerapatan fluks magnet dan lama paparan tidak memiliki pengaruh nyata terhadap kadar protein susu sapi dengan nilai signifikansi 0.423 dan 0.167 dimana nilai signifikansi keduanya lebih dari  $\alpha$  (0.05). Nilai signifikansi interaksi kerapatan fluks magnet dengan lama paparan sebesar 0.891 dimana nilai interaksi kedua faktor tersebut lebih dari  $\alpha$  (0.05) sehingga dapat disimpulkan bahwa interaksi keduanya tidak memiliki pengaruh nyata terhadap kadar protein susu sapi dan tidak diperlukan uji lanjut.

Berdasarkan tabel 4.12, lama paparan dan kerapatan fluks magnet tidak mempengaruhi kadar protein. Hal ini dapat disebabkan oleh sifat medan magnet

yang non-thermal sehingga tidak mempengaruhi kandungan nutrisi (kadar protein) dalam susu (Ratnasari et al., 2021). Kadar protein susu sebelum dan sesudah diberi perlakuan mengalami penurunan kadar protein, namun tidak signifikan.

## **4.2 Pembahasan**

### **4.2.1 Pengaruh Kerapatan Fluks Magnet dan Lama Paparan Medan Magnet terhadap Jumlah Bakteri *Lactobacillus acidophilus***

Dari hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan antara kerapatan fluks magnet dan lama paparan medan magnet terhadap pertumbuhan bakteri *Lactobacillus acidophilus*. Tingkat pertumbuhan bakteri *Lactobacillus acidophilus* akan bervariasi tergantung pada nilai kerapatan fluks magnet dan lama paparan yang digunakan. Data yang ditampilkan pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa jumlah koloni bakteri *Lactobacillus acidophilus* yang paling banyak terjadi pada paparan medan magnet dengan kerapatan fluks magnet sebesar 0.2 mT dan lama paparan selama 5 menit. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi kerapatan fluks magnet dan lama paparan tersebut memberikan kondisi yang paling menguntungkan bagi pertumbuhan bakteri *Lactobacillus acidophilus* dalam konteks penelitian ini. Peningkatan jumlah bakteri asam laktat dapat memiliki efek positif pada mutu susu fermentasi. Hal ini disebabkan oleh kemampuan bakteri asam laktat untuk menghambat pertumbuhan bakteri patogen. Dengan meningkatnya jumlah bakteri asam laktat, pH akan menurun, sehingga meminimalkan pertumbuhan bakteri patogen yang tidak dapat bertahan pada pH rendah (Ayechu-Muruzabal et al., 2021).

Penyebab terjadinya perubahan pertumbuhan bakteri *Lactobacillus acidophilus* pada susu fermentasi yang diberikan perlakuan medan magnet adalah

karena adanya pergerakan ion pada membran sel bakteri yang dipengaruhi oleh medan magnet (Sumardi, 2019). Ion-ion seperti  $\text{Ca}^{2+}$  (kalsium),  $\text{K}^+$  (kalium), dan  $\text{Na}^+$  (natrium) memiliki peran penting dalam proses metabolisme dan pembelahan sel bakteri (Thomas & Rice, 2014). Namun, pengaruh medan magnet pada pertumbuhan sel lebih dominan terhadap ion  $\text{Ca}^{2+}$  karena ion ini bersifat paramagnetik dan dapat terpengaruh oleh medan magnet (Ridawati et al., 2017). Ion kalsium merupakan ion yang terlibat dalam banyak proses biologis, termasuk metabolisme bakteri. Beberapa fungsi penting kalsium dalam bakteri adalah pada aktivasi enzim, kalsium dapat berperan dalam aktivasi enzim yang diperlukan dalam metabolisme bakteri (Sumardi, 2019). Pada regulasi transkripsi gen, kalsium dapat mempengaruhi aktivitas genetik dan ekspresi gen dalam bakteri. Pada pembelahan sel, kalsium terlibat dalam regulasi pembelahan sel bakteri. Paparan medan magnet dapat mempengaruhi perpindahan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dalam sel bakteri. Ketika sel bakteri terpapar medan magnet, terjadi percepatan pergerakan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dari daerah intraseluler (di dalam sel) ke daerah ekstraseluler (di luar sel) atau sebaliknya. Perpindahan ion  $\text{Ca}^{2+}$  yang dipercepat ini dapat memiliki efek pada metabolisme sel bakteri (Maylinda Nur Azizah, Sudarti, 2022). Interaksi tinggi dan kepadatan tinggi pada ion bermuatan yang melingkar menyebabkan perpindahan ion semakin cepat. Hal ini dapat mempengaruhi aktivitas metabolisme bakteri, sehingga terjadi perubahan pertumbuhan bakteri pada susu fermentasi yang diberikan perlakuan medan magnet (Ridawati et al., 2017).

Sebelumnya, telah dilakukan penelitian yang menunjukkan bahwa paparan medan magnet statis memiliki efek yang berbeda-beda terhadap pertumbuhan mikroba pada susu fermentasi, yaitu dapat menghambat atau mempercepat

pertumbuhan (Balogu & Attanse, 2017). Selanjutnya, penelitian yang dilakukan oleh M. Tirono (2022) menunjukkan bahwa paparan medan magnet memiliki pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan bakteri *Lactobacillus acidophilus* dalam proses fermentasi susu. Faktor-faktor yang mempengaruhi pengaruh medan magnet tersebut adalah kerapatan fluks magnet dan lama paparan medan magnet. Berdasarkan penelitian tersebut, ditemukan bahwa pertumbuhan bakteri *Lactobacillus acidophilus* mencapai tingkat optimal pada paparan medan magnet dengan kerapatan fluks magnet sebesar 0.2 mT dan lama paparan selama 5 menit. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi kerapatan fluks magnet dan lama paparan tersebut memberikan kondisi yang paling menguntungkan bagi pertumbuhan bakteri *Lactobacillus acidophilus* dalam proses fermentasi susu. Hasil penelitian ini memberikan indikasi bahwa medan magnet dengan kerapatan fluks magnet dan lama paparan yang spesifik dapat mempengaruhi pertumbuhan bakteri *Lactobacillus acidophilus* secara positif. Kondisi optimal tersebut dapat berkontribusi pada peningkatan mutu susu fermentasi, terutama dengan peningkatan jumlah bakteri asam laktat yang memiliki efek menghambat pertumbuhan bakteri patogen (Tirono, 2022a).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan medan magnet dengan kerapatan fluks magnet 0.2 mT selama 5 menit menghasilkan pertumbuhan bakteri yang optimal pada sampel susu fermentasi. Salah satu penjelasan yang menjadi penyebab hal ini adalah pengaruh medan magnet terhadap ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dalam saluran protein pada membran sel. Paparan medan magnet dapat mempengaruhi perpindahan ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dari ruang intraseluler ke ruang ekstraseluler dan sebaliknya. Dalam hal ini, medan magnet dengan kerapatan fluks

magnet dapat meningkatkan perpindahan ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) ke dalam sel bakteri tanpa efek yang merugikan (Tirono, 2022b). Peningkatan konsentrasi ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dalam sel bakteri dapat memberikan stimulus positif pada aktivitas enzim dan proses metabolisme sehingga meningkatkan laju pertumbuhan sel. Dengan meningkatnya pertumbuhan sel, jumlah bakteri *Lactobacillus acidophilus* dalam susu fermentasi meningkat secara signifikan (Tirono, 2022b). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa perlakuan medan magnet dengan kerapatan fluks magnet yang tepat dapat menjadi alternatif yang efektif dalam meningkatkan pertumbuhan bakteri pada susu fermentasi, khususnya bakteri *Lactobacillus acidophilus*.

Setelah mencapai titik optimal pada kerapatan fluks magnet 0.2 mT selama 5 menit, jumlah bakteri *Lactobacillus acidophilus* mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh kelebihan ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) yang masuk ke dalam sel dan dapat merusak membran sel (Tirono, 2022b). Selain itu, interaksi antara medan magnet dengan sel juga dapat meningkatkan kekakuan membran sel. Oleh karena itu, pada penelitian ini, perlakuan medan magnet dengan kerapatan fluks magnetik 0.5 mT cenderung berpengaruh negatif terhadap pertumbuhan bakteri *Lactobacillus acidophilus* (Tirono, 2022b).

Kekakuan dinding sel dapat dipengaruhi oleh ion kalsium (Perik et al., 2014). Ketika kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) masuk ke dalam membran sel, hal ini dapat menyebabkan kekakuan membran sel karena kalsium berinteraksi dengan beberapa komponen membran sel, terutama fosfolipid (Melcrová et al., 2019). Kalsium meningkatkan kekakuan lipid bilayer struktur dengan meningkatkan ketebalan bilayer, dan meningkatkan pengepakan dan pemesanan lipid, dan menghambat mobilitas lipid lokal. Pada konsentrasi kalsium yang cukup tinggi, efek sterik

menghambat perubahan lebih lanjut dari organisasi membran, yaitu, batas kompresibilitas struktur membran tercapai (Melcrová et al., 2019). Membran plasma menunjukkan resistensi yang sangat tinggi terhadap pepadatan yang diinduksi oleh ion kalsium (Melcrová et al., 2019).

Dari hasil analisis faktorial, signifikansi kerapatan fluks magnet dan lama paparan bernilai  $p = 0.00 < \alpha (0.05)$ , sehingga dapat disimpulkan bahwa perlakuan medan magnet pada susu fermentasi memiliki pengaruh terhadap pertumbuhan bakteri *Lactobacillus acidophilus*. Pengaruh ini bergantung pada parameter-parameter tertentu, seperti kerapatan fluks magnet dan lama paparan medan magnet. Dalam penelitian ini, ditemukan bahwa paparan medan magnet pada kerapatan fluks magnet 0.2 mT selama 5 menit memberikan dampak positif yang signifikan terhadap pertumbuhan bakteri *Lactobacillus acidophilus* pada susu fermentasi. Namun, paparan medan magnet pada kerapatan fluks magnet 0.5 mT cenderung berpengaruh negatif terhadap pertumbuhan bakteri *Lactobacillus acidophilus*. Oleh karena itu, penggunaan medan magnet sebagai teknik pemrosesan susu fermentasi harus dipertimbangkan dengan baik, terutama dalam menentukan parameter kerapatan fluks magnet dan lama paparan yang optimal untuk mendapatkan hasil yang diinginkan.

Paparan medan magnet dengan kerapatan fluks magnet 0.1 mT dan 0.2 mT memiliki jumlah bakteri lebih besar dibandingkan dengan jumlah bakteri yang tidak dipapari medan magnet. Jumlah bakteri optimum dapat dilihat dari jumlah bakteri yang paling banyak, hal ini dikarenakan ketika jumlah bakteri asam laktat meningkat, pH semakin menurun dan menyebabkan terhambatnya pertumbuhan bakteri patogen sehingga susu tidak rusak (Ayechu-Muruzabal et al., 2021).

Paparan medan magnet dengan kerapatan fluks magnet 0,2 mT selama 5 menit dapat meningkatkan pertumbuhan bakteri *Lactobacillus acidophilus* sebesar tiga kali lipat dibandingkan dengan kontrol yang tidak diberi paparan medan magnet, yakni sebesar  $61.66 \pm 5.55 \times 10^8$  CFU/ml. Jumlah bakteri *Lactobacillus acidophilus* yang tidak diberi paparan medan magnet adalah  $20.66 \pm 0.47 \times 10^8$  CFU/ml. Kerapatan fluks magnet 0.3 mT hingga 0,5 mT justru menurunkan jumlah koloni bakteri, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui efek paparan medan magnet dengan kerapatan fluks magnet yang lebih tinggi terhadap pertumbuhan bakteri *Lactobacillus acidophilus*.

#### **4.2.2 Pengaruh Kerapatan Fluks Magnet dan Lama Paparan Medan Magnet terhadap pH Susu**

Ketika konsentrasi ion H<sup>+</sup> meningkat, nilai pH akan semakin rendah, dan sebaliknya, ketika konsentrasi ion H<sup>+</sup> menurun, nilai pH akan meningkat (Li, 2017). Tingkat produksi asam laktat oleh bakteri *Lactobacillus acidophilus* pada susu fermentasi akan berpengaruh terhadap nilai pH (Anjum et al., 2014). Proses fermentasi oleh bakteri tersebut menghasilkan asam laktat sebagai produk utama. Akumulasi asam laktat dalam susu akan menurunkan nilai pH, menjadikannya lebih asam (Tirono, 2022a). Perubahan pH yang lebih asam dapat memengaruhi pertumbuhan dan kelangsungan hidup bakteri. Bakteri *Lactobacillus acidophilus* memiliki preferensi untuk lingkungan yang sedikit asam, sehingga penurunan pH yang disebabkan oleh produksi asam laktat akan mendukung pertumbuhan bakteri ini. Nilai pH yang rendah juga dapat menghambat pertumbuhan bakteri patogen yang tidak tahan terhadap lingkungan asam. Oleh karena itu, pH termasuk dalam parameter intrinsik yang mempengaruhi kualitas dan daya tahan produk pangan



(Terpou et al., 2019). Bakteri hanya dapat tumbuh pada nilai pH tertentu dan mampu mentoleransi nilai pH tertentu. Proses metabolisme bakteri seperti *Lactobacillus acidophilus* dapat mempengaruhi nilai pH baik dalam sel maupun dalam produk pangan. Peningkatan produksi asam laktat dapat menyebabkan penurunan pH yang signifikan dalam produk pangan. Perubahan pH ini dapat memengaruhi karakteristik organoleptik, stabilitas mikroba, dan kelangsungan hidup bakteri yang terlibat dalam fermentasi (Albina et al., 2019).

Pada Gambar 4.3, hasil optimal pH susu sapi yang telah difermentasi selama 20 jam tercapai pada kerapatan fluks magnetik 0,2 mT selama 5 menit. Nilai pH susu yang diolah dengan perlakuan ini adalah  $3.86 \pm 0,094$ , sesuai dengan standar kualitas susu fermentasi menurut SNI. Hal ini sesuai dengan pernyataan bahwa jumlah koloni bakteri yang berkembang biak dalam suatu sistem fermentasi dapat mempengaruhi penurunan pH. Peningkatan jumlah koloni bakteri akan menyebabkan peningkatan produksi asam laktat. Akumulasi asam laktat ini akan menurunkan pH dalam lingkungan tersebut. Semakin banyak koloni bakteri yang tumbuh, semakin banyak asam laktat yang dihasilkan, dan pH akan semakin rendah. (Tirono, 2022a). Nilai pH sangat berkaitan dengan kadar asam yang dihasilkan oleh bakteri asam laktat. Menurut Adesokan dkk. (2011), peningkatan kadar asam laktat dan penurunan pH pada fermentasi susu dengan kultur bakteri asam laktat biasanya terjadi seiring dengan waktu. Setelah waktu sekitar 20 jam, produksi asam laktat sudah cukup signifikan dan dapat terlihat penurunan pH yang nyata.

Penelitian sebelumnya juga telah menunjukkan adanya korelasi antara jumlah bakteri *Lactobacillus casei* dan produksi asam laktat dengan penurunan pH pada susu fermentasi (Ridawati et al., 2017). Semakin banyak jumlah bakteri

*L. casei* yang aktif, semakin banyak asam laktat yang diproduksi oleh bakteri tersebut. Asam laktat ini akan melepaskan ion  $H^+$  ke dalam larutan dan menyebabkan penurunan pH dalam susu fermentasi. Proses perubahan glukosa menjadi asam laktat melibatkan fermentasi bakteri, di mana bakteri *Lactobacillus casei* menggunakan glukosa sebagai sumber energi dan mengubahnya menjadi asam laktat. Selama proses ini, bakteri melepaskan ion  $H^+$  sebagai hasil sampingan dari metabolisme mereka. Akumulasi ion  $H^+$  ini menyebabkan penurunan pH dalam larutan susu fermentasi (Ridawati et al., 2017)

Berdasarkan analisis data yang dilakukan, ditemukan bahwa kerapatan fluks magnet dan lama paparan memiliki pengaruh terhadap pH susu sapi. Secara lebih khusus, lama paparan dan kerapatan fluks magnet memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pH susu sapi. Hasil uji faktorial juga menunjukkan bahwa faktor medan magnet berpengaruh terhadap pH susu sapi, dengan nilai  $p=0.00$  yang lebih kecil dari nilai  $\alpha$  (0.05), begitu juga dengan lama paparan yang menunjukkan nilai  $p=0.00$  yang juga lebih kecil dari nilai  $\alpha$  (0.05). pH pada susu sapi dipengaruhi oleh jumlah asam yang dihasilkan oleh bakteri asam laktat. Semakin banyak jumlah bakteri, pH yang dihasilkan menjadi lebih rendah, dan sebaliknya, semakin sedikit jumlah bakteri, pH yang dihasilkan menjadi lebih tinggi.

#### **4.2.3 Pengaruh Kerapatan Fluks Magnet dan Lama Paparan Medan Magnet terhadap Kadar Lemak Susu Sapi**

Kadar lemak awal susu sapi adalah 3.6%. Setelah diberi medan magnet sebesar 0.1 mT selama 5 menit, kadar lemak berkurang menjadi  $3.51 \pm 0.0124\%$ , sedangkan yang tidak diberi paparan medan magnet, kadar lemak susu berkurang menjadi  $3.50 \pm 0.0124\%$ . Kadar lemak pada sampel yang diberi kerapatan fluks

magnet 0.2 mT selama 5 menit adalah  $3.51 \pm 0.0141\%$ . Dari hasil penelitian, dapat diketahui bahwa paparan medan magnet tidak mempengaruhi secara signifikan terhadap kadar lemak. Kandungan lemak yang diberi paparan medan magnet masih sesuai dengan standar SNI. Pada Gambar 4.6, grafik menunjukkan bahwa kerapatan fluks magnet 0.1 menit dan kerapatan fluks magnet 0.4 mT selama 0-15 menit terjadi peningkatan kadar lemak, akan tetapi berdasarkan literatur yang ada, kandungan gizi akan mengalami penurunan atau denaturasi akibat proses pengolahan pangan (Rahayu, 2017). Denaturasi dapat diartikan dengan perubahan struktur sekunder, tersier, dan kuartener tanpa terjadinya pemecahan ikatan-ikatan kovalen. Perbedaan hasil penelitian dengan literatur yang ada dapat disebabkan oleh tidak diaduknya susu pada saat akan diuji kandungannya (Rahayu, 2017).

Dalam pengujian kadar lemak pada susu sapi dengan menggunakan medan magnet dengan kerapatan fluks magnet 0.1-0.5 mT selama 0-20 menit, tidak ditemukan pengaruh yang signifikan terhadap kadar lemak pada susu sapi. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan medan magnet dalam rentang kerapatan fluks magnet dan lama paparan yang digunakan dalam penelitian tersebut tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kadar lemak pada susu sapi. Hal tersebut menunjukkan bahwa perlakuan medan magnet tidak mempengaruhi kandungan nutrisi secara signifikan. Pernyataan tersebut juga didukung oleh hasil penelitian yang dilakukan oleh (Rahayu, 2017), dimana kandungan protein pada susu sapi setelah diberi perlakuan medan magnet osilasi tidak mengalami perubahan yang signifikan. Pada perlakuan dengan lama perlakuan selama 60 detik, kandungan protein pada susu sapi hanya mengalami sedikit penurunan dari 2.83% menjadi

2.78%, sedangkan pada lama perlakuan selama 120 detik, kandungan protein pada susu sapi juga mengalami penurunan dari 2.83% menjadi 2.73%.

Menurut standar kualitas susu fermentasi yang baik berdasarkan SNI, susu fermentasi yang dihasilkan harus memiliki kadar lemak maksimum sebesar 3.8% (Zakaria, 2019). Berdasarkan hasil pengujian pengaruh kerapatan fluks magnet dan lama paparan terhadap kadar lemak susu, susu yang telah diberi perlakuan medan magnet menunjukkan kadar lemak berkisar antara 3.50-3.53%. Hal ini menunjukkan bahwa kadar lemak pada susu yang telah diberi perlakuan medan magnet dengan kerapatan fluks magnet 0.1-0.5 mT masih memenuhi standar mutu SNI untuk susu fermentasi yang baik.

Berdasarkan hasil analisis data yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa perlakuan medan magnet dengan kerapatan fluks magnet 0.1-0.5 mT selama 0-20 menit tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kadar lemak pada susu sapi. Dalam hal ini, standar mutu SNI terpenuhi karena kadar lemak susu fermentasi yang baik maksimal adalah 3.8%, sedangkan hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar lemak susu yang telah diberikan perlakuan medan magnet masih sesuai dengan standar mutu SNI. Selain itu, hasil uji faktorial dengan nilai signifikansi  $p=0.437$  dan  $p=0.124$  (lebih besar dari  $\alpha$  (0.05)) menunjukkan bahwa kerapatan fluks magnet dan lama paparan tidak mempengaruhi kadar lemak susu sapi secara signifikan, hal ini disebabkan oleh sifat medan magnet yang *non-ionizing* dan *non-thermal* sehingga tidak mempengaruhi kandungan gizi (kadar lemak) susu (Ratnasari et al., 2021).

#### **4.2.4 Pengaruh Kerapatan Fluks Magnet dan Lama Paparan Medan Magnet terhadap Kadar Protein Susu Sapi**

Kadar protein awal susu sapi adalah 3.45%. Setelah diberi medan magnet sebesar 0.1 mT selama 5 menit, kadar protein berkurang menjadi  $3.40 \pm 0.0047\%$ , sedangkan yang tidak diberi paparan medan magnet, kadar protein susu berkurang menjadi  $3.39 \pm 0.0047\%$ . Kadar protein pada sampel yang diberi kerapatan fluks magnet 0.2 mT selama 5 menit adalah  $3.41 \pm 0.0081\%$ . Dari hasil penelitian, dapat diketahui bahwa paparan medan magnet tidak mempengaruhi secara signifikan terhadap kadar protein. Kandungan protein yang diberi paparan medan magnet masih sesuai dengan standar SNI. Pada Gambar 4.8, grafik menunjukkan bahwa kerapatan fluks magnet 0.1 menit selama 0-20 menit dan kerapatan fluks magnet 0.2 mT selama 0-10 menit terjadi peningkatan kadar protein, akan tetapi berdasarkan literatur yang ada, kandungan protein akan mengalami penurunan atau denaturasi akibat proses pengolahan pangan (Rahayu, 2017). Denaturasi dapat diartikan dengan perubahan struktur sekunder, tersier, dan kuartener tanpa terjadinya pemecahan ikatan-ikatan kovalen. Perbedaan hasil penelitian dengan literatur yang ada dapat disebabkan oleh tidak diaduknya susu pada saat akan diuji kandungan proteinnya (Rahayu, 2017).

Hasil uji kadar protein menggunakan medan magnet dengan kerapatan fluks magnet 0.1-0.5 mT dan waktu paparan 0-20 menit menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh yang signifikan terhadap kadar protein pada susu sapi. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa perlakuan medan magnet tidak berdampak secara signifikan pada kandungan nutrisi susu. Kesimpulan ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh (Rahayu, 2017), yang menunjukkan bahwa

kandungan protein susu sapi tidak mengalami perubahan yang signifikan setelah diberikan perlakuan medan magnet selama 60 dan 120 detik, yaitu dari 2,83% menjadi 2,78% dan dari 2,83% menjadi 2,73% secara berturut-turut.

Menurut standar kualitas susu fermentasi yang baik yang diatur oleh SNI, susu fermentasi harus memiliki kadar protein minimal sebesar 3,20% (Zakaria, 2019). Berdasarkan data yang dihasilkan dari pengujian pengaruh kerapatan fluks magnet dan lama paparan terhadap kadar protein pada susu, terbukti bahwa susu yang telah diberi perlakuan medan magnet masih memenuhi standar tersebut. Kadar protein pada susu yang telah diberikan perlakuan medan magnet berkisar antara 3,39% hingga 3,41%, sehingga dapat disimpulkan bahwa kadar protein susu yang telah diberikan perlakuan medan magnet dengan kerapatan fluks magnet 0,1-0,5 mT dan lama paparan 0-20 menit masih sesuai dengan standar mutu SNI.

Berdasarkan hasil analisis data, tidak ditemukan pengaruh signifikan antara kerapatan fluks magnet dan lama paparan terhadap kadar protein pada susu sapi. Lebih lanjut, hasil uji faktorial menunjukkan bahwa faktor kerapatan fluks magnet tidak mempengaruhi kadar protein pada susu sapi dengan nilai p sebesar 0.423 yang lebih besar dari  $\alpha$  (0.05). Demikian juga, lama paparan tidak berpengaruh secara signifikan pada kadar protein susu sapi dengan nilai p sebesar 0.167 yang juga lebih besar dari  $\alpha$  (0.05). Hal ini disebabkan oleh sifat medan magnet yang *non-ionizing* dan *non-thermal* sehingga tidak mempengaruhi kandungan gizi (kadar lemak) susu (Ratnasari et al., 2021).

### 4.3 Integrasi dengan Al-Qur'an

وَالْحَيْلَ وَالْبَعَالَ وَالْحَمِيرَ لِتَرْكَبُوهَا وَزِينَةً وَيَخْلُقُ مَا لَا تَعْلَمُونَ

Artinya: “(Dia telah menciptakan) kuda, bagal, dan keledai untuk kamu tunggangi dan (menjadi) perhiasan. Allah menciptakan apa yang tidak kamu ketahui.” [QS. An-Nahl: 8]

Lafadz وَيَخْلُقُ مَا لَا تَعْلَمُونَ "Dan Allah menciptakan apa yang tidak kamu ketahui", hal ini menunjukkan bahwa Allah telah menciptakan unsur-unsur dasar makhluk hidup yang tidak disadari oleh generasi manusia sebelumnya. Umat manusia telah lama menyadari ayat-ayat dalam Al-Qur'an yang membahas tentang realitas keberadaan ini. Namun, dengan adanya kemajuan teknologi seperti alat mikroskop dan teknologi lain yang lebih canggih, umat manusia dapat melihat dengan lebih jelas sifat skala kecil dari keberadaan makhluk Allah, yang sebelumnya sulit untuk diamati secara langsung. Hal ini sejalan dengan firman Allah bahwa Dia menciptakan untuk manusia segala sesuatu yang mereka ketahui dan tidak mereka ketahui pada saat ini, namun kelak manusia akan mengetahui manfaat dan kegunaannya (Kemenag, 2020).

Organisme kecil yang tidak kasat mata disebut sebagai mikroorganisme, yang lebih banyak jumlahnya 20 kali lipat dibandingkan dengan spesies binatang di seluruh dunia. Kelima komponen utama mikroorganisme meliputi bakteri, virus, alga, dan acarina seperti tungau dan pinjal. Mikroorganisme memainkan peran penting dalam kesinambungan kehidupan di bumi, termasuk dalam siklus nitrogen, penyerapan mineral tanah oleh tumbuhan melalui jamur akar, mencegah keracunan makanan melalui bakteri pada lidah kita, dan memainkan peran penting dalam proses fotosintesis pada tumbuhan melalui bakteri dan alga. Hal ini menegaskan

betapa pentingnya peran mikroorganisme dalam kesinambungan kehidupan di bumi. Manusia telah menemukan banyak pengetahuan melalui penelitian dan penemuan mereka, namun sebagian kecil dari ilmu Allah yang telah diberikan kepada manusia. Al-Qur'an sebagai firman Allah senantiasa memberikan panduan dan dukungan dalam kegiatan manusia dalam mencari jawaban akan kebutuhan hidupnya (Kemenag, 2020).

Bakteri sangat penting dalam bahan pangan dan memberikan manfaat bagi kesehatan manusia. Bakteri digunakan dalam proses fermentasi makanan seperti yoghurt, keju, dan tempe. Bakteri asam laktat mengubah gula dalam makanan menjadi asam laktat (Tirono, 2022a), menjaga makanan tetap segar, dan memberikan rasa khas. Beberapa jenis bakteri seperti *Lactobacillus* dan *Bacillus* digunakan dalam pengawetan makanan. Bakteri ini menghasilkan asam organik dan antibiotik alami yang membantu mencegah pertumbuhan bakteri patogen yang berbahaya (Anjum et al., 2014).

Pada membran sel bakteri terdapat beberapa ion, salah satunya adalah ion kalsium (Thomas & Rice, 2014). Ion kalsium memiliki sifat paramagnetik, sehingga dapat terpengaruh oleh medan magnet. Beberapa studi menunjukkan bahwa medan magnet dapat mempengaruhi laju pertumbuhan bakteri dengan meningkatkannya atau menghambatnya (Tirono, 2022a). Mutu susu fermentasi yang baik adalah susu yang memiliki jumlah bakteri baik yang tinggi sehingga hal tersebut dapat menghambat pertumbuhan bakteri patogen (Ayechu-Muruzabal et al., 2021). Medan magnet dapat mempengaruhi struktur membran sel bakteri, metabolisme, atau interaksi molekuler internal dalam sel (Sumardi, 2019).



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai efek paparan medan magnet terhadap pertumbuhan bakteri *Lactobacillus acidophilus*, pH, kadar lemak, dan kadar protein pada susu sapi, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Paparan medan magnet memiliki pengaruh terhadap pertumbuhan bakteri *Lactobacillus acidophilus* pada susu sapi. Pertumbuhan bakteri dipengaruhi oleh kerapatan fluks magnet dan lama paparan, di mana paparan medan magnet pada 0,2 mT selama 5 menit memberikan hasil pertumbuhan bakteri yang paling optimal.
2. Paparan medan magnet juga berpengaruh pada pH susu sapi. Nilai pH paling rendah terdapat pada perlakuan paparan medan magnet pada 0,2 mT selama 5 menit. Jumlah bakteri yang semakin banyak akan menurunkan nilai pH yang dihasilkan.
3. Paparan medan magnet tidak mempengaruhi kadar lemak pada susu sapi karena medan magnet memiliki sifat non-termal yang tidak merusak kandungan lemak.
4. Paparan medan magnet juga tidak mempengaruhi kadar protein pada susu sapi karena medan magnet memiliki sifat non-termal yang tidak merusak kandungan protein.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan kesimpulan yang telah dijelaskan, disarankan untuk melakukan sterilisasi pada seluruh alat dan bahan yang akan digunakan dalam

penelitian, sehingga dapat menghindari terjadinya kontaminasi oleh bakteri atau mikroorganisme lain. Selanjutnya, disarankan untuk melakukan penelitian lanjutan guna memperpanjang umur simpan susu sapi yang terkena paparan medan magnet serta tetap menjaga kandungan gizi di dalamnya. Penelitian lanjutan tersebut dapat mencakup variasi lamanya paparan medan magnet serta pengamatan terhadap pengaruh paparan tersebut terhadap kualitas dan sifat-sifat lain dari susu sapi. Hal ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif bagi pengembangan teknologi pengolahan susu sapi yang lebih baik dan efektif.

## DAFTAR PUSTAKA

- Albina, P., Bertron, A., Albrecht, A., Robinet, J., & Erable, B. (2019). Influence of Hydrogen Electron Donor, Alkaline pH, and High Nitrate Concentrations on Microbial Denitrification: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(5163), 23.
- Amanda, P. (2019). *Pengaruh Paparan Medan Magnet Extremely Low Frequency ( ELF) terhadap Perkecambah Benih Wijen ( Sesamum Indicum L )*. Maulana Malik Ibrahim State Islamic University of Malang.
- Anjum, N., Maqsood, S., Masud, T., Ahmad, A., Sohail, A., & Momin, A. (2014). Lactobacillus acidophilus: Characterization of the Species and Application in Food Production. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(9), 1241–1251. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.621169>
- Anwar, andi tenri khaerani. (2016). *Karakteristik Kimia Susu Sapi Perah Friesian Holstein (FH) dengan Pemberian Konsentrat Hijau* [Universitas Hasanuddin]. <https://core.ac.uk/download/pdf/77629061.pdf>
- Ayechu-Muruzabal, V., Xiao, L., Wehkamp, T., van Ark, I., Hoogendoorn, E. J., Leusink-Muis, T., Folkerts, G., Garssen, J., Willemsen, L. E. M., & Van'T Land, B. (2021). A fermented milk matrix containing postbiotics supports th1- and th17-type immunity in vitro and modulates the influenza-specific vaccination response in vivo in association with altered serum galectin ratios. *Vaccines*, 9(3), 1–17. <https://doi.org/10.3390/vaccines9030254>
- Balogu, T. V., & Attansey, C. R. (2017). Effect of static magnetic field on microbial growth kinetics and physiochemical properties of nono (fermented milk drink). *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 7(1), 75–78. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2017.7.1.75-78>
- Driessen, S., Bodewein, L., Dechent, D., Graefrath, D., Schmiedchen, K., Stunder, D., Kraus, T., & Petri, A. K. (2020). Biological and Health-Related Effects of Weak Static Magnetic Fields (<1 mT) in Humans and Vertebrates: A Systematic Review. *PLOS ONE*, 15(6), 1–18. <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230038>
- Florez, M., Alvarez, J., Martinez, E., & Carbonell, V. (2019). Stationary Magnetic Field Stimulates Rice Roots Growth. *Romanian Reports in Physics*, 71(713).
- Griffiths, D. J. (2013). *Introduction to Electrodynamics* (Fourth Edi).
- Handayani, A. (2016). *Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik untuk Menghambat Pertumbuhan Bakteri Escherichia coli dan Kadar Protein pada Susu Sapi Segar* [Maulana Malik Ibrahim State Islamic University of Malang]. <http://etheses.uin-malang.ac.id/3061/1/11640044.pdf>
- Hermawan, L. F. (2020). Kendali Mutu Analisis Protein Susu Ultra High Temperature (UHT) Berbasis Milkoscan secara Kjeldahl. In *Laporan Akhir*. Institut Pertanian Bogor.
- Jaelani, A., Firdaus, S., & Jumena, J. (2017). Renewable Energy Policy in

- Indonesia: The Qur'anic Scientific Signals in Islamic Economics Perspective. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 7(4), 193–204.
- Konopacki, M., & Rakoczy, R. (2019). The Analysis of Rotating Magnetic Field as a Trigger of Gram-positive and Gram-negative Bacteria Growth. *Biochemical Engineering Journal*, 141, 259–267. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bej.2018.10.026>
- Kurniawan, R. C., Budiarti, C., & Sayuthi, S. M. (2019). Tampilan Gula Darah, Laktosa dan Produksi Susu Sapi Perah Laktasi yang Disuplementasi Baking Soda (NaHCO<sub>3</sub>). *MEDIAGRO*, 15(2), 132–138. <https://doi.org/10.31942/md.v15i2.3250>
- Kurniawan, Y., & Zulkifli, Z. (2019). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Menggunakan Solenoida dengan Pemanfaatan Fluks Magnet. *RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 2(1), 9–13. <https://doi.org/10.30596/rele.v2i1.3111>
- Lestari, Rika Ayu; Dziaulhaq, M. F. D. (2023). Integrasi Metabolisme Protein Berdasarkan Al- Qur'an dan Hadis. *Journal of Development and Research in Education*, 1, 11–17.
- Li, S. F. Y. W. Z. W. J. T. J. T. X. (2017). Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution by Sewage Sludge-Derived Biochar: Adsorption Kinetics, Equilibrium, Thermodynamics and Mechanism. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(1), 601–611. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.12.019>
- Ma'rufiyanti, P., Sudarti, & Gani, A. A. (2014). Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF (Extremely Low Frequency) 300 $\mu$ T dan 500 $\mu$ T terhadap Perubahan Kadar Vitamin C dan Derajat Keasaman (pH) pada Buah Tomat. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 3(3), 278–284.
- Manamanchaiyaporn, L., Xu, T., & Wu, X. (2020). An Optimal Design of an Electromagnetic Actuation System towards a Large Homogeneous Magnetic Field and Accessible Workspace for Magnetic Manipulation. *Energies*, 13(911), 1–24. <https://doi.org/10.3390/en13040911>
- Mardhika Wulansari, Sudarti, R. D. H. (2017). Pengaruh Induksi Medan Magnet Extremely Low Frequency ( ELF) Terhadap Pertumbuhan Pin Heat Jamur Kuping ( *Auricularia auricula* ). *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 6(2), 181–189.
- Masruro, S. (2017). *Pengaruh Paparan Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF) terhadap Daya Hantar Listrik dan Nilai Derajat Keasaman (pH) pada Proses Dekomposisi Cabai Merah (Capsicum annum L.)*. Universitas Jember.
- Maylinda Nur Azizah, Sudarti, S. B. (2022). Pengaruh Paparan Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF) 200  $\mu$ T dan 300  $\mu$ T terhadap pH dalam Proses Fermentasi Tempe. *ORBITA. Jurnal Hasil Kajian, Inovasi, Dan Aplikasi Pendidikan Fisika*, 8(1), 28–34.
- Melcrová, A., Pokorna, S., Vošahlíková, M., Sýkora, J., Svoboda, P., Hof, M.,

- Cwiklik, L., & Jurkiewicz, P. (2019). Concurrent Compression of Phospholipid Membranes by Calcium and Cholesterol. *Langmuir*, 35(35), 11358–11368. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.9b00477>
- Mousavian-Roshanzamir, S., & Makhdoumi-Kakhki, A. (2017). The Inhibitory Effects of Static Magnetic Field on Escherichia coli from Two Different Sources at Short Exposure Time. *Reports of Biochemistry and Molecular Biology*, 5(2), 112–116.
- Muharromah, N. (2018). Pengaruh Paparan Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF) Terhadap Sifat Organoleptik dan pH Susu Sapi Segar. 3(2), 13–18.
- Munthe, Nugraha; Gultom, S., Sitorus, T. B. ., Nasution, D. M. ., & Lubis, Z. (2016). Pengaruh Medan Magnet Terhadap Prestasi Mesin Diesel Stasioner Satu Silinder. *Jurnal Dinamis*, 6(2), 71–82.
- Nanda, R., Malik, U., & Lazuardi, L. (2018). Pengukuran Kuat Arus pada Kawat dengan Menggunakan Sensor Medan Magnet. *Komunikasi Fisika Indonesia*, 15(2), 151. <https://doi.org/10.31258/jkfi.15.2.151-155>
- Ningsih, D. R., Bintoro, V. P., & Nurwantoro. (2018). Analisis Total Padatan Terlarut, Kadar Alkohol, Nilai pH dan Total Asam pada Kefir Optima dengan Penambahan High Fructose Syrup (HFS). *Jurnal Teknologi Pangan*, 2(2), 84–88.
- Nisak, A. C. (2018). Optimasi Paparan Medan Listrik Berpulsa untuk Menghambat Pertumbuhan Bakteri Escherichia Coli pada Susu Sapi dan Pengaruhnya terhadap Kadar Protein [Maulana Malik Ibrahim State Islamic University of Malang]. In *Central Library of Maulana Malik Ibrahim State Islamic University of Malang* (Vol. 1, Issue 1). <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2016.06.001><http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2016.12.055><https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.02.006><https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.04.024><https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.127252><http://dx.doi.org/10.1016/j.matlet.2019.127252>
- Nowicki, Michal; Jackiewicz, Dorota; Szewezyk, R. (2015). Magnetic Moment of Permanent Magnet Measurement with Nonlinear Least Squares Fitting Method. *Journal of Electrical Engineering*, 66(7), 54–57.
- Nuraini, L., Saleh, T. A., & Prihandono, T. (2018). *The Analysis of Extremely Low Frequency ( ELF ) Electric and Magnetic Field Exposure Biological Effects around Medical Equipments*. 6495(7), 289–296.
- Perik, R. R. J., Razé, D., Ferrante, A., & van Doorn, W. G. (2014). Stem Bending in Cut Gerbera Jamesonii Flowers: Effects of A Pulse Treatment with Sucrose and Calcium Ions. *Postharvest Biology and Technology*, 98, 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.06.008>
- Purnama, R. C., Retnaningsih, A., & Aprianti, I. (2019). Comparison of The Protein Content of UHT Full Cream Liquid Milk at Room Temperature Storage and Refrigerator Temperature with Variations in Storage Time by The Kjeldhal Method. *Jurnal Analis Farmasi*, 4(1), 50–58.

- Putri, B. S. (2018). *Studi In-Silico Perbandingan Reaksi Metilasi pada Protein EEF1A1 dan Gen EEF1A1 Menggunakan Katalis METTL10* [Universitas Brawijaya]. <http://repository.ub.ac.id/168720/>
- Qumairoh, U., Sudarti, & Prihandono, T. (2021). Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF (Extremely Low Frequency) terhadap Derajat Keasaman (pH) Udang Vaname. *Jurnal Fisika Unand (JFU)*, 10(1), 55–61. <https://doi.org/https://doi.org/10.25077/jfu.10.1.55-61.2021>
- Rahayu, K. (2017). *Rancang Bangun Alat Pasteurisasi Susu Berbasis Medan Magnet Osilasi (OMF) dengan Tegangan DC*. Universitas Brawijaya.
- Ramaiyulis, Salvia, & Dewi, M. (2022). *Ilmu Nutrisi Ternak* (D. Kurnia (ed.)). POLITEKNIK PERTANIAN NEGERI PAYAKUMBUH. <http://ppnp.ac.id>
- Ratnasari, I., Sudarti, & Yushardi. (2021). Pengaruh Paparan Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF) terhadap Derajat Keasaman (pH) Susu Sapi Segar. *Pijar MIPA*, 16(2), 276–281. <https://doi.org/10.29303/jpm.v16i2.2478>
- Richardson, Z., Perezguaita, D., & Kochan, K. (2020). *ARROW @ TU Dublin Determining the Age of Spoiled Milk from Dried Films Using Attenuated Reflection Fourier Transform Infrared (ATR FT-IR) Spectroscopy*. <https://doi.org/10.1177/0003702819842548>
- Ridawati, S., Sudarti, & Yushardi. (2017). Pengaruh Paparan Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF) terhadap pH Susu Fermentasi. *Seminar Nasional Pendidikan Fisika 2017*, 2, 1–5.
- Riski, P. (2017). *Kumparan Helmholtz*. <https://rprrastio.files.wordpress.com/2015/05/6>
- Sadidah, K., Sudarti, S., & Ghani, A. (2015). Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF (Extremely Low Frequency) 300  $\mu$ T dan 500  $\mu$ T terhadap Perubahan Jumlah Mikroba dan pH pada Proses Fermentasi Tape Ketan. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 4(1), 1–8.
- Sari, L. D., Prihandono, T., & Sudarti. (2018). Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF (Extremely Low Frequency) 500  $\mu$ T dan 700  $\mu$ T terhadap Derajat Keasaman (pH) Daging Ayam. *Seminar Nasional Pendidikan Fisika 2018*, 3, 195–199.
- Potential Environmental Effects of 765mkV Transmission Lines : Views Before the New York State Public Service Commllsion.
- Serway, R., & Jewett, J. (2004). *Physics for Scientists and Engineers* (6th editio). Thomson Brooks.
- Sudarti, Nurhayati, E. R. dan V. T. H. (2014). Prevalence of Salmonella Typhimurium on Gado-gado Seasoning by Treatment of Extremely Low Frequency (ELF) Magnetic Field. *Seminar Nasional Nutrisi, Keamanan Pangan, Dan Produk Halal*, A5, 26–37.
- Sudarti;, Permatasari, E., Ratnasari, I., & Laili, S. N. (2022). Physical Quality of Cow's Milk by Exposure to Magnetic Fields Extremely Low Frequency (ELF)

- 300  $\mu$ T and 500  $\mu$ T by Inhibiting Salmonella and Escherichia Coli Growth. *Indonesian Review of Physics (IRIP)*, 5(2), 73–79. <https://doi.org/10.12928/irip.v5i2.5064>
- Sulmiyati, Ali, N., & Marsudi. (2016). Kajian Kualitas Fisik Susu Kambing Peranakan Ettawa (PE) dengan Metode Pasteurisasi yang Berbeda. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Peternakan*, 4(3), 130–134.
- Sumardi. (2019). Pengaruh Medan Magnet dan Ion Logam ( Cu , Pb , Al dan Fe ) Terhadap Pertumbuhan Bakteri Fotosintetik Anoksigenik ( BFA ). *Journal Biospecies*, 12(2), 42–50.
- Sumardi, Agustrina, R., Ekowati, C. N., & Pasaribu, Y. S. (2018). Characterization of protease from bacillus sp. on medium containing FeCl<sub>3</sub> exposed to magnetic field 0.2 mt. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 130(1), 0–12. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/130/1/012046>
- Terpou, A., Papadaki, A., Lappa, I. K., Kachrimanidou, V., Bosnea, L. A., & Kopsahelis, N. (2019). Probiotics in Food Systems: Significance and Emerging Strategies Towards Improved Viability and Delivery of Enhanced Beneficial Value. *Nutrients*, 11(7), 32. <https://www.mdpi.com/2072-6643/11/7/1591>
- Thomas, K. J., & Rice, C. V. (2014). Revised model of calcium and magnesium binding to the bacterial cell wall. *BioMetals*, 27(6), 1361–1370. <https://doi.org/10.1007/s10534-014-9797-5>
- Tim EWS. (n.d.). *Profil Komoditas Susu Sapi*.
- Tirono, M. (2022a). The Application of Extremely Low Frequency (ELF) Magnetic Fields to Accelerate the Growth of Lactobacillus acidophilus L. Bacteria and the Milk Fermentation Process. *Scientiarum Polonorum*, 21(1), 31–38. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17306/J.AFS.2022.0982> ORIGINAL
- Tirono, M. (2022b). The Use of a Time-Changing Magnetic Field to Increase Soybean (Glycine max) Growth and Productivity. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 17(5), 737–743. <https://doi.org/10.18280/ijdne.170511>
- Tirono, M., Apsari, R., Yasin, M., & Gunawan, A. A. N. (2018). *Combination model of electric field and light for deactivation biofilm bacteria*. 153–165.
- Vidyana, I. N. A., Tantalo, S., & Liman. (2014). Survei Sifat Fisik dan Kandungan Nutrien Onggok terhadap Metode Pengeringan yang Berbeda di Dua Kabupaten Provinsi Lampung. *Jurnal Ilmiah Peternakan Terpadu*, 2(2), 58–62.
- Yulia, E. S. Y. (2017). Pengaruh Jenis Atap Rumah Terhadap Penurunan Intensitas Medan Magnet di Bawah SUTT 150kV. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 6(1), 80–88.
- Yuwono, H. A. (2016). *Kajian Listrik Magnet dalam Bidang Kemagnetan dan Elektrostatik di dalam Bahan*.

Zakaria, Y. (2019). Pengaruh Jenis Susu dan Persentase Starter yang Berbeda terhadap Kualitas Kefir. *Jurnal Agripet*, 9(1), 26–30. <https://doi.org/10.17969/agripet.v9i1.618>



# LAMPIRAN

## Lampiran 1

### Gambar Penelitian



Sterilisasi susu



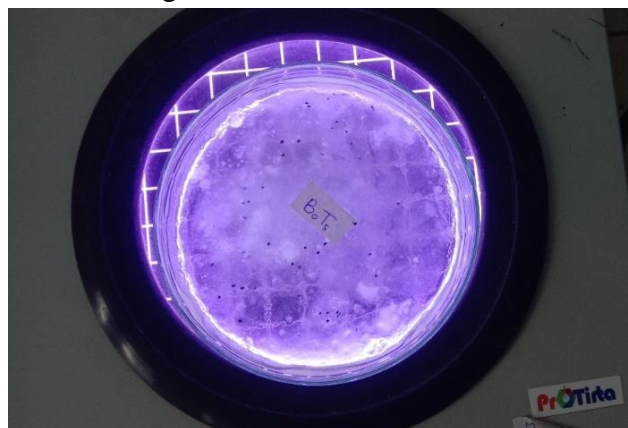
Sampel susu



Pemaparan medan magnet



Proses inokulasi bakteri



Proses perhitungan bakteri

## Lampiran 2

### Hasil Analisis Uji Faktorial

#### a) Koloni Bakteri

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: data

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	51038.667 <sup>a</sup>	25	2041.547	81.836	.000
Lama_paparan	804.933	4	201.233	8.067	.000
kerapatan_fluks_magnet	9635.067	4	2408.767	96.557	.000
Lama_paparan * kerapatan_fluks_magnet	3413.333	16	213.333	8.552	.000
Error	1247.333	50	24.947		
Total	52286.000	75			

a. R Squared = .976 (Adjusted R Squared = .964)

#### b) pH

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: data

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	2115.707 <sup>a</sup>	25	84.628	2211.540	.000
Lama_paparan	1.054	4	.263	6.885	.000
kerapatan_fluks_magnet	14.757	4	3.689	96.406	.000
Lama_paparan * kerapatan_fluks_magnet	4.790	16	.299	7.824	.000
Error	1.913	50	.038		
Total	2117.620	75			

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .999)

## c) Kadar Lemak

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: data

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	928.367 <sup>a</sup>	25	37.135	270398.165	.000
kerapatan_fluks_magnet	.001	4	.000	.961	.437
lama_paparan	.001	4	.000	1.908	.124
kerapatan_fluks_magnet * lama_paparan	.000	16	2.700E-5	.197	1.000
Error	.007	50	.000		
Total	928.374	75			

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

## d) Kadar Protein

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: data

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	870.472 <sup>a</sup>	25	34.819	669594.231	.000
kerapatan_fluks_magnet	.000	4	5.133E-5	.987	.423
lama_paparan	.000	4	8.800E-5	1.692	.167
kerapatan_fluks_magnet * lama_paparan	.000	16	2.967E-5	.571	.891
Error	.003	50	5.200E-5		
Total	870.475	75			

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = 1.000)

### Lampiran 3

#### Hasil Uji Lanjutan DMRT

##### a) Koloni Bakteri

**data**

Duncan<sup>a,b</sup>

Lama_paparan	N	Subset		
		1	2	3
20	15	18.4667		
0	15	20.6667	20.6667	
15	15	21.0000	21.0000	
10	15		23.0667	
5	15			28.1333
Sig.		.196	.221	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 24.947.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15.000.

b. Alpha = 0,05.

**data**

Duncan<sup>a,b</sup>

kerapatan_fluks_magnet	N	Subset			
		1	2	3	4
0.5	15	11.4000			
0.4	15	13.8000	13.8000		
0.3	15		16.1333		
0.1	15			28.2667	
0.2	15				41.7333
Sig.		.194	.207	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 24.947.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15.000.

b. Alpha = 0,05.

## b) pH

**data**Duncan<sup>a,b</sup>

Lama_paparan	N	Subset		
		1	2	3
5	15	5.0800		
10	15		5.2467	
15	15		5.3267	5.3267
0	15		5.3400	5.3400
20	15			5.4333
Sig.		1.000	.224	.165

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .038.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15.000.

b. Alpha = 0,05.

**data**Duncan<sup>a,b</sup>

kerapatan_fluks_magnet	N	Subset			
		1	2	3	4
0.2	15	4.5333			
0.1	15		5.0333		
0.3	15			5.5200	
0.4	15			5.6267	5.6267
0.5	15				5.7133
Sig.		1.000	1.000	.142	.231

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = .038.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15.000.

b. Alpha = 0,05.



KEMENTERIAN AGAMA RI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

**PROGRAM STUDI FISIKA**

Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp. / Fax. (0341) 558933  
Website : <http://fisika.uin-malang.ac.id>, e-mail : [Fis@uin-malang.ac.id](mailto:Fis@uin-malang.ac.id)

**BUKTI KONSULTASI SKRIPSI**

Nama : Syifa' Indana  
NIM : 19640036  
Fakultas/Program Studi : Sains dan Teknologi / Fisika  
Judul Skripsi : Pengaruh Paparan Medan Magnet terhadap Pertumbuhan Bakteri *Lactobacillus acidophilus*, Derajat Keasaman (pH), Kadar Lemak dan Protein Susu Sapi  
Pembimbing 1 : Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes  
Pembimbing 2 : Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si

• **Konsultasi Fisika**

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1	17 Agustus 2022	Konsultasi judul skripsi	
2	13 September 2022	Konsultasi proposal skripsi	
3	16 September 2022	Konsultasi proposal skripsi	
4	29 November 2022	Konsultasi revisi proposal	
5	06 Maret 2023	Konsultasi bab 4	
6	08 Maret 2023	Konsultasi bab 4 dan 5	
7	10 April 2023	Konsultasi revisi seminar hasil	
8	11 April 2023	Konsultasi bab 4 dan 5	
9	12 Mei 2023	Draft total	

• **Konsultasi Integrasi**

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1	28 Februari 2023	Penentuan ayat integrasi	
2	06 Maret 2023	Konsultasi integrasi bab 1, 2, dan 4	

Malang, 21 Juni 2023

Mengetahui,  
Ketua Program Studi,



**Dr. Imam Tazi, M.Si**

NIP. 19740730 200312 1 002