

**EFEK KOMBINASI ARUS LISTRIK DAN SUHU TERHADAP  
PROTEIN DAN PERTUMBUHAN BAKTERI *Escherichia coli* PADA  
DAGING SAPI**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**NIDA'UL KHASANATUL MUSYAROFAH**  
**NIM. 12640068**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2018**

**EFEK KOMBINASI ARUS LISTRIK DAN SUHU TERHADAP PROTEIN  
DAN PERTUMBUHAN BAKTERI *Escherichia coli* PADA DAGING 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:  
NIDA'UL KHASANATUL MUSYAROFAH  
NIM. 12640068**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2018**

## HALAMAN PERSETUJUAN

EFEK KOMBINASI ARUS LISTRIK DAN SUHU TERHADAP PROTEIN  
DAN PERTUMBUHAN BAKTERI *Escherichia coli* PADA DAGING SAPI

SKRIPSI

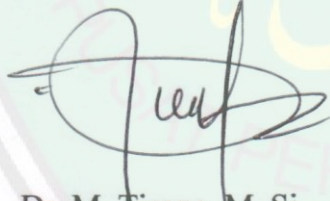
Oleh:

Nida'ul Khasanatul Musyarofah

NIM. 12640068

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji,  
Pada tanggal: 07 Juni 2018

Pembimbing I,



Dr. M. Kirono, M. Si  
NIP.19641211 199111 1 001

Pembimbing II,



Erika Rani, M.Si  
NIP. 19810613 200604 2 002

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika



Drs. Abdul Basid, M. Si  
NIP. 19650504 199003 1 003

## HALAMAN PENGESAHAN


EFEK KOMBINASI ARUS LISTRIK DAN SUHU TERHADAP PROTEIN  
DAN PERTUMBUHAN BAKTERI *Escherichia coli* PADA DAGING SAPI

SKRIPSI

Oleh:

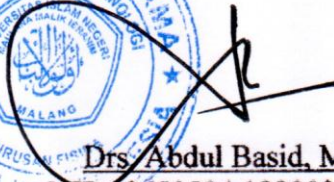
Nida'ul Khasanatul Musyarofah  
NIM. 12640068

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji  
Dan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Pada Tanggal: 28 Juni 2018

Penguji Utama :	<u>dr. Avin Ainur Fitriainingsih</u> NIP. 19800203 200912 2 002	
Ketua Penguji :	<u>Khusnul Yakin, M.Si</u> NIDP. 19910103 20160801 1 073	
Sekretaris Penguji :	<u>Dr. M. Tirono, M.Si</u> NIP.19641211 199111 1 001	
Anggota Penguji :	<u>Erika Rani, M.Si</u> NIP. 19810613 200604 2 002	

Mengesahkan,  
Ketua Jurusan Fisika



  
Drs. Abdul Basid, M.Si  
NIP.19650504 199003 1 003

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nida'ul Khasanatul Musyarofah

NIM : 12640068

Fakultas : Fisika

Jurusan : Sains Dan Teknologi

Judul Penelitian : Efek Kombinasi Arus Listrik dan Suhu terhadap Protein dan Pertumbuhan Bakteri *Escherichia coli* pada Daging 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, Juni 2018  
Yang Membuat Pernyataan



Nida'ul Khasanatul M.  
NIM. 12640068

## MOTTO

**“The tomorrow we’ve been waiting for becomes the name yesterday, at same point tomorrow becomes today, tomorrow becomes yesterday and is behind me. Life isn’t about living along but living through. As you live through, you’ll disappear some day” – BTS (Tomorrow)**

**“If you can’t fly, run. If you can’t run, walk. If you can’t walk, crawl. Even if you have to crawl, gear up” – BTS (Not Today)**

ومن جاهد فإنما يجاهد لنفسه

“Barangsiapa bersungguh-sungguh, sesungguhnya kesungguhannya itu adalah untuk dirinya sendiri.” (QS Al-Ankabut [29]: 6)

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Kupersembahkan karya sederhana ini kepada:*

- *Orang tuaku (Abdul Rohman dan Nuryati), motivator terbesar dalam hidupku yang tak pernah jemu mendo'akan dan menyayangiku atas semua pengorbanan dan kesabaran mengantarku sampai kini, tak mungkin dapat kubalas hanya dengan selebar kertas persembahan.*
- *Saudaraku (Alip, Miftah, Nikmah, Nasikin, Khusnul) dan keponakanku, yang telah memberikan perhatian, kasih sayang dan dukungannya.*
- *Semua pengajarku di SD, MTs, MA dan UIN Maliki Malang, yang telah memberikan banyak ilmu, bimbingan dan pengalaman yang sangat berarti.*
- *Teman-temanku, Fisika angkatan 2012, Khususnya Biophysics (Khoir) dan teman kos (Wawa, Aat), yang selalu setia dengan bantuan, do'a, nasehat, hiburan dan semangat yang telah kalian berikan.*

## KATA PENGANTAR



*Assalamu'alaikum Wr. Wb.*

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“Efek Kombinasi Arus Listrik dan Suhu terhadap Protein dan Pertumbuhan Bakteri *Escherichia coli* pada Daging Sapi”** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) di Jurusan Fisika Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Selanjutnya penulis haturkan ucapan terima kasih *jazakumullah ahsanal jaza'* kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini. Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. Abdul Haris, M.Ag selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, yang telah banyak memberikan pengetahuan dan pengalaman yang berharga.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Drs Abdul Basid, M.Si selaku ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Dr. M. Tirono, M.Si selaku dosen pembimbing skripsi, yang telah banyak memberi kritik dan saran yang sangat berguna.



5. Erika Rani, M.Si selaku Dosen Pembimbing agama, yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan bidang integrasi Sains dan Al Quran.
6. Orangtua tercinta serta segenap keluarga yang selalu mendo'akan, dan memberikan motivasi kepada penulis dalam menuntut ilmu.
7. Segenap sivitas akademika Jurusan Fisika, terutama seluruh dosen, terima kasih atas segenap ilmu dan bimbingannya.
8. Teman-teman seperjuanganku, teman-teman Fisika angkatan 2012 dan teman-teman Biophysics. Terima kasih atas doa, kebersamaan, kebahagiaan serta motivasi yang tiada henti.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu segala kritik dan saran yang bersifat konstruktif sangat diharapkan demi kemajuan bersama. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada para pembaca khususnya bagi penulis secara pribadi. *Amin Allahu Rabbul 'Alamiin.*

*Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*

Malang, Juni 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>COVER</b> .....	i
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	v
<b>MOTTO</b> .....	vi
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiv
<b>ABSTRAK</b> .....	xv
<b>ABSTRACT</b> .....	xvi
<b>المخلص</b> .....	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Tujuan .....	5
1.4 Manfaat .....	6
1.5 Batasan Masalah .....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Listrik .....	7
2.1.1 Muatan Listrik dan Kekekalannya .....	7
2.1.2 Muatan Listrik dalam Atom .....	8
2.1.3 Arus Listrik dan Kerapatan Arus .....	9
2.2 Biolistrik .....	13
2.2.1 Hukum dalam Biolistrik .....	13
2.2.2 Potensi Listrik Tubuh .....	14
2.3 Suhu dan Kalor .....	18
2.3.1 Panas dan Energi dalam Termodinamika .....	19
2.3.2 Kapasitas Panas .....	21
2.4 Daging Sapi .....	22
2.5 <i>Escherichia coli</i> .....	25
2.5.1 Sejarah <i>Escherichia coli</i> .....	25
2.5.2 Morfologi Bakteri <i>Escherichia coli</i> .....	26
2.5.3 Penyakit yang Disebabkan Bakteri <i>Escherichia coli</i> .....	27
2.6 Pertumbuhan Bakteri .....	29
2.7 Pengaruh Suhu dan Listrik .....	32
2.7.1 Pengaruh Suhu dan Listrik terhadap Bakteri .....	32
2.7.2 Pengaruh Suhu dan Listrik terhadap Protein .....	35
2.7.3 Pengaruh Suhu dan Listrik terhadap pH .....	36
2.7.4 Pengaruh Suhu dan Listrik terhadap Warna .....	37
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	40

3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	40
3.3 Desain Rangkaian.....	42
3.4 Prosedur Penelitian.....	43
3.4.1 Sterilisasi.....	43
3.4.2 Pembuatan Madia NA ( <i>Nutrient Agar</i> ).....	44
3.4.3 Pembuatan Media NB ( <i>Nutrient Broth</i> ).....	44
3.4.4 Pembuatan Media PCA ( <i>Plate Count Agar</i> ).....	44
3.4.5 Penumbuhan Bakteri <i>Escherichia coli</i> .....	45
3.4.6 Perlakuan Arus Listrik dan Suhu.....	45
3.4.7 Penghitungan Koloni Bakteri.....	46
3.4.8 Pengujian Kadar Protein.....	47
3.4.9 Pengukuran pH.....	48
3.4.10 Analisis Warna.....	48
3.5 Teknik Pengumpulan Data.....	49
3.6 Teknik Analisis Data.....	50
3.7 Tahapan Penelitian.....	51
<b>BAB IV DATA DAN PEMBAHASA</b>	
4.1 Data Hasil Penelitian.....	52
4.1.1 Pengaruh Kombinasi Arus Listrik dan Suhu terhadap Pertumbuhan Bakteri <i>Escherichia coli</i> .....	52
4.1.2 Pengaruh Arus Listrik terhadap Kadar Protein.....	57
4.1.3 Pengaruh Kombinasi Arus Listrik dan Suhu terhadap pH.....	59
4.1.4 Pengaruh Kombinasi Arus Listrik dan Suhu terhadap Warna.....	62
4.2 Pembahasan.....	64
4.2.1 Pengaruh Arus Listrik dan Suhu terhadap <i>Escherichia coli</i> .....	64
4.2.2 Pengaruh Arus Listrik dan Suhu terhadap Kadar Protein.....	67
4.2.3 Pengaruh Arus Listrik dan Suhu terhadap pH.....	68
4.2.4 Pengaruh Arus Listrik dan Suhu terhadap Warna.....	69
4.3 Makanan Menurut Pandangan Islam.....	71
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan.....	76
5.2 Saran.....	76
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Segmen dari sebuah kawat penghantar arus listrik.....	10
Gambar 2.2	Kurva pertumbuhan mikroorganisme.....	31
Gambar 2.3	Kurva suhu optimum pertumbuhan bakteri.....	33
Gambar 3.1	Desain rangkaian .....	42
Gambar 3.2	Diagram alir penelitian .....	51
Gambar 4.1	Grafik persentase penurunan jumlah koloni bakteri <i>Escherichia coli</i> dengan variasi kuat arus listrik.....	54
Gambar 4.2	Grafik persentase penurunan jumlah koloni bakteri <i>Escherichia coli</i> dengan variasi suhu .....	56
Gambar 4.3	Grafik kadar protein daging sapi dengan variasi kuat arus listrik.....	59
Gambar 4.4	Grafik nilai ph daging sapi dengan variasi kuat arus listrik.....	61
Gambar 4.5	Grafik nilai ph daging sapi dengan variasi suhu .....	61
Gambar 4.6	Warna daging sapi sebelum dialiri kombinasi arus listrik dan suhu.....	62

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi daging sapi per 100 gram bahan yang dapat dimakan.	24
Tabel 2.2	Jumlah sel yang dihasilkan dengan pembelahan biner .....	30
Tabel 3.1	Pengolahan data jumlah bakteri .....	49
Tabel 3.2	Pengolahan data kandungan kadar protein.....	50
Tabel 3.3	Pengolahan data nilai pH .....	50
Tabel 4.1	Data persentase penurunan bakteri <i>Escherichia coli</i> yang dialiri kombinasi arus listrik dan suhu selama 30 menit.....	53
Tabel 4.2	Data kadar protein daging sapi setelah dialiri kombinasi arus listrik dan suhu 60 °C selama 30 menit.....	58
Tabel 4.3	Data nilai pH daging sapi setelah dialiri kombinasi arus listrik dan suhu selama 30 menit .....	60
Tabel 4.4	Data perubahan warna daging sapi setelah dialiri kombinasi arus listrik dan suhu selama 30 menit .....	63



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Penelitian

Lampiran 2 Foto Alat dan Bahan Penelitian



## ABSTRAK

Musyarofah, Nida'ul K. 2017. **Efek Kombinasi Arus Listrik dan Suhu terhadap Protein dan Pertumbuhan Bakteri *Escherichia coli* pada Daging Sapi**. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Drs. M. Tirono, M.Si, (II) Erika Rani, M.Si

**Katakunci:** *Escherichia coli*, Arus Listrik, Suhu, Daging Sapi, Protein, pH, Warna.

Daging sapi merupakan salah satu jenis bahan makanan yang beresiko tinggi terhadap kontaminasi bakteri. Salah satu jenis bakteri pembusuk pada daging sapi yakni bakteri *Escherichia coli*. Stimulasi arus listrik dan peningkatan suhu merupakan alternatif yang digunakan untuk mengurangi kontaminasi bakteri. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh arus listrik dan suhu terhadap pertumbuhan bakteri *Escherichia coli*, kadar protein, nilai pH dan warna pada daging sapi. Metode yang digunakan adalah daging sapi berukuran  $3 \times 3 \times 1 \text{ cm}^3$  yang telah ditumbuhi bakteri *Escherichia coli* kemudian diletakkan pada wadah konduktor ukuran  $3 \times 3 \times 3 \text{ cm}^3$  dan diberikan arus listrik 20 mA, 30 mA, 40 mA, 50 mA dan 60 mA serta suhu 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C selama 30 menit. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi arus listrik dan suhu mampu menghambat pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* hingga 86,3 % pada kuat arus listrik 60 mA dengan suhu 60 °C. Peningkatan arus listrik dan suhu juga mempengaruhi warna merah segar daging sapi menjadi kecoklatan. Namun tidak menunjukkan pengaruh yang nyata pada kadar protein yang menurun 0,8 % dari kadar protein semula dan nilai pH menurun 0,6 dari nilai pH semula.

## ABSTRACT

Musyarofah, Nida'ul K. 2017. **The Effect of Combination Electric Current and Temperature toward Protein and *Escherichia coli* Bacteria Growth on Beef.** Thesis. Physics Department Science and Technology Faculty, State Islamic University Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisors: (I) Drs. M. Tirono, M.Si, (II) Erika Rani, M.Si

**Keywords:** *Escherichia coli*, Electric Current, Temperature, Beef, Protein, pH, color.

Beef is the kind of food having high risk of bacteria contamination. One of the kinds of decomposition bacteria on beef is *Escherichia coli*. Electric current and temperature enhancement are the alternatives to decrease the number of microbe. The aims of this research are to study the influence of electric current and temperature toward *Escherichia coli*, protein content, pH and beef color. The method of this research was using 3x3x1 cm<sup>3</sup> beef that has been spread by *Escherichia coli*. It was put on 3x3x3 cm<sup>3</sup> conductor box and given 20 mA, 30 mA, 40 mA, 50 mA and 60 mA of electric current and 30 °C, 40 °C, 50 °C and 60 °C temperature for 30 minutes. The result of this research that combination of electric current and temperature can inhibit *Escherichia coli* growth until 86,3% on 60 mA electric current with temperature 60 °C. Electric current and temperature enhancement also influence the fresh red color of beef to be brownish. Otherwise, it does not assign any significant change in protein level that decreases 0,8 % the original protein level and pH number that is decreased 0,6 of the original pH number.



## الملخص

المشرفة, نيداء ح. 2018. تأثير الجمع بين التيار الكهربائي ودرجة الحرارة إلى البروتين و النمو البكتيريا إشيريشيا كولي (*Escherichia coli Bacteria*) في لحوم البقر. أطروحة. قسم الفيزياء كلية العلوم والتكنولوجيا جامعة مولانا مالك ابراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف الأول: محمد تيرونو الماجستير، المشرفة الثاني: ريكا راني الماجستير

**الكلمات الرئيسية:** البكتيريا إشيريشيا كولي (*Escherichia coli*)، التيار الكهربائي، درجة الحرارة، درجة الحموضة، بروتين، اللون، لحوم البقر

لحوم البقر هي نوع من الأطعمة التي هي علضة لخطر التوث البكتيري. نوع الاضمحلال البكتيري في اللحم البقر هو البكتيريا إشيريشيا كولي (*Escherichia coli*). التحفيز الكهربائي في شكل تيار كهربائي وزيادة درجة الحرارة هو البديل الذي يستخدم للحد من التلوث الجرثومي. تحدف هذه الدرسة لمعرفة تأثير التيار الكهربائي ودرجة الحرارة. إلى البكتيريا إشيريشيا كولي (*Escherichia coli*)، و البروتين، ودرجة الحموضة ولون من لحوم البقر. الطريقة المستخدمة في هذا البحث هو لحم البقر الحجم  $3 \times 3 \times 1 \text{ cm}^3$  التي كانت متضخمة مع البكتيريا إشيريشيا كولي (*Escherichia coli*) ثم توضع على موصل حاوية بحجم  $3 \times 3 \times 3 \text{ cm}^3$  وتحفيز كهربائيا 60 mA, 50 mA, 40 mA, 30 mA, 20 mA و درجة الحرارة  $30^\circ \text{C}$ ،  $40^\circ \text{C}$ ،  $50^\circ \text{C}$ ،  $60^\circ \text{C}$  لمدة ثلاثين دقائق. نتيجة هذا البحث تشير إلى أن الجمع بين التيار الكهربائي ودرجة الحرارة يمكن أن تمنع نمو البكتيريا إشيريشيا كولي (*Escherichia coli*) إلى 86,3% في التيار الكهربائي 60 mA بدرجة الحرارة  $60^\circ \text{C}$ . زيادة التيار الكهربائي ودرجة الحرارة يؤثر أيضا على لون لحم البقر الأحمر الطازج إلى اللون البني. ولكن لم تظهر أي تأثير حقيقي. على البروتين التي خفضت بنسبة 0,8% من البروتين الأصلي. ودرجة الحموضة خفضت 0,6 من الحموضة الأصلي.

## BAB I PENDAHULUAN

### 5.1 Latar Belakang

Makanan merupakan kebutuhan pokok yang paling utama dibutuhkan bagi setiap makhluk hidup untuk bertahan hidup. Makanan dibutuhkan secara kuantitatif maupun kualitatif. Makanan juga berfungsi sebagai pemberi nutrisi bagi pertumbuhan seseorang karena makhluk hidup akan tumbuh dan berkembang sesuai asupan gizi yang dikonsumsinya. Oleh karena itu, diperlukan makanan yang baik dan juga halal untuk membentuk generasi bangsa yang berkualitas baik dan juga halal dalam pertumbuhannya, seperti yang telah dijelaskan dalam firman Allah surat al-Baqarah ayat 168:

يَا أَيُّهَا النَّاسُ كُلُوا مِمَّا فِي الْأَرْضِ حَلَالًا طَيِّبًا وَلَا تَتَّبِعُوا خُطُوَاتِ الشَّيْطَانِ ۚ إِنَّهُ لَكُمْ  
عَدُوٌّ مُّبِينٌ

*“Hai sekalian manusia, makanlah yang halal lagi baik dari apa yang terdapat di bumi, dan janganlah kamu mengikuti langkah-langkah syaitan, karena sesungguhnya syaitan itu adalah musuh yang nyata bagimu.”* (Q.S. al-Baqarah (2): 168).

Daging merupakan pangan hewani yang baik sebagai asupan gizi dan merupakan sumber utama protein. Daging sapi menjadi komoditas daging yang disukai konsumen Indonesia selain daging ayam, daging kambing dan lainnya dengan alasan pertimbangan gizi, status sosial, pertimbangan kuliner dan pengaruh budaya barat. Permintaan daging sapi dari waktu ke waktu cenderung meningkat sejalan dengan pertambahan penduduk, perkembangan ekonomi, perubahan pola hidup, peningkatan kesadaran akan gizi, dan perbaikan pendidikan

masyarakat. Sehingga kebutuhan daging sapi terus meningkat dari tahun ke tahun, sedangkan jumlah populasi tidak seimbang dengan jumlah permintaan tersebut. Oleh karena itu, banyak cara yang dilakukan untuk dapat memenuhi kebutuhan daging dalam negeri salah satunya dengan impor daging dari berbagai negara. Meskipun masih banyak yang pro dan kontra dari berbagai pihak menyangkut aspek keamanan dan kesterilan daging sapi yang diimpor. Ditambah lagi dengan maraknya sejumlah penyakit yang mewabah di beberapa negara eksportir, yang memasukkan produk hasil peternakannya ke Indonesia.

Bunga Fatimah dan Tristia Rinanda, seorang mahasiswa dan dosen dari fakultas kedokteran Universitas Syiah Kuala, melakukan deteksi cemaran *Escherichia coli* pada daging burger dari 5 penjual kaki lima di Desa Kopelma Darussalam dan 5 restoran cepat saji di Banda pada pengambilan pertama didapatkan cemaran *Escherichia coli* pada 40% sampel daging burger penjual kaki lima dan 60% sampel daging burger restoran cepat saji. Pada pengambilan kedua diperoleh 100% sampel daging burger penjual kaki lima dan sampel daging burger restoran cepat saji tercemar *Escherichia coli*. Pada pengambilan ketiga didapatkan 100% sampel daging burger penjual kaki lima dan 80% sampel daging burger restoran cepat saji tercemar *Escherichia coli*. Nilai rata-rata MPN (*Most Probable Number*) *Escherichia coli* pada sampel daging burger penjual kaki lima lebih tinggi dibandingkan dengan sampel daging burger restoran cepat saji (Fatimah & Rinanda, 2011)

Pada 27 April 2012, tujuh orang di Pacitan mengalami keracunan makanan setelah mengonsumsi daging sapi yang diduga tercemar bakteri patogen,

*Escherichia coli*. Setelah dua jam mengonsumsi daging sapi yang tercemar bakteri, mereka merasakan mual-mual di perut. Selain itu, mereka juga muntah-muntah dan suhu tubuh naik (Hazliansyah, 2012). Infeksi *Escherichia.coli* biasanya menyebabkan gejala keracunan makanan, termasuk diare berdarah, kram perut, dan dehidrasi selama 2-8 hari setelah mengonsumsi makanan yang terinfeksi (Safitri, 2015).

Produk daging dan olahannya merupakan jenis makanan yang berisiko tinggi terhadap bahaya kontaminasi. Kontaminasi mikroba pada daging sapi dapat berasal dari peternakan dan rumah potong hewan yang tidak higienis. Penanganan bahan makanan secara aseptis sangat penting dilakukan agar makanan tidak tercemar serta mengurangi kerusakan makanan dan memperkecil kemungkinan kontaminasi oleh bakteri patogen.

Penanganan bahan makanan yang sudah umum dilakukan saat ini salah satunya dengan proses pendinginan menggunakan refrigerator. Namun, hal yang sering terabaikan dalam proses pengolahan pangan ialah terdegradasinya kandungan gizi pada bahan pangan. Rusaknya kandungan gizi pada bahan pangan ini umumnya dikarenakan pengolahan bahan pangan dengan menggunakan proses termal. Menurut Munzir (2009), penggunaan suhu rendah dalam pengawetan pangan tidak dapat membunuh bakteri, sehingga jika bahan pangan beku misalnya dikeluarkan dari penyimpanan dan dibiarkan mencair kembali (*thawing*), pertumbuhan bakteri pembusuk kemudian berjalan cepat kembali. Pendinginan dan pembekuan masing-masing juga berbeda pengaruhnya terhadap rasa, tekstur, nilai gizi, dan sifat-sifat lainnya. Beberapa bahan pangan menjadi rusak pada suhu

penyimpanan yang terlalu rendah. Seperti pada pisang dan tomat yang tidak boleh disimpan pada suhu lebih rendah dari 13 °C karena akan mengalami *chilling injury*. Sedangkan menurut Syamsir (2011), penggunaan panas dalam proses pemanasan pada daging sapi dapat mempengaruhi kandungan protein, lemak, warna dan rasanya.

Beberapa alternatif telah mulai diteliti yakni dengan rangsangan arus listrik. Contreras *et al.* (1981) melaporkan bahwa umur simpan daging sapi yang didinginkan dengan rangsangan arus listrik 3 hari lebih lama daripada umur simpan daging sapi kontrol (tanpa rangsangan arus listrik). El Neel (2007) menggunakan arus listrik sebesar 0,2-0,6 A untuk inaktivasi bakteri pada air dan minuman. Hasilnya menunjukkan bahwa dengan arus listrik 0,2 A mampu menonaktifkan bakteri pada jus jeruk hingga 100%. Dan dengan arus listrik 0,6 A mampu menonaktifkan bakteri *Escherichia coli* pada air tawar dan air laut hingga 92%. Sedangkan Petrofsky *et al.* (2008) menggunakan arus listrik sebesar 5-20 mA untuk melihat apakah stimulasi arus listrik ini mampu untuk menghambat pertumbuhan bakteri pada perawatan luka seperti bakteri *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* dan *Staphylococcus aureus*. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa dari ketiga jenis yang digunakan stimulasi dengan arus listrik dapat menghambat pertumbuhan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* saja. Sedangkan bakteri lain tidak menunjukkan penurunan pada pertumbuhan bakteri tersebut. Karena *Pseudomonas aeruginosa* memiliki protein flagella untuk bergerak, sedangkan kedua bakteri lainnya tidak memiliki flagella. Jika flagella tersebut terganggu (oleh stimulasi listrik) maka mobilitas dan pertumbuhannya

berkurang atau mati. Pemberian stimulasi arus listrik bukan tidak memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. Namun stimulasi arus listrik yang lemah/rendah tidak menunjukkan penghambatan pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. Untuk itu, diperlukan stimulasi listrik dengan kuat arus listrik yang lebih tinggi untuk mengetahui pengaruhnya terhadap pertumbuhan bakteri tersebut.

Berdasarkan penjelasan diatas, maka akan dilakukan penelitian tentang efek kombinasi arus listrik dan suhu terhadap pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* pada daging sapi sebagai upaya untuk sanitasi makanan sekaligus pengawetan daging sapi.

## **5.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimanakah pengaruh kombinasi arus listrik dan suhu terhadap pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* pada daging sapi?
2. Bagaimanakah pengaruh kombinasi arus listrik dan suhu terhadap kadar protein pada daging sapi?
3. Bagaimanakah pengaruh kombinasi arus listrik dan suhu terhadap nilai pH pada daging sapi?
4. Bagaimanakah pengaruh kombinasi arus listrik dan suhu terhadap warna pada daging sapi?

## **5.3 Tujuan**

1. Untuk mengetahui pengaruh kombinasi arus listrik dan suhu terhadap pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* pada daging sapi.

2. Untuk mengetahui pengaruh kombinasi arus listrik dan suhu terhadap kadar protein pada daging sapi.
3. Untuk mengetahui pengaruh kombinasi arus listrik dan suhu terhadap nilai pH pada daging sapi.
4. Untuk mengetahui pengaruh kombinasi arus listrik dan suhu terhadap warna pada daging sapi.

#### 5.4 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi pengaruh kombinasi arus dan suhu terhadap pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* pada daging sapi.
2. Memberikan solusi kepada masyarakat dalam pengawetan bahan makanan berupa daging sapi.

#### 5.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan salah satu bakteri yang tumbuh pada daging yakni bakteri *Escherichia coli*.
2. Pengujian yang dilakukan adalah menghitung jumlah koloni bakteri, kandungan gizi yang ditentukan yakni kadar protein dan nilai pH.
3. Ukuran sampel yaitu 3x3 cm dengan tebal 1 cm

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **5.1 Listrik**

#### **5.1.1 Muatan Listrik dan Kekekalannya**

Kata “listrik” berasal dari kata Yunani “elektron” yang berarti “ambar”. Ambar adalah suatu pohon damar yang telah membatu, dan jika digosok dengan kain wol akan diperoleh sifat yang dapat menarik benda-benda ringan. Perilaku batu ambar seperti ini sekarang dapat dikatakan bahwa “batu ambar terelektifikasi atau memperoleh muatan listrik” atau secara listrik “dimuati”. Proses elektrifikasi ini sekarang kita sebut sebagai listrik statis. Untuk memberi muatan listrik pada benda padat, dapat dilakukan dengan menggosok-gosokkannya benda tersebut pada benda lain. Sesungguhnya, persinggungan yang rapat saja sudah akan menimbulkan muatan listrik. Menggosok artinya tidak lain adalah membuat persinggungan rapat antara permukaan dua benda.

Seorang negarawan, filsuf dan ilmuwan Amerika Benjamin Franklin (1706-1790) mengajukan argumen bahwa ketika sejumlah muatan dihasilkan pada suatu benda dalam satu proses, maka muatan yang berlawanan dengan jumlah yang sama dihasilkan pada benda yang lainnya. Positif dan negatif diperlakukan secara aljabar, sehingga pada setiap proses, perubahan total jumlah muatan yang dihasilkan selalu nol. Sebagai contoh, ketika penggaris plastik digosok dengan handuk kertas, maka penggaris plastik mendapatkan muatan negatif sedangkan handuk akan mendapatkan muatan positif dengan jumlah yang sama. Muatan-muatan tersebut terpisah, tetapi jumlah keduanya nol. Ini merupakan contoh



hukum yang dikenal sebagai hukum kekekalan muatan listrik yang menyatakan bahwa jumlah total muatan listrik yang dihasilkan pada setiap proses adalah nol (Endarko dan Gatot, 2007).

### 5.1.2 Muatan Listrik dalam Atom

Perkataan atom berasal dari Bahasa Yunani “atomos” yang berarti tak dapat dibagi. Partikel subatom yang membentuk atom ada tiga macam yakni elektron, proton, dan neutron. Atom memiliki inti bermuatan positif yang berat, dan dikelilingi oleh satu atau lebih elektron bermuatan negatif. Inti terdiri dari proton yang bermuatan positif, dan neutron yang tidak bermuatan (netral). Besarnya muatan negatif (elektron) sama dengan besarnya muatan positif (proton) dan tidak ada muatan yang lebih kecil dari kedua muatan partikel ini, sehingga seringkali disebut dengan satuan dasar muatan ( $e$ ). Semua muatan benda merupakan kelipatan bilangan bulat dari satuan dasar muatan, dengan demikian muatan bersifat terkuantisasi (diskrit). Setiap muatan  $Q$  yang ada di alam dapat dituliskan dalam bentuk  $Q = \pm Ne$ . Kuantisasi muatan listrik kadangkala tidak teramati karena biasanya  $N$  memiliki harga yang sangat besar, seperti misalkan pada batang plastik yang digosokkan pada kain wol maka akan berpindah sejumlah elektron sebanyak sekitar  $10^{10}$  C. Sedangkan proses berkurang atau bertambahnya elektron pada suatu benda disebut dengan ionisasi. Besarnya satuan dasar muatan listrik ( $e$ ) adalah (Endarko dan Gatot, 2007):

$$e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C} \quad (2.1)$$

### 2.1.3 Arus Listrik dan Kerapatan Arus

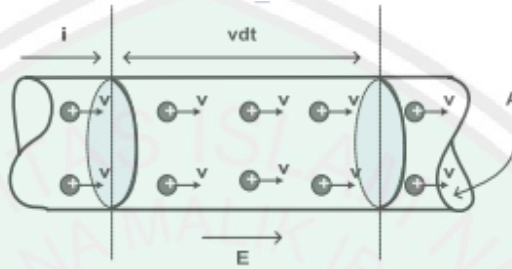
Sebuah lampu ketika dinyalakan, maka filamen kawat dalam bola lampu terhubung ke suatu beda potensial yang menyebabkan muatan listrik mengalir pada kawat, yang analogi dengan beda tekanan dalam pipa air yang menyebabkan air mengalir melalui pipa. Aliran muatan listrik merupakan suatu arus listrik. Arus listrik tidak hanya terjadi dalam kawat penghantar saja seperti yang biasa dikenal, tetapi arus listrik juga mengalir melalui medium yang lain.

Arus listrik didefinisikan sebagai laju aliran muatan listrik yang melalui suatu luasan penampang lintang. Arus listrik merupakan aliran elektron-elektron yang menyeberangi gradien potensial dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah. Pada konduktor elektron bergerak dari satu atom ke atom konduktor berikutnya. Sedangkan pada medium air elektron dibawa oleh elektrolit yang terlarut di dalamnya. Arah arus listrik diperjanjikan sebagai arah gerakan muatan positif. Jika pada suatu penampang konduktor lewat muatan positif 10 C ke kanan dan muatan negatif 20 C ke kiri, maka dikatakan pada penampang tersebut lewat muatan positif sebesar 30 C ke kanan. Bentuk sederhana pernyataan matematis dari definisi arus dituliskan sebagai (Endarko dan Gatot, 2007):

$$i = \frac{Q}{t} \quad (2.2)$$

tetapi dengan mempertimbangkan besaran-besaran dalam media transmisi (kawat penghantar) dan besaran-besaran gerak lainnya, maka perhatikan suatu konduktor dengan luas penampang  $A$  yang dikenai medan listrik  $E$  (seperti gambar 2.1). Karena medan listrik  $E$  ke arah kanan maka menyebabkan muatan-muatan positif

dalam konduktor bergerak ke kanan dengan kecepatan  $v$ . Bila dalam selang waktu  $dt$  telah mengalir melewati luasan  $A$  sejumlah muatan positif sebesar  $dQ$ , maka  $dQ$  adalah jumlah muatan total yang terdapat di dalam tabung bervolume  $(A \cdot v \cdot dt)$ , dengan  $v$  adalah kecepatan rata-rata partikel pembawa muatan.



Gambar 2.1 Segmen dari sebuah kawat penghantar arus listrik (Endarko dan Gatot, 2007)

Bila jumlah partikel persatuan volume  $n$ , dan muatan tiap-tiap partikel  $q$ , maka  $dQ = A \cdot v \cdot dt \cdot n \cdot q$ . Kuat arus  $i$  yang didefinisikan sebagai jumlah muatan positif yang lewat penampang dalam satu satuan waktu adalah (Endarko dan Gatot, 2007):

$$i = \frac{dQ}{dt} = Avnq \quad (2.3)$$

Bila satuan muatan adalah coulomb, dan satuan waktu adalah detik, maka satuan arus listrik disebut ampere (A). Kalau muatan yang lewat terdiri dari bermacam-macam partikel dengan jumlah partikel persatuan volume, kecepatan, dan muatan yang berlainan, maka (Endarko dan Gatot, 2007):

$$i = \frac{dQ}{dt} = A \sum v_i n_i q_i \quad (2.4)$$

Rapat arus  $J$  didefinisikan sebagai kuat arus  $I$  dibagi luas penampang  $A$ , yaitu (Endarko dan Gatot, 2007):

$$J = \frac{i}{A} \quad (2.5)$$

Bila kawat mempunyai panjang  $L$  dengan beda potensial antara kedua ujung kawat adalah  $V_{ab}$  dan  $\sigma$  konstan, maka (Endarko dan Gatot, 2007):

$$V_{ab} = \frac{L}{A\sigma} i \quad (2.6)$$

dengan besarnya  $L$ ,  $A$ , dan  $\sigma$  konstan maka bila  $V_{ab}$  diperbesar akan mengalirkan arus  $I$  yang besar dan sebaliknya, sehingga  $(L/A\sigma)$  yang merupakan karakteristik kawat yang disebut hambatan listrik/resistansi dari kawat tersebut, dan diberi notasi  $R$ , (Endarko dan Gatot, 2007):

$$R = \frac{L}{A\sigma} \quad (2.7)$$

dan

$$V_{ab} = iR \quad (2.8)$$

Persamaan inilah yang disebut dengan Hukum Ohm. Bila arus  $i$  dalam ampere, beda potensial  $V$  dalam volt, maka hambatan listrik tersebut dinyatakan dalam ohm ( $\Omega$ ). Satuan konduktivitas  $\sigma$  adalah  $1/\Omega\text{m}$  atau ohm/m. Kebalikan dari konduktivitas didefinisikan sebagai resistivitas  $\rho$ , sehingga  $\rho = 1/\sigma$  dengan satuan  $\Omega\text{.m}$  (ohm.m). Jadi hambatan listrik dari kawat yang panjang  $L$ , luas penampang  $A$ , dan resistivitas  $\rho$  adalah (Endarko dan Gatot, 2007):

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.9)$$

Arus listrik merupakan gerakan kelompok partikel bermuatan listrik dalam arah tertentu. Arah arus listrik yang mengalir dalam suatu konduktor adalah dari potensial tinggi ke potensial rendah. Selain dipengaruhi oleh jenis konduktornya, besar dari arus listrik juga di pengaruhi oleh suhu pada medium penghantarnya. Hal tersebut dapat dilihat dari persamaan di bawah ini (Giancoli, 2001):

$$\Delta R = R_0 (1 + \alpha \Delta T) \quad (2.10)$$

Dimana:  $\Delta R$  = perubahan hambatan terhadap T  
 $R_0$  = hambatan awal  
 $\alpha$  = koefisien suhu  
 $\Delta T$  = perubahan suhu

Jadi, semakin besar suhu suatu tegangan maka hambatan yang terjadi akan semakin besar, dan jika hambatan semakin besar maka akan mempengaruhi besar arus listrik yang masuk dalam rangkaian.

Semakin besar hambatan (R) maka arus yang mengalir akan semakin kecil. Salah satu faktor luar/eksternal yang sangat berpengaruh terhadap hambatan penghantar adalah suhu atau temperatur. Semakin tinggi temperatur suatu penghantar, semakin tinggi pula getaran elektron-elektron bebas dalam penghantar tersebut. Getaran elektron-elektron bebas inilah yang akan menghambat jalannya muatan listrik (arus listrik) dalam penghantar tersebut. Adapun hambatan jenis penghantar ( $\rho$ ) akan berubah seiring dengan perubahan temperatur. Semakin tinggi temperatur penghantar, hambatan jenisnya akan semakin tinggi, dan sebaliknya. Perubahan hambatan jenis ini selanjutnya akan diikuti oleh perubahan hambatan total (R) penghantar itu sendiri (Giancoli, 2001).

## 2.2 Biolistrik

Listrik adalah kondisi dari partikel subatomik tertentu, seperti elektron dan proton, yang menyebabkan penarikan dan penolakan gaya diantaranya. Dapat juga diartikan sebagai sumber energi yang disalurkan melalui kabel, arus listrik timbul oleh karena muatan listrik mengalir dari saluran positif ke saluran negatif (Ruslan & Riwidikdo, 2009).

### 2.2.1 Hukum dalam Biolistrik

Ada 2 aspek kelistrikan dan kemagnetan yang penting dalam bidang kedokteran yaitu listrik dan magnet yang ada dalam tubuh dan yang digunakan pada permukaan tubuh. Ada beberapa rumus yang berkaitan yaitu (Ruslan & Riwidikdo, 2009):

1. Hukum Ohm: "Perbedaan potensial antara ujung konduktor berbanding langsung dengan arus yang melewati dan berbanding terbalik dengan tahanan konduktor"

$$V = I.R \quad (2.11)$$

R= tahanan ( $\Omega$ )  
 I = kuat arus (A)  
 V= tegangan (Volt)

2. Hukum Joule: "Arus listrik yang melewati konduktor dengan perbedaan tegangan dalam waktu tertentu akan menimbulkan panas"

$$E = V.I.t \quad (2.12)$$

E = energi (joule)  
 I = kuat arus (A)

$V$  = tegangan (volt)

$t$  = waktu (detik)

### 2.2.2 Potensial Listrik Tubuh

Dalam suatu sel saraf maupun sel-sel hidup lainnya, membran sel mempertahankan kondisi intraseluler yang berbeda dengan lingkungan ekstra selulernya. Setiap sel saraf menghasilkan sedikit ion negatif tepat di dalam sel dan juga ion positif tepat di luar membran sel.

Telah diketahui bahwa sel mempunyai lapisan yang disebut membran sel, di dalam sel ini terdapat ion  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , dan protein. Perbedaan sifat elektron pada membran sel saraf adalah kunci dalam memahami hantaran impuls saraf. Konsentrasi ion kalium ( $\text{K}^+$ ) di dalam cairan pada bagian dalam membran sel 30 kali lebih banyak daripada yang di luar, sedangkan konsentrasi ion natrium ( $\text{Na}^+$ ) sepuluh kali lebih banyak di bagian luar membran sel dibandingkan dengan bagian dalam. Perlu dicermati bahwa semua anion (terutama klorida,  $\text{Cl}^-$ ) juga tidak terdistribusi sempurna. Seperti pada sel hidup yang lain, sel saraf menggunakan difusi pasif dan difusi aktif untuk mempertahankan perbedaan ini melalui membran selnya. Ketidaksesuaian distribusi  $\text{Na}^+$  dan  $\text{K}^+$  sebenarnya dibentuk oleh kebutuhan energi pemompaan  $\text{Na}^+$  menjadi  $\text{K}^+$ , yang memindahkan ion  $\text{Na}^+$  ke luar dari sel dan  $\text{K}^+$  ke dalam sel. Juga adanya suatu protein dalam membran sel saraf sebagai suatu saluran potensial yang memudahkan  $\text{Na}^+$  dan  $\text{K}^+$  mengalir selama hantaran impuls saraf.

Suatu sel saraf berada dalam keadaan istirahat, saluran  $\text{Na}^+$  yang bergantung pada tegangan tertutup sehingga menjadi ketidaksamaan distribusi  $\text{Na}^+$ . Membran

sel saraf yang berada dalam keadaan istirahat (tidak adanya proses konduksi impuls listrik), konsentrasi ion  $\text{Na}^+$  lebih banyak di luar daripada di dalam sel, di dalam sel akan lebih negatif dibandingkan dengan di luar sel. Dalam keadaan istirahat, membran sel tidak permeabel terhadap anion yang besar (atau terhadap jenis muatan negatif besar lainnya, seperti protein) dengan demikian kelebihan muatan negatif terbentuk tepat di bagian dalam permukaan membran sel. Potensial sel saraf dalam keadaan istirahat memiliki membran sel yang disebut dalam keadaan polarisasi.

Susunan muatan pada setiap permukaan membran sel saraf menyerupai kapasitor bermuatan. Medan listrik diantara kapasitor pelat sejajar adalah seragam, sehingga dapat dihitung medan listrik pada membran sel (Ruslan & Riwidikdo, 2009):

$$E = \frac{-dv}{dL} \quad (2.13)$$

Dengan demikian gaya yang dihasilkan oleh medan ini terhadap ion positif menjadi (Ruslan & Riwidikdo, 2009):

$$F = q E \quad (2.14)$$

Gaya ini beraksi melawan perbedaan konsentrasi  $\text{K}^+$ , walaupun menambah efek dari perbedaan konsentrasi  $\text{Na}^+$ .

Potensial sel saraf dalam keadaan istirahat dapat diganggu oleh rangsangan listrik, kimia maupun fisik (mekanik), selanjutnya butir-butir membran akan berubah dan beberapa ion  $\text{Na}^+$  akan masuk dari luar sel ke dalam sel. Di dalam sel



akan menjadi kurang negatif (lebih positif) dari pada di luar sel dan potensial membran akan meningkat. Keadaan membran ini disebut depolarisasi. Gangguan ini mungkin hanya sedikit mempengaruhi potensial membran pada titik rangsangan. Jika rangsangan ini cukup kuat hingga menyebabkan depolarisasi dari potensial istirahat. Karena adanya perubahan potensial maka saluran membran akan terbuka. Karena ada gradien konsentrasi dan gradien listrik, ion  $\text{Na}^+$  mengalir memasuki sel dalam waktu yang cepat dan jumlah yang banyak serta menimbulkan arus listrik ( $I = \Delta q / \Delta t$ ). Fluks  $\text{Na}^+$  pada bagian dalam membran menghasilkan perubahan polaritas membran dan menyebabkan perubahan potensial listrik. Jika efek dari konsentrasi  $\text{Na}^+$  (luar > dalam) menjadi seimbang oleh karena gradien listrik (potensial membrannya menjadi positif dibagian dalam), depolarisasi berakhir pada tempat rangsangan semula. Saluran  $\text{Na}^+$  kemudian menutup kembali. Saluran  $\text{K}^+$  merespon perubahan polaritas membran secepatnya setelah pembukaan  $\text{Na}^+$  dengan mengirimkan  $\text{K}^+$  ke luar dan  $\text{Na}^+$  ke dalam. Gerakan ion  $\text{K}^+$  dan lambatnya pemompaan  $\text{Na}^+$  menjadi  $\text{K}^+$  segera memperbaiki gradien konsentrasi dan gradien listrik seperti pada keadaan istirahat.

Setelah depolarisasi, saluran  $\text{Na}^+$  tetap tertutup untuk waktu yang cukup singkat (beberapa milisekon) sampai membran sel saraf tidak dapat dirangsang lagi. Periode ini dinamakan dengan periode pemulihan. Perubahan transien pada potensial listrik di antara membran dinyatakan sebagai potensial aksi. Potensial aksi merupakan fenomena keseluruhan yang berarti bahwa begitu nilai ambang tercapai, peningkatan waktu dan amplitudo dari potensial aksi akan selalu sama,

tidak peduli macam apapun intensitas dari rangsangan. Segera setelah potensial aksi mencapai puncak mekanisme pengangkutan di dalam sel membran dengan cepat mengembalikan ion  $\text{Na}^+$  ke luar sel sehingga mencapai potensial membran istirahat.

Untuk mengukur potensial aksi secara baik dipergunakan elektroda. Kegunaan elektroda adalah untuk memindahkan transmisi ion ke penyalur elektron. Bahan yang dipakai sebagai elektroda adalah perak dan tembaga. Apabila sebuah elektroda tembaga dan sebuah elektroda perak dicelupkan ke dalam larutan elektrolit yang seimbang dengan cairan tubuh maka akan terjadi perbedaan potensial antara kedua elektroda itu. Perbedaan potensial ini kira-kira sama dengan perbedaan antara potensial kontak kedua logam tersebut, dinamakan potensial *offset* elektroda. Dalam praktik perbedaan potensial *offset* elektroda harus dibuat sekecil mungkin/mendekati nol, akan tetapi selalu tidak mungkin dan akan terjadi penurunan tegangan secara perlahan-lahan (*drift*). Untuk mendapatkan potensial *offset* elektroda sekecil mungkin, elektroda tidak disambung dalam amplifier tegangan searah melainkan dilapisi pasta/*jelly*. Dalam pemilihan bahan sebagai elektroda sangat penting, diutamakan bahan elektroda yang dapat disterilkan (oleh karena pemakaian terus menerus terhadap berbagai penderita) dan tidak mengandung racun. Untuk itu pilihan utama adalah perak (Ag) dan ditutupi lapisan tipis perak (AgCl). Beberapa jenis elektroda adalah elektroda jarum berfungsi mengukur aktivitas motor unit tunggal. Elektroda pipet untuk mengukur potensial biolistrik dekat/di dalam sebuah sel, dan elektroda

permukaan kulit untuk mengukur potensial listrik permukaan tubuh EKG, EEG dan EMG (Ruslan & Riwidikdo, 2009).

### 2.3 Suhu dan Kalor

Suhu merupakan ukuran atau derajat panas atau dinginnya suatu benda atau sistem. Suhu didefinisikan sebagai suatu besaran fisika yang dimiliki bersama antara dua benda atau lebih yang berada dalam kesetimbangan termal. Suatu benda yang dalam keadaan panas dikatakan memiliki suhu yang tinggi, dan sebaliknya, suatu benda yang dalam keadaan dingin dikatakan memiliki suhu yang rendah. Perubahan suhu benda, baik menjadi lebih panas atau menjadi lebih dingin biasanya diikuti dengan perubahan bentuk atau wujudnya.

Kalor (atau panas) sebenarnya adalah energi kinetik (mikroskopis) partikel-partikel penyusun suatu benda. Gerak partikel-partikel penyusun benda tadi tidak tampak secara makroskopis, gerakannya sangat acak dan inilah yang tampak atau teramati sebagai panas. Sebagai bentuk energi kinetik, tentunya kalor dapat berpindah. Perpindahan kalor ini terjadi dengan cara perpindahan energi kinetik partikel-partikel penyusun benda ke partikel lain (yang mungkin merupakan partikel penyusun benda lain). Sebagai contoh, bila dua benda disentuh, maka pada permukaan sentuh kedua benda, partikel-partikel penyusun kedua benda akan saling bertumbukan dan saling memindahkan energi dan momentum. Secara makroskopik ini akan teramati sebagai perpindahan panas antara kedua benda tadi, yang disebut konduksi panas. Bentuk lain perpindahan panas misalnya perpindahan energi gerak partikel akibat bergeraknya zat sebagai benda cair. Partikel-partikel penyusun zat cair yang berenergi kinetik tinggi lebih mudah

bergerak sehingga volume yang ditempatinya (untuk jumlah partikel tertentu) lebih besar. Akibatnya bagian zat cair dengan energi kinetik yang lebih tinggi akan lebih renggang (rapat massanya lebih rendah), maka akan bergerak ke atas. Perpindahan panas semacam ini disebut konveksi panas. Bentuk ketiga perpindahan panas adalah perpindahan energi yang diperantarai oleh partikel foton cahaya. Partikel-partikel penyusun benda yang bergetar dengan energi tinggi akan melepaskan partikel foton cahaya yang membawa sebagian energi kinetiknya. Bila partikel foton yang dipancarkan tadi menabrak benda lain, maka energi foton tadi akan diberikan kepada partikel penyusun benda yang ditabraknya. Bentuk perpindahan panas semacam ini disebut sebagai radiasi panas.

Dalam proses konduksi, ketika kedua benda disentuh, terjadi perpindahan panas antara keduanya sampai keduanya mencapai kondisi kesetimbangan termal. Kesetimbangan termal adalah kondisi ketika tidak ada lagi total perpindahan panas antara kedua benda (walaupun secara mikroskopik masih terjadi perpindahan panas, tapi panas yang berpindah dari benda pertama ke benda kedua, sama dengan yang berpindah dari benda kedua ke benda pertama) (Satriawan, 2012).

### **2.3.1 Panas dan Energi dalam Termodinamika**

Bila suhu ada kaitannya dengan energi kinetik rerata partikel-partikel penyusun suatu benda, maka perubahan suhu yang disebabkan karena adanya transfer panas tentunya terkait dengan adanya perubahan energi kinetik. Karena itu panas adalah energi kinetik mikroskopik dari partikel-partikel penyusun benda.

Keterkaitan antara panas dan energi dibuktikan pertama kali oleh Joule. Sekarang diketahui bahwa 1 kalori (satuan untuk panas) setara dengan energi sebesar 4,186 joule.

Bila panas adalah energi maka perumusan teorema usaha-energi dapat diperluas dengan menyertakan panas  $Q$ . Panas, sebagai energi kinetik mikroskopik, tidak muncul sebagai energi kinetik benda secara makroskopik. Karena itu merupakan bagian dari usaha non konservatif. Dari perumusan (Satriawan, 2012):

$$\Delta E_k = W \quad (2.15)$$

dengan mengabaikan energi kinetik makroskopik benda, maka (Satriawan, 2012):

$$\Delta U = Q - W \quad (2.16)$$

dengan  $W$  disini sekarang adalah usaha total yang diberikan pada benda tetapi tidak melibatkan bagian usaha non konservatif akibat transfer panas. Sedangkan  $Q$  adalah total (energi) panas yang diterima benda. Persamaan ini disebut sebagai persamaan hukum pertama termodinamika.

Perubahan energi dalam tidak lain adalah perubahan energi kinetik mikroskopik benda. Karena energi kinetik mikroskopik benda dideskripsikan oleh suhu, maka perubahan energi dalam hanya bergantung pada suhu benda, dan energi dalam termasuk sebagai besaran keadaan yang nilainya tidak bergantung pada proses perubahannya tetapi hanya bergantung pada keadaan akhir dan awal (Satriawan, 2012).

### 2.3.2 Kapasitas Panas

Ketika sebuah benda diberi panas, suhunya secara umum akan meningkat. Ini karena panas yang diberikan digunakan untuk meningkatkan energi kinetik rerata partikel-partikel penyusun benda tadi. Hubungan antara perubahan suhu dengan jumlah panas yang diberikan, untuk daerah perubahan suhu yang tidak terlalu besar, dapat dituliskan sebagai (Satriawan, 2012):

$$Q = mC\Delta T \quad (2.17)$$

dengan  $C$  adalah kapasitas panas benda tersebut, yang bergantung pada jumlah zat/massa benda (Satriawan, 2012),

$$C = cn \quad (2.18)$$

dengan  $c$  adalah kapasitas panas jenis benda (terkadang sebagai ganti  $n$  adalah  $m$  massa zat). Besarnya kapasitas panas jenis tergantung pada jenis bendanya, dan dapat pula berbeda untuk suhu yang berbeda. Tetapi kebanyakan zat memiliki nilai  $c$  yang tetap pada daerah rentang perubahan suhu tertentu. Nilai  $c$  juga bergantung pada proses terjadinya transfer panas. Misalnya pada gas, kapasitas panas jenis pada tekanan tetap  $c_p$  dan pada volume tetap  $c_v$ , berbeda nilainya.

Ketika benda mengalami perubahan fase (misalnya dari padat menjadi cair), panas yang diberikan kepada benda digunakan untuk mengubah susunan molekul benda, sehingga energi kinetik rerata benda tidak berubah. Pada kondisi ini tidak terjadi perubahan suhu akibat ditambahkan panas pada benda, sampai seluruh panas digunakan benda untuk melakukan perubahan fase. Besar panas yang

dibutuhkan untuk perubahan fase ini disebut sebagai panas laten dan besarnya bergantung pada massa benda, dirumuskan sebagai (Satriawan, 2012):

$$Q = Lm \quad (2.19)$$

dengan L adalah konstanta panas laten, yang bergantung pada zat dan proses perubahan fasenya (Satriawan, 2012).

#### 2.4 Daging Sapi

Allah berfirman dalam surat al-An'am (6): 142.

وَمِنَ الْأَنْعَامِ حَمُولَةً وَفَرْشًا ۚ كُلُوا مِمَّا رَزَقَكُمُ اللَّهُ وَلَا تَتَّبِعُوا خُطُواتِ الشَّيْطَانِ ۚ إِنَّهُ لَكُمْ عَدُوٌّ مُّبِينٌ

*“Dan di antara hewan ternak itu ada yang dijadikan untuk pengangkutan dan ada yang untuk disembelih. Makanlah dari rezeki yang telah diberikan Allah kepadamu, dan janganlah kamu mengikuti langkah-langkah syaitan. Sesungguhnya syaitan itu musuh yang nyata bagimu.”* (Q.S. al-An'am (6): 142).

Dalam surat al-An'am ayat 142 menjelaskan bahwa Allah menciptakan beberapa jenis hewan ternak. Dia menjadikan beberapa diantara hewan ternak tersebut sebagai kendaraan angkutan (حَمُولَةً) untuk mengangkut barang-barang. Dan beberapa diantara hewan ternak lain yang tidak layak dijadikan untuk angkutan (فَرْشٌ) sebagai hewan potong (untuk disembelih) dan hewan perahan.

Daging adalah sekumpulan sejumlah otot yang melekat pada tulang atau kerangkanya. Biasanya daging berasal dari hewan ternak yang sudah disembelih, istilah daging berbeda dengan karkas, daging adalah bagian yang tidak

mengandung tulang sedangkan karkas adalah daging-daging yang belum dipisahkan dari tulang kerangka. Daging sapi merupakan salah satu sumber bahan pangan protein hewani, mengandung unsur gizi yang cukup tinggi berupa protein dan energi.

Daging sebagai sumber protein hewani memiliki nilai hayati (*biological value*) yang tinggi, yaitu mengandung 19 % protein, 5% lemak, 70 % air, 3,5 % zat-zat non protein, mineral dan bahan-bahan lainnya 2,5% (Forrest *et al.*, 1975). Komposisi daging menurut Lawrie (1991), terdiri atas 75% air, 18% protein, 3,5 % lemak dan 3,5% zat-zat non protein, 9 % lemak dan 1% abu. Jumlah ini akan berubah bila hewan digemukkan yang akan menurunkan persentase air dan protein serta meningkatkan persentase lemak (Romans *et al.*, 1994).

Menurut Muchtadi dan Sugiono (1992), protein daging terdiri dari protein sederhana dan protein terkonjugasi. Berdasarkan asalnya protein dapat dibedakan dalam 3 kelompok yaitu protein sarkoplasma, protein miofibril, dan protein jaringan ikat. Protein sarkoplasma adalah protein larut air karena pada umumnya dapat diekstrak oleh air dan larutan garam encer. Protein miofibril terdiri atas aktin dan miosin, serta jumlah sejumlah kecil troponin dan aktinin. Protein jaringan ikat ini memiliki sifat larut dalam larutan garam. Protein jaringan ikat merupakan fraksi protein yang tidak larut, terdiri atas kalogen, elastin, dan retikulin (Suhairi, 2007).

Komposisi 100 gram daging sapi dan jumlah kandungan di dalamnya akan dijelaskan dalam tabel 2.1



Tabel 2.1 Komposisi daging sapi per 100 gram bahan yang dapat dimakan.

Komposisi	Kandungan
Kalori (Kal)	207
Protein (gram)	18,8
Air (gram)	66
Lemak (gram)	14,0
Kalsium (mg/gram)	11,0
Fosfor (mg/gram)	170
Besi (mg/gram)	3,0
Vitamin A ( $\mu\text{g}/\text{gram}$ )	30
Vitamin B ( $\mu\text{g}/\text{gram}$ )	0,08

Sumber: Bahan Makanan Departemen Kesehatan RI, 1981

Untuk menjaga kandungan yang terdapat pada daging sapi maka sering dilakukan beberapa langkah pengawetan yang diantaranya dengan pengeringan (*dehydration, drying*), pengasapan (*smoking*), penggaraman (*salting*), pengalengan (*canning*), pendinginan (*refrigeration*) dan pembekuan (*freezing*) (Hafriyanti dkk., 2008). Penurunan kualitas daging diindikasikan melalui perubahan warna, rasa, aroma bahkan pembusukan. Sebagian besar kerusakan daging disebabkan oleh penanganan yang kurang baik sehingga memberikan peluang hidup bagi pertumbuhan dan perkembangan mikroba perusak yang berdampak pada menurunnya daya simpan dan nilai gizi daging.

Kontaminasi bakteri dapat menyebabkan perubahan warna dan bau. Selama proses memasak, warna daging dapat mengalami perubahan dan kurang menarik. Warna daging segar adalah warna merah terang dari oksimioglobin, warna daging yang dimasak adalah warna coklat dari globin hemikromogen, warna daging yang ditambahkan nitrit adalah warna merah gelap dari nitrikoksidamioglobin dan bila dimasak (Soeparno, 1994).

## 2.5 *Escherichia coli*

### 2.5.1 Sejarah *Escherichia coli*

*Escherichia coli* pertama kali diidentifikasi oleh dokter hewan Jerman, Theodor Escherich dalam studinya mengenai sistem pencernaan pada bayi hewan. Pada 1885, beliau menggambarkan organisme ini sebagai komunitas bakteri *coli* (Escherich 1885) dengan membangun segala perlengkapan patogenitasnya di infeksi saluran pencernaan. Nama "*Bacterium coli*" sering digunakan sampai pada tahun 1991. Ketika Castellani dan Chalames menemukan genus *Escherichia* dan menyusun tipe spesies *Escherichia coli*.

Sehingga bakteri *Escherichia coli* diklasifikasikan sebagai berikut:

Superdomain : Phylogenetica

Filum : Proterobacteria

Kelas : Gamma proteobacteria

Ordo : Enterobacteriales

Family : Enterobacteriaceae

Genus : *Escherichia*

Species : *Escherichia coli*

Dinding sel bakteri gram negatif tersusun atas membran luar, peptidoglikan dan membran dalam. Peptidoglikan yang terkandung dalam bakteri gram negatif memiliki struktur yang lebih kompleks dibandingkan gram positif. Membran luarnya terdiri dari lipid, liposakarida dan protein. Peptidoglikan berfungsi mencegah sel lisis, menyebabkan sel kaku dan memberi bentuk kepada sel (Purwoko, 2007).

### 2.5.2 Morfologi Bakteri *Escherichia coli*

*Escherichia coli* dari anggota famili Enterobacteriaceae. Ukuran sel dengan panjang 2,0-6,0  $\mu\text{m}$  dan lebar 1,1-1,5  $\mu\text{m}$ . Bentuk sel dari bentuk seperti *coocal* hingga membentuk sepanjang ukuran *filamentous*. Tidak ditemukan spora pada *Escherichia coli* batang gram negatif. Selnya bisa terdapat tunggal, berpasangan, dan dalam rantai pendek, biasanya tidak berkapsul. Bakteri ini aerobik dan dapat juga anaerobik fakultatif. *Escherichia coli* merupakan penghuni normal usus, seringkali menyebabkan infeksi.

Kapsula atau mikrokapsula terbuat dari asam-asam polisakarida. Mukoid kadang-kadang memproduksi pembuangan ekstraselular yang tidak lain adalah sebuah polisakarida dari spesifitas antigen K tertentu atau terdapat pada asam polisakarida yang dibentuk oleh banyak *Escherichia coli* seperti pada Enterobacteriaceae. Selanjutnya digambarkan sebagai antigen M dan dikomposisikan oleh asam kolanik.

Biasanya sel ini bergerak dengan flagella petrichous. *Escherichia coli* memproduksi macam-macam fimbria atau pili yang berbeda, banyak macamnya pada struktur dan spesifitas antigen, antara lain filamentus, proteinaceus, seperti rambut appendages di sekeliling sel dalam variasi jumlah. Fimbria merupakan rangkaian hidrofobik dan mempunyai pengaruh panas atau organ spesifik yang bersifat adhesi. Hal itu merupakan faktor virulensi yang penting.

*Escherichia coli* merupakan bakteri fakultatif anaerob, kemoorganotropik, mempunyai tipe metabolisme fermentasi dan respirasi tetapi pertumbuhannya paling sedikit banyak di bawah keadaan anaerob. Pertumbuhan yang baik pada

suhu optimal 37 °C pada media yang mengandung 1% pepton sebagai sumber karbon dan nitrogen. *Escherichia coli* memfermentasikan laktosa dan memproduksi indol yang digunakan untuk mengidentifikasi bakteri pada makanan dan air.

*Escherichia coli* berbentuk besar (2-3 mm), *circular*, konveks dan koloni tidak berpigmen pada nutrisi dan media darah. *Escherichia coli* dapat bertahan hingga suhu 60 °C selama 15 menit atau pada 55 °C selama 60 menit (Jawetz *et al.*, 1996).

### **2.5.3 Penyakit yang Disebabkan Bakteri *Escherichia coli***

*Escherichia coli* adalah anggota flora normal usus. *Escherichia coli* berperan penting dalam sintesis vitamin K, konversi pigmen-pigmen empedu, asam-asam empedu dan penyerapan zat-zat makanan. *Escherichia coli* termasuk ke dalam bakteri heterotrof yang memperoleh makanan berupa zat organik dari lingkungannya karena tidak dapat menyusun sendiri zat organik yang dibutuhkannya. Zat organik diperoleh dari sisa organisme lain. Bakteri ini menguraikan zat organik dalam makanan menjadi zat anorganik, yaitu CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, energi, dan mineral. Di dalam lingkungan, bakteri pembusuk ini berfungsi sebagai pengurai dan penyedia nutrisi bagi tumbuhan (Ganiswarna, 1995).

*Escherichia coli* menjadi patogen jika jumlah bakteri ini dalam saluran pencernaan meningkat atau berada di luar usus. *Escherichia coli* menghasilkan enterotoksin yang menyebabkan beberapa kasus diare. *Escherichia coli* berasosiasi dengan enteropatogenik menghasilkan enterotoksin pada sel epitel (Jawetz *et al.*, 1995).

Manifestasi klinik infeksi oleh *Escherichia coli* bergantung pada tempat infeksi dan tidak dapat dibedakan dengan gejala infeksi yang disebabkan oleh bakteri lain (Jawetz *et al.*, 1995). Penyakit yang disebabkan oleh *Escherichia coli* yaitu:

1. Infeksi saluran kemih

*Escherichia coli* merupakan penyebab infeksi saluran kemih pada kira-kira 90% wanita muda. Gejala dan tanda-tandanya antara lain sering kencing, disuria, hematuria, dan piuria. Nyeri pinggang berhubungan dengan infeksi saluran kemih bagian atas.

2. Diare

*Escherichia coli* yang menyebabkan diare banyak ditemukan di seluruh dunia. *Escherichia coli* diklasifikasikan oleh ciri khas sifat-sifat virulensinya, dan setiap kelompok menimbulkan penyakit melalui mekanisme yang berbeda. Ada lima kelompok galur *Escherichia coli* yang patogen, yaitu:

a) *Escherichia coli* Enteropatogenik (EPEC)

EPEC penyebab penting diare pada bayi, khususnya di negara berkembang. EPEC sebelumnya dikaitkan dengan wabah diare pada anak-anak di negara maju. EPEC melekat pada sel mukosa usus kecil.

b) *Escherichia coli* Enterotoksigenik (ETEC)

ETEC penyebab yang sering dari “diare wisatawan” dan penyebab diare pada bayi di negara berkembang. Faktor kolonisasi ETEC yang spesifik untuk manusia menimbulkan pelekatan ETEC pada sel epitel usus kecil.

c) *Escherichia coli* Enteroinvasif (EIEC)

EIEC menimbulkan penyakit yang sangat mirip dengan shigelosis. Penyakit yang paling sering pada anak-anak di negara berkembang dan para wisatawan yang menuju negara tersebut. Galur EIEC bersifat non-laktosa atau melakukan fermentasi laktosa dengan lambat serta bersifat tidak dapat bergerak. EIEC menimbulkan penyakit melalui invasinya ke sel epitel mukosa usus.

d) *Escherichia coli* Enterohemoragik (EHEK)

EHEK menghasilkan verotoksin, dinamai sesuai efek sitotoksiknya pada sel Vero, suatu ginjal dari monyet hijau Afrika.

e) *Escherichia coli* Enteroagregatif (EAEC)

EAEC menyebabkan diare akut dan kronik pada masyarakat di negara berkembang.

3. Sepsis

Bila pertahanan inang normal tidak mencukupi, *Escherichia coli* dapat memasuki aliran darah dan menyebabkan sepsis.

4. Meningitis

*Escherichia coli* dan Streptokokus adalah penyebab utama meningitis pada bayi. *Escherichia coli* merupakan penyebab pada sekitar 40% kasus meningitis neonatal (Jawetz *et al.*, 1996).

## 2.6 Pertumbuhan Bakteri

Menurut Tortora *et al.* (1998) yang dimaksud pertumbuhan adalah pertambahan jumlah bakteri, bukan pertambahan ukuran sel. Proses perbanyakan

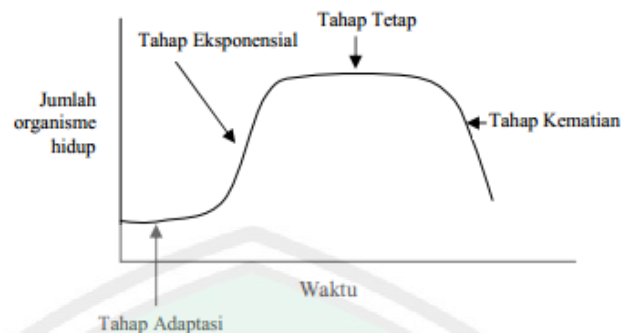
diri ini disebut dengan pembelahan biner. Bahan inti memperbanyak diri dan membagi menjadi dua bagian yang terpisah dan kemudian sel membagi diri, menghasilkan dua buah sel anak dengan ukuran yang sama. Pada saat perbanyakkan bahan inti ukuran dan massa sel yang asli (sel induk) bertambah, dan secepatnya membagi dalam dua sel (sel anak) (Garbutt, 1997). Waktu yang dibutuhkan oleh bakteri untuk membelah ini disebut waktu generasi, dan sangat bervariasi tergantung dari spesies dan kondisi pertumbuhan (Fardiaz, 1989). Pada kondisi optimal, hampir semua bakteri memperbanyak diri dengan pembelahan biner sekali setiap 20 menit (Gaman dan Sherrington, 1994).

Menurut Garbutt (1997), mengamati pertumbuhan populasi mikroorganisme lebih mudah dilakukan daripada pertumbuhan individu sel mikroorganisme, hal ini karena ukuran sel mikroorganisme yang sangat kecil. Laju pertumbuhan sel mikroorganisme yang berbiak dengan pembelahan biner bersifat logaritmik atau eksponensial.

Tabel 2.2 Jumlah sel yang dihasilkan dengan pembelahan biner

Generasi	Jumlah sel	Jumlah sel dalam pertumbuhan eksponensial
0	1	$2^0$
1	2	$2^1$
2	4	$2^2$
3	8	$2^3$
4	16	$2^4$
5	32	$2^5$
6	64	$2^6$
7	128	$2^7$
8	256	$2^8$
9	512	$2^9$
10	1024	$2^{10}$

Sumber: Garbutt, 1997



Gambar 2.2 Kurva pertumbuhan mikroorganisme (Garbutt, 1997)

a. Fase Adaptasi (*Lag Phase*)

Kurun waktu ini merupakan penyesuaian bakteri dalam lingkungan yang baru. Pada fase ini tidak ada penambahan jumlah sel, melainkan peningkatan ukuran sel (Lay dan Hastowo, 1992). Waktu yang dibutuhkan fase adaptasi ini tergantung kondisi lingkungan mikroorganisme tersebut sebelum diinokulasikan pertumbuhan (Garbut, 1997).

b. Fase Logaritmik (*Log Phase*) atau Fase Eksponensial

Pada fase ini sel memperbanyak diri secara cepat untuk beberapa jam atau bahkan beberapa hari (Gaman dan Sherrington, 1994). Dalam kondisi pertumbuhan yang optimum, sel membelah dalam jumlah yang luar biasa dalam waktu yang singkat. Laju pertumbuhan selama fase logaritmik ini ditentukan oleh beberapa faktor seperti suhu inkubasi, aktivitas air dan pH media penanaman (Garbutt, 1997).

c. Fase Pertumbuhan Statis (*Stationary Phase*)

Dalam fase ini kecepatan tumbuh dan kecepatan mati sama, sehingga jumlah sel akan konstan (Lay dan Hastowo, 1992). Menurut Garbutt (1997), jumlah



populasi akan berhenti tumbuh karena suatu hal, atau kombinasi dari beberapa penyebab berikut:

- 1) Zat makanan penting dalam media yang dibutuhkan untuk pertumbuhan telah habis.
- 2) Perubahan pH akibat metabolisme sel akan menghambat pertumbuhan.
- 3) Bahan beracun yang dihasilkan oleh metabolisme sel.
- 4) Kekurangan oksigen bagi organisme aerobik.

d. Fase Kematian (*Death Phase*)

Fase ini merupakan kebalikan dari fase logaritmik pertumbuhan. Jumlah sel menurun terus sampai didapatkan jumlah sel yang konstan untuk beberapa waktu (Lay dan Hastowo, 1992). Menurut Garbutt (1997), kematian ini dapat diakibatkan oleh beberapa penyebab berikut:

- 1) Sel kehabisan energi (organisme menghabiskan energi cadangannya dan kelaparan)
- 2) Perubahan pH dalam media penanaman merusak sel organisme dan menyebabkan kematian sel.
- 3) Akumulasi bahan beracun hasil proses metabolisme.

## 2.7 Pengaruh Suhu dan Listrik

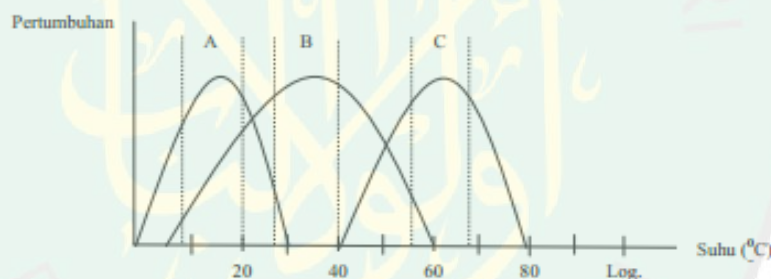
### 2.7.1 Pengaruh Suhu dan Listrik terhadap Pertumbuhan Bakteri

Menurut Gaman dan Sherrington (1994), tiap-tiap mikroorganisme memiliki suhu pertumbuhan maksimum, minimum dan optimum. Suhu maksimum yaitu suhu tertinggi, di atas suhu tersebut mikroba tidak dapat tumbuh. Suhu minimum yaitu suhu terendah, di bawah suhu tersebut mikroba tidak dapat tumbuh. Suhu

optimum yaitu suhu dimana mikroba tumbuh sangat baik. Ini berarti suhu memberikan kesempatan pertumbuhan yang sangat cepat dan menghasilkan jumlah sel yang maksimal (Muchtadi dan Betty, 1980).

Menurut Muchtadi dan Betty (1980), berdasarkan suhu pertumbuhannya, bakteri dapat digolongkan sebagai berikut:

1. Bakteri termofil, yang memerlukan suhu tinggi untuk dapat tumbuh dengan baik. Suhu optimumnya di atas  $50^{\circ}\text{C}$ ,
2. Bakteri mesofil, yang mempunyai suhu optimum antara  $20\text{-}45^{\circ}\text{C}$ ,
3. Bakteri psikhrofil, yang tumbuh pada suhu rendah yaitu antara  $5\text{-}10^{\circ}\text{C}$ , tetapi sebenarnya mempunyai suhu optimum di atas  $20^{\circ}\text{C}$ .



Gambar 2.3 Kurva suhu optimum pertumbuhan bakteri

Keterangan:

- A. Psikhrofil
- B. Mesofil
- C. Termofil

Menurut Garbutt (1997), suhu memiliki pengaruh yang sangat penting terhadap fase adaptasi pertumbuhan mikroorganisme. Ketika suhu mendekati suhu minimum, tidak hanya mengurangi kecepatan pertumbuhan tetapi juga memperpanjang fase adaptasi. Hal ini sangat penting dalam proses penyimpanan makanan pada suhu dingin. Jika makanan disimpan di bawah suhu minimum,

maka sel-sel mikroorganisme akan tumbuh lambat. Dan jika makanan disimpan di atas suhu maksimum, maka sel-sel mikroorganisme akan mati dengan cepat (Ray, 2001).

Listrik dapat mengakibatkan terjadinya elektrolisis bahan penyusun medium pertumbuhan bakteri. Elektrolisis adalah penguraian suatu elektrolit oleh arus listrik. Arus listrik yang menginduksi akan mempengaruhi pori-pori membran sel bakteri. Elektroda positif akan menarik ion negatif pada sel membran bakteri, begitu juga elektroda negatif akan menarik ion positif pada membran sel bakteri. Akibatnya membran sel akan mengecil dan terbentuk pori-pori pada membran yang mengakibatkan membran tersebut lisis. Jika rangsangan listrik yang diberikan semakin tinggi maka kerusakan berbentuk lubang pada membran sel tidak mampu diperbaiki lagi (*irreversible*), sehingga bisa menyebabkan kematian sel.

Selain itu arus listrik dapat menghasilkan panas yang dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroba. Ketika suhu lingkungan pertumbuhan bakteri dinaikkan maka energi dalam yang diserap bakteri juga naik. Hal ini dikarenakan gerakan molekul-molekul penyusun membran sel akan mengalami pergerakan yang cepat dan semakin cepat seiring bertambahnya suhu lingkungan. Gerakan antar molekul akibat pergerakan molekul yang cepat, dapat meningkatkan suhu di dalam sel sehingga sel akan mengalami kerusakan. Kerusakan sel ini menimbulkan denaturasi protein. Denaturasi akibat panas menyebabkan molekul-molekul yang menyusun protein bergerak sangat cepat. Sehingga sifat protein yang hidrofobik menjadi terbuka. Akibatnya, semakin panas suhu lingkungannya molekul protein

akan semakin cepat bergerak dan dapat memutuskan ikatan hidrogen di dalamnya. Ketika fungsi biokimia protein terganggu maka segala aktifitas sel juga akan terganggu (Vladimir, 2007).

### 2.7.2 Pengaruh Suhu dan Listrik terhadap Protein

Metabolisme merupakan salah satu ciri kehidupan yang merupakan bentuk transformasi tenaga atau pertukaran zat melalui serangkaian reaksi biokimia. Dalam makhluk hidup, reaksi metabolisme berlangsung dengan melibatkan suatu senyawa protein yang disebut enzim. Enzim merupakan protein yang khusus disintesis oleh sel hidup untuk mengkatalisis reaksi yang berlangsung di dalamnya. Fungsi khusus dari enzim adalah untuk menurunkan energi aktivasi, mempercepat reaksi pada suhu dan tekanan yang tetap tanpa mengubah besarnya tetapan keseimbangan dan sebagai pengendali reaksinya (Martoharsono, 1994).

Enzim sebagai protein akan mengalami denaturasi jika suhunya dinaikkan. Akibatnya daya kerja enzim menurun. Pada suhu 45 °C efek predominannya masih memperlihatkan kenaikan aktivitas sebagaimana dugaan dalam teori kinetik. Tetapi lebih dari 45 °C menyebabkan denaturasi termal lebih menonjol dan menjelang suhu 55 °C fungsi katalitik enzim menjadi punah. Hal ini juga terjadi karena semakin tinggi suhu semakin naik pula laju reaksi kimia baik yang dikatalisis maupun tidak. Karena itu pada suhu 40 °C, larutan tidak ada gumpalan, begitu juga pada suhu ruang, sedangkan pada suhu 100 °C masih ada gumpalan-gumpalan yang menunjukkan kalau enzim rusak. Pada suhu ruang, enzim masih dapat bekerja dengan baik walaupun tidak optimum (Gaman & Sherrington, 1994).

Menurut Syam dkk (2013), semakin besar nilai tegangan dan semakin lama stimulasi listrik akan menghasilkan nilai protein yang lebih tinggi pula. Hal sama juga terlihat pada efek mandiri dari kedua faktor, keduanya juga menunjukkan hubungan yang linear. Pada prinsipnya stimulasi listrik akan mempercepat proses glikolisis postmortem yang terjadi selama konversi otot menjadi daging dan mengubah karakteristik palatabilitas daging termasuk nilai gizi (Soeparno, 2005). Namun, penggunaan stimulasi listrik dengan voltase rendah biasanya tidak dapat meningkatkan kualitas dan palatabilitas daging (Bouton *et al.*, 1978).

Perlakuan stimulasi listrik pada ternak kerbau dapat meningkatkan keempukan tetapi penggunaan voltase listrik menunjukkan semakin tinggi tegangan yang digunakan akan menurunkan persentase protein daging. Stimulasi listrik bisa menyebabkan rusaknya membran lisosomal yang banyak mengandung enzim, sehingga enzim-enzim tersebut masuk ke bagian-bagian interselular dan intraselular yang mempunyai kemampuan mendegradasi protein-protein miofibril pada temperatur daging tinggi dan pH rendah pada waktu otot masih dalam keadaan postmortem (Fitriansyah, 2009).

### **2.7.3 Pengaruh Suhu dan Listrik terhadap pH**

Suhu larutan akan menyebabkan penurunan viskositas dan peningkatan mobilitas ion dalam larutan. Peningkatan suhu juga menyebabkan peningkatan jumlah ion dalam larutan karena disosiasi molekul (hal ini terutama berlaku untuk asam dan basa lemah). pH adalah ukuran dari konsentrasi ion hidrogen, perubahan suhu dari larutan akan mempengaruhi perubahan pH (Zum Dahl, 1993).

Nugroho (2013) dalam penelitiannya menyatakan bahwa asap cair limbah kopi bersifat asam dimana nilai pH menurun seiring dengan peningkatan suhu pirolisis. Sedangkan Lawrie (2006) mengatakan bahwa suhu tinggi dapat mempercepat penurunan pH otot pascamortem dan menurunkan kapasitas mengikat air karena meningkatnya denaturasi protein otot dan meningkatnya perpindahan air ke ruang ekstraseluler

Perbedaan lama stimulasi listrik dengan tegangan yang berbeda menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap pH daging ayam petelur afkir. Hal ini diduga cadangan glikogen yang terdapat dalam tubuh ayam relatif sedikit, sehingga perubahan pH-nya signifikan. Soeparno (2005) menyatakan bahwa perubahan konsentrasi nutrisi daging yang terbesar adalah dari hasil degradasi cadangan glikogen melalui glikolisis yang dikonversikan menjadi asam laktat. Penimbunan asam laktat dan tercapainya pH ultimat otot pasca mati tergantung pada jumlah cadangan glikogen otot pada saat pemotongan.

Aberle *et al.* (2001) menyatakan bahwa glikolisis anaerobik tergantung pada jumlah glikogen otot pada saat pemotongan. Sementara itu Girard (1992) menyatakan bahwa otot ternak yang stres sebelum pemotongan mengandung cadangan glikogen yang sedikit dan penurunan pH daging dari ternak ini selama postmortem kurang dari hewan normal, hal ini karena kurangnya asam laktat yang terbentuk (Syam dkk., 2013).

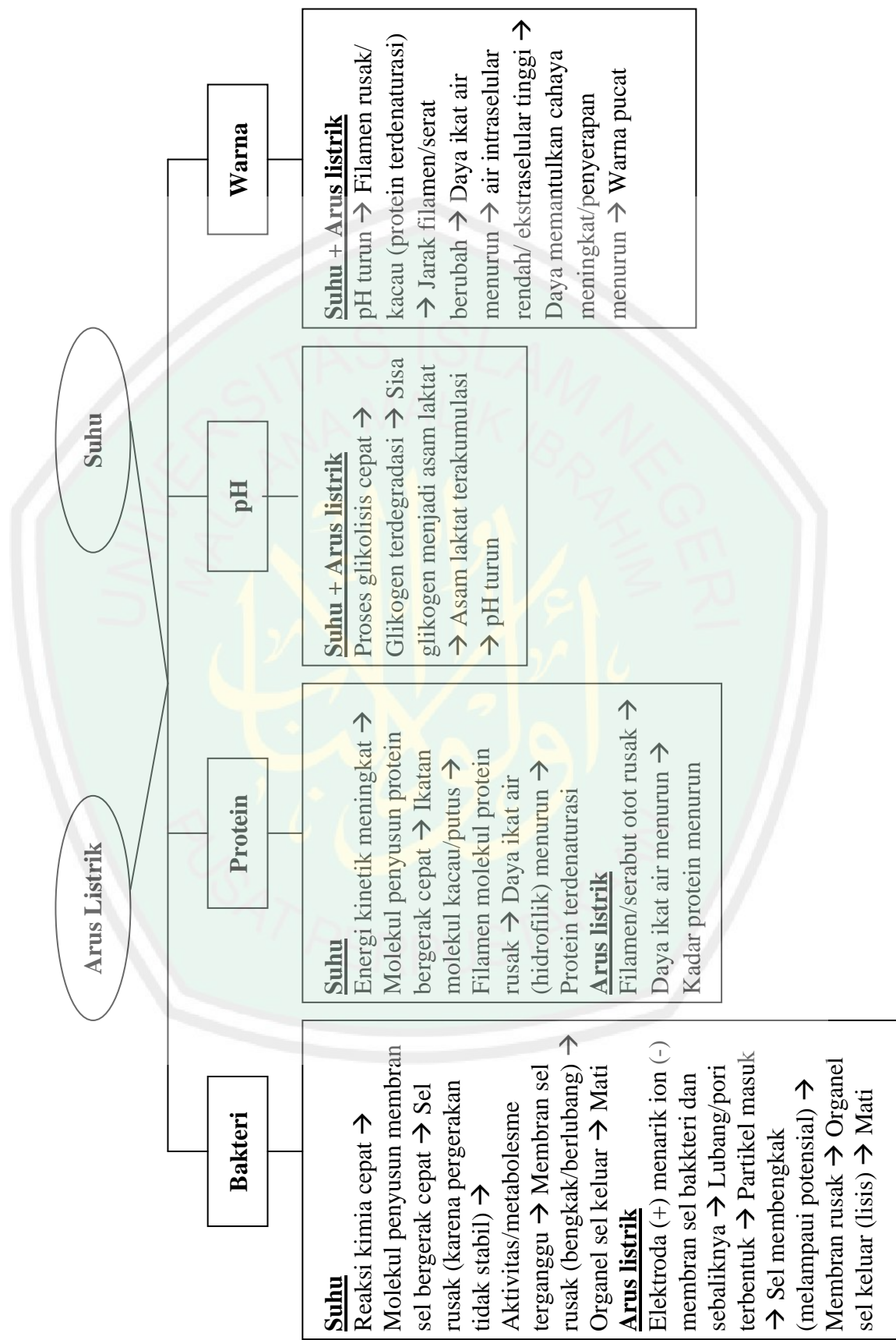
#### **2.7.4 Pengaruh Suhu dan Listrik terhadap Warna**

Mioglobin merupakan pigmen utama daging dan konsentrasinya akan mempengaruhi intensitas warna merah daging. Perbedaan kadar mioglobin

menyebabkan perbedaan intensitas warna daging. Warna daging juga dipengaruhi oleh kondisi penanganan dan penyimpanan. Jenis kemasan, serta suhu dan lama waktu penyimpanan bisa mempengaruhi warna daging. Hal ini disebabkan oleh terjadinya perubahan kondisi oksidasi mioglobin yang menyebabkan perubahan warna daging. Pemasakan daging pada suhu tinggi menyebabkan pigmen terdenaturasi dan warna daging berubah menjadi coklat keabuan yang merupakan warna khas daging segar yang dimasak (Syamsir, 2011).

Perlakuan lama stimulasi listrik dengan tegangan yang berbeda berpengaruh nyata terhadap skor warna daging ayam petelur afkir. Hal ini disebabkan karena stimulasi listrik dapat mereduksi pembentukan ikatan serabut kasar pada permukaan lapisan otot dan menyebabkan warna menjadi terang. Daging yang distimulasi dengan tegangan lebih tinggi menghasilkan warna daging yang lebih merah terang dibandingkan dengan tegangan yang lebih rendah, diduga karena panas yang dihasilkan oleh stimulasi listrik dapat mengurangi terjadinya warna yang gelap dan mencegah terbentuknya ikatan kasar.

Aberle *et al.* (2001) menyatakan bahwa stimulasi listrik dapat menyebabkan warna otot menjadi lebih merah terang karena stimulasi listrik mereduksi kemungkinan insiden warna daging yang gelap dan pembentukan ikatan serabut kasar pada permukaan lapisan otot (Syam dkk., 2013).





## **BAB III METODE PENELITIAN**

### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan pada Juni 2017, di Laboratorium Termodinamika Jurusan Fisika dan Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

### **3.2 Alat dan Bahan Penelitian**

#### **3.2.1 Alat alat yang digunakan**

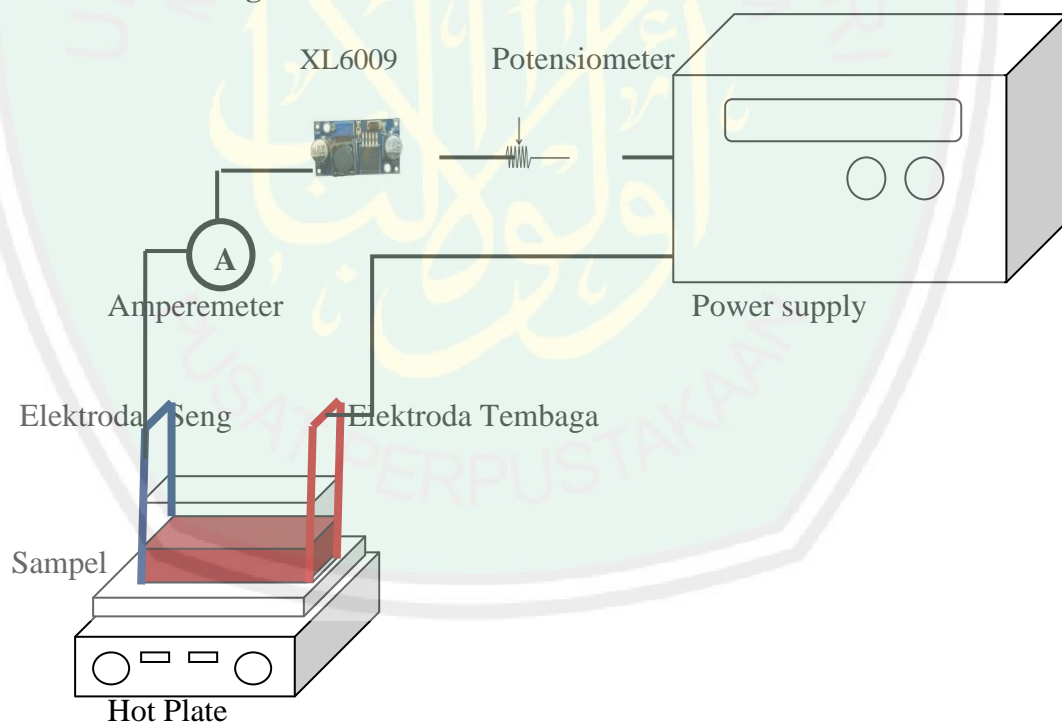
1. Power Supply
2. Wadah konduktor
3. Elektroda seng
4. Elektroda tembaga
5. Catu daya
6. Erlenmeyer 250 ml
7. Tabung reaksi
8. Rak tabung reaksi
9. Bunsen
10. Kapas
11. Tisu
12. Botol Media
13. Autoklaf
14. Oven 1 buah
15. Cawan petri

16. Alat Destruk
17. Elpiji
18. Pengaduk kaca
19. Inkubator
20. Plastik wrap
21. Gelas ukur 50 ml
22. Spertus
23. Korek api
24. Beaker glas 500 ml
25. Termometer
26. Micropipet
27. Jarum oose
28. Botol flakon berukuran 20 ml
29. Timbangan analitik
30. Coloni counter
31. Hot plate
32. Stopwatch
33. Blue tip
34. Water bath
35. Spatula
36. Aluminium foil
37. pHmeter

### 3.2.2 Bahan-bahan yang digunakan

1. Bakteri *Escherichia coli*
2. Media NA (Nutrien Agar)
3. Media NB (Nutrien Borth)
4. Media PCA (Plate Count Agar)
5. Daging sapi sebagai sample
6. NaCl 0.9 %
7. Aquades 0.7
8. Alkohol 70 %

### 3.3 Desain Rangkaian



Gambar 3.1 Desain rangkaian

Keterangan	:
Power supply	: Pemberi suplai tegangan/ arus listrik
Potensiometer	: Jenis resistor yang hambatannya dapat diatur
XL6009	: Menaikkan/menurunkan arus/tegangan agar stabil
Amperemeter	: Menampilkan/mengatur kuat arus listrik
Elektroda seng	: Sebagai anoda (-)
Elektroda tembaga	: Sebagai katoda (+)
Hot plate	: Memanaskan sampel /menghomogenkan larutan

Power supply yang berfungsi sebagai pemberi suplai arus listrik dan tegangan dinyalakan. Potensiometer sebagai pengatur dan pengubah nilai hambatan diatur (diputar) untuk mengubah/mengatur kuat arus listrik yang diinginkan yang nantinya akan ditampilkan dalam amperemeter. XL6009 yang sudah terangkai bersama potensiometer digunakan untuk menaikkan/menurunkan kuat arus listrik dengan stabil. Sampel daging sapi yang diletakkan dalam wadah konduktor dipanaskan di atas hot plate dan diatur suhunya selanjutnya diberikan arus listrik melalui elektroda seng sebagai anoda dan elektroda tembaga sebagai katoda.

### 3.4 Prosedur Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen laboratorik, karena data yang diperlukan bersifat data yang diambil langsung dari objek penelitian.

#### 3.4.1 Sterilisasi

Sterilisasi alat dilakukan sebelum semua peralatan digunakan, yaitu dengan cara membungkus semua peralatan dengan menggunakan kertas alumunium foil kemudian dimasukkan ke dalam autoklaf pada suhu 121 °C

dengan tekanan 15 psi (per square inci) selama 15 menit. Untuk alat yang tidak tahan panas tinggi disterilisasi dengan zat kimia berupa alkohol 70 %.

#### **3.4.2 Pembuatan Media NA (Nutrien Agar)**

1. Media NA ditimbang sebanyak 5 gram.
2. Media NA yang sudah ditimbang kemudian ditambahkan aquades sebanyak 250 ml dan dipanaskan di atas hot plate sampai homogen.
3. Media NA yang sudah homogen dimasukkan ke dalam tabung reaksi sebanyak 5 ml dan sisanya dimasukkan ke dalam tabung erlenmeyer kemudian ditutup dengan kapas.
4. Media NA disterilisasi dalam autoklaf.
5. Media NA dimasukkan ke dalam tabung reaksi kemudian dimiringkan.

#### **3.4.3 Pembuatan Media NB (Nutrien Broth)**

1. Media NB ditimbang sebanyak 2,5 gram.
2. Media NB yang sudah ditimbang kemudian ditambahkan aquades sebanyak 150 ml kemudian dipanaskan di atas hot plate sampai homogen.
3. Media NB dimasukkan ke dalam botol sebanyak 50 ml dan ditutup dengan kapas kemudian disterilisasi dalam autoklaf.

#### **3.4.4 Pembuatan Media PCA (Plate Count Agar)**

1. Media PCA ditimbang sebanyak 3 gram.
2. Media PCA yang sudah ditimbang kemudian ditambahkan aquades sebanyak 150 ml ke dalam erlenmeyer dan dipanaskan di atas hot plate sampai homogen.

3. Media PCA disterilisasi dalam autoklaf.

#### **3.4.5 Penumbuhan Bakteri *Escherichia coli*.**

1. Bakteri secara aseptik diinokulasikan dengan jarum inokulasi lurus pada permukaan medium miring (NA miring) dengan arah lurus dari bawah ke atas.
2. Biakan tersebut diinkubasi dalam inkubator pada suhu 37 °C selama 24 jam.
3. Diambil 1 ose bakteri dari media NA dan dimasukkan ke dalam 50 ml media NB cair.
4. Sampel daging sapi berukuran 3x3x1 cm<sup>3</sup> dimasukkan ke dalam media NB cair yang sudah ditumbuhi bakteri.
5. Media NB diinkubasi dalam inkubator pada suhu 37 °C selama 24 jam.

#### **3.4.6 Perlakuan Arus Listrik dan Suhu**

1. Mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Sampel daging sapi diletakkan dalam wadah konduktor.
3. Kemudian sampel daging sapi dialiri arus listrik 20 mA, 30 mA , 40 mA, 50 mA dan 60 mA dengan suhu 30 °C, 40 °C, 50 C dan 60 °C selama 30 menit.
4. Perlakuan untuk aliran arus listrik diulangi sebanyak 3 kali pada sampel yang berbeda dengan suhu dan waktu yang sama.

### 3.4.7 Penghitungan Koloni Bakteri

1. Daging sapi yang telah diberi perlakuan berupa arus listrik dan suhu dimasukkan ke dalam 10 ml NaCl 0,9% pada botol flakon.
2. Botol flakon divorteks selama 1 menit untuk melepas bakteri dari sampel daging.
3. Suspensi dari botol flakon yang sudah diberi perlakuan berupa arus listrik dan suhu kemudian dimasukkan ke dalam botol flakon steril yang berisi 9 ml aquades sebanyak 1 ml dan diberi tanda  $10^{-1}$
4. Suspensi  $10^{-1}$  yang sudah dihomogenkan kemudian dimasukkan ke dalam botol flakon steril yang berisi 9 ml aquades sebagai pengenceran kedua dan diberi tanda  $10^{-2}$ .
5. Suspensi  $10^{-2}$  yang sudah dihomogenkan kemudian dimasukkan ke dalam botol flakon steril yang berisi 9 ml aquades sebagai pengenceran ketiga dan diberi tanda  $10^{-3}$ .
6. Suspensi  $10^{-3}$  yang sudah dihomogenkan kemudian dimasukkan ke dalam botol flakon steril yang berisi 9 ml aquades sebagai pengenceran keempat dan diberi tanda  $10^{-4}$ .
7. Pengenceran dilakukan sampai pengenceran ketujuh. Suspensi pada pengenceran  $10^{-7}$  sebanyak 1 ml dituangkan ke dalam cawan petri steril kemudian dituangkan media PCA (Plate Count Agar) cair kira-kira sebanyak 15 ml. Setelah itu dihomogenkan.
8. Semua proses di atas dilakukan secara aseptis yaitu di dekat api bunsen.

9. Media PCA kemudian dimasukkan ke dalam inkubator dengan posisi terbalik (bagian tutup berada di bawah) setelah media tersebut membeku. Media PCA diinkubasi selama 24 jam.
10. Koloni dari bakteri *Escherichia coli* kemudian dihitung dan diberi tanda dengan spidol untuk menghindari penghitungan ulang.

#### 3.4.8 Pengujian Kadar Protein

Setelah sampel daging sapi diberikan perlakuan berupa kombinasi arus listrik dan suhu, sampel dihancurkan dan diukur kadar protein daging dengan metode Kjeldahl.

Sampel daging sapi dihancurkan lalu ditimbang sebanyak 1 gram. Selain itu, ditimbang  $K_2SO_4$  10 gram dan  $CuSO_4$  0,25 gram sebanyak 4 kali. Tahapan pertama yaitu destruksi. Kemudian sampel dimasukkan ke dalam labu Kjeldahl dan ditambahkan  $K_2SO_4$  dan  $CuSO_4$ . Labu Kjeldahl dibawa ke lemari asam untuk ditambahkan  $H_2SO_4$  pekat 20 ml yang bertujuan untuk mendestruksi protein menjadi unsur-unsurnya. Selanjutnya dimasukkan ke dalam alat destruksi dan dipanaskan pada suhu  $600^\circ C$  selama 90 menit sampai cairan jernih. Setelah itu didinginkan di lemari asam dan ditambahkan akuades 25 ml di luar lemari asam. Tahapan kedua yaitu destilasi. Disiapkan larutan asam borat 50 ml dan 4 tetes indikator Kjeldahl ke dalam masing-masing 4 buah erlenmeyer. Kemudian ditambahkan reagen NaOH 30% sampai berubah warna coklat. Waktu diatur selama 3 menit. Hasil destilasi (destilat) pada erlenmeyer didinginkan dan ditutup menggunakan aluminum foil. Tahapan ketiga yaitu titrasi dengan menggunakan HCl 0,1 N sebagai titran hingga warna berubah menjadi merah muda. Terakhir



dihitung perubahan volume HCl yang digunakan untuk titrasi dan hitung persentase kadar N sampel dengan menggunakan rumus.

$$\text{Kadar N (\%)} = \frac{(S-B) \times N \text{ HCl} \times 14,008}{\text{berat sampel}} \times 100 \% \quad (3.1)$$

Dimana:

S = Volume titrasi sampel (ml)

B = Volume titrasi blanko (ml)

N = Normalitas HCl (0,02)

14,008 = Berat atom nitrogen

Dan kadar protein dihitung dengan rumus.

$$\text{Kadar Protein (\%)} = \text{Kadar N (\%)} \times \text{Faktor konversi protein} \quad (3.2)$$

### 3.4.9 Pengukuran pH

Karena daging bukan suatu larutan yang lebih mudah diketahui pHnya, maka proses pengukuran pH yang dilakukan menggunakan pH meter. Sebelum pH meter digunakan, pH meter dikalibrasi terlebih dahulu dengan larutan asam pH 4 kemudian dinetralkan dengan larutan netral dengan pH 7. Sebelumnya daging dimasukkan ke dalam beaker glass berukuran 50 ml, selanjutnya diberi aquades sebanyak 30 ml dan selanjutnya diaduk dengan magnetic stirrer di atas hot plate selama 5 menit, kemudian diukur pH nya dengan menggunakan pH meter yang telah dikalibrasi.

### 3.4.10 Analisis Warna

Pengujian warna daging sapi terhadap suhu dan arus listrik pada kondisi dan perlakuan yang diberikan, yakni dengan mengambil gambar dari tiap sampel yang ada menggunakan kamera dengan jarak 10 cm.

### 3.5 Teknik Pengumpulan Data

Data yang telah diperoleh yang berupa hasil perhitungan bakteri *Escherichia coli* setelah dialiri arus listrik dengan variasi kuat arus dan variasi suhu kemudian diolah dan dicatat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Pengolahan data jumlah bakteri.

Perlakuan			Jumlah Sel Bakteri CFU/ml			Rata-rata
Waktu (Menit)	Arus Listrik (mA)	Suhu (°C)	1	2	3	
<b>Kontrol</b>						
30 menit	20	30				
		40				
		50				
		60				
	30	30				
		40				
		50				
		60				
	40	30				
		40				
		50				
		60				
	50	30				
		40				
		50				
		60				
	60	30				
		40				
		50				
		60				

Sedangkan pada pengujian kadar protein dan nilai pH data yang telah diperoleh yang berupa hasil jumlah kadar protein dan nilai pH dari sampel yang telah dialiri arus listrik dengan variasi kuat arus dan variasi suhu kemudian diolah dan dicatat pada tabel 3.2 dan tabel 3.3.

Tabel 3.2 Pengolahan data kandungan kadar protein.

Arus Listrik (mA)	Kadar Protein (%)	Kontrol
20		
30		
40		
50		
60		

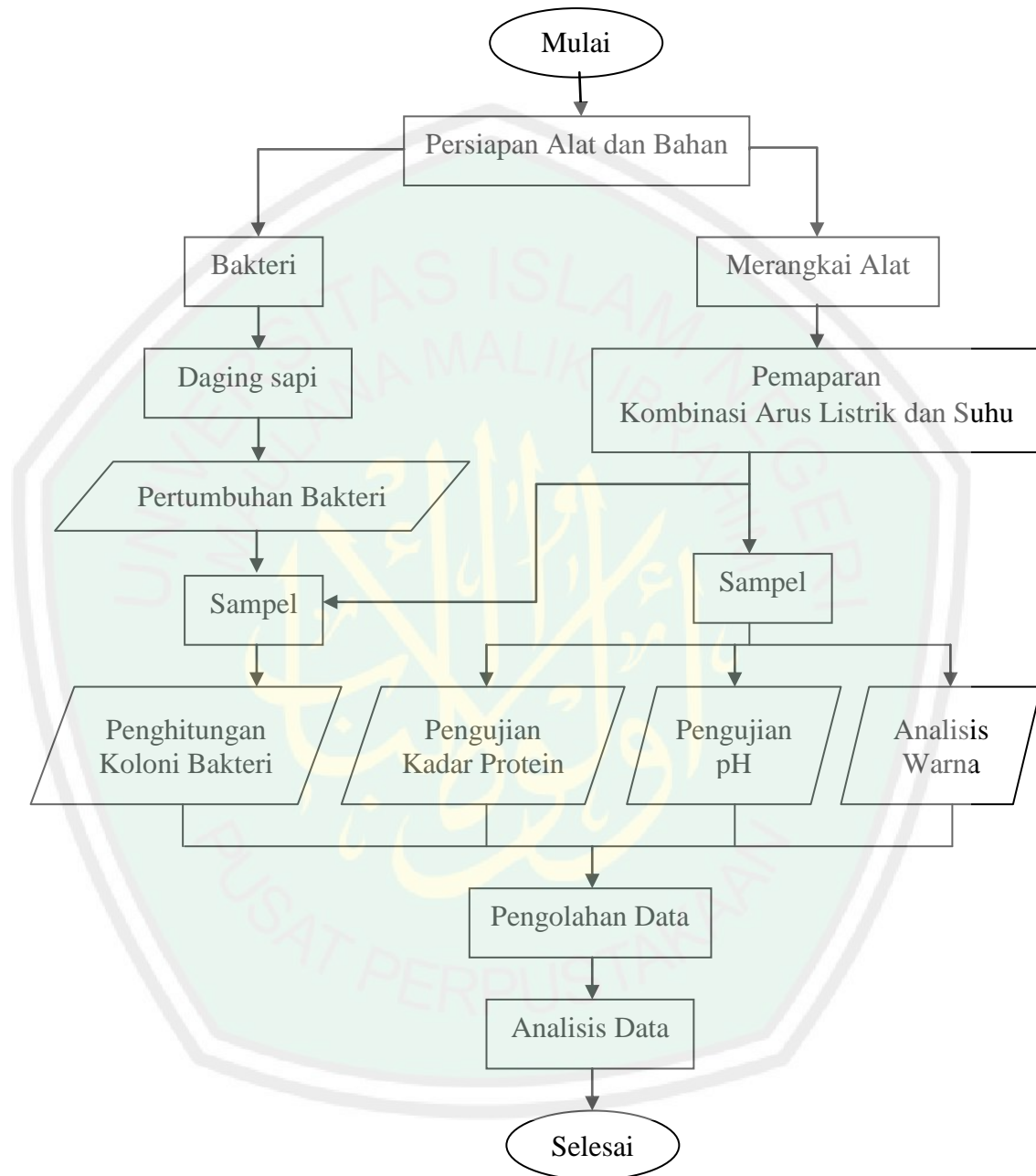
Tabel 3.3 Pengolahan data nilai pH.

Arus Listrik (mA)	pH				Kontrol
	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	
20					
30					
40					
50					
60					

### 3.6 Teknik Analisis Data

Dengan membandingkan antara bakteri yang tidak dialiri arus listrik dengan kondisi dipanaskan dengan waktu pemaparan yang sama dengan variasi kuat arus listrik dan variasi suhu yang terjadi pada bakteri *Escherichia coli* sesudah paparan. Selain itu, juga dibandingkan kadar protein, nilai pH serta warna daging sapi sebelum dan sesudah dialiri kombinasi arus listrik dan suhu. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis dengan metode grafik dan analisis deskriptif.

### 3.7 Tahapan Penelitian



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **4.1 Data Hasil Penelitian**

Penelitian ini dilakukan dengan empat pengujian yakni uji penghambatan bakteri, uji kadar protein, uji pH dan analisis warna. Sampel yang digunakan adalah daging sapi yang telah dipotong dengan ukuran 3x3x1 cm. Pada uji penghambatan bakteri sampel daging sapi ditumbuhi bakteri *Escherichia coli* terlebih dahulu kemudian dialiri kombinasi arus listrik dan suhu. Sedangkan pada uji kadar protein, uji pH dan analisis warna sampel daging sapi langsung diberikan aliran kombinasi arus listrik dan suhu.

#### **4.1.1 Pengaruh Kombinasi Arus Listrik dan Suhu terhadap Pertumbuhan Bakteri *Escherichia coli***

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap. Tahap pertama adalah sterilisasi alat, selanjutnya penumbuhan bakteri pada sampel daging sapi. Sampel daging sapi yang telah dipotong dengan ukuran 3x3x1 cm dimasukkan ke dalam 50 ml media NB yang telah ditumbuhi bakteri *Escherichia coli*. Media diinkubasi pada suhu 37 °C selama 24 jam. Sampel daging sapi diberi aliran stimulasi listrik dengan variasi kuat arus 20 mA, 30 mA, 40 mA, 50 mA dan 60 mA dengan suhu 30 °C, 40 °C, 50 °C dan 60 °C selama 30 menit.

### a) Data Hasil

Bakteri yang telah diinkubasi selanjutnya dihitung jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* dengan menggunakan *coloni counter*. Untuk mengetahui jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* dihitung menggunakan persamaan:

$$\sum \text{sel/ml} = \sum \text{koloni} \times \frac{1}{10^{-n}} \text{ cfu/ml} \quad (4.1)$$

Selanjutnya, untuk mengetahui nilai persentase penurunan bakteri *Escherichia coli* dengan persamaan (Muslim dkk., 2013):

$$\text{Persentase penurunan bakteri} = \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100 \% \quad (4.2)$$

Sehingga diperoleh data persentase penurunan bakteri *Escherichia coli* dalam tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data persentase penurunan bakteri *Escherichia coli* yang dialiri kombinasi arus listrik dan suhu selama 30 menit.

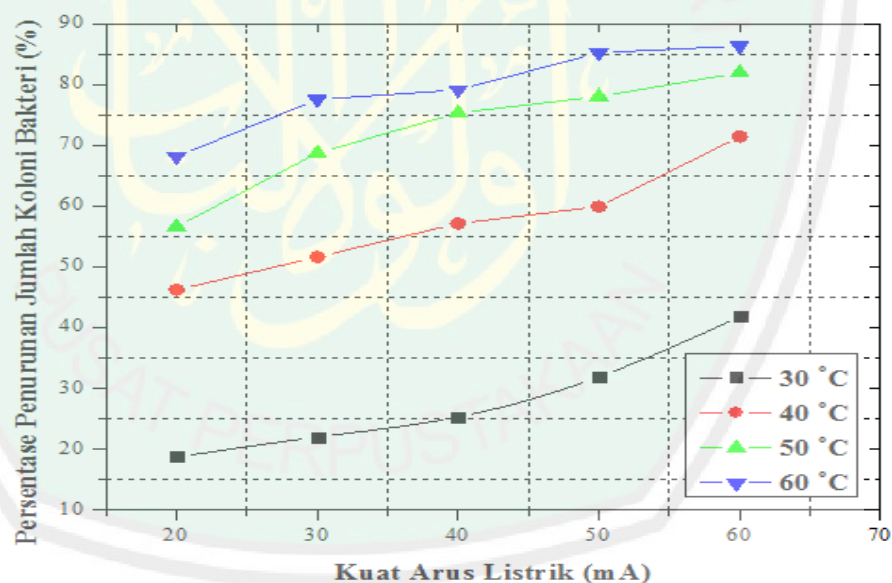
Arus (mA)	Suhu (°C)			
	30	40	50	60
20	18,7 %	46,2 %	56,6 %	68,1 %
30	22 %	51,6 %	68,7 %	77,5 %
40	25,3 %	57,1 %	75,3 %	79,1 %
50	31,9 %	59,9 %	78 %	85,2 %
60	41,8 %	71,4 %	81,9 %	86,3 %

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa kombinasi aliran arus listrik 20 mA dan suhu 30 °C selama 30 menit persentase penurunan jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* sebesar 18,7 %. Ketika kuat arus listrik ditingkatkan hingga 60 mA, dengan suhu 30 °C persentase penurunan jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* menjadi sebesar 41,8 %. Sedangkan ketika suhu ditingkatkan hingga 60 °C

dengan kuat arus listrik sebesar 20 mA persentase penurunan jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* sebesar 68,1 %. Selanjutnya, ketika kuat arus listrik dan suhu ditingkatkan bersama-sama menjadi 60 mA dengan suhu 60 oC persentase penurunan jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* menjadi 86,3 %. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar kuat arus listrik dan suhu yang diberikan maka semakin besar persentase penurunan jumlah koloni bakteri *Escherichia coli*.

#### b) Analisis Data

Tabel 4.1 dijelaskan secara grafis pada gambar 4.1 dan 4.2. Gambar 4.1 menunjukkan hubungan antara kuat arus listrik dengan persentase penurunan jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* pada daging sapi.



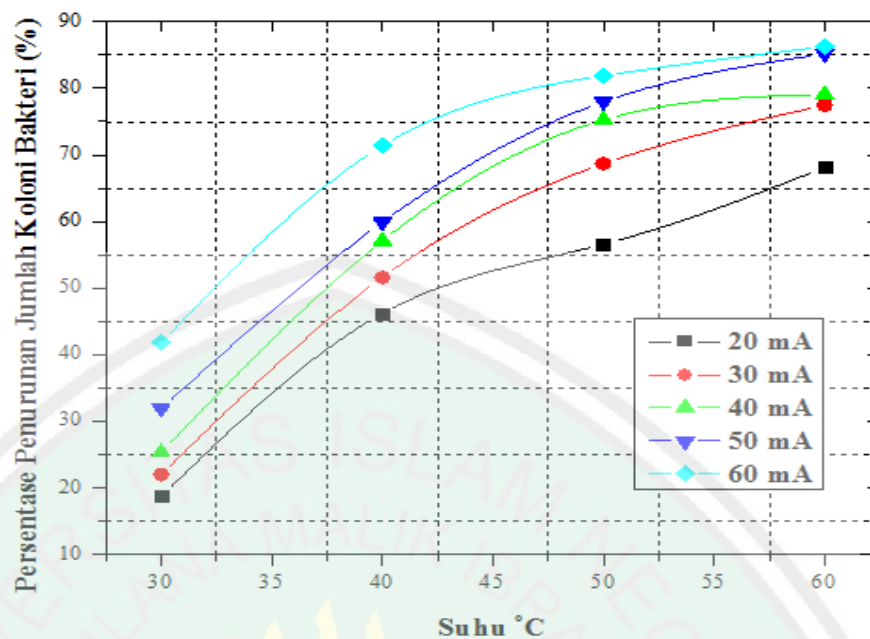
Gambar 4.1 Grafik persentase penurunan jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* dengan variasi kuat arus listrik.

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa pemberian stimulasi arus listrik menghambat pertumbuhan bakteri *Escherichia coli*, Ketika kuat arus listrik ditingkatkan dari 20-60 mA pada suhu tetap, persentase penurunan jumlah koloni

bakteri *Escherichia coli* juga meningkat. Pada suhu 30 °C dengan kuat arus listrik 20-40 mA persentase penurunan jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* sebesar 18,7-25,3 %. Grafik meningkat perlahan menunjukkan sedikit bakteri yang mati. Pada arus listrik 40-60 mA persentase jumlah koloni bakteri sebesar 25,3 - 41,8 %, grafik meningkat lebih signifikan dari sebelumnya yang menunjukkan bakteri lebih banyak yang mati. Hal serupa terjadi pada suhu 40 °C dimana bakteri tidak banyak yang mati pada arus listrik 20-50 mA. Namun bakteri lebih banyak yang mati pada arus listrik 50-60 mA. Hal ini disebabkan karena arus listrik mampu menghasilkan termal. Pada suhu 30-40 °C penghambatan pertumbuhan bakteri lebih dipengaruhi oleh kuat arus listrik 40-60 mA, dimana arus listrik mampu menghasilkan termal untuk menonaktifkan bakteri. Sedangkan pada suhu 50-60 °C penghambatan pertumbuhan bakteri lebih dipengaruhi oleh suhu daripada arus listrik. Penghambatan pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* oleh arus listrik terjadi dikarenakan aliran listrik dapat mengakibatkan terjadinya elektrolisis. Arus listrik yang menginduksi bakteri akan memperbesar pori-pori membran sel bakteri sehingga meningkatkan permeabilitas membran tersebut yang mengakibatkan partikel-partikel seperti elektron dapat masuk ke dalam membran hingga membran melampaui potensial normalnya dan mengalami lisis atau kematian sel akibat kerusakan sel.

Gambar 4.2 menjelaskan tabel 4.1 secara grafis yang menunjukkan adanya hubungan antara suhu dengan penurunan jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* pada daging sapi.





Gambar 4.2 Grafik persentase penurunan jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* dengan variasi suhu.

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa peningkatan suhu memberikan pengaruh terhadap persentase penurunan bakteri *Escherichia coli* pada daging sapi. Ketika suhu ditingkatkan dari 30-60 °C pada arus listrik tetap, persentase penurunan jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* juga meningkat. Pada kuat arus listrik 20 mA persentase penurunan jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* meningkat pada suhu 30-40 °C secara signifikan, dan diikuti peningkatannya pada suhu 40-60 °C. Hal tersebut juga terjadi pada kuat arus listrik 30-60 mA, persentase penurunan jumlah koloni bakteri *Escherichia coli* meningkat secara signifikan. Hal ini membuktikan bahwa pemberian suhu dapat menghambat pertumbuhan bakteri. Karena suhu yang tinggi mampu menyebabkan inaktivasi enzim sehingga mengganggu sistem metabolisme dalam sel yang mengakibatkan aktifitas sel terhenti sehingga sel tersebut mati.

Berdasarkan gambar 4.1 dan gambar 4.2 menunjukkan bahwa peningkatan suhu lebih berpengaruh daripada peningkatan kuat arus listrik dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Escherichia coli*. Hal ini disebabkan karena kuat arus listrik yang diberikan belum cukup tinggi untuk menginduksi bakteri yang mengakibatkan kematian sel oleh kerusakan sel. Namun peningkatan suhu mampu menghambat pertumbuhan bakteri dengan inaktivasi enzim.

#### 4.1.2 Pengaruh Arus Listrik terhadap Kadar Protein

Setelah sampel daging sapi dialiri kombinasi arus listrik dan suhu, sampel dihancurkan dan diukur kadar protein daging dengan metode Kjeldahl. Kadar protein dapat diketahui setelah melalui 3 tahapan yaitu destruksi, destilasi dan titrasi. Akhir titrasi ditandai dengan perubahan warna dari biru menjadi merah muda dan tidak hilang selama 30 detik bila menggunakan indikator PP (*phenolphthalein*) yaitu indikator dalam titrasi asam-basa.

##### a) Data Hasil

Persentase kadar N dan kadar protein dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Kadar N (\%)} = \frac{(S-B) \times N \text{ HCl} \times 14,008}{\text{berat sampel}} \times 100 \% \quad (4.3)$$

$$\text{Kadar Protein (\%)} = \text{Kadar N (\%)} \times \text{Faktor konversi protein} \quad (4.4)$$

Sehingga diperoleh data kadar protein seperti yang ditunjukkan dalam tabel 4.2.

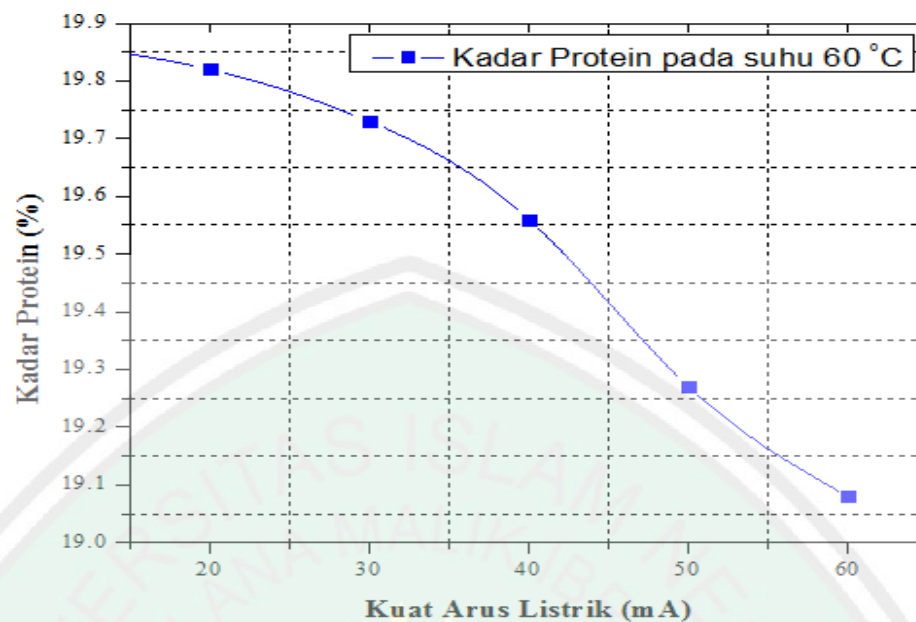
Tabel 4.2 Data kadar protein daging sapi setelah dialiri kombinasi arus listrik dan suhu 60 °c selama 30 menit.

Arus listrik (mA)	Kadar Protein (%)	Kontrol
20	19,82	19,88 %
30	19,73	
40	19,56	
50	19,27	
60	19,08	

Tabel data 4.2 menunjukkan adanya penurunan kadar protein daging sapi oleh kombinasi arus listrik dan suhu. Kadar protein daging sebelum dialiri kombinasi arus listrik dan suhu sebesar 19,88 %. Ketika daging sapi dialiri arus listrik 20 mA kadar protein menurun menjadi sebesar 19,82 %. Kadar protein terus menurun ketika kuat arus listrik ditingkatkan. Ketika kuat arus listrik sebesar 60 mA kadar protein menurun menjadi 19,08 %. Kadar protein mengalami menurun hingga 0,8 % selama kuat arus listrik ditingkatkan sampai 60 mA.

#### b) Analisis Data

Tabel 4.2 dijelaskan secara grafis pada gambar 4.3 yang menunjukkan adanya hubungan antara kombinasi arus listrik dengan suhu terhadap kadar protein daging sapi.



Gambar 4.3 Grafik kadar protein daging sapi dengan variasi kuat arus listrik.

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa kombinasi arus listrik dan suhu 60 °C menurunkan kadar protein daging sapi. Kadar protein terus menurun ketika kuat arus listrik ditingkatkan. Namun peningkatan kuat arus listrik tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap kadar protein karena pada peningkatan kuat arus listrik hingga 60 mA penurunan kadar protein hanya sebesar 0,8 % dari kadar protein kontrol. Hal ini dikarenakan kuat arus listrik tidak cukup tinggi untuk menyebabkan denaturasi protein pada daging sapi.

#### 4.1.3 Pengaruh Kombinasi Arus Listrik dan Suhu terhadap pH

Setelah sampel daging sapi dialiri kombinasi arus listrik dan suhu, sampel dimasukkan kedalam beaker glass berukuran 50 ml dan diberi aquades sebanyak 30 ml. Selanjutnya diaduk dengan menggunakan magnetic stirrer diatas hot plate selama 5 menit dan diukur pH nya dengan menggunakan pH meter yang telah dikalibrasi.

### a) Data Hasil

Data hasil pengukuran pH daging sapi setelah dialiri kombinasi arus listrik dan suhu ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data nilai pH daging sapi setelah dialiri kombinasi arus listrik dan suhu selama 30 menit.

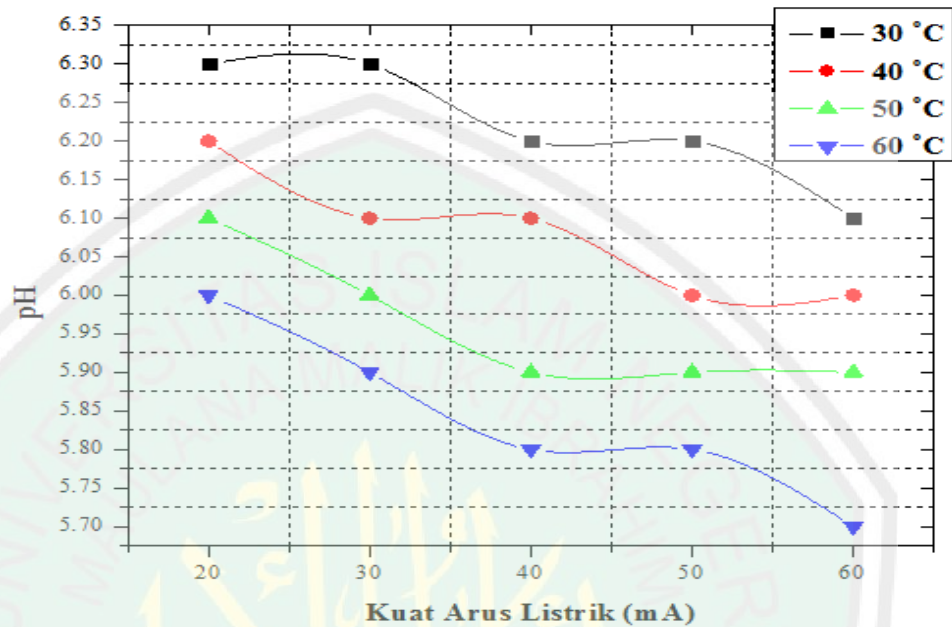
Arus (mA)	Suhu (°C)				Kontrol
	30	40	50	60	
20	6,3	6,2	6,1	6	6,3
30	6,3	6,1	6	5,9	
40	6,2	6,1	5,9	5,8	
50	6,2	6	5,9	5,8	
60	6,1	6	5,9	5,7	

Berdasarkan data nilai pH pada tabel 4.3 menunjukkan adanya penurunan pH. Setelah sampel daging sapi dialiri kombinasi arus listrik 20 mA dan suhu 30 °C selama 30 menit pH daging sapi tidak menunjukkan perubahan yakni tetap pada nilai pH 6,3. Ketika kuat arus listrik ditingkatkan hingga 60 mA, dengan suhu 30 °C nilai pH daging sapi menjadi 6,1. Sedangkan ketika suhu ditingkatkan hingga 60 °C dengan kuat arus listrik sebesar 20 mA nilai pH menjadi 6. Selanjutnya, ketika kuat arus listrik dan suhu ditingkatkan bersama-sama menjadi 60 mA dengan suhu 60 °C nilai pH menjadi 5,7. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar kuat arus listrik dan suhu yang diberikan maka semakin kecil nilai pH daging sapi.

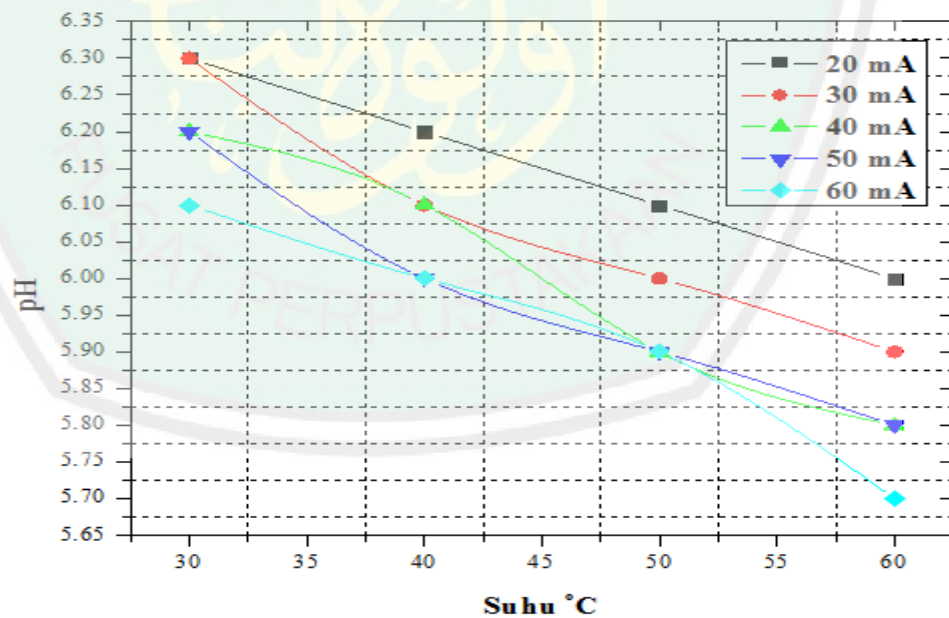
### b) Analisis Data

Dari hasil pengamatan yang dilakukan dengan kombinasi aliran arus listrik dan suhu, tidak terdapat hubungan yang berarti antara kombinasi arus listrik dan

suhu dengan nilai pH daging sapi, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4 dan gambar 4.5



Gambar 4.4 Grafik nilai pH daging sapi dengan variasi kuat arus listrik.



Gambar 4.5 Grafik nilai pH daging sapi dengan variasi suhu.

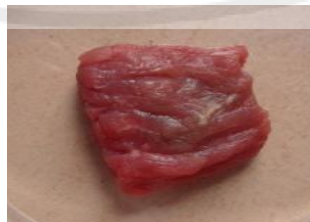
Gambar 4.4 dan 4.5 menunjukkan bahwa kombinasi kuat arus listrik dan suhu berpengaruh terhadap pH daging sapi. Pada gambar 4.4 terlihat bahwa pH daging sapi menurun oleh peningkatan kuat arus listrik. Namun pada beberapa titik garis juga terlihat tidak terjadi perubahan pH ketika kuat arus listrik ditingkatkan, seperti pada garis suhu 50 °C ketika kuat arus listrik ditingkatkan dari 40-60 mA pH tetap bernilai 5,9. Begitu juga pada gambar 4.5 terlihat bahwa pH daging sapi menurun oleh peningkatan suhu meskipun penurunannya tidak stabil. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi arus listrik dan suhu memberikan pengaruh pada pH daging sapi, namun tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap pH daging sapi.

#### 4.1.4 Pengaruh Kombinasi Arus Listrik dan Suhu terhadap Warna

Daging sapi yang telah dialiri kombinasi arus listrik dan suhu kemudian diambil gambarnya pada tiap-tiap kondisi dan perlakuan yang diberikan menggunakan kamera *handphone* dengan resolusi 5 MP dengan jarak 10 cm.

##### a. Data Hasil

Berikut ini adalah gambar daging sapi sebelum dialiri kombinasi arus listrik dan suhu:



Gambar 4.6 Warna daging sapi sebelum dialiri kombinasi arus listrik dan suhu.

Tabel 4.4 Data perubahan warna daging sapi setelah dialiri kombinasi arus listrik dan suhu selama 30 menit.

Suhu Arus	Suhu			
	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C
20 mA				
30 mA				
40 mA				
50 mA				
60 mA				

Pada gambar di atas terdapat perbedaan warna daging sapi sebelum dan sesudah dialiri kombinasi arus listrik dan suhu serta perubahan warna ketika arus listrik dan suhu ditingkatkan.



## **b. Analisis Data**

Gambar 4.6 merupakan gambar daging sapi sebelum dialiri kombinasi arus listrik dan suhu yang menunjukkan warna merah terang. Setelah dialiri kombinasi arus listrik dan suhu warna daging sapi mengalami perubahan seperti yang ditunjukkan dalam tabel 4.4. Ketika dialiri arus listrik sebesar 20 mA dan suhu 30 °C warna daging sapi mengalami perubahan menjadi sedikit lebih pucat. Kemudian arus listrik ditingkatkan hingga 60 mA dengan suhu 30 °C warna daging sapi berubah warna menjadi merah semakin pucat. Sedangkan ketika suhu ditingkatkan hingga 60 °C dengan arus listrik 20 mA warna daging sapi berubah menjadi merah pucat kecoklatan. Hal tersebut menunjukkan bahwa peningkatan suhu lebih berpengaruh terhadap perubahan warna daging sapi. Pada arus listrik 60 mA dengan suhu 60 °C warna daging sapi mengalami perubahan menjadi kecoklatan. Perubahan warna pada daging sapi ini terjadi karena pembentukan globin untuk mempertahankan heme (warna merah) berkurang sehingga warna berubah menjadi kecoklatan.

## **4.2 Pembahasan**

Penelitian ini menggunakan daging sapi dengan ukuran 3x3 cm setebal 1 cm yang telah ditumbuhi bakteri *Escherichia coli*.

### **4.2.1 Pengaruh Arus Listrik dan Suhu terhadap Bakteri *Escherichia coli***

Bakteri *Escherichia coli* merupakan bakteri gram negatif yang dapat tumbuh pada suhu antara 10-45 °C dengan suhu optimum 37 °C. Jika bakteri *Escherichia coli* dalam suhu minimum maka sel-sel bakteri akan tumbuh lambat

dan memperpanjang fase adaptasi. Namun jika pada suhu diatas maksimum maka sel-sel akan mati dengan cepat. Pada suhu yang sama, waktu pemanasan yang lebih lama akan meningkatkan kematian sel mikroba. Semakin tinggi suhu pemanasan, kematian sel mikroba semakin besar. Pada suhu yang lebih tinggi, waktu pemanasan yang diperlukan untuk membunuh sejumlah sel semakin singkat (Fardiaz, 2004).

Pada suhu mendekati maksimum bakteri akan kehilangan kemampuannya untuk tumbuh dan memperbanyak diri. Jutono dkk. (2004) mengatakan bahwa kenaikan temperatur akan menaikkan kecepatan reaksi-reaksi kimia dalam sel. Biasanya setiap kenaikan 10 °C dapat mempercepat reaksi kimia dua sampai tiga kali lebih cepat. Hal ini terjadi karena di dalam proses metabolisme terjadi suatu rangkaian reaksi-reaksi kimia, maka kenaikan temperatur sampai pada suatu batas tertentu dapat mempercepat proses metabolisme. Suhu yang tinggi menyebabkan inaktivasi enzim sehingga akan mengganggu sistem metabolisme dalam sel bahkan kematian sel akibat aktifitas sel yang terhenti.

Aktivitas sel terhenti akibat kerusakan pada membran sel karena pembengkakan setempat pada membran luar sel, rusaknya lapisan membran luar dengan lapisan peptidoglikan dan membran sitoplasma. Kerusakan membran sel akan menyebabkan pembebasan fraksi lipid membran sehingga membran sel akan kehilangan sifat permeabilitas selektifnya dan kerusakan DNA akibat inaktivasi enzim (karena DNA dapat bereplikasi dengan bantuan enzim). Fungsi utama dari DNA adalah sebagai pengatur aktivitas sel namun DNA tidak melakukannya secara langsung. DNA mentranskripsikan dirinya menjadi RNA. RNA inilah yang

berperan secara langsung dalam pembentukan protein. Karena enzim mengalami inaktivasi akibat suhu tinggi maka menyebabkan protein dalam sel juga mengalami denaturasi.

Listrik dapat mengakibatkan terjadinya elektrolisis bahan penyusun medium pertumbuhan. Elektrolisis adalah penguraian suatu elektrolit oleh arus listrik. Elektroda positif akan menarik ion negatif pada sel membran bakteri, begitu juga elektroda negatif akan menarik ion positif pada membran sel bakteri. Akibatnya membran sel akan mengecil dan terbentuk pori-pori pada membran sel bakteri. Sehingga partikel yang berukuran kecil seperti elektron dapat masuk dan meningkatkan permeabilitas membran. Semakin tinggi rangsangan listrik yang diberikan maka potensial transmembran juga akan meningkat hingga melampaui potensial normalnya dan mengakibatkan membran mengalami kerusakan. Jika kerusakan (pori-pori) pada membran sel tersebut tidak mampu diperbaiki lagi (*irreversible*) maka bisa menyebabkan kematian sel akibat organel dalam sel keluar.

Pada penelitian ini stimulasi arus listrik dan suhu yang terbaik untuk menghambat pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* yaitu pada kuat arus listrik 60 mA dengan suhu 60 °C. Dimana persentase penurunan jumlah koloni bakteri sebesar 86,3 % dengan jumlah bakteri yang aktif sebesar  $25 \times 10^7$  CFU/ml. Suhu mengakibatkan inaktivasi enzim dan arus listrik menyebabkan kerusakan membrane sel sehingga pertumbuhan bakteri terhambat (mati).

#### 4.2.2 Pengaruh Arus Listrik dan Suhu terhadap Kadar Protein

Daging merupakan sumber protein dengan nilai gizi tinggi. Dewasa ini telah banyak metode yang dilakukan untuk memperbaiki dan mempertahankan kualitas daging. Seperti metode penambahan enzim, perlakuan tekanan tinggi maupun stimulasi listrik pada daging.

Menurut Judge *et al.* (1989), stimulasi listrik dapat meningkatkan kualitas daging dan dapat menurunkan kadar protein. Lawrie dan Ledward (2006) menyatakan bahwa stimulasi listrik dapat meningkatkan proteolisis dan kerusakan membran lisosomal. Stimulasi listrik dapat menyebabkan penurunan pH dan konsekuensi dari protein pada titik isoelektriknya atau karena denaturasi protein. Denaturasi protein terjadi karena rusaknya filamen-filamen dan struktur serabut otot akibat stimulasi listrik. Karena sifat protein yang hidrofilik, sehingga daya ikat air oleh protein menurun disebabkan kerusakan filamen protein dan struktur serabut otot.

Reaksi metabolisme dalam makhluk hidup melibatkan senyawa protein yang disebut enzim yang sangat dipengaruhi oleh suhu. Suhu yang tinggi akan menaikkan aktivitas enzim namun sebaliknya juga akan mendenaturasi enzim (Martoharsono, 1994). Peningkatan suhu dapat meningkatkan kecepatan reaksi karena molekul atom mempunyai energi yang lebih besar dan mempunyai kecenderungan untuk berpindah. Ketika suhu meningkat, proses denaturasi juga mulai berlangsung dan menghancurkan aktivitas molekul enzim (Lee, 1992). Suhu tinggi dapat digunakan untuk mengacaukan ikatan hidrogen dan interaksi hidrofobik non polar. Hal ini terjadi karena suhu tinggi dapat meningkatkan energi

kinetik dan menyebabkan molekul penyusun protein bergerak atau bergetar sangat cepat sehingga mengacaukan ikatan molekul tersebut. Pemanasan akan membuat protein bahan terdenaturasi sehingga kemampuan mengikat airnya menurun. Hal ini terjadi karena energi panas akan mengakibatkan terputusnya interaksi non-kovalen yang ada pada struktur alami protein tapi tidak memutuskan ikatan kovalennya yang berupa ikatan peptida.

Bahan makanan yang baik yakni makanan dengan kandungan gizi yang utuh tanpa terdegradasi. Pada penelitian ini kandungan protein terbaik ketika daging diberikan kuat arus listrik sebesar 20 mA dan suhu 60 °C dengan jumlah kadar protein yang tereduksi sebesar 0,06 % dari kadar protein sebelum diberikan stimulasi arus listrik dan suhu.

#### **4.2.3 Pengaruh Arus Listrik dan Suhu terhadap pH**

Nilai pH merupakan salah satu kriteria dalam penentuan kualitas daging sapi. Nilai pH daging pada ternak sapi yang masih hidup sekitar 7,0-7,2 (pH netral). Penurunan nilai pH akan terjadi setelah hewan ternak sapi disembelih (postmortem) yaitu pada saat jantung berhenti memompa darah, sehingga jaringan otot dan jaringan lainnya tidak lagi mendapat pasokan darah. Pearson & Young (1989) mengemukakan bahwa stimulasi listrik mempercepat glikolisis postmortem yang ditunjukkan dengan laju penurunan pH yang lebih cepat.

Stimulasi listrik dan peningkatan suhu pada daging dapat mempercepat proses glikolisis, yang mana dapat menurunkan pH daging. Karena penurunan pH dipengaruhi oleh ketersediaan asam laktat dalam otot. Proses glikolisis menyebabkan degradasi glikogen. Dimana cadangan/sisa glikogen yang

terdegradasi akan dikonversi menjadi asam laktat. Penurunan pH juga terjadi karena terhentinya aliran darah sehingga suplai oksigen juga terhenti dan tidak tersedianya oksigen untuk menangkap ion hidrogen yang dibebaskan dalam proses glikolisis dan siklus TCA (tricarboxylic acid) (Forrest *et al.*, 1975). Kelebihan ion hidrogen mengubah asam piruvat menjadi asam laktat. Hasil akumulasi asam laktat menyebabkan pH daging menurun.

Kecepatan penurunan pH daging dan nilai pH akhir (postmortem) akan menentukan kualitas daging. Kondisi normal yang diinginkan adalah proses penurunan pH berlangsung normal dan pH akhir sekitar 5.6 (Syamsir, 2011). Pada penelitian ini pemberian stimulasi arus listrik dan suhu optimum untuk menentukan kualitas daging sapi yang baik yaitu pada kuat arus listrik 60 mA dan suhu 60 °C dengan nilai pH 5,7. Karena pH akhir yang terlalu rendah (<5.1) dapat menyebabkan terdenaturasinya protein dan dihasilkan daging yang pucat, lunak dan basah. Sedangkan pH akhir yang terlalu tinggi (>6,3) menyebabkan daging sangat mudah dirusak oleh mikroba sehingga umur simpan pendek (Syamsir, 2011).

#### **4.2.4 Pengaruh Arus Listrik dan Suhu Terhadap Warna**

Secara visual, warna menjadi salah satu penentu kualitas daging. Pigmen utama daging yang dapat mempengaruhi warna daging adalah mioglobin. Perbedaan kadar mioglobin menyebabkan perbedaan intensitas warna daging. Menurut Syamsir (2011), kadar mioglobin dipengaruhi oleh spesies, jenis kelamin, umur dan aktivitas fisik hewan. Warna daging juga dipengaruhi oleh kondisi penanganan dan penyimpanan. Jenis kemasan, serta suhu dan lama waktu

penyimpanan bisa mempengaruhi warna daging. Hal ini disebabkan oleh terjadinya perubahan kondisi oksidasi mioglobin yang menyebabkan perubahan warna daging. Suhu yang tinggi, menyebabkan pembentukan globin yang berfungsi untuk mempertahankan heme menjadi berkurang, akibatnya terjadi desoksigenasi oksimioglobin menjadi mioglobin tereduksi yang tidak stabil. Kemudian mioglobin tereduksi yang tidak stabil tersebut dioksidasi menjadi metmioglobin. Menurut Moore dan Young (1991), stimulasi listrik, pembekuan, pencairan dan jenis kemasan juga merupakan faktor yang mempengaruhi warna daging. Stimulasi listrik dapat menyebabkan penurunan pH. Perubahan pH menyebabkan protein terdenaturasi dan perubahan muatan protein. Penurunan muatan protein akan mengubah jarak antar serat-serat daging sehingga mempengaruhi kemampuannya dalam menyerap dan memantulkan cahaya yang akan mempengaruhi warna daging. Penurunan pH secara cepat dan pH akhir yang rendah menyebabkan warna daging menjadi sangat pucat (Syamsir, 2011).

Pada penelitian ini, warna daging sapi semakin pucat setelah diberikan stimulasi arus listrik dan suhu. Seperti yang dikemukakan Syamsir (2011) bahwa makin rendah pH maka warna daging akan semakin pucat. Warna pucat ini disebabkan oleh karena banyaknya air bebas yang berada diluar serabut daging. Kandungan air ekstraseluler yang tinggi ini menyebabkan kemampuannya untuk memantulkan cahaya akan meningkat dan penyerapan cahaya menurun sehingga intensitas warna akan menurun (warna terlihat pucat). Sedangkan pada stimulasi arus listrik 60 mA dan suhu 60 °C warna daging sapi mengalami perubahan

menjadi kecoklatan, dikarenakan pembentukan globin untuk mempertahankan heme berkurang sehingga warna menjadi kecoklatan.

Warna menjadi salah satu penentu kualitas daging. Warna daging sapi segar adalah berwarna merah segar. Pada stimulasi arus listrik 20 mA dengan suhu 30 °C merupakan warna daging sapi segar dengan kualitas baik.

#### 4.3 Arus Listrik dan Suhu pada Makanan Menurut Pandangan Islam

Ajaran islam mencakup seluruh aspek kehidupan, tak terkecuali masalah makanan. Dalam islam, makanan merupakan tolak ukur yang dapat mempengaruhi dari segala perilaku kehidupan sehari-hari. Makanan tidak hanya sekedar kebutuhan lahiriyah tetapi juga sebagai kebutuhan spiritual yang berkaitan dengan rohani, iman dan ibadah juga identitas diri bahkan dengan perilaku. Sejumlah besar ayat dalam al-Qur'an secara spesifik membahas tentang makanan termasuk di dalamnya regulasi pengawasan makanan. Seperti dalam firman Allah SWT dalam surat 'Abasa (80): 24.

فَلْيَنْظُرِ الْإِنْسَانُ إِلَى طَعَامِهِ

“Maka hendaklah manusia itu memperhatikan makanannya” (Q.S. ‘Abasa (80): 24).

Ayat di atas menjelaskan bahwa manusia diperintahkan untuk memperhatikan makanannya. Indikasi ini berdasarkan kata **يَنْظُرُ** (perhatikanlah) dan **طَعَامِهِ** (makanannya). Kata **يَنْظُرُ** berasal dari kata **نَظَرَ** yang berarti melihat menggunakan panca indera penglihatan kemudian merenungkan serta memahaminya menggunakan akal fikirannya. Al-Tabari dalam kitab tafsirnya



mengatakan bahwa maksud ayat di atas ialah ajakan untuk melihat, merenungi dan memperhatikan adanya kandungan gizi dari masing-masing makanan yang seharusnya dibutuhkan manusia. Seperti dalam penafsiran Fakh al-Din al-Razi menyatakan bahwa ayat tersebut mengajak untuk lebih selektif dalam memilih makanan maupun minuman yang bergizi bagi tubuh manusia (*halal tayyiban*). (Ana P., 2015). Sebagaimana dalam firman Allah SWT dalam surat an-Nahl:114.

﴿ فَكُلُوا مِمَّا رَزَقَكُمُ اللَّهُ حَلَالًا طَيِّبًا وَاشْكُرُوا نِعْمَتَ اللَّهِ إِنَّ كُنتُمْ إِيَّاهُ تَعْبُدُونَ ﴾

“Maka makanlah yang halal lagi baik dari rezeki yang telah diberikan Allah kepadamu; dan syukurilah nikmat Allah, jika kamu hanya kepada-Nya saja menyembah” (Q.S An Nahl (16): 114).

Indikasi dari surat an-Nahl di atas menjelaskan bahwa manusia diperintahkan untuk makan makanan yang halal dan juga baik. Indikasi ini berasal dari kata *حَلَالٌ*, yang berarti halal sesuai kaidah *syar'iyah (ukhrawi)* dan *طَيِّبًا* yang memiliki makna baik sesuai kaidah kesehatan (*duniawi*).

Seperti dalam hadits yang diriwayatkan oleh Muslim nomor 1686 berikut:

وَحَدَّثَنِي أَبُو كُرَيْبٍ مُحَمَّدُ بْنُ الْعَلَاءِ حَدَّثَنَا أَبُو أُسَامَةَ حَدَّثَنَا فَضَيْلُ بْنُ مَرْزُوقٍ حَدَّثَنِي عَدِيُّ بْنُ ثَابِتٍ عَنْ أَبِي حَازِمٍ عَنْ أَبِي هُرَيْرَةَ قَالَ قَالَ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ أَيُّهَا النَّاسُ إِنَّ اللَّهَ طَيِّبٌ لَا يَقْبَلُ إِلَّا طَيِّبًا وَإِنَّ اللَّهَ أَمَرَ الْمُؤْمِنِينَ بِمَا أَمَرَ بِهِ الْمُرْسَلِينَ فَقَالَ { يَا أَيُّهَا الرُّسُلُ كُلُوا مِنَ الطَّيِّبَاتِ وَاعْمَلُوا صَالِحًا إِنِّي بِمَا تَعْمَلُونَ عَلِيمٌ } وَقَالَ { يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا كُلُوا مِن طَيِّبَاتِ مَا رَزَقْنَاكُمْ

“Dan telah menceritakan kepadaku [Abu Kuraib Muhammad bin Al Ala`] Telah menceritakan kepada kami [Abu Usamah] Telah menceritakan kepada kami [Fudlail bin Marzuq] telah menceritakan kepadaku [Adi bin Tsabit] dari [Abu Hazim] dari [Abu Hurairah] ia berkata; Rasulullah shallallahu 'alaihi wasallam

*bersabda: "Wahai sekalian manusia, sesungguhnya Allah itu baik. Dia tidak akan menerima sesuatu melainkan yang baik pula. Dan sesungguhnya Allah telah memerintahkan kepada orang-orang mukmin seperti yang diperintahkan-Nya kepada para Rasul. Firman-Nya: 'Wahai para Rasul! Makanlah makanan yang baik-baik (halal) dan kerjakanlah amal shalih. Sesungguhnya Aku Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan.' Dan Allah juga berfirman: 'Wahai orang-orang yang beriman! Makanlah rezeki yang baik-baik yang Telah menceritakan kepada kami telah kami rezekikan kepadamu.'" (H.R Muslim: 1686)*

Ternyata makanan halal saja tidak cukup, namun juga perlu *thayyiban*.

Kata *thayyib* secara bahasa berarti lezat, baik, sehat, menentramkan dan paling utama. Dapat dikatakan bahwa kata *thayyib* dalam makanan adalah makanan yang sehat, proporsional dan aman. Makanan yang sehat adalah makanan yang memiliki gizi yang cukup dan seimbang. Proporsional berarti sesuai dengan kebutuhan pengonsumsi, tidak berlebihan dan tidak kekurangan. Sedangkan aman yang dimaksud adalah makanan tidak menimbulkan efek yang berbahaya bagi kesehatan seperti adanya bakteri dalam makanan (Ana P., 2015).

Pengertian makanan sehat tergantung juga pada kondisi dan cara mengolahnya. Agar kandungan gizi yang terdapat pada makanan tidak hilang, proses pengolahannya harus tepat. Salah satu proses pengolahan bahan makanan untuk menonaktifkan bakteri agar tidak menimbulkan efek yang berbahaya bagi kesehatan adalah dengan penggunaan suhu dan stimulasi listrik dengan arus listrik. Allah SWT berfirman dalam surat al-Adiyat (100): 1-2.

وَالْعَادِيَاتِ ضَبْحًا ﴿١﴾ فَالْمُورِيَاتِ قَدْحًا ﴿٢﴾

*"Demi kuda perang yang berlari kencang dengan terengah-engah. Dan kuda yang mencetuskan api dengan pukulan (kuku kakinya)" (Q.S al-Adiyat (100): 1-2).*

Ayat diatas menjelaskan tentang proses terjadinya arus listrik dengan indikasi kata عَادِيَاتٍ (yang bergerak cepat), kata لُمُورِيَاتٍ (memercikkan) dan kata قَدَحٌ (api). Indikasi tersebut mengisyaratkan ketika dua benda disinggung dengan keras dan cepat maka akan mengalirkan/mengeluarkan sesuatu.

Arus listrik terjadi ketika elektron berpindah dari lintasan (orbit) sebuah atom. Benda yang mengalami benturan, gesekan, pemanasan atau suatu reaksi tertentu dapat membuat elektron terlempar dari lintasan atom. Karena elektron terlempar dari lintasan atom, dimungkinkan elektron tersebut berpindah ke lintasan atom lain di sekitarnya. Perpindahan elektron dari satu atom ke atom lainnya dapat mengakibatkan perubahan energi pada benda tersebut. Besar kecilnya jumlah elektron yang terlepas dan berpindah ke lintasan atom lain akan mempengaruhi besar-kecilnya perubahan energi. Proses lepasnya elektron dari lintasan atom dan proses masuknya elektron liar ke dalam lintasan atom inilah awal munculnya arus listrik. Dimana arus adalah elektron yang mengalir atau berpindah (Cahyokrisma, 2015).

Pada penelitian ini menggunakan kombinasi arus listrik dan suhu. Arus listrik dapat menghasilkan panas dan elektron-elektron yang mampu berinteraksi dengan membran sel bakteri hingga dapat menghambat dan/atau menonaktifkan bakteri *Escherichia coli*, dimana jumlah bakteri *Escherichia coli* sebelum dipapari kombinasi arus listrik dan suhu sebesar  $182 \times 10^7$  CFU/ml dan setelah diberikan stimulasi listrik dengan arus 60 mA dan suhu 60 °C jumlah koloninya menjadi  $25 \times 10^7$  CFU/ml dan persentase penurunan jumlah bakteri sebesar 86,3 %. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi arus listrik dan suhu berpengaruh nyata dalam

menghambat pertumbuhan bakteri *Escherichia coli*. Kombinasi arus listrik dan suhu juga mampu mempercepat proses glikolisis sehingga dapat menurunkan nilai pH daging. Penurunan pH daging berakibat protein terdenaturasi dan perubahan muatan protein. Perubahan muatan protein mempengaruhi kemampuan serat otot dalam menyerap dan memantulkan cahaya yang akan mempengaruhi warna daging.



## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian, kombinasi arus listrik dan suhu terhadap pertumbuhan bakteri *Escherichia coli*, kandungan protein dan pH dan warna pada daging sapi maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Kombinasi arus listrik dan suhu mampu menghambat pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* dengan persentase penurunan jumlah koloni bakteri sebesar 86,3 % pada arus listrik 60 mA dan suhu 60 °C.
2. Kombinasi arus listrik dan suhu dapat menurunkan kadar protein pada daging sapi sebesar 0,8 % pada kuat arus listrik 60 mA dengan suhu 30 °C. Namun secara statistik tidak berpengaruh yang nyata terhadap kadar protein daging sapi.
3. Kombinasi arus listrik dan suhu mampu menurunkan pH daging sapi pada kuat arus listrik 60 mA dengan suhu 60 °C sebesar 0,6, yakni dari nilai pH 6,3 menjadi 5,7.
4. Kombinasi arus listrik dan suhu pada daging sapi mempengaruhi warna daging sapi yang berubah dari merah terang menjadi kecoklatan ketika arus listrik dan suhu ditingkatkan.

### **5.2 Saran**

Berdasarkan kesimpulan yang sudah dikemukakan maka diberikan saran-saran untuk mengadakan perbaikan di masa mendatang, yaitu:

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut terhadap penonaktifan bakteri *Escherichia coli* dengan kuat arus listrik dan suhu yang lebih tinggi sehingga tidak ada bakteri yang tumbuh kembali.
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut terhadap bakteri patogen lain pada daging sapi.
3. Diperlukan penelitian tentang efek kombinasi arus listrik dan suhu terhadap kandungan nutrisi lain yang terdapat pada daging sapi.



## DAFTAR PUSTAKA

- Aberle, E. D., Forrest, J. C., Hendrick, H. B., Judge, M. D., and Merkel, R. A. 2001. *Principles of Meat Science*. San Fransisco: W. H. Freeman and Company.
- Ana P., Febri. 2015. *Kenikmatan Pangan dalam Al-Qur'an: Studi Penafsiran Surat 'Abasa Ayat 24-32*. Skripsi. UIN Sunan Ampel Surabaya.
- Bouton, P. E., A. L. Ford, P. V. Harris and F. D. Shaw. 1978. *Effect of Low Voltage Stimulation of Beef Carcasses and Muscle Tenderness And pH*. J. Food Sci. 43: 1392-1396.
- Cahyokrisma, 2015. *Darimana Listrik Muncul/Berasal?*. Diakses pada tanggal 26 Desember 2017. Available from: <http://cahyokrisma.wordpress.com>
- Contreras, S., D.L. Harrison, D.H.Kropf, and C.L. Kastner. 1981. *Electrical Stimulation and Hot Boning: Cooking Losses, Sensory Properties, and Microbial Counts of Ground Beef*. J. Food Sci. 46: 457.
- Departemen Kesehatan Republik Indonesia. 1981. *Daftar Komposisi Bahan Makanan*. Jakarta: Bhatara Karya Aksara
- El Neel, M. M. H. 2007. *Electrical Inactivation of Bacteria in Beverages*. Phd Thesis. UOFIC.
- Endarko Dan Yudoyono, Gatot. 2007. *Draf Modul Fisika*. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional, Biro Perencanaan Dan Kerjasama Luar Negeri.
- Fatimah dan Rinanda. 2011. *Deteksi Cemaran Escherichia Coli pada Daging Burger Penjual Kaki Lima di Desa Kopelma Darussalam dan Restoran Cepat Saji di Banda Aceh*. Jurnal Kedokteran Syiah Kuala Vol 11; 3: 134-142.
- Fardiaz, S. 1989. *Petunjuk Praktikum Analisis Mikrobiologi Pangan*. Bogor: PAU IPB.
- Fardiaz, Srikandi. 2004. *Mikrobiologi Pangan*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama
- Fitriansyah, Soni. 2009. *Pengaruh Umur Dan Voltase Listrik terhadap Kadar Protein, Kadar Lemak dan Keempukan Otot Longissimus Dorsi pada Kerbau*. Skripsi. Padang: Universitas Andalas
- Forrest, J. C., Aberle, E. D., Hedrick, H. B., Judge, M. D., and Merkel, R.A., 1975. *Principles of Meat Science*. San Fransisco: W. H. Freeman and Company.

Gaman, P.M dan Sherrington K.B. 1994. *ILMU PANGAN. Pengantar Ilmu Pangan Nutrisi dan Mikrobiologi, Edisi kedua*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Ganiswarna, G. S. dkk., 1995. *Farmakologi dan Terapi*. Jakarta: UI-Press.

Garbutt, J. 1997. *Essentials of Food Microbiology*. London: Arnold

Giancoli. 2001. *Fisika. Jilid 2 edisi 5*. Jakarta: Erlangga.

Girard, J. 1992. *Technology of Meat and Meat Products*. France: National Institute of Agronomical Research.

Hafriyanti, Hidayati. Elfawati. 2008. *Kualitas Daging Sapi dengan Kemasan Plastik PE (Polyethilen) dan Plastik PP (Polypropylen) di Pasar Arengka Kota Pekanbaru, 2008*. 22-23.

Hazliansyah. 2012. *Santap Daging Sapi Tujuh Warga Pacitan Keracunan*. Diakses pada tanggal 29 Juni 2018. Available from: <http://www.republika.co.id>

Jawetz, M. Adelberg. 1995. *Mikrobiologi Kedokteran*. Jakarta: ECG.

Jawetz, M. Adelberg. 1996. *Mikrobiologi Kedokteran*. Jakarta: ECG.

Judge, M. D., E. D. Aberle, J. C. Forrest, H. B. Hedrick and R. A. Merkel. 1989. *Principles of Meat Science. 2nd ed*. Dubuque, Iowa: Kendall/Hunt Publ. Co.

Jutono dkk. 2004. *Dasar-Dasar Mikrobiologi untuk Perguruan Tinggi*. Yogyakarta: UGM Press.

Kementrian Agama, R.I. 2014. *Al-Qur'an Terjemah dan Tajwid*. Bandung: SYGMA.

Lawrie, R.A. 1991. *Meat Science. 4th Ed*. Oxford: Pergamon Press.

Lawrie, R. A. and D. A. Ledward. 2006. *Lawrie's Meat Science. 7th ed*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

Lay, B. W dan Hastowo, S. 1992. *Mikrobiologi*. Jakarta: Rajawali Press.

Lee, J M.. 1992. *Biochemical Engineering*. New Jersey: Prentice-Hall International Inc.

Martoharsono, S. 1994. *Biokimia*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Moore, V. J., & Young, O. A. 1991. *The Effects of Electrical Stimulation, Thawing, Ageing and Packaging on The Colour and Display Life of Lamb Chops*. Meat Science, 30, 131-145.



- Muchtadi D dan Betty SK. 1980. *Petunjuk Praktek Mikrobiologi Hasil Pertanian* 2. Jakarta: Departemen Pendidikan Tinggi dan Kebudayaan.
- Muchtadi, T.R. dan Sugiono. 1992. *Ilmu Pengetahuan Bahan Pangan*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Direktorat Jenderal Tinggi Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Munzir. 2009. *Pengaruh Pendinginan dan Pembekuan*. Diakses pada tanggal 15 Februari 2016. Available from: <http://duniaperikanan.wordpress.com>
- Muslim, Choirul., Hawa, La Choviya., Argo, Dwi Bambang. 2013. *Pasteurisasi Non-Termal Pada Susu Sapi Segar untuk Inaktivasi Bakteri Staphylococcus aureus Berbasis Pulse Electric Field (PEF)*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Nugroho, S. 2013. *Pengaruh Suhu Terhadap Nilai pH, Densitas dan Kandungan Senyawa Asap Cair Hasil Pirolisis Limbah Kopi Skripsi*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Pearson, A. M. & R. B. Young. 1989. *Muscle and Meat Biochemistry*. London: Academic Press, Inc.
- Petrofsky, Jerrold. Laymon, M. Chung, W. Collins, K. Yang T-N. 2008. *Effect of Electrical Stimulation on Bacterial Growth*. California: Loma Lind & Azusa Pasific University.
- Purwoko, T. 2007. *Fisiologi Mikroba*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Ray, Bibek. 2001. *Fundamental Food Microbiology, 2<sup>nd</sup> Edition*. Boca Raton: CRC Press.
- al-Razi, Fakhr al-Din. 1414 H. *Tafsir al-Kabir wa Mafatih al Ghaib jilid 3*. Beirut: al-Dar al-Fikr.
- Romans, J.R., W.J. Costello, C.w. Carlson, M.L. Greaser, K.W. Jones. 1994. *The Meat We Eat 13th Ed*. Danville. Illinois: Interstate Publishers Inc.
- Ruslan, A.H., Riwidikdo, H. 2009. *Fisika Kesehatan*. Yogyakarta: Mitra Cendika Press.
- Safitri, Kiki. 2015. *Daging Sapi Terinfeksi Bakteri E.coli*. Diakses pada tanggal 26 Februari 2016. Available from: <http://lifestyle.analisadaily.com>
- Satriawan, Mirza. 2012. *Fisika Dasar*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Soeparno. 1994. *Ilmu dan Teknologi Daging*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

- Soeparno. 2005. *Ilmu dan Teknologi Daging, Cetakan III*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Suhairi, L. 2007. *Pemanasan Berulang Terhadap Kandungan Gizi "Sie Reuboh" Makanan Tradisional Aceh*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Syam, A., Soeparno dan Rusman. 2013. *Efek Lama Stimulasi dan Tegangan Listrik terhadap Komposisi Kimia, Kualitas Fisik dan Sensori Daging Ayam Petelur Afkir*. Buletin Peternakan, 37 (1): 26-33.
- Syamsir, Elvira. 2011. *Karakteristik Mutu Daging*. Bandung: Kulinologi Indonesia.
- al-Tabari, Abi Ja'far Ibnu Jarir. \_\_\_\_\_. *Tafsir al Tabari Jami' al-Bayan 'an Ta'wil al-Qur'an jilid 24*. Beirut: al-Dar al-Hijr.
- Tortora G. J, Funke B. R, Case C. L. 1998. *Microbiology An Introduction 6<sup>th</sup> Edition*. California: Benjamin & Cummings.
- Vladimir, Uversky. N. 2007. *Conformational Stability, Size, Shape and Surface of Protein Molecules*. New York: Nova Science.
- Zumdahl, S.S. 1993. *Chemistry 3<sup>rd</sup> Edition*. D.C. Heath & Co., p645.

# LAMPIRAN



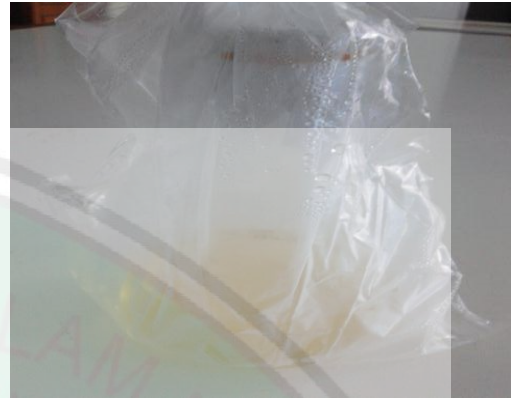
**LAMPIRAN 1 Data Hasil Koloni Bakteri Escherichia coli**

Arus listrik (mA)	Suhu (°C)	Jumlah Bakteri (CFU/ml)			Rata-rata
		Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3	
-	-	189 x 10 <sup>7</sup>	176 x 10 <sup>7</sup>	181 x 10 <sup>7</sup>	182 x 10 <sup>7</sup>
20	30	156 x 10 <sup>7</sup>	143 x 10 <sup>7</sup>	145 x 10 <sup>7</sup>	148 x 10 <sup>7</sup>
	40	98 x 10 <sup>7</sup>	112 x 10 <sup>7</sup>	84 x 10 <sup>7</sup>	98 x 10 <sup>7</sup>
	50	78 x 10 <sup>7</sup>	77 x 10 <sup>7</sup>	82 x 10 <sup>7</sup>	79 x 10 <sup>7</sup>
	60	55 x 10 <sup>7</sup>	70 x 10 <sup>7</sup>	49 x 10 <sup>7</sup>	58 x 10 <sup>7</sup>
30	30	143 x 10 <sup>7</sup>	139 x 10 <sup>7</sup>	144 x 10 <sup>7</sup>	142 x 10 <sup>7</sup>
	40	91 x 10 <sup>7</sup>	88 x 10 <sup>7</sup>	85 x 10 <sup>7</sup>	88 x 10 <sup>7</sup>
	50	65 x 10 <sup>7</sup>	55 x 10 <sup>7</sup>	51 x 10 <sup>7</sup>	57 x 10 <sup>7</sup>
	60	36 x 10 <sup>7</sup>	48 x 10 <sup>7</sup>	39 x 10 <sup>7</sup>	41 x 10 <sup>7</sup>
40	30	143 x 10 <sup>7</sup>	133 x 10 <sup>7</sup>	132 x 10 <sup>7</sup>	136 x 10 <sup>7</sup>
	40	77 x 10 <sup>7</sup>	76 x 10 <sup>7</sup>	81 x 10 <sup>7</sup>	78 x 10 <sup>7</sup>
	50	54 x 10 <sup>7</sup>	45 x 10 <sup>7</sup>	36 x 10 <sup>7</sup>	45 x 10 <sup>7</sup>
	60	34 x 10 <sup>7</sup>	39 x 10 <sup>7</sup>	41 x 10 <sup>7</sup>	38 x 10 <sup>7</sup>
50	30	131 x 10 <sup>7</sup>	123 x 10 <sup>7</sup>	118 x 10 <sup>7</sup>	124 x 10 <sup>7</sup>
	40	77 x 10 <sup>7</sup>	86 x 10 <sup>7</sup>	56 x 10 <sup>7</sup>	73 x 10 <sup>7</sup>
	50	33 x 10 <sup>7</sup>	48 x 10 <sup>7</sup>	39 x 10 <sup>7</sup>	40 x 10 <sup>7</sup>
	60	21 x 10 <sup>7</sup>	31 x 10 <sup>7</sup>	29 x 10 <sup>7</sup>	27 x 10 <sup>7</sup>
60	30	110 x 10 <sup>7</sup>	99 x 10 <sup>7</sup>	109 x 10 <sup>7</sup>	106 x 10 <sup>7</sup>
	40	41 x 10 <sup>7</sup>	61 x 10 <sup>7</sup>	54 x 10 <sup>7</sup>	52 x 10 <sup>7</sup>
	50	31 x 10 <sup>7</sup>	32 x 10 <sup>7</sup>	36 x 10 <sup>7</sup>	33 x 10 <sup>7</sup>
	60	29 x 10 <sup>7</sup>	25 x 10 <sup>7</sup>	21 x 10 <sup>7</sup>	25 x 10 <sup>7</sup>

**LAMPIRAN 2 Foto Alat Dan Bahan Penelitian**



Media  
NA (*Nutrient Agar*)



Media NB (*Nutrient Broth*)



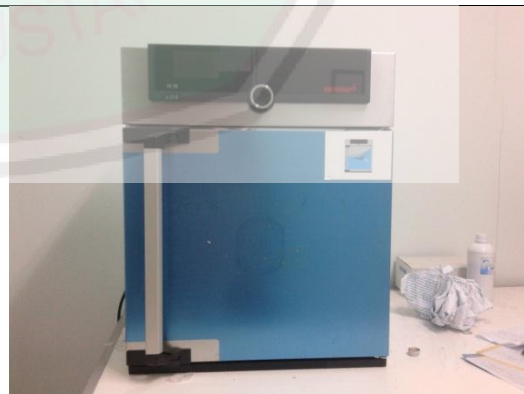
Daging sapi



Aquades



Autoklaf



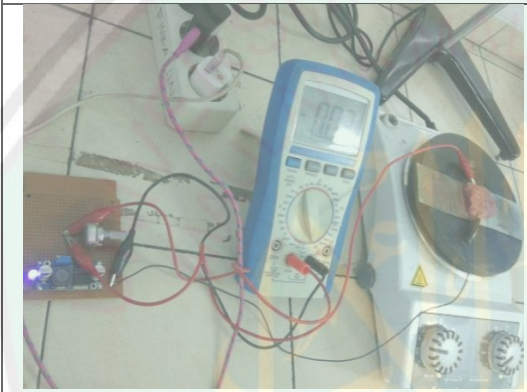
Inkubator



pHmeter



*Coloni Counter*



Rangkaian



Pemaparan



**KEMENTERIAN AGAMA RI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN)  
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang (0341) 551345 Fax. (0341) 572533

**BUKTI KONSULTASI SKRIPSI**

Nama : Nida'ul Khasanatul Musyarofah  
NIM : 12640068  
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika  
Judul Skripsi : Efek Kombinasi Arus Listrik dan Suhu terhadap Protein dan Pertumbuhan Bakteri pada Daging Sapi  
Pembimbing I : Dr. M. Tirono, M.Si  
Pembimbing II : Erika Rani, M.Si

No	Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1	4 Desember 2017	Konsultasi Bab I, II, III	
2	13 Februari 2018	ACC Bab I, II, III	
3	15 Maret 2018	Konsultasi Data Hasil	
4	29 Maret 2018	Konsultasi Data Hasil	
5	3 April 2018	Konsultasi Bab IV	
6	18 April 2018	Konsultasi Kajian Agama	
7	10 Mei 2018	ACC Bab IV	
8	11 Mei 2018	ACC Kajian Agama	
9	17 Mei 2018	Konsultasi Keseluruhan	
10	22 Mei 2018	ACC Keseluruhan	

Malang, 4 Juli 2018  
Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika,

Dr. Abdul Basid, M. Si  
NIP. 19650504 199003 1 003