

**PENGARUH PAPARAN GELOMBANG ULTRASONIK TERHADAP
PERTUMBUHAN BAKTERI *Escherichia coli*, KADAR PROTEIN, SUSUT
BERAT DAN PH PADA DAGING AYAM**

SKRIPSI

Oleh:
FALIZA BERLIANI
NIM. 220604110044



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2026**

HALAMAN PENGANTAR

**PENGARUH PAPARAN GELOMBANG ULTRASONIK TERHADAP
PERTUMBUHAN BAKTERI *Escherichia coli*, KADAR PROTEIN, SUSUT
BERAT DAN PH PADA DAGING AYAM**

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:
FALIZA BERLIANI
NIM. 220604110044**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2026**

HALAMAN PERSETUJUAN

PENGARUH PAPARAN GELOMBANG ULTRASONIK TERHADAP
PERTUMBUHAN BAKTERI *Escherichia coli*, KADAR PROTEIN, SUSUT
BERAT DAN PH PADA DAGING AYAM

SKRIPSI

Oleh:

FALIZA BERLIANI

NIM. 220604110044

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Pada Tanggal, 25 Juni 2026

Dosen Pembimbing I



Prof. Dr. Drs. Mokhammad Tirono, M.Si.
NIP. 19641211 199111 1 001

Dosen Pembimbing II



Dr. Umaiatus Syarifah, M.A.
NIP. 19820925 200901 2 005

Mengetahui,
Ketua Program Studi



Farid Samasu Hananto, M.T.
NIP. 19740513 200312 1 001

HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH PAPARAN GELOMBANG ULTRASONIK TERHADAP PERTUMBUHAN BAKTERI *Escherichia coli*, KADAR PROTEIN, SUSUT BERAT DAN PH PADA DAGING AYAM

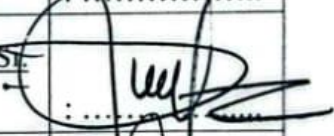
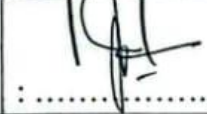
SKRIPSI

Oleh:

FALIZA BERLIANI

NIM. 220604110044

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal, 29 Juni 2026

Penguji Utama	<u>Dr. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes.</u> NIP. 19750808 199903 1 003	
Ketua Penguji	<u>Muthmainnah, M.Si.</u> NIP. 19860325 201903 2 009	
Sekretaris Penguji	<u>Prof. Dr. Drs. Mokhammad Tirono, M.Sc.</u> NIP. 19641211 199111 1 001	
Anggota Penguji	<u>Dr. Umaiyatus Syarifah, M.A.</u> NIP. 19820925 200901 2 005	

Mengesahkan,
Ketua Program Studi



Farid Samsu Hananto, M.T.
NIP. 19740513 200312 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Faliza Berliani
NIM : 220604110044
Program Studi : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap
Pertumbuhan Bakteri *Escherichia coli*, Kadar Protein,
Susut Berat dan pH pada Daging Ayam

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, 25 Juni 2026
Yang membuat Pernyataan



Faliza Berliani
220604110044

MOTTO

“Yakinlah, bahwa usaha dan do’a yang diiringi dengan tetesan air mata tak akan pernah berakhir sia – sia. Yakinlah, Allah Maha Baik dan tak pernah ingkar janji.”

(Umma Nury Firdausia)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan dengan tulus kepada kedua orang tua tercinta, Ayah dan Mama yang senantiasa menemani setiap langkah perjuangan pendidikan saya. Terima kasih atas curahan kebahagiaan dan pengorbanan yang tak terhingga, semoga Allah Swt. memberkahi segala kebaikan Ayah dan Mama. Rasa terima kasih juga saya tujukan kepada keluarga dan sahabat yang telah memberikan dukungan luar biasa. *Last but not least*, diri saya sendiri, terima kasih telah bekerja keras dan bertahan sejauh ini dan semoga setiap langkah keilmu selalu diperkuat dan mimpimu satu persatu akan terjawab.

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur bagi Allah SWT atas limpahan kasih sayang, rahmat ,
taufiq, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang
berjudul “Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik Terhadap Pertumbuhan Bakteri
Escherichia coli, Kadar Protein, Susut Berat dan pH pada Daging Ayam” sebagai
salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada program studi Fisika,
Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim
Malang. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW,
beserta keluarga, sahabat, dan seluruh pengikutnya hingga akhir zaman.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis mendapatkan banyak bantuan,
bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala
kerendahan hati, penulis sampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas segala nikmat yang tak terhitung jumlahnya, yang telah
memberikan kemudahan dalam setiap kesulitan dan kelapangan dalam setiap
kesempitan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Kepada kedua orang tua penulis yang telah memberikan do’a, cinta, dan
kepercayaan, serta segala bentuk dukungan yang diberikan kepada penulis, baik
moril ataupun materil yang tidak akan dapat terbalaskan.
3. Keluarga besar penulis, yang telah memberikan dukungan dan semangat agar
penulis dapat menyelesaikan studi.
4. Prof. Dr. Hj. Ilfi Nur Diana, M.Si., selaku rektor Universitas Islam Negeri
Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

6. Farid Samsu Hananto S.Si., M.T., selaku Ketua Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
7. Prof. Dr. Drs. H. Mokhammad Tirono, M.Si., dan Dr. Umaiyatus Syarifah, MA., selaku pembimbing skripsi.
8. Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes., dan Muthmainnah, M.Si., selaku dewan penguji skripsi.
9. Wiwis Sasmitaninghidayah, M.si., selaku dosen wali.
10. Seluruh Dosen dan Staff Akademik Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
11. Teman-teman Fisika angkatan 2022, khususnya biofisika yang menemani penulis beproses.
12. Teman-teman gedung belakang PP. Daruzzahra Arrifai 2 yang selalu mewarnai hari-hari penulis.
13. Teman-teman *wonderful five* yang menemani penulis dari mahasiswa baru sampai sekarang.
14. Kepada B-A, P-I, terimakasih sudah berteman dan saling membantu menghadapi tugas-tugas perkuliahan.

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN PENGANTAR	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
مستخلص البحث	xviii
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	7
1.3. Tujuan Penelitian.....	8
1.4. Batasan Masalah.....	8
1.5. Manfaat Penelitian.....	9
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 10
2.1. Gelombang Ultrasonik	10
2.1.1. Pengertian Gelombang Ultrasonik.....	10
2.1.2. Gelombang Cahaya.....	12
2.1.3. Jenis dan Klasifikasi Ultrasonik	13
2.1.4. Parameter Operasional Ultrasonik.....	15
2.2. Bakteri	18
2.2.1. Pengertian Bakteri	18
2.2.2. Struktur Bakteri.....	19
2.3. <i>Escherichia coli</i>	20
2.3.1. Pengertian <i>Escherichia coli</i>	20
2.3.2. Klasifikasi <i>Escherichia coli</i>	21
2.3.3. <i>Escherichia coli</i> sebagai Bakteri Patogen	24
2.3.4. Pengaruh Gelombang Ultrasonik Terhadap Bakteri <i>Escherichia coli</i>	25
2.4. Daging Ayam	29
2.4.1. Karakteristik Kimia dan Fisik	29
2.4.2. Kadar Protein.....	32
2.4.3. Susut Berat.....	33
2.4.4. pH.....	34
 BAB III METODE PENELITIAN	 36
3.1. Jenis Penelitian	36
3.2. Waktu dan Tempat Penelitian	36
3.3. Alat dan Bahan	36
3.3.1. Alat	36

3.3.2. Bahan.....	37
3.4. Diagram Alir Penelitian	38
3.5. Rancangan Penelitian	38
3.6. Prosedur Penelitian.....	39
3.6.1. Persiapan.....	39
3.6.2. Pertumbuhan <i>Escherichia coli</i>	39
3.6.3. Inokulasi <i>Escherichia coli</i> ke Daging Ayam	40
3.6.4. Perlakuan Ultrasonik	40
3.6.5. Perhitungan Jumlah Bakteri <i>Escherichia coli</i>	41
3.6.6. Pengukuran Jumlah Kadar Protein	41
3.6.7. Pengukuran Nilai Susut Berat	41
3.6.8. Pengukuran Nilai pH	41
3.7. Teknik Pengumpulan Data	42
3.7.1. Teknik Pengumpulan Data Jumlah Bakteri.....	42
3.7.2. Teknik Pengumpulan Data Kadar Protein	43
3.7.3. Teknik Pengumpulan Data Susut Berat	44
3.7.4. Teknik Pengumpulan Data Nilai pH	44
3.8. Teknik Analisis Data	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1. Data Hasil Penelitian	47
4.1.1. Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Jumlah Bakteri <i>Escherichia coli</i> pada Daging Ayam.....	47
4.1.2. Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Kadar Protein pada Daging Ayam.....	54
4.1.3. Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Susut Berat pada Daging Ayam.....	60
4.1.4. Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Nilai pH pada Daging Ayam.....	68
4.2. Pembahasan	75
4.2.1. Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Pertumbuhan Bakteri <i>Escherichia coli</i> pada Daging Ayam	75
4.2.2. Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Kadar Protein pada Daging Ayam.....	76
4.2.3. Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Susut Berat pada Daging Ayam.....	77
4.2.4. Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Nilai pH pada Daging Ayam.....	78
4.3. Kajian Keislaman	79
BAB V PENUTUP.....	84
5.1. Kesimpulan.....	84
5.2. Saran.....	85
DAFTAR PUSTAKA	86
LAMPIRAN.....	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Prinsip Kerja Ultrasonik	12
Gambar 2.2	Struktur Bakteri.....	19
Gambar 2.3	Bakteri <i>Escherichia coli</i>	22
Gambar 2.4	Daging Ayam bagian Dada.....	29
Gambar 3.1	Flowchart Penelitian	38
Gambar 4.1	Grafik Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Jumlah Bakteri <i>Escherichia coli</i>	49
Gambar 4.2	Grafik Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik dengan Kadar Protein.....	56
Gambar 4.3	Grafik Pengaruh paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Susut Berat pada Daging Ayam.....	63
Gambar 4.4	Grafik Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Nilai pH pada Daging Ayam	70

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Jumlah Bakteri <i>Escherichia coli</i>	42
Tabel 3.2 Data Jumlah Kadar Protein.....	43
Tabel 3.3 Data Nilai Susut Bobot.....	44
Tabel 3.4 Data Jumlah Nilai pH	45
Tabel 4.1 Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik Terhadap Jumlah Bakteri ..	47
Tabel 4.2 Uji Normalitas SPSS Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Jumlah Bakteri <i>Escherichia coli</i>	50
Tabel 4.3 Uji Homogenitas SPSS Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Jumlah Bakteri <i>Escherichia coli</i>	51
Tabel 4.4 Uji Anova SPSS Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Jumlah Bakteri <i>Escherichia coli</i>	51
Tabel 4.5 Uji Post Hoc Tukey Hubungan Intensitas dengan Jumlah Bakteri	52
Tabel 4.6 Uji Post Hoc Tukey Hubungan Waktu dengan Jumlah Bakteri	52
Tabel 4.7 Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Kadar Protein.....	54
Tabel 4.8 Uji Normalitas SPSS Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Kadar Protein	57
Tabel 4.9 Uji Homogenitas SPSS Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Kadar Protein	58
Tabel 4.10 Uji Homogenitas SPSS Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Kadar Protein.....	58
Tabel 4.11 Uji Post Hoc Tukey Intensitas dengan Kadar Protein.....	59
Tabel 4.12 Uji Post Hoc Tukey Hubungan Waktu dengan Kadar Protein.....	60
Tabel 4.13 Pengaruh paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Susut Berat pada Daging Ayam	61
Tabel 4.14 Uji Normalitas menggunakan SPSS Pengaruh paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Susut Berat pada Daging Ayam.....	64
Tabel 4.15 Uji Homogenitas menggunakan SPSS Pengaruh paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Susut Berat pada Daging Ayam.....	65
Tabel 4.16 Uji Anova menggunakan SPSS Pengaruh paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Susut Berat pada Daging Ayam.....	66
Tabel 4.17 Uji Post Hoc Tukey menggunakan SPSS Hubungan Intensitas dengan Susut Berat	66
Tabel 4.18 Uji Post Hoc Tukey menggunakan SPSS Hubungan Waktu Paparan dengan Susut Berat.....	67
Tabel 4.19 Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Nilai pH pada Daging Ayam	68
Tabel 4.20 Uji Homogenitas menggunakan SPSS Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap pH pada Daging Ayam	72
Tabel 4.21 Uji Normalitas menggunakan SPSS Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap pH pada Daging Ayam	72
Tabel 4. 22 Uji Anova menggunakan SPSS Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap pH pada Daging Ayam	73

Tabel 4.23 Uji Post Hoc Tukey menggunakan SPSS Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap pH pada Daging Ayam.....	74
Tabel 4.24 Uji Post Hoc Tukey menggunakan SPSS Hubungan Waktu dengan pH pada Daging Ayam.....	74

ABSTRAK

Berliani, Faliza. 2026. **Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik Terhadap Pertumbuhan Bakteri *Escherichia coli*, Kadar Protein, Susut Berat dan pH Pada Daging Ayam**. Skripsi. Jurusan Fisika. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Prof. Dr. Drs. H. Mokhammad Tirono, M.Si (II) Dr. Umaiyatus Syarifah, M.A

Kata Kunci: Gelombang Ultrasonik, *Escherichia coli*, Daging Ayam, Kadar Protein, Susut Berat, pH

Daging ayam merupakan bahan pangan sumber protein yang mudah mengalami kerusakan akibat kontaminasi mikroorganisme, salah satunya *Escherichia coli*. Gelombang ultrasonik merupakan teknologi non-termal yang berpotensi menjaga keamanan dan kualitas pangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh paparan gelombang ultrasonik terhadap pertumbuhan bakteri *Escherichia coli*, kadar protein, susut berat, dan pH pada daging ayam. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan perlakuan gelombang ultrasonik pada intensitas 20 W/m², 40 W/m², dan 60 W/m² dengan variasi waktu paparan. Parameter yang diamati meliputi jumlah bakteri *Escherichia coli*, kadar protein, susut berat, dan pH. Data dianalisis menggunakan uji ANOVA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa paparan gelombang ultrasonik berpengaruh terhadap jumlah bakteri *Escherichia coli*, kadar protein, susut berat, dan pH daging ayam. Perlakuan intensitas 60 W/m² menghasilkan penurunan jumlah bakteri paling tinggi, sedangkan kadar protein tertinggi diperoleh pada intensitas 40 W/m² sebesar 23,0%. Susut berat tertinggi diperoleh pada intensitas 60 W/m² sebesar 4,220%. Nilai pH tertinggi terdapat pada intensitas 20 W/m² sebesar 6,106 dan terendah pada intensitas 60 W/m² sebesar 5,884. Berdasarkan hasil penelitian, gelombang ultrasonik berpotensi sebagai metode pengawetan non-termal karena mampu menghambat pertumbuhan *Escherichia coli* serta memengaruhi kualitas fisikokimia daging ayam.

ABSTRACT

Berliani, Faliza. 2026. **The Effect of Ultrasonic Wave Exposure on *Escherichia Coli* Bacterial Growth, Protein Content, Weight Loss, and pH Value in Chicken Meat.** Thesis. Department of Physics. Faculty of Science and Technology. Maulan Malik Ibrahim State Islamic University, Malang. Supervisor: (I) Prof. Dr. Drs. H. Mokhammad Tirono, M.Sc (II) Dr. Umaiatus Syarifah, M.A

Keywords: Ultrasonic Wave, *Escherichia coli*, Chicken Meat, Protein Content, Weight Loss, pH

Chicken meat is a protein-rich food source that is susceptible to spoilage due to microbial contamination, one of which is *Escherichia coli*. Ultrasonic waves are a non-thermal technology that has the potential to maintain food safety and quality. This study aimed to determine the effect of ultrasonic wave exposure on the growth of *Escherichia Coli* bacteria, protein content, weight loss, and pH value in chicken meat. This study used an experimental method by applying ultrasonic wave treatments at intensities of 20 W/m², 40 W/m², and 60 W/m² with variations in exposure time. The observed parameters included the number of *Escherichia Coli* bacteria, protein content, weight loss, and pH value. The data were analyzed using normality test, homogeneity test, two-way ANOVA, and Tukey's post hoc test. The results showed that ultrasonic wave exposure affected the number of *Escherichia Coli* bacteria, protein content, weight loss, and pH value of chicken meat. The treatment with an intensity of 60 W/m² resulted in the highest reduction of bacterial count, while the highest protein content was obtained at an intensity of 40 W/m² (22.724%). The highest weight loss was observed at an intensity of 60 W/m² (4.220%). The highest pH value was obtained at an intensity of 20 W/m² (6.106), while the lowest pH value was found at an intensity of 60 W/m² (5.884). Based on the results, ultrasonic waves have the potential to be used as a non-thermal preservation method because they can inhibit the growth of *Escherichia Coli* and affect the physicochemical quality of chicken meat.

مستخلص البحث

بيرلياني، فاليزا. 2026. تأثير التعرض للموجات فوق الصوتية على نمو بكتيريا الإشريكية القولونية، ومستوى البروتين، وانكماش الوزن، ودرجة الحموضة في لحم الدجاج. بحث جامعي. قسم الفيزياء. كلية العلوم والتكنولوجيا. جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف: (الأول) الأستاذ الدكتور. الحاج. محمد تيرونو، الماجستير (الثاني) الدكتورة أومية الشريفة، الماجستير.

الكلمات المفتاحية: الموجات فوق الصوتية، الإشريكية القولونية، لحم الدجاج، نسبة البروتين، انخفاض الوزن، الرقم الهيدروجيني

لحم الدجاج هو مادة غذائية غنية بالبروتين ويسهل أن يتلف بسبب تلوث الكائنات الدقيقة، ومن بينها الإشريكية القولونية. الموجات فوق الصوتية هي تقنية غير حرارية لديها القدرة على استخدامها للحفاظ على سلامة وجودة الغذاء. يهدف هذا البحث إلى معرفة تأثير التعرض للموجات فوق الصوتية على نمو بكتيريا الإشريكية القولونية، محتوى البروتين، فقدان الوزن، وقيمة الحموضة في لحم الدجاج. استخدم البحث طريقة تجريبية بتعرض الموجات فوق الصوتية بشدة 20 واط/م²، 40 واط/م²، و60 واط/م² مع اختلاف مدة التعرض. تشمل المعايير التي تم رصدها عدد بكتيريا الإشريكية القولونية، محتوى البروتين، فقدان الوزن، وقيمة الحموضة. تم تحليل البيانات باستخدام اختبار التوزيع الطبيعي، تجانس البيانات، تحليل التباين، واختبار توكي المتقدم. أظهرت نتائج البحث أن التعرض للموجات فوق الصوتية يؤثر على عدد بكتيريا الإشريكية القولونية ومستوى البروتين وفقدان الوزن وقيمة الأس الهيدروجيني للحم الدجاج. أدى المعالجة بشدة 60 واط/م² لمدة 25 دقيقة إلى أكبر انخفاض في عدد البكتيريا بمقدار 3.3×10^6 ، بينما تم الحصول على أعلى مستوى بروتين عند شدة 40 واط/م² لمدة 15 دقيقة بنسبة 23.0%. وكان فقدان الوزن الأعلى عند شدة 60 واط/م² لمدة 25 دقيقة بنسبة 6.24%. أما قيمة الأس الهيدروجيني الأعلى فكانت عند شدة 20 واط/م² بلغت 6.0 والأدنى عند شدة 60 واط/م² بلغت 5.6. بناءً على نتائج البحث، تعتبر الموجات فوق الصوتية طريقة محتملة للحفاظ غير الحراري لأنها قادرة على تثبيط نمو الإشريكية القولونية وكذلك التأثير على الخصائص الفيزيائية والكيميائية لحم الدجاج.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Daging ayam (*Gallus gallus domesticus*) merupakan salah satu sumber protein hewani yang banyak dikonsumsi masyarakat karena kandungan gizinya tinggi, harganya terjangkau, dan mudah diolah menjadi berbagai produk pangan. Permintaan terhadap daging ayam yang aman dan berkualitas terus meningkat seiring naiknya konsumsi global (Alarcón-Rojo et al., 2019). Data United States Department of Agriculture (FAS, 2020) menunjukkan konsumsi daging ayam dunia mengalami peningkatan setiap tahun dan diperkirakan akan mendominasi pasokan protein hewani global dalam dekade mendatang.

Di Indonesia, Badan Pusat Statistik (2022) melaporkan konsumsi daging ayam telah mencapai lebih dari 5,68 kg per kapita per tahun, didorong oleh peningkatan daya beli dan kesadaran masyarakat akan pentingnya asupan protein berkualitas. Namun, meningkatnya konsumsi tersebut harus diimbangi dengan perhatian terhadap keamanan pangan, karena daging ayam merupakan bahan pangan yang mudah rusak dan rentan terkontaminasi mikroorganisme patogen seperti *Escherichia coli*, serta mengalami perubahan fisikokimia selama penyimpanan.

Kondisi ini sejalan dengan temuan Zhu et al. (2024) dan Barbut & Leishman (2022) bahwa kadar air tinggi, struktur otot yang lembut, serta nilai pH daging unggas mendukung pertumbuhan mikroba dan mempercepat proses kerusakan jika tidak ditangani dengan teknologi pengolahan dan penyimpanan yang tepat.

Oleh karena itu, pengendalian mutu dan keamanan daging ayam menjadi aspek penting dalam industri pangan modern untuk menjaga kesehatan masyarakat dan daya saing produk sesuai dengan QS. Al - Baqarah (1): 168:

يَا أَيُّهَا النَّاسُ كُلُوا مِمَّا فِي الْأَرْضِ حَلَالًا طَيِّبًا وَلَا تَتَّبِعُوا خُطُوَاتِ الشَّيْطَانِ إِنَّهُ لَكُمْ عَدُوٌّ مُبِينٌ ﴿١٦٨﴾

“Wahai manusia, makanlah sebagian (makanan) di bumi yang halal lagi baik dan janganlah mengikuti langkah - langkah setan. Sesungguhnya ia bagimu merupakan musuh yang nyata.”

Q.S. Al – Baqarah (1): 168 yang dikemukakan dalam jurnal (Over & Food, 2024) tentang konsep *thayyib*, makanan yang dikonsumsi tidak hanya memenuhi aspek kehalalan tetapi harus memberikan manfaat bagi tubuh melalui kualitas yang baik, sehat, aman, dan sesuai dengan kebutuhan manusia. Makanan yang *thayyib* merupakan makanan yang dipilih secara selektif dengan mempertimbangkan kandungan gizi, manfaat, serta keamanannya sehingga tidak menimbulkan dampak negatif bagi kesehatan. Dalam kajian tersebut dijelaskan bahwa aspek *thayyib* mencakup kesehatan, dan keamanan pangan, baik keamanan secara fisik dari kontaminan yang berbahaya maupun keamanan yang memberikan ketenangan bagi konsumen. Oleh karena itu, pangan yang bebas dari cemaran mikroba dan tetap memiliki kualitas gizi yang baik merupakan salah satu wujud penerapan konsep *thayyib* sebagaimana dianjurkan dalam Al-Qur'an.

Untuk menangani masalah kontaminasi mikroba dan degradasi kualitas pada daging ayam seperti yang telah diuraikan sebelumnya, industri pangan saat ini mengadopsi berbagai metode pengawetan dan pengendalian mikroorganisme, baik melalui pendekatan termal, kimia, maupun non-termal. Perlakuan termal, seperti pemanasan pada suhu tinggi merupakan metode paling tradisional dan telah terbukti

ampuh dalam mengurangi populasi *Escherichia coli* tetapi sering kali menyebabkan perubahan yang tidak diharapkan pada warna, tekstur, serta kandungan nutrisi daging (Pereira & Vicente, 2010). Di sisi lain, sanitasi kimia dengan menggunakan larutan klorin, asam organik, atau asam peroksiasetat banyak diaplikasikan pada tahap pencucian karkas ayam karena kemampuannya menurunkan beban mikroba permukaan dengan cepat, meskipun menimbulkan keprihatinan mengenai potensi residu kimia dan perkembangan resistensi mikroorganisme jika diterapkan dalam jangka waktu lama (Qian et al., 2023).

Sebagai pilihan alternatif, teknologi non-termal seperti *high pressure processing*, irradiasi ionisasi, ozonisasi, serta perlakuan UV-C mulai dikembangkan karena efektif menginaktivasi mikroba tanpa menimbulkan kerusakan signifikan pada nilai nutrisi. Namun, keterbatasan seperti biaya operasional yang tinggi, penetrasi cahaya atau tekanan, serta pengaruh terhadap kualitas organoleptik masih menjadi hambatan dalam implementasi industri (Taha et al., 2024). Dalam beberapa tahun belakangan, pendekatan teknologi penghalang atau kombinasi beberapa metode non-termal yang meliputi pemanfaatan gelombang ultrasonik semakin menarik minat karena terbukti meningkatkan inaktivasi mikroba sambil mempertahankan kualitas fisikokimia produk yang menjadikan calon teknologi pengolahan pangan masa depan yang lebih aman dan efisien (Royintarat et al., 2020).

Walaupun berbagai metode pengawetan termal, kimia, dan non termal telah terbukti ampuh dalam menekan proliferasi mikroorganisme patogen, masing-masing masih memiliki keterbatasan substansial yang membatasi penerapannya secara luas di industri pangan kontemporer. Perlakuan termal cenderung

menurunkan kualitas sensori dan nutrisi produk karena denaturasi protein serta hilangnya senyawa volatil esensial, sementara pemanfaatan bahan kimia menimbulkan keprihatinan mendalam terkait isu residu kimia, potensi toksisitas, serta resistensi mikroba dalam jangka waktu panjang (Irakoze et al., 2022).

Di sisi lain, teknologi non termal seperti *high pressure processing* atau irradiasi, meskipun relatif lebih aman bagi nutrisi memerlukan investasi peralatan yang sangat besar, kapasitas operasional yang terbatas, serta tidak selalu menjamin stabilitas *water holding capacity*, nilai pH, dan warna produk hewani sensitif seperti daging ayam (Lee & Yoon, 2024). Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan alternatif yang tidak hanya efektif menginaktivasi mikroba, tetapi juga mempertahankan stabilitas protein, menekan kehilangan berat, serta menjaga keseimbangan pH selama penyimpanan tanpa meninggalkan residu kimia atau mengubah sifat organoleptik secara drastis. Dalam hal ini, gelombang ultrasonik muncul sebagai teknologi non termal generasi baru yang sangat menjanjikan, karena beroperasi melalui mekanisme kavitasi akustik yakni pembentukan dan kolaps gelembung mikro dalam medium cair yang menghasilkan gaya geser mekanik, tekanan lokal tinggi, serta radikal reaktif yang mampu mengganggu integritas sel bakteri tanpa merusak struktur makromolekul utama daging (Lauteri et al., 2023).

Berbagai studi sebelumnya menunjukkan bahwa teknologi ultrasonik menawarkan potensi signifikan sebagai pendekatan pengolahan pangan non termal yang aman dan efektif. Mekanisme kerja utama ultrasonik didasarkan pada fenomena kavitasi akustik, yang melibatkan pembentukan dan runtuhnya gelembung mikro dalam medium cair, menghasilkan gaya geser yang kuat, tekanan

lokal yang tinggi (>1000 atm), serta radikal hidroksil yang dapat merusak dinding sel bakteri seperti *Escherichia coli*, tanpa menimbulkan kenaikan suhu yang merusak nutrisi (Lauteri et al., 2023).

Penelitian (Royintarat et al., 2020) mengungkapkan bahwa aplikasi ultrasonik pada frekuensi 20–40 kHz secara nyata mengurangi jumlah *Escherichia coli* pada daging ayam, khususnya ketika digabungkan dengan plasma activated water, dan tidak menyebabkan perubahan warna yang signifikan. Lebih lanjut, kajian oleh (Yue et al., 2024) dan (Bhargava et al., 2021) melaporkan bahwa perlakuan ultrasonik dapat mempertahankan kadar protein dan meningkatkan water holding capacity, sehingga membantu mengurangi susut berat selama penyimpanan. Meskipun demikian, temuan penelitian lain menunjukkan bahwa keefektifan ultrasonik sangat tergantung pada frekuensi, intensitas, amplitudo, lama paparan, dan jenis matriks pangan, di mana paparan yang berlebihan dapat mempercepat denaturasi protein serta perubahan pH yang berpotensi memperburuk kerusakan sensori dan mikrobiologis (Taha et al., 2024). Oleh karena itu, walaupun teknologi ultrasonik terbukti menjanjikan, diperlukan evaluasi yang lebih sistematis terkait dampak paparan ultrasonik terhadap parameter penting seperti pertumbuhan *Escherichia coli*, kadar protein, susut berat, dan pH pada daging ayam secara bersamaan dan terukur.

Meskipun sejumlah kajian terdahulu telah mengindikasikan bahwa teknologi ultrasonik berpotensi menekan populasi mikroorganisme patogen dalam produk pangan, sebagian besar studi tersebut hanya menitikberatkan pada pengukuran penurunan mikroba secara terpisah, tanpa mempertimbangkan secara menyeluruh pengaruhnya terhadap aspek kualitas fisik dan biokimia daging, termasuk

perubahan kadar protein, susut berat, serta pH. Lebih dari itu, kebanyakan penelitian sebelumnya lebih menyoroti bakteri *Listeria monocytogenes* atau *Salmonella*, bukan secara khusus *Escherichia coli* yang paling sering menjadi sumber kontaminasi pada daging ayam di pasar tradisional Indonesia.

Beberapa studi hanya mengevaluasi efektivitas ultrasonik dalam medium cair atau kultur laboratorium, bukan langsung pada matriks daging segar yang rumit, sehingga belum mencerminkan situasi pascapanen yang sebenarnya. Selain itu, masih sedikit penelitian yang menyelidiki interaksi bersamaan antara paparan ultrasonik dengan perubahan indikator mutu seperti kadar protein, pH, dan persentase susut berat dalam satu desain eksperimen yang terpadu. Kesenjangan ini mengungkapkan bahwa pemahaman masih kurang mendalam mengenai cara gelombang ultrasonik tidak hanya menghalangi perkembangan *Escherichia coli*, tetapi juga hubungannya dengan perubahan kualitas nutrisi dan stabilitas fisik daging ayam yang menentukan kesesuaian untuk dikonsumsi serta nilai ekonomisnya.

Dengan mempertimbangkan kesenjangan penelitian tersebut, maka diperlukan studi ilmiah yang secara langsung menilai dampak paparan gelombang ultrasonik pada daging ayam segar dengan mengintegrasikan aspek keamanan mikrobiologis dan kualitas kimiawi, sehingga temuan tidak hanya berkaitan dengan pengendalian kontaminasi bakteri, tetapi juga memastikan pemeliharaan nutrisi dan stabilitas fisik daging pasca pengolahan ultrasonik. Kajian ini dapat menawarkan solusi teknologi non termal yang efisien, ramah terhadap lingkungan, serta berpotensi menggantikan penerapan bahan kimia pengawet yang digunakan dalam industri pengolahan daging. Oleh sebab itu, penelitian ini secara khusus bertujuan

untuk menelaah pengaruh paparan gelombang ultrasonik terhadap perkembangan bakteri *Escherichia coli*, kadar protein, susut berat, serta perubahan pH pada daging ayam, agar dapat ditentukan apakah ultrasonik efektif bukan hanya sebagai agen anti mikroba, tetapi juga aman serta tidak mengurangi nilai gizi dan stabilitas fisik daging ayam.

Berdasarkan urgensi ilmiah dan kesenjangan penelitian yang telah diuraikan, penelitian ini secara spesifik bertujuan untuk melakukan analisis mendalam mengenai dampak paparan gelombang ultrasonik pada pertumbuhan bakteri *Escherichia coli*, fluktuasi kadar protein, tingkat penyusutan massa, serta perubahan nilai pH dalam daging ayam sebagai indikator utama keamanan dan kualitas produk pangan. Dengan menggunakan metode eksperimental langsung di lingkungan laboratorium, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan data empiris yang akurat dan terukur terkait efektivitas ultrasonik dalam menghambat atau menginaktivasi *Escherichia coli* tanpa menyebabkan degradasi nutrisi atau alterasi sifat fisiokimia yang merugikan pada daging ayam. Dengan demikian, temuan penelitian ini diharapkan tidak hanya memberikan manfaat bagi kemajuan ilmu pangan dan teknologi pasca panen, tetapi juga menawarkan rekomendasi konkret bagi kalangan industri dan akademisi dalam pengembangan teknologi pengawetan pangan modern yang aman, ekonomis, dan memiliki daya saing tinggi.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah dipaparkan pada latar belakang, rumusan masalah penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh lama paparan gelombang ultrasonic terhadap pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* pada daging ayam?

2. Bagaimana pengaruh lama paparan gelombang ultrasonik terhadap kadar protein dan pH daging ayam?
3. Bagaimana pengaruh lama paparan gelombang ultrasonik terhadap susut berat daging ayam selama penyimpanan?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah yang telah disusun, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pengaruh lama paparan gelombang ultrasonik terhadap pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* pada daging ayam?
2. Untuk mengetahui pengaruh lama paparan gelombang ultrasonik terhadap kadar protein dan pH daging ayam?
3. Untuk mengetahui pengaruh lama paparan gelombang ultrasonik terhadap susut berat daging ayam selama penyimpanan?

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini diantaranya sebagai berikut:

1. Objek penelitian terdiri dari daging ayam (*Gallus gallus domesticus*).
2. Mikroba yang menjadi fokus pengujian terbatas pada bakteri *Escherichia coli*.
3. Parameter yang dianalisis hanya jumlah *Escherichia coli*, Kadar Protein, Susut Berat dan pH.
4. Perlakuan yang diterapkan berupa eksposur terhadap gelombang ultrasonik dengan variasi waktu atau kekuatan tertentu.
5. Evaluasi dilakukan di lingkungan laboratorium, tanpa melibatkan pengujian organoleptik atau sensoris.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis

Untuk menambah ilmu pengetahuan dan wawasan mengenai pengaruh paparan gelombang ultrasonik dengan variasi intensitas dan lama paparan terhadap pertumbuhan bakteri *Escherechia coli*, kadar protein, susut berat dan pH pada daging ayam.

2. Manfaat bagi Mahasiswa

Untuk menambah pengetahuan tentang pengaruh paparan gelombang ultrasonik jika digunakan sebagai salah satu metode alternatif dalam pengawetan daging ayam.

3. Manfaat bagi Masyarakat

Untuk memberikan pelayanan masyarakat dalam mempermudah proses pemasaran atau pengiriman daging ayam yang akan dipasarkan oleh produsen.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gelombang Ultrasonik

2.1.1. Pengertian Gelombang Ultrasonik

Gelombang ultrasonik didefinisikan sebagai gelombang bunyi mekanik dengan frekuensi melebihi 20 kHz, yang berada di luar jangkauan pendengaran manusia, dan merambat melalui medium gas, cair, atau padat sebagai urutan kompresi dan refraksi partikel secara periodik sepanjang lintasan propagasinya (Gallo et al., 2018). Gelombang ini ditentukan oleh parameter fundamental seperti frekuensi, amplitudo, intensitas, dan panjang gelombang, di mana frekuensi memainkan peran penting dalam mengatur kedalaman penetrasi serta resolusi interaksi gelombang dengan bahan biologis, sedangkan intensitas menentukan magnitudo efek mekanis yang dihasilkan selama proses sonikasi (Chavan et al., 2022).

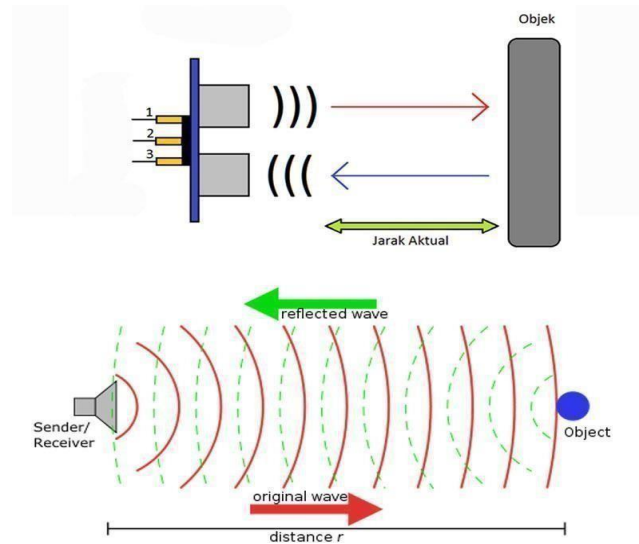
Dalam bidang akustik terapan, ultrasonik dibedakan menjadi dua kategori utama yakni *low intensity ultrasound* untuk deteksi, pengukuran atau pemantauan non destruktif tanpa mengakibatkan perubahan struktural, serta *high – intensity ultrasound* yang menghasilkan energi cukup tinggi untuk memicu efek mekanis dan kimiawi, seperti pemanasan lokal, agitasi intens, hingga kerusakan mikrostruktural pada jaringan pangan (Chavez – Martinez et al., 2020). Selain karakteristik fisiknya, aspek krusial dari ultrasonik adalah fenomena kavitasi akustik, yaitu pembentukan, pertumbuhan dan kolaps gelembung mikroskopis akibat siklus tekanan negatif dan posisi propagasi gelombang, di mana kolaps gelembung tersebut menghasilkan tekanan tinggi, jet mikro, dan geseran kuat

yang dapat mempengaruhi struktur molekul atau sel biologis (Zhu et al., 2024). Energi lokal yang dihasilkan selama kavitasi mampu menyebabkan perubahan struktur protein, pemutusan ikatan intramolekuler, peningkatan laju difusi, hingga ruptur membran sel bakteri, sehingga teknologi ini banyak dimanfaatkan dalam industri pangan seperti ekstraksi senyawa bioaktif, inaktivasi mikroorganisme, tenderisasi daging, serta modifikasi sifat kimia produk hewani. Penerapan ultrasonik dalam bidang pangan diklasifikasikan sebagai teknologi pengolahan non termal modern karena sebagian besar efeknya berasal dari gaya mekanis akibat kolaps gelembung, bukan dari peningkatan suhu langsung, sehingga lebih efektif dalam menjaga kualitas nutrisi dibandingkan pemanasan konvensional (Bhargava et al., 2021).

Efektivitas gelombang ultrasonik dipengaruhi oleh parameter operasional seperti durasi paparan, intensitas daya, frekuensi, suhu lingkungan, serta sifat fisik medium seperti viskositas dan kandungan gas terlarut yang dapat memperkuat atau melemahkan proses kavitasi (Taha et al., 2024). Pada produk pangan seperti daging ayam, interaksi gelombang ultrasonik dengan jaringan berair menghasilkan perubahan pada struktur protein miofibril, aktivitas enzim, permeabilitas membran sel, kondisi kimia internal termasuk pH dan kadar air, sehingga menjadikan teknologi ini relevan untuk penelitian terkait pertumbuhan bakteri, kandungan protein, susut berat, dan pH daging (Zhu et al., 2024). Dengan demikian, gelombang ultrasonik tidak hanya dipahami sebagai bentuk gelombang akustik berfrekuensi tinggi, tetapi juga sebagai teknologi yang mampu menghasilkan perubahan fisik, kimia, dan biologis yang signifikan melalui mekanisme gaya mekanis mikro, khususnya pada sistem pangan berbasis

jaringan hewani (Hasib et al., 2024).

2.1.2. Gelombang Cahaya



Gambar 2.1 Prinsip Kerja Ultrasonik

Gelombang ultrasonik adalah gelombang suara dengan frekuensi di atas ambang pendengaran manusia, yaitu sekitar 20 kHz lebih dalam aplikasi pengujian umumnya dipancarkan melalui transduser piezoelektrik ke dalam medium berupa padatan, cairan, atau gas (DwicaHYo Pratomo et al., 2016). Gelombang ini akan mengalami pantulan ketika bertemu dengan antarmuka material atau objek yang memiliki densitas berbeda. Sistem pengujian ini beroperasi dengan mengukur waktu tempuh dari pulsa ultrasonik yang dikirim hingga gema yang diterima kembali. Berdasarkan waktu dan kecepatan rambat gelombang dalam medium, jarak atau lokasi objek dapat ditentukan menggunakan persamaan dasar:

$$d = \frac{v \times t}{2} \quad (2.1)$$

dimana d: jarak (m)

v: kecepatan (m/s)

t: waktu (s)

Metode pulsa, transduser berfungsi sebagai pemancar sekaligus penerima. Setelah memancarkan pulsa ultrasonik, transduser menunggu sinyal pantulan dari permukaan objek atau bagian internal medium. Apabila medium bersifat homogen, gelombang akan merambat dengan kecepatan konstan, sehingga penentuan jarak menjadi akurat. Namun, jika medium bervariasi atau mengandung heterogenitas, seperti perubahan densitas, cacat, retakan, atau batas fasa, sebagian energi gelombang akan mengalami refleksi, absorpsi, atau pembiasan. Hal ini menyebabkan perbedaan amplitudo, waktu tempuh, atau bahkan hilangnya sinyal (Linggasari, 2019).

Selain itu, intensitas gema dan atenuasi gelombang ultrasonik dianalisis untuk mengevaluasi sifat material, seperti kerapatan, porositas, atau integritas struktural. Material dengan densitas berbeda akan memengaruhi tingkat refleksi atau absorpsi gelombang. Teknik ini dikenal sebagai uji non destruktif yang memungkinkan pemeriksaan internal material tanpa merusak struktur atau memerlukan pemotongan fisik. Dengan demikian, prinsip dasar gelombang ultrasonik untuk deteksi objek atau karakterisasi material meliputi, pemancaran gelombang ultrasonik ke dalam medium, interaksi gelombang dengan antar muka material atau objek, penerimaan gelombang pantul, analisis waktu tempuh dan amplitudo pantulan untuk inferensi jarak, struktur, atau parameter fisik material (Prawira & Rouf, 2018).

2.1.3. Jenis dan Klasifikasi Ultrasonik

Gelombang ultrasonik dalam aplikasi pangan dan bioteknologi diklasifikasikan berdasarkan dua sumbu utama, yaitu frekuensi dan intensitas

yang paling umum digunakan adalah *low-intensity ultrasound* dan *high-intensity ultrasound*. *low-intensity ultrasound* melibatkan frekuensi menengah hingga tinggi dengan intensitas rendah, untuk tujuan non destruktif seperti pengukuran, pemantauan kualitas, dan stimulasi ringan tanpa menyebabkan perubahan struktural yang signifikan pada matriks pangan. Sebaliknya, *high-intensity ultrasound* menggunakan frekuensi lebih rendah dengan intensitas atau daya tinggi, dirancang untuk menghasilkan efek sonomekanik dan sonokimia melalui proses kavitasi, yaitu pembentukan dan kolaps gelembung. Oleh karena itu, *high-intensity ultrasound* diterapkan dalam proses seperti ekstraksi, emulsifikasi, homogenisasi, tenderisasi daging, dan inaktivasi mikroba (Chávez-Martínez et al., 2020).

Selain itu, klasifikasi berdasarkan frekuensi dapat membedakan aplikasi tertentu. Misalnya, frekuensi rendah (sekitar 20–100 kHz) dikaitkan dengan efek mekanis yang kuat dan kavitasi yang hebat, sehingga cocok untuk modifikasi struktur dan proses intensifikasi. Di sisi lain, frekuensi menengah hingga tinggi (ratusan kHz hingga MHz) digunakan untuk aplikasi analitis atau pengukuran, karena penetrasi yang lebih dangkal tetapi resolusi lokal yang material atau objek, penerimaan gelombang pantul, analisis waktu tempuh dan amplitudo pantulan untuk inferensi jarak, struktur, atau parameter fisik material (Prawira & Rouf, 2018).

Dari perspektif fungsional dan desain peralatan, ultrasonik juga diklasifikasikan berdasarkan mode aplikasi. *Probe-type* memfokuskan energi pada titik kecil, sehingga cocok untuk perlakuan terlokalisasi dan menghasilkan kavitasi intens pada area target. Sementara itu, *bath-type* memberikan perlakuan

yang lebih homogen pada volume cair yang lebih besar, tetapi dengan energi per unit volume yang relatif lebih rendah. Oleh karena itu, pemilihan jenis peralatan harus disesuaikan dengan tujuan, seperti inaktivasi mikroba pada potongan daging yang memerlukan penetrasi dan kavitasi lokal, dibandingkan dengan pengukuran non destruktif pada permukaan produk (Li et al., 2024).

Akhirnya, klasifikasi praktis mempertimbangkan mode kerja, seperti kontinu versus pulsa. Mode pulsa dipilih untuk mengurangi pemanasan makroskopik sambil mempertahankan kemampuan kavitasi lokal atau untuk mengontrol ukuran dan perilaku gelembung. Demikian pula, parameter seperti densitas energi, durasi sonikasi, dan konfigurasi geometri sel perlakuan merupakan klasifikasi operasional yang menentukan hasil akhir. Dengan demikian, penggolongan ultrasonik bukan sekadar terminologi, melainkan pedoman operasional yang memandu pemilihan frekuensi, daya, mode, dan perangkat untuk mencapai tujuan spesifik, seperti pengurangan viabilitas *Escherichia coli*, perubahan kadar protein, pengendalian susut berat, atau pengaruh pada pH daging ayam.

2.1.4. Parameter Operasional Ultrasonik

Frekuensi yang digunakan dalam aplikasi untuk inaktivasi mikroba berkisar antara 20–100 kHz dan hingga beberapa MHz. Frekuensi rendah (20–100 kHz) menghasilkan kavitasi yang lebih intens, dengan pembentukan gelembung yang besar sehingga implosi yang lebih kuat, sedangkan frekuensi tinggi menghasilkan gelembung yang lebih kecil dalam jumlah yang lebih banyak, tetapi dengan implosi yang lebih lemah (Xu et al., 2021). Secara umum, frekuensi rendah (20–40 kHz) memberikan efek mekanis yang lebih kuat, sehingga sering

kali lebih efektif dalam menurunkan jumlah sel bakteri pada medium cair atau permukaan. Namun, penelitian tentang multi frekuensi menunjukkan bahwa kombinasi frekuensi dapat meningkatkan efisiensi karena memicu spektrum ukuran gelembung yang berbeda pada gilirannya memperbesar efek kavitasi (Xu et al., 2021). Beberapa penelitian melaporkan bahwa frekuensi sekitar 40 kHz efektif untuk menghilangkan biofilm atau sel terikat pada permukaan, sedangkan frekuensi yang lebih tinggi dapat berguna untuk perlakuan non destruktif pada produk yang sensitif (Dudek et al., 2020).

Daya atau intensitas berperan dalam mengatur energi yang diteruskan ke medium dan memiliki keterkaitan langsung dengan tingkat kavitasi. Peningkatan daya dapat meningkatkan jumlah gelembung serta energi per implosi, yang pada gilirannya menaikkan tekanan dan suhu lokal, sehingga memperkuat kemampuan inaktivasi. Namun, terdapat batasan tertentu dimana daya yang terlalu tinggi dapat memicu pemanasan yang tidak terkendali serta kerusakan pada kualitas produk (Bhargava et al., 2021) dan (Bai et al., 2021). Intensitas tinggi mempercepat proses inaktivasi mikroba, tetapi memicu perubahan fisikokimia pada makanan, seperti denaturasi protein, perubahan tekstur, dan peningkatan suhu lokal. Oleh karena itu, sering kali dipertimbangkan antara efisiensi inaktivasi mikroba dan preservasi mutu produk (Starek et al., 2021). Dalam praktiknya, daya dinyatakan sebagai amplitudo pada sonikator probe atau intensitas (W/m^2) dimana nilai eksperimental bervariasi pada jenis peralatan dan volume sampel. Penelitian menunjukkan bahwa variasi amplitudo, misalnya dari 50–90% pada probe, menghasilkan perbedaan reduksi log yang signifikan terhadap *Escherichia coli* (Cruz-Cansino et al., 2016).

Durasi paparan ultrasonik berperan dalam menentukan total energi yang diterima oleh sampel, di mana energi total secara umum dapat diestimasi sebagai hasil kali antara daya dan waktu (energi total $\approx$ daya $\times$ waktu). Efek inaktivasi mikroba bersifat kumulatif dengan daya yang konstan, semakin lama proses sonikasi dilakukan, semakin signifikan pengurangan jumlah sel mikroba, hingga mencapai titik jenuh dan terjadi pemulihan parsial akibat kerusakan subletal yang dapat diperbaiki. Durasi tidak berfungsi secara terpisah sebagai contoh, paparan singkat dengan intensitas tinggi dapat memberikan hasil yang setara atau bahkan lebih efektif dibandingkan paparan panjang dengan intensitas rendah, namun kombinasi optimalnya dipengaruhi oleh jenis mikroorganisme, medium, serta tujuan aplikasi, seperti pasteurisasi atau pengawetan ringan.

Dalam berbagai penelitian, rentang durasi yang umum digunakan berkisar antara 1 hingga 30 menit, disesuaikan dengan jenis produk seperti jus, susu, atau daging dan dimodelkan dalam kinetika sederhana, misalnya model log linear atau model yang mengintegrasikan efek kavitasi untuk memodelkan penurunan populasi mikroba bahkan menggabungkan pengaruh daya dan frekuensi ultrasonik (Bariya et al., 2023). Ultrasonik dapat menyebabkan peningkatan suhu akibat dari gesekan dan implosi gelembung. Penggabungan ultrasounnik dengan suhu sedang, berkisar antara 40–60°C yang memberikan efek sinergis dalam proses inaktivasi mikroorganisme.

Penelitian oleh Yılmaz et al. (2022) menunjukkan aplikasi ultrasonik pada suhu sedang meningkatkan permeabilisasi membran mikroba, sehingga efektivitas inaktivasi menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan ultrasonik yang diterapkan pada suhu ruang. Bhargava et al. (2020) menegaskan sinergi antara

efek termal dan kavitasi secara signifikan meningkatkan kerusakan struktur sel, khususnya pada bakteri gram negatif seperti *Escherichia coli* (Bhargava, 2020). Namun, peningkatan suhu yang berlebihan dapat berdampak negatif terhadap mutu produk pangan, sehingga pengendalian suhu menjadi parameter penting yang perlu diperhatikan dalam penelitian yang melibatkan penggunaan ultrasonik.

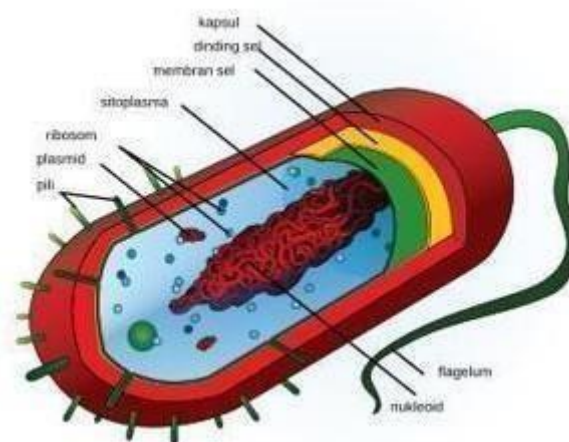
2.2. Bakteri

2.2.1. Pengertian Bakteri

Bakteri berukuran mikroskopis dengan diameter berkisar 0,5–5 μm , hanya dapat diamati melalui mikroskop cahaya atau elektron. Berdasarkan morfologinya, bakteri diklasifikasikan ke dalam beberapa bentuk utama, seperti kokus (bulat), basil (batang), spirillum (spiral), dan vibrio (berbentuk koma) (Bai et al., 2021). Bakteri adalah mikroorganisme yang dapat menyebabkan penyakit pada hewan dan manusia. Bakteri biasanya ditemukan dalam tanah, air, kulit, dan sebagian besar lingkungan manusia di seluruh dunia. Bakteri dapat berkembang baik pada keadaan kandungan oksigen yang sedikit. Selain itu, bakteri dapat menggunakan berbagai bahan organik untuk makanan kita sehari-hari sebagai tempat hidupnya, termasuk juga dapat hidup pada hewan, yang dapat menyerang sel-sel rusak atau orang dengan kekebalan tubuh yang rendah (Hasib et al., 2024).

2.2.2. Struktur Bakteri

Bakteri merupakan organisme prokariotik uniseluler yang tidak memiliki nukleus sejati dan organel bermembran seperti yang terdapat pada sel eukariotik. Materi genetik bakteri berupa DNA sirkular yang berada di daerah nukleoid, sedangkan organel utama (Dwicahyo Pratomo et al., 2016) dan plasmid tersebar dalam sitoplasma.



Gambar 2.2 Struktur Bakteri

Secara umum, struktur dasar bakteri mencakup dinding sel, membran plasma, sitoplasma, serta struktur tambahan seperti kapsul, pili, dan flagela yang berfungsi dalam perlindungan, adhesi, serta motilitas (Nasrollahian et al., 2024). Dinding sel bakteri merupakan komponen utama yang menjaga bentuk sel dan melindunginya dari tekanan osmotik. Komponen pokok dinding sel adalah peptidoglikan, sebuah polimer kompleks yang terbentuk dari N-asetilglukosamin (NAG) dan N-asetilmuramit (NAM) yang dihubungkan oleh rantai peptida (Gilmore et al., 2021).

Bakteri diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama berdasarkan perbedaan struktur dinding selnya yaitu, gram positif dan gram negatif. Bakteri gram positif memiliki lapisan peptidoglikan yang tebal sebagai komponen

dominan dinding selnya menahan kristal violet dan sel tampak berwarna ungu pada mikroskop. Sedangkan, pada bakteri gram negatif memiliki lapisan peptidoglikan yang lebih tipis sebagai pelindung terhadap zat kimia dan antibiotik tertentu (MacCain & Tuomanen, 2020). Sitoplasma adalah bagian utama dari sel bakteri yang berupa cairan kental mengisi seluruh ruang di dalam membran plasma yang berfungsi sebagai medium tempat berlangsungnya berbagai reaksi biokimia, termasuk sintesis protein, metabolisme energi, dan replikasi DNA (Dwicahyo Pratomo et al., 2016).

Selain struktur utama tersebut, beberapa bakteri memiliki struktur tambahan seperti kapsul, pili, dan flagela. Kapsul berfungsi melindungi bakteri dari fagositosis dan kekeringan, sedangkan pili atau fimbriae berperan dalam adhesi dan konjugasi genetik. Flagela digunakan untuk bergerak menuju atau menjauhi rangsangan kimia dan Cahaya. Variasi struktur ini berkontribusi terhadap kemampuan adaptasi bakteri terhadap lingkungan, termasuk resistensi terhadap tekanan fisik dan kimia (Prempeh et al., 2025).

2.3. *Escherichia coli*

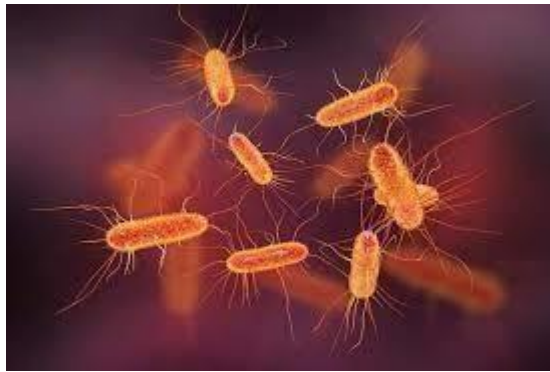
2.3.1. Pengertian *Escherichia coli*

Escherichia coli pertama kali diidentifikasi oleh Theodor Escherich pada tahun 1885 sebagai komponen mikroflora normal usus manusia, dan kemudian diberi nama sesuai dengan penemunya (Wang et al., 2021). *Escherichia coli* merupakan bakteri gram negatif berbentuk batang yang bersifat komensal di saluran pencernaan manusia dan hewan berdarah panas, namun beberapa strainnya dapat bersifat patogen, menyebabkan penyakit seperti diare, infeksi saluran pencernaan manusia dan hewan berdarah panas, namun beberapa

strainnya dapat bersifat patogen, menyebabkan penyakit seperti diare, infeksi saluran kemih, dan sepsis (Farfán-García et al., 2016). Bakteri ini menunjukkan kemampuan adaptasi tinggi terhadap berbagai sumber nutrisi, sehingga mampu bertahan hidup di lingkungan yang beragam, baik di dalam tubuh inang maupun di luar tubuh pada bahan pangan (Tegegne et al., 2024), sehingga sering digunakan sebagai indikator pencemaran fekal pada bahan pangan dan air.

2.3.2. Klasifikasi *Escherichia coli*

Pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, termasuk suhu, pH, oksigen, dan ketersediaan nutrisi. Suhu optimal untuk pertumbuhannya berkisar 37°C dengan pH netral sekitar 7,0, dan waktu generasinya dapat mencapai sekitar 20 menit dalam kondisi ideal (Farfán-García et al., 2016). Namun, dalam lingkungan dengan pH ekstrem, suhu rendah, atau kadar air yang rendah, laju pertumbuhan bakteri ini menurun secara signifikan. Faktor-faktor ini sangat relevan dalam penelitian pangan, karena memengaruhi ketahanan *Escherichia coli* terhadap perlakuan fisik dan kimia (Linggasari, 2019).



Gambar 2.3 Bakteri Escherichia Coli

Secara taksonomi, *Escherichia coli* diklasifikasikan sebagai berikut (Farfán-García et al., 2016):

Kingdom: Prokaryotae

Divisi: Gracilicutes

Kelas: Scotobacteria

Ordo: Enterobacteriales

Famili: Enterobacteriaceae

Genus: *Escherichia*

Spesies: *Escherichia coli*

Klasifikasi tersebut didasarkan pada karakter morfologi, fisiologi, dan analisis filogenetik berdasarkan gen 16S rRNA yang menunjukkan bahwa *Escherichia coli* memiliki kedekatan genetik dengan genus lain dalam famili yang sama. Menurut Madigan et al. (2019), genus *Escherichia* terdiri atas beberapa spesies, namun *Escherichia coli* merupakan spesies yang paling dikenal dan banyak diteliti karena perannya yang signifikan dalam bidang mikrobiologi, kesehatan, serta bioteknologi dimana bakteri ini berbentuk batang

pendek (0,4–0,7 μm x 1–3 μm), tidak membentuk spora, serta memiliki flagela peritrik yang memungkinkannya bergerak aktif (Wang et al., 2021).

Escherichia coli memiliki dinding sel khas bakteri gram negatif, yang terdiri dari lapisan peptidoglikan tipis di antara membran sitoplasma bagian dalam dan membran luar yang mengandung lipopolisakarida yang berfungsi sebagai penghalang permeabilitas terhadap senyawa kimia tertentu, dengan komponen lipid yang bersifat endotoksin dan dapat memicu respons imun pada inang (Wang et al., 2021). (Rojas et al., 2018) membran luar bakteri gram negatif dapat mempertahankan kekuatan mekanik sel dan melindungi bakteri dari tekanan lingkungan ekstrem, seperti fluktuasi suhu atau tekanan osmotik.

Klasifikasi *Escherichia coli* juga dapat dibedakan berdasarkan karakter genetik dan faktor virulensinya. Berdasarkan hal tersebut, *Escherichia coli* terbagi menjadi dua kelompok besar, yaitu non patogenik yang hidup normal di saluran pencernaan dan tidak menimbulkan penyakit serta patogenik yang mengganggu saluran pencernaan dan menimbulkan. Selain klasifikasi klinis tersebut, studi genomik modern menunjukkan bahwa *Escherichia coli* memiliki keragaman genetik yang sangat luas dengan ribuan strain berbeda yang dapat dikelompokkan ke dalam beberapa filogrup genetik (Nasrollahian et al., 2024). Filogrup ini menggambarkan hubungan evolusi serta kecenderungan virulensi suatu strain (Rojas et al., 2018). Dengan demikian, klasifikasi *Escherichia coli* tidak hanya mencakup aspek morfologi dan fisiologis, tetapi juga mencerminkan keragaman genetik serta faktor virulensi yang menentukan perilaku bakteri ini di berbagai lingkungan. Pemahaman tentang klasifikasi ini penting dalam konteks penelitian kuantitatif, karena perbedaan strain atau patotipe *Escherichia*

coli dapat memengaruhi responsnya terhadap perlakuan fisik, kimia, maupun biologis dalam pengujian laboratorium.

2.3.3. *Escherichia coli* sebagai Bakteri Patogen

Escherichia coli umumnya hidup sebagai bakteri komensal di saluran pencernaan manusia dan hewan, tetapi beberapa strainnya dapat bersifat patogen dan menyebabkan berbagai penyakit, khususnya infeksi saluran pencernaan dan saluran kemih (Croxen & Finlay, 2010). Variasi genetik antar strain menghasilkan kelompok pathovar dengan mekanisme patogenitas yang spesifik. Dalam aspek patogenesis, *Escherichia coli* menunjukkan berbagai patotipe, seperti *enterotoxigenic Escherichia coli* (ETEC) memproduksi *heat labile toxin* (LT) dan *heat stable toxin* (ST) menyebabkan sekresi cairan berlebihan di usus dan menimbulkan diare, *enteropathogenic Escherichia coli* (EPEC) terdapat *locus of enterocyte effacement* (LEE) mengkode sistem sekresi tipe III dan transfer protein efektor ke sel inang untuk mengubah struktur sitoskeleton sel epitel, *enterohemorrhagic Escherichia coli* (EHEC) menghasilkan *shiga toxin* (Stx) menyebabkan kerusakan sel endotel ginjal dan menimbulkan *hemolytic uremic syndrome* (HUS). Masing masing patotipe memiliki mekanisme virulensi khusus, yang meliputi produksi toksin, adhesi terhadap sel epitel usus, atau invasi ke jaringan inang (Rojas et al., 2018).

Penelitian (Bariya et al., 2023) melaporkan adanya keberadaan *Escherichia coli* O157:H7 yang bersifat patogen pada daging ayam yang dijual di pasar tradisional di Addis Ababa, Ethiopia. Dari 384 sampel daging ayam yang dianalisis, sebanyak 9,1% menunjukkan hasil positif terhadap *Escherichia coli* O157:H7, dengan mayoritas isolat menunjukkan resistensi terhadap

ampisilin dan tetrasiklin. Temuan ini mengindikasikan bahwa praktik penanganan dan higienitas yang tidak memadai selama proses pengolahan unggas dapat meningkatkan risiko paparan bakteri patogen bagi konsumen.

Sementara itu, penelitian (Aini, 2017) mengidentifikasi adanya keterkaitan genetik antara *Escherichia coli* patogen dari sumber lingkungan dan produk ayam komersial. Dengan menggunakan metode whole genome sequencing, ditemukan bahwa strain yang berasal dari air limbah peternakan memiliki kesamaan genotipe dengan isolat dari produk daging ayam, yang menandakan adanya rantai transmisi lingkungan produk pangan. Temuan ini memperkuat pengendalian kontaminasi dari sumber lingkungan merupakan langkah krusial dalam mitigasi risiko kesehatan masyarakat. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa keberadaan *Escherichia coli* patogen tidak terbatas pada tubuh inang, melainkan meluas ke lingkungan dan rantai pangan, khususnya pada produk unggas. Hal ini menegaskan pentingnya pengawasan mikrobiologis serta implementasi sistem keamanan pangan berbasis Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) untuk mencegah penyebaran bakteri patogen.

2.3.4. Pengaruh Gelombang Ultrasonik Terhadap Bakteri *Escherichia coli*

Ultrasonik telah terbukti efektif dalam menurunkan viabilitas bakteri *Escherichia coli* melalui mekanisme utama kavitasi akustik. Proses ini melibatkan pembentukan dan ledakan gelembung mikro sementara yang menghasilkan gelombang kejut, mikrojet, daerah lokal dengan suhu dan tekanan ekstrem. Akibatnya, dinding dan membran sel mengalami kerusakan yang meningkatkan permeabilitas, kebocoran isi sel, serta merusak DNA dan protein.

Studi eksperimental menunjukkan bahwa paparan ultrasonik meningkatkan permeabilitas membran luar dan dalam pada *Escherichia coli* mengubah fluiditas membran, dan memicu depolarisasi, dengan efek yang bergantung pada waktu dan intensitas gelombang (Bai et al., 2021).

Secara kuantitatif, dinamika penurunan populasi *Escherichia coli* selama perlakuan ultrasonik sering digambarkan menggunakan model kinetika log-linear, yaitu:

$$\ln \left(\frac{N(t)}{N_0} \right) = -kt \quad (2.2)$$

yang menyatakan bahwa jumlah sel pada waktu t akan menurun secara eksponensial dengan konstanta laju inaktivasi k . Dalam skala logaritmik, model ini dapat dituliskan sebagai:

$$\log_{10} \left(\frac{N(t)}{N_0} \right) = -\frac{t}{D} \quad (2.3)$$

di mana D adalah nilai waktu reduksi 1 log yang menggambarkan seberapa cepat populasi bakteri menurun akibat perlakuan ultrasonik.

Efektivitas inaktivasi *Escherichia coli* oleh ultrasonik secara keseluruhan bergantung pada parameter operasional, termasuk frekuensi di mana frekuensi rendah sekitar 20–40 kHz biasanya menghasilkan kavitasasi yang lebih kuat dibanding frekuensi tinggi, intensitas atau daya, suhu, waktu paparan, serta sifat matriks media seperti viskositas, kehadiran partikel padat, atau bahan organik. Dalam kondisi laboratorium, kombinasi intensitas tinggi dan durasi yang memadai dapat menurunkan jumlah *Escherichia coli* beberapa unit log, tetapi pengaruhnya kurang konsisten pada media kompleks seperti makanan atau

limbah karena penyerapan energi dan perlindungan oleh partikel (Cruz-Cansino et al., 2016).

Untuk menggambarkan fenomena inaktivasi yang tidak selalu mengikuti pola linear, terutama ketika kurva menampilkan bagian melengkung atau fase tailing, model Weibull banyak digunakan:

$$\log 10 \left(\frac{N(t)}{N_0} \right) = -\frac{t^\beta}{\alpha} \quad (2.4)$$

dengan parameter skala α dan parameter bentuk β . Nilai $\beta < 1$ menunjukkan adanya tailing, sedangkan $\beta > 1$ menunjukkan shoulder. Model ini lebih fleksibel untuk menjelaskan variasi respons *Escherichia coli* terhadap paparan ultrasonik, terutama pada matriks pangan yang kompleks.

Dalam beberapa penelitian, inaktivasi *Escherichia coli* juga dikaitkan dengan dosis energi ultrasonik yang diterima sampel. Dosis ini dapat dihitung berdasarkan hubungan:

$$E = I \cdot t \text{ atau } E = \frac{P \cdot t}{V} \quad (2.5)$$

dengan I adalah intensitas ultrasonik (W/m^2), P daya (W), dan V volume sampel. Hubungan antara dosis energi dan reduksi mikroba dapat dimodelkan sebagai:

$$\log 10 \left(\frac{N(t)}{N_0} \right) = -kE \quad (2.6)$$

di mana kE adalah konstanta laju inaktivasi berdasarkan energi. Model ini memungkinkan evaluasi langsung hubungan antara peningkatan daya atau durasi perlakuan ultrasonik dengan besarnya penurunan populasi *Escherichia coli*.

Keterbatasan ultrasonik tunggal dalam menghasilkan kerusakan sel yang maksimal serta potensi perubahan kualitas produk menyebabkan banyak penelitian mengkombinasikan ultrasonik dengan perlakuan lain, seperti plasma

activated water, panas ringan, agen antimikroba, atau nano material. Kombinasi perlakuan ini sering kali memberikan efek sinergis yang meningkatkan nilai k atau menurunkan nilai α pada model Weibull, sehingga inaktivasi menjadi lebih cepat. Misalnya, Wen et al. (2025) melaporkan bahwa kombinasi plasma activated water selama 10 menit dan ultrasonik selama 10 menit mampu menurunkan populasi *Escherichia coli* hingga 4,9 log CFU/mL, menunjukkan peningkatan signifikan dibandingkan perlakuan tunggal. Selain itu, Nagy et al. (2022) menemukan bahwa kombinasi sonikasi dengan suhu rendah (300 W, 40 kHz, 60 menit, 55 °C) pada produk telur cair mampu menurunkan *Escherichia coli* hingga di bawah batas deteksi, serta menurunkan parameter kinetika seperti value yang menandakan peningkatan efektivitas perlakuan tanpa menurunkan kualitas produk.

Studi lain oleh Kernou et al. (2023) menguji sistem gabungan untuk inaktivasi *Escherichia coli* ATCC 25922 dalam jus jeruk. Hasilnya menunjukkan bahwa perbaikan parameter gelombang seperti daya, durasi sonikasi, dan waktu perlakuan dapat mengoptimalkan nilai konstanta laju inaktivasi, sehingga menghasilkan pengurangan beberapa unit log lebih cepat dibandingkan ultrasonik tunggal. Hal ini menunjukkan bahwa model matematis tidak hanya menggambarkan dinamika inaktivasi tetapi juga dapat digunakan sebagai alat optimasi proses pengolahan pangan berbasis teknologi ultrasonik.

2.4. Daging Ayam

2.4.1. Karakteristik Kimia dan Fisik



Gambar 2.4 Daging Ayam bagian Dada

Daging ayam merupakan salah satu sumber protein hewani yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat karena memiliki kandungan gizi yang tinggi, mudah diperoleh, dan relatif terjangkau. Selain berperan dalam memenuhi kebutuhan nutrisi tubuh, daging ayam juga menjadi komoditas pangan yang penting dalam mendukung kesehatan dan pertumbuhan manusia. Dalam perspektif Islam, pemanfaatan hewan sebagai sumber pangan telah dijelaskan dalam Al-Qur'an sebagai salah satu bentuk nikmat dan karunia Allah yang diberikan kepada manusia. Hal tersebut sebagaimana dijelaskan dalam QS. An-Nahl (16) 5:

وَالْأَنْعَامَ خَلَقَهَا ۚ لَكُمْ فِيهَا دِفْءٌ وَمَنَافِعُ وَمِنْهَا تَأْكُلُونَ

“Dan Dia telah menciptakan binatang ternak untuk kamu; padanya (hewan ternak itu) ada (bulu) yang menghangatkan dan berbagai-bagai manfaat, dan sebahagian (daging)nya kamu makan.”

Menurut Quraish Shihab dalam Tafsir al - Misbah QS. An - Nahl (16): 5 menjelaskan bahwa Allah menciptakan hewan ternak untuk memberikan berbagai manfaat bagi kehidupan manusia. Hewan ternak tidak hanya dimanfaatkan sebagai sumber bahan sandang dan berbagai kebutuhan hidup

lainnya tetapi sebagai sumber pangan yang dapat dikonsumsi untuk memenuhi kebutuhan gizi manusia. Dan dalam pengertian tersebut menunjukkan bahwa keberadaan hewan ternak merupakan salah satu bentuk kasih sayang dan nikmat Allah yang diberikan kepada manusia untuk menunjang keberlangsungan hidupnya. Oleh karena itu, manusia hendaknya memanfaatkan sumber pangan tersebut secara bijaksana serta menjaga kualitasnya agar tetap memberikan manfaat yang optimal bagi kesehatan dan kesejahteraan (Shihab, 2002).

Sejalan dengan hal tersebut, daging ayam sebagai salah satu produk pangan asal ternak memiliki nilai gizi yang tinggi dan berperan penting dalam memenuhi kebutuhan protein masyarakat. Namun, kualitas daging ayam dapat menurun akibat kontaminasi mikroorganisme, termasuk bakteri *Escherichia coli*. Oleh karena itu, penggunaan teknologi ultrasonik dalam penelitian ini merupakan salah satu upaya untuk menjaga mutu dan keamanan daging ayam sehingga manfaat yang terkandung di dalamnya tetap terpelihara. Melalui pengurangan kontaminasi bakteri tanpa merusak kualitas produk daging ayam yang dihasilkan diharapkan tetap aman, bergizi, dan layak dikonsumsi oleh masyarakat (Chemat & Khan, 2011).

Karakteristik kimia daging ayam ditentukan oleh komposisi proksimat, yang mencakup kadar air, protein, lemak, dan abu, serta parameter biokimiawi seperti pH, komposisi asam lemak, dan tingkat oksidasi lipid. Komposisi ini memainkan peran penting dalam menentukan nilai gizi dasar serta kualitas fungsional jaringan otot. Sebagai contoh, persentase air yang tinggi, berkisar antara 70–76%, berkaitan erat dengan kapasitas pengikatan air dan susut berat akhir produk. Sementara itu, kandungan protein dan struktur miofibrilar

memengaruhi kemampuan pembentukan gel serta respons proteolitik pasca mortem (Xu et al., 2021). Perubahan pH pasca mortem disebabkan oleh glikolisis otot memodulasi kondisi mioglobin dan kapasitas pengikatan air, sehingga pH akhir berpengaruh terhadap warna, kelembapan, serta kerentanan terhadap proliferasi mikroba.

Secara fisik, mutu daging ayam dievaluasi melalui ukuran yang dapat diukur instrumental, seperti *water holding capacity*, *drip loss*, *cooking loss*, nilai warna (L, a, b), sifat tekstur, dan shear force. Penurunan *water holding capacity* dapat meningkatkan *drip loss* dan *cooking loss* memengaruhi tekstur yang dirasakan oleh konsumen. Kondisi ini sering terjadi jika pH menurun dengan cepat atau ada kerusakan struktural pada jaringan otot. Oleh karena itu, metode pengukuran dan kehilangan berat perlu distandarisasi seperti, penggunaan metode kantong drip, filter paper press, atau centrifuge dapat menghasilkan perbedaan interpretasi dalam studi kuantitatif (Barbut, 2024).

Berbagai faktor ante mortem dan pasca mortem memediasi perubahan karakteristik kimia dan fisik tersebut. Faktor genetik, nutrisi pakan, stres sebelum pematangan, kecepatan pendinginan, serta perlakuan selama transportasi dan penyimpanan dapat mengubah pH, komposisi lemak, dan tingkat oksidasi sehingga mempengaruhi susut berat, tekstur, dan keamanan mikrobiologis daging. Studi komparatif antara sistem pemeliharaan menunjukkan bahwa mobilitas dan kondisi lingkungan selama pemeliharaan dapat memodulasi *shear force* dan *cooking loss*, sedangkan kondisi penyimpanan berdampak pada kadar air produk yang dijual di pasar (Michalczuk et al., 2014).

2.4.2. Kadar Protein

Ultrasonik daya tinggi mempengaruhi protein otot melalui mekanisme kavitasi akustik, di mana pembentukan dan implosi gelembung menghasilkan gaya geser, mikrojet, serta hotspot suhu dan tekanan pada skala mikro. Hal ini dapat merusak struktur jaringan dan meningkatkan ekstraksi protein myofibrillar, sehingga menyebabkan peningkatan kelarutan protein yang sering diamati setelah perlakuan ultrasonik pada daging unggas (Roobab et al., 2024). Denaturasi protein akibat ultrasonik terjadi karena kombinasi tegangan mekanik dan reaksi oksidatif yang dipicu oleh kavitasi. Perubahan struktur sekunder dan tersier dapat dideteksi melalui teknik seperti FTIR, DSC, yang melibatkan peluruhan heliks α , pembentukan cross link, serta oksidasi residu seperti metionin, sistein, dan tirosin, yang mengubah sifat fungsional protein, termasuk kelarutan, kemampuan emulsifikasi, dan gelasi. Tingkat denaturasi sangat bergantung pada parameter operasional, seperti frekuensi, intensitas atau daya, durasi, serta suhu, di mana thermosonication dapat memperkuat efek tersebut (Collins et al., 2021).

Penelitian sebelumnya yang relevan meliputi, Roobab et al. (2024) yang menemukan bahwa sonikasi terkendali pada daging ayam menurunkan kekerasan sambil memodifikasi profil asam amino. Wang et al. (2024) dan Li (2024) melaporkan peningkatan ekstraktibilitas myofibrillar serta perubahan struktur sekunder protein setelah perlakuan ultrasonik intensitas tinggi serta studi tinjauan (Abdulstar, 2023; Thirunavookarasu, 2022) yang menggambarkan efek sinergis antara suhu moderat dan kavitasi terhadap denaturasi serta inaktivasi enzim dan mikroba. Secara keseluruhan, ultrasonik dapat berfungsi

sebagai alat untuk memodifikasi kadar dan fungsi protein serta mutu daging ayam asalkan parameter operasional di optimalkan untuk mencapai tujuan tertentu seperti pelunakan atau preservasi nutrisi.

2.4.3. Susut Berat

Susut berat merupakan fenomena kehilangan air atau cairan dari jaringan otot setelah pemotongan yang terjadi selama penyimpanan atau periode post mortem awal. Proses ini terjadi ketika air intraseluler dan ekstraseluler yang sebelumnya terikat mulai keluar ke ruang ekstraseluler atau permukaan, sebagai akibat dari perubahan struktur sel otot dan integritas membran (Yousef et al., 2023). Tingkat *drip loss* dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk integritas membran sel otot, kecepatan serta tingkat penurunan pH post mortem dimana yang memengaruhi kontraksi miofibril dan kehilangan air, perlakuan pra pemotongan seperti stres pada ternak, serta kondisi penyimpanan atau penanganan daging, seperti suhu, dan durasi penyimpanan. *Drip loss* diukur menggunakan metode gravimetrik, yaitu dengan menghitung selisih berat daging awal dan berat setelah penyimpanan atau periode tertentu yang berfungsi sebagai indikator kemampuan daging untuk mempertahankan (Ji et al., 2024).

Perlakuan ultrasonik daya tinggi dapat memengaruhi retensi air pada daging, di mana dalam beberapa kasus dapat menurunkan *drip loss* dan meningkatkan *water holding capacity*. Ultrasonik diduga menyebabkan perubahan struktur protein di otot, memfasilitasi hidrasi protein, dan memungkinkan air terikat lebih baik dalam matriks jaringan muskular, sehingga air tidak mudah keluar (Xu et al., 2021). Sebagai contoh empiris, penelitian daging unggas yang dimarinasi, peningkatan daya ultrasonik menurunkan

persentase *drip loss* yang menunjukkan bahwa ultrasonik dapat meningkatkan retensi air selama penyimpanan. Dengan demikian, *drip loss* tidak hanya berkaitan dengan kehilangan berat semata, tetapi juga mencerminkan perubahan fisiologis dan biokimia pada jaringan otot, serta perlakuan seperti ultrasonik dapat berperan sebagai alat untuk memodifikasi retensi air, yang penting dalam menjaga kualitas daging.

2.4.4. pH

Ultrasonik dapat mengubah pH jaringan daging melalui dua mekanisme utama, yaitu efek fisik-mekanis dari kavitasi yang merusak membran sel dan melepaskan komponen intraseluler, seperti ion, peptida, dan enzim, sehingga mengganggu keseimbangan asam basa dan reaksi kimia sekunder yang dipicu oleh kavitasi, yaitu pembentukan radikal bebas ($\text{OH}\bullet$) serta oksidasi senyawa nitrogen atau asam amino yang menghasilkan produk asam atau basa tergantung pada substratnya. Namun, berbagai studi eksperimental melaporkan bahwa perubahan pH yang terjadi setelah sonikasi pada kondisi terkontrol umumnya kecil atau tidak signifikan dan efek pH yang lebih jelas sering muncul apabila sonikasi dikombinasikan dengan pemanasan, enzim, atau perlakuan kimia lainnya (Roobab et al., 2024).

pH daging merupakan faktor penting bagi pertumbuhan mikroba, karena pH memengaruhi ketersediaan nutrisi, aktivitas enzim mikroba, serta permeabilitas membran yang secara umum, banyak patogen dan mikroba pembusuk tumbuh optimal pada pH netral hingga sedikit asam (sekitar 5,5–7,5) sehingga peningkatan pH misalnya menuju netral atau alkalis yang dapat mempercepat pertumbuhan mikroba dan memperpendek masa simpan,

sedangkan penurunan pH menjadi lebih asam dapat menghambat beberapa bakteri tetapi mungkin mendukung mikroba asidotoleran. Oleh karena itu, setiap perubahan pH yang disebabkan oleh proses ultrasonik memiliki implikasi pada dinamika mikroflora selama penyimpanan (Qian et al., 2023). sehingga peningkatan pH misalnya menuju netral atau alkalis yang dapat mempercepat pertumbuhan mikroba dan memperpendek masa simpan, sedangkan penurunan pH menjadi lebih asam dapat menghambat beberapa bakteri tetapi mungkin mendukung mikroba asidotoleran. Oleh karena itu, setiap perubahan pH yang disebabkan oleh proses tertentu seperti, ultrasonik memiliki implikasi pada dinamika mikroflora selama penyimpanan (Qian et al., 2023).

Perubahan pH yang dipicu proses ultrasonik berdampak langsung pada mutu daging, di mana pH memengaruhi tekstur, warna dan sifat sensorik. Dalam konteks ultrasonik, karena perubahan pH yang dilaporkan biasanya kecil pada perlakuan terkontrol, efek ultrasonik pada mutu seperti peningkatan kelembutan, perubahan warna, dan pengurangan *cooking loss* lebih sering dikaitkan dengan perubahan struktur protein dan proteolisis daripada perubahan pH kecuali sonikasi dikombinasikan dengan suhu, enzim, atau agen kimia yang mengubah pH secara lebih signifikan (Prempeh et al., 2025).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan kajian eksperimental laboratorium dengan pendekatan kuantitatif, di mana seluruh data diperoleh melalui proses perlakuan terhadap sampel daging ayam. Perlakuan utama melibatkan paparan gelombang ultrasonik dengan variasi tingkat intensitas dan durasi paparan yang diterapkan langsung pada sampel untuk mengamati respons perubahan biologis dan fisik yang terjadi. Penelitian ini menerapkan Rancangan Acak Lengkap (RAL) guna menguji pengaruh masing-masing faktor perlakuan serta interaksinya terhadap variabel terikat, yakni pertumbuhan bakteri *Escherichia coli*, kadar protein, susut berat, dan pH daging ayam.

3.2. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan April – Mei 2026 di Laboratorium Biofisika Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.3. Alat dan Bahan

3.3.1. Alat

Adapun alat- alat yang digunakan dalam penelitian, yaitu:

- | | |
|-------------------------|-----------------------|
| 1. Ultrasonic Sonicator | 16. Spektrofotometer |
| 2. Power Supply | 17. Tabung Reaksi |
| 3. Transduser | 18. Rak Tabung Reaksi |
| 4. Kabel Penghubung | 19. Botol Flakon |
| 5. Termometer | 20. Erlenmeyer |

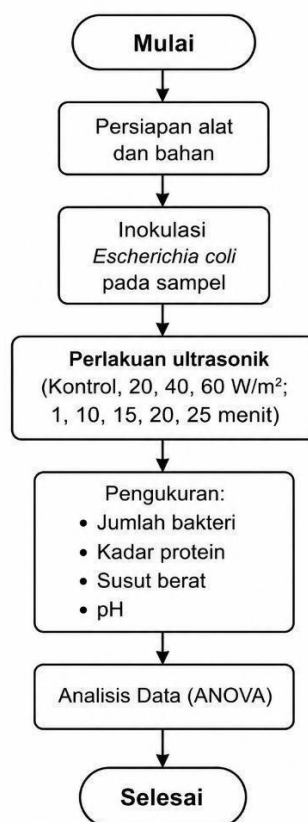
- | | |
|-----------------------|----------------------|
| 6. pH meter | 21. Beaker Glass |
| 7. Timbangan Analitik | 22. Mikropipet + tip |
| 8. Autoklaf | 23. Pipet Ukur |
| 9. Inkubator | 24. Cawan Petri |
| 10. Laminar Air Flow | 25. Jarum Ose |
| 11. Oven pengering | 26. Pinset |
| 12. Desiccator | 27. Spatula |
| 13. Bunsen | 28. Pengaduk Kaca |
| 14. Mug + Alu | 29. Timer |
| 15. Colony Counter | |

3.3.2. Bahan

Adapun alat- alat yang digunakan dalam penelitian, yaitu:

- | | |
|------------------------------------|-------------------------|
| 1. Daging Ayam (bagian dada) | 7. Larutan alkohol 70 % |
| 2. Bakteri <i>Escherichia coli</i> | 8. Plastik |
| 3. Aquades | 9. Tissue Laboratorium |
| 4. Media Nutrient Agar (NA) | 10. Sarung Tangan |
| 5. Media Nutrient Broth (NB) | 11. Masker |
| 6. Larutan NaCl 0,85 % | |

3.4. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

3.5. Rancangan Penelitian

Penelitian ini dirancang untuk mengevaluasi dampak paparan gelombang ultrasonik terhadap pertumbuhan bakteri *Escherichia coli*, kadar protein, susut berat, serta pH pada daging ayam. Sampel penelitian terdiri dari potongan dada ayam yang telah distandardisasi ukurannya 2x1x1 cm. Setiap potong sampel diinokulasi dengan suspensi *Escherichia coli* yang distandardisasi pada konsentrasi 10^6 CFU/g, kemudian diberikan perlakuan ultrasonik pada empat tingkat intensitas, yaitu, control, intensitas 20 W/m², 40 W/m² dan 60 W/m² dengan waktu 1, 10, 15, 20, 25 menit sebanyak 5 kali pengulangan. Parameter daya, distribusi probe, jarak

probe dari sampel, serta suhu permukaan sebelum dan sesudah perlakuan dicatat secara lengkap.

Setelah perlakuan, sampel dianalisis. Pertama, pertumbuhan *Escherichia coli* diukur menggunakan metode pengenceran bertahap dan penyebaran pada media agar dengan hasil dilaporkan sebagai log CFU/ml. Kedua, kadar protein ditentukan melalui metode biuret. Ketiga, susut berat dihitung sebagai persentase perubahan massa relatif terhadap bobot awal. Keempat, pH diukur menggunakan pH-meter dengan mencampurkan daging dalam 90 mL aquades. Setiap kombinasi perlakuan diulang beberapa kali untuk meminimalkan bias dan meningkatkan reliabilitas data. Hasil pengamatan selanjutnya dianalisis secara statistik sehingga menghasilkan kesimpulan yang valid mengenai dampak paparan gelombang ultrasonik terhadap kualitas mikrobiologis, kimia dan fisik daging ayam.

3.6. Prosedur Penelitian

Langkah – Langkah yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

3.6.1. Persiapan

1. Membeli daging Ayam bagian dada yang masih fresh di salah satu pasar kota Malang.
2. Daging Ayam dipotong sesuai dengan ukuran yaitu, 2 x 1 x 1 cm.
3. Sterilisasi daging Ayam menggunakan alkohol 70%.
4. Label setiap potongan dan simpan dalam wadah steril.
5. Sterilisasi alat-alat gelas yang digunakan pada suhu 121°C selama 15 menit di autoklaf dan bersihkan area kerja dengan alkohol 70%.

3.6.2. Pertumbuhan *Escherichia coli*

1. Persiapkan isolat *Escherichia coli* pada plat.

2. Siapkan media cair, seperti NB, serta media padat, seperti NA.
3. Sterilkan media menggunakan autoklaf. Inokulasi bakteri ke dalam media cair di dalam laminar air flow.
4. Inkubasi media cair pada suhu 37°C selama 18–24 jam hingga kultur menjadi keruh, menunjukkan fase pertumbuhan logaritmik.
5. Lakukan pengenceran untuk memperoleh populasi bakteri yang terukur (10^{-6}).
6. Tanam pada media padat menggunakan plate.
7. Inkubasi plat pada suhu 37°C selama 24 jam.
8. Hitung koloni yang tumbuh dalam CFU/ml.

3.6.3. Inokulasi *Escherichia coli* ke Daging Ayam

1. Persiapkan suspensi bakteri *Escherichia coli* dalam larutan NaCl 0,85% dengan konsentrasi sekitar 10^6 CFU/ml.
2. Teteskan suspensi *Escherichia coli* pada permukaan daging dengan volume 1 ml.
3. Ratakan suspensi secara merata di seluruh permukaan daging.
4. Diamkan sampel selama 10 –15 menit untuk memungkinkan bakteri melekat.
5. Simpan sampel dalam wadah steril dan siapkan untuk diberikan perlakuan ultrasonik.

3.6.4. Perlakuan Ultrasonik

1. Letakkan potongan daging ke dalam wadah steril
2. Jalankan paparan ultrasonik sesuai kelompok perlakuan.
3. Catat suhu sebelum dan sesudah selama paparan.

4. Setelah selesai paparan, dianalisis perhitungan jumlah bakteri
5. *Escherichia coli*, kadar protein, susut berat dan pH.

3.6.5. Perhitungan Jumlah Bakteri *Escherichia coli*

1. Hitung koloni bakteri yang di letakkan pada cawan
2. Laporkan hasil perhitungan koloni menggunakan rumus

$$\text{CFU/ml} = \text{Volume yang diplate (mL)} / \text{Jumlah koloni} \times \text{Dilusi total}$$

3.6.6. Pengukuran Jumlah Kadar Protein

1. Timbang daging yang sudah dipapari dan homogenkan dengan 9 ml aquades yang pengeceranya 1:10.
2. Diambil filtrat sebagai sampel.
3. Masukkan 1 mL sampel ke tabung dan tambahkan 3 mL reagen biuret.
4. Diamkan selama 30 menit hingga warna ungu terbentuk.
5. Ukur absorbansi pada 540 nm.

3.6.7. Pengukuran Nilai Susut Berat

1. Timbang berat awal (W0) dan berat akhir (W1) setiap potongan daging sebelum dan sesudah perlakuan gelombang ultrasonik.
2. Pengukuran nilai susut berat menggunakan rumus $\text{Susut berat (\%)} = ((W0 - W1) / W0) \times 100$.

3.6.8. Pengukuran Nilai pH

1. Dihomogenkan daging yang sudah dipapari dengan aquades 90 ml.
2. Ukur pH homogen menggunakan pH meter dan dilakukan pengulangan selama 5 kali untuk diambil rata-rata.

3.7. Teknik Pengumpulan Data

3.7.1. Teknik Pengumpulan Data Jumlah Bakteri

Pengumpulan data jumlah bakteri *Escherichia coli* pada daging ayam dengan paparan gelombang ultrasonik sebagai perlakuan awal sebelum dilakukan penghitungan bakteri standar. Setelah perlakuan ultrasonik pada setiap kombinasi frekuensi dan waktu, Jumlah koloni yang tumbuh akan dihitung menggunakan metode *plate count*, dan hasilnya dinyatakan sebagai *Colony Forming Units* per mili liter (CFU/ml) sampel. Variasi hasil penghitungan bakteri ini memberikan data empiris mengenai efisiensi pelepasan bakteri oleh gelombang ultrasonik pada intensitas dan waktu yang berbeda, yang mana data ini penting untuk mengoptimalkan prosedur pengumpulan sampel dan pemantauan kualitas kebersihan produk pangan. Berikut data jumlah bakteri yang dicatat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data Jumlah Bakteri *Escherichia coli*

Perlakuan		Jumlah Sel Bakteri (10 ⁶ CFU/ml)					Jumlah Rata-Rata
Intensitas	Waktu	1	2	3	4	5	
Kontrol							
20 W/m ²	1 menit						
	10 menit						
	15 menit						
	20 menit						
	25 menit						
40 W/m ²	1 menit						
	10 menit						
	15 menit						
	20 menit						
	25 menit						
60 W/m ²	1 menit						
	10 menit						
	15 menit						
	20 menit						
	25 menit						

3.7.2. Teknik Pengumpulan Data Kadar Protein

Dalam penelitian ini, sampel daging ayam dikenai intensitas 20 W/m², 40 W/m², 60 W/m², dengan variasi waktu paparan 1, 10, 15, 20 dan 25 menit. Pemilihan intensitas dan waktu tersebut untuk mengoptimalkan efek kavitasi, yang mampu melisiskan membran sel tanpa menyebabkan denaturasi atau degradasi protein yang signifikan. Setelah perlakuan ultrasonik, larutan homogenat dipisahkan melalui sentrifugasi, dan supernatan yang kaya protein dikumpulkan. Kadar protein total dalam supernatan tersebut kemudian diukur menggunakan metode standar, seperti metode biuret untuk menentukan nitrogen total yang dikonversi menjadi protein. Berikut data jumlah kadar protein yang dicatat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data Jumlah Kadar Protein

Perlakuan		Kadar Protein (%)					Jumlah Rata–Rata
Intensitas	Waktu	1	2	3	4	5	
Kontrol							
20 W/m ²	1 menit						
	10 menit						
	15 menit						
	20 menit						
	25 menit						
40 W/m ²	1 menit						
	10 menit						
	15 menit						
	20 menit						
	25 menit						
60 W/m ²	1 menit						
	10 menit						
	15 menit						
	20 menit						
	25 menit						

3.7.3. Teknik Pengumpulan Data Susut Berat

Pengumpulan data susut berat pada daging ayam yang terpapar gelombang ultrasonik untuk menilai perubahan sifat fisik terutama kehilangan kelembaban atau cairan ekstraseluler akibat perlakuan tersebut. Dalam penelitian ini, sampel daging ayam diukur berat awalnya sebelum dilakukan sonikasi. Selanjutnya, sampel diberikan perlakuan ultrasonik dengan variasi intensitas sebesar 20 W/m^2 , 40 W/m^2 , 60 W/m^2 , serta variasi waktu paparan 1, 10, 15, 20 dan 25 menit yang kemudian menjadi data kuantitatif untuk menunjukkan kombinasi intensitas dan waktu ultrasonik memengaruhi kehilangan massa serta kandungan air dalam daging. Berikut data susut berat yang dicatat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Data Nilai Susut Berat

Perlakuan		Susut Berat					Jumlah Rata–Rata
Intensitas	Waktu	1	2	3	4	5	
Kontrol							
20 W/m^2	1 menit						
	10 menit						
	15 menit						
	20 menit						
	25 menit						
40 W/m^2	1 menit						
	10 menit						
	15 menit						
	20 menit						
	25 menit						
60 W/m^2	1 menit						
	10 menit						
	15 menit						
	20 menit						
	25 menit						

3.7.4. Teknik Pengumpulan Data Nilai pH

Pengukuran nilai pH pada sampel daging ayam setelah perlakuan gelombang ultrasonik untuk menilai perubahan keasaman atau kebasaaan yang

disebabkan oleh energi mekanik dan termal yang dihasilkan. Dalam penelitian ini, sampel daging ayam dikenai intensitas 20 W/m^2 , 40 W/m^2 , 60 W/m^2 , dengan variasi waktu paparan 1, 10, 15, 20 dan 25 menit. Data nilai pH memiliki signifikansi penting karena perubahan pH pada daging ayam berkaitan erat dengan kualitas penyimpanan, kemampuan menahan air dan dapat mengevaluasi sejauh mana energi ultrasonik pada intensitas serta durasi memicu perubahan metabolik atau struktural sehingga memengaruhi kestabilan pH daging ayam. Berikut data nilai pH yang dicatat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Data Jumlah Nilai pH

Perlakuan		Nilai pH					Jumlah Rata–Rata
Intensitas	Waktu	1	2	3	4	5	
Kontrol							
20 W/m^2	1 menit						
	10 menit						
	15 menit						
	20 menit						
	25 menit						
40 W/m^2	1 menit						
	10 menit						
	15 menit						
	20 menit						
	25 menit						
60 W/m^2	1 menit						
	10 menit						
	15 menit						
	20 menit						
	25 menit						

3.8. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dalam penelitian ini menyelidiki dampak paparan gelombang ultrasonik dengan variasi intensitas 20 W/m^2 , 40 W/m^2 , dan 60 W/m^2 serta waktu 1, 10, 15, 20 dan 25 menit terhadap parameter kualitas daging ayam

seperti pertumbuhan *Escherichia coli*, kadar protein, susut berat, dan pH yang melibatkan analisis varians (ANOVA).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Hasil Penelitian

4.1.1. Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Jumlah Bakteri

Escherichia coli pada Daging Ayam.

Dari hasil penelitian pengaruh paparan gelombang ultrasonik terhadap jumlah bakteri pada daging ayam disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik Terhadap Jumlah Bakteri

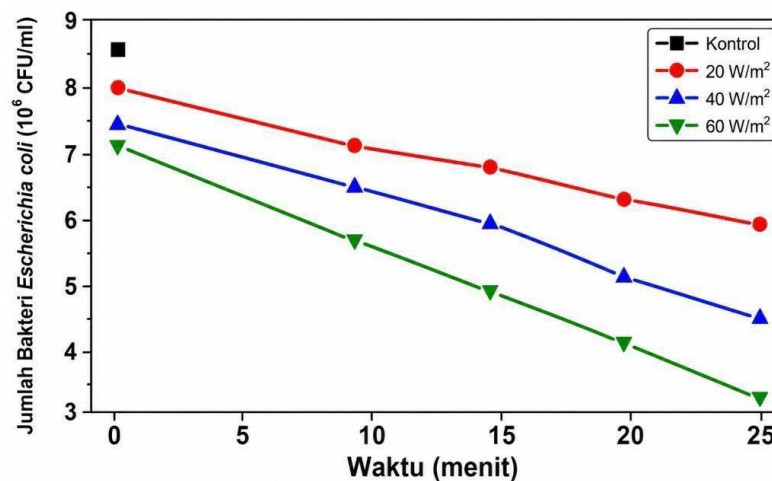
Perlakuan		Jumlah Sel Bakteri (10^6 CFU/ml)					Jumlah Rata-Rata
Intensitas	Waktu	1	2	3	4	5	
Kontrol		8.2	8.4	8.3	8.5	8.4	$8.4 \pm 0,114$
20 W/m ²	1 menit	7.9	8.0	7.8	7.9	8.0	$7.9 \pm 0,084$
	10 menit	7.2	7.3	7.1	7.2	7.3	$7.2 \pm 0,084$
	15 menit	6.8	6.9	6.7	6.8	6.9	$6.8 \pm 0,084$
	20 menit	6.3	6.4	6.2	6.3	6.4	$6.3 \pm 0,084$
	25 menit	5.9	6.0	5.8	5.9	6.0	$5.9 \pm 0,084$
40 W/m ²	1 menit	7.5	7.6	7.4	7.5	7.6	$7.5 \pm 0,084$
	10 menit	6.6	6.7	6.5	6.6	6.7	$6.6 \pm 0,084$
	15 menit	5.9	6.0	5.8	5.9	6.0	$5.9 \pm 0,084$
	20 menit	5.1	5.2	5.0	5.1	5.2	$5.1 \pm 0,084$
	25 menit	4.5	4.6	4.4	4.5	4.6	$4.5 \pm 0,084$
60 W/m ²	1 menit	7.1	7.2	7.0	7.1	7.2	$7.1 \pm 0,084$
	10 menit	6.0	6.1	5.9	6.0	6.1	$6.0 \pm 0,084$
	15 menit	5.0	5.1	4.9	5.0	5.1	$5.0 \pm 0,084$
	20 menit	4.1	4.2	4.0	4.1	4.2	$4.1 \pm 0,084$
	25 menit	3.3	3.4	3.2	3.3	3.4	$3.3 \pm 0,084$

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa jumlah bakteri *Escherichia coli* pada sampel kontrol menunjukkan nilai rata – rata tertinggi sebesar $8,4 \times 10^6$ CFU/ml. Setelah diberikan perlakuan gelombang ultrasonik, jumlah bakteri mengalami penurunan secara bertahap pada seluruh variasi intensitas dan waktu paparan. Pada intensitas 20 W/m², jumlah bakteri menurun dari $7,9 \times 10^6$ CFU/ml pada 1 menit menjadi $5,9 \times 10^6$ CFU/ml pada 25 menit. Penurunan ini menunjukkan bahwa semakin lama paparan ultrasonik diberikan, semakin besar efek kerusakan

sel bakteri akibat proses kavitasi meskipun penurunannya masih tergolong moderat karena intensitas yang digunakan relatif rendah.

Pada intensitas 40 W/m² penurunan jumlah bakteri terjadi lebih besar dibandingkan perlakuan 20 W/m². Rata-rata jumlah bakteri menurun dari $7,5 \times 10^6$ CFU/ml pada 1 menit menjadi $4,5 \times 10^6$ CFU/ml pada 25 menit. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan intensitas ultrasonik mampu meningkatkan efektivitas inaktivasi bakteri melalui terbentuknya gelembung kavitasi dan tekanan mekanik yang lebih kuat sehingga membran sel bakteri lebih mudah rusak.

Perlakuan dengan intensitas 60 W/m² memberikan hasil penurunan jumlah bakteri paling tinggi. Nilai rata-rata bakteri turun dari $7,1 \times 10^6$ CFU/ml pada 1 menit menjadi $3,3 \times 10^6$ CFU/ml pada 25 menit. Peningkatan intensitas dan lama paparan gelombang ultrasonik mampu meningkatkan efektivitas penurunan jumlah bakteri *Escherichia coli* pada daging ayam. Hal ini terjadi akibat peningkatan aktivitas kavitasi akustik yang menghasilkan gaya mekanik berupa tekanan, gaya geser, dan gelombang kejut sehingga menyebabkan kerusakan membran sel bakteri serta menghambat pertumbuhannya. Dengan demikian, teknologi ultrasonik berpotensi sebagai metode dekontaminasi non - termal dalam meningkatkan keamanan mikrobiologis daging ayam.



Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Jumlah Bakteri *Escherichia coli*

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa peningkatan intensitas dan durasi paparan gelombang ultrasonik berpengaruh terhadap penurunan jumlah bakteri *Escherichia coli* pada daging ayam. Sampel kontrol tanpa perlakuan ultrasonik memiliki jumlah bakteri tertinggi, yaitu sebesar $8,4 \times 10^6$ CFU/ml. Setelah diberikan perlakuan ultrasonik, jumlah bakteri *Escherichia coli* mengalami penurunan pada seluruh tingkat intensitas yang digunakan. Penurunan jumlah bakteri terlihat semakin besar pada perlakuan dengan intensitas yang lebih tinggi dengan waktu paparan lama yang menunjukkan bahwa efektivitas gelombang ultrasonik dalam menghambat atau menginaktivasi bakteri *Escherichia coli* dipengaruhi oleh besarnya energi dan durasi paparan yang diberikan.

Pada intensitas 20 W/m², jumlah bakteri menurun secara bertahap dari $8,0 \times 10^6$ CFU/ml pada waktu paparan 1 menit menjadi $5,9 \times 10^6$ CFU/ml pada 25 menit. Penurunan yang lebih besar terjadi pada intensitas 40 W/m², yaitu dari $7,5 \times 10^6$ CFU/ml pada 1 menit menjadi $4,5 \times 10^6$ CFU/ml pada 25 menit. Sementara itu, intensitas 60 W/m² menunjukkan efektivitas tertinggi dalam menurunkan

jumlah bakteri dengan nilai yang berkurang dari $7,1 \times 10^6$ CFU/g pada 1 menit menjadi $3,3 \times 10^6$ CFU/g pada 25 menit.

Pola penurunan jumlah bakteri menunjukkan peningkatan intensitas gelombang ultrasonik dan lamanya waktu paparan berpengaruh terhadap efektivitas inaktivasi bakteri *Escherichia coli*. Semakin tinggi intensitas dan semakin lama waktu paparan yang diberikan, semakin besar kemampuan gelombang ultrasonik dalam menurunkan jumlah bakteri.

Tabel 4.2 Uji Normalitas SPSS Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Jumlah Bakteri *Escherichia coli*

Tests of Normality							
	Intensitas	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Bakteri <i>Escherichia coli</i>	20	.131	25	.200 [*]	.932	25	.094
	40	.152	25	.140	.919	25	.047
	60	.148	25	.163	.913	25	.036
	Kontrol	.237	5	.200 [*]	.961	5	.814

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Dilihat dari Tabel 4.2 dilakukan Uji normalitas untuk mengetahui distribusi data jumlah bakteri *Escherichia coli*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perlakuan kontrol dan intensitas 20 W/m² memiliki nilai signifikansi masing-masing sebesar 0,814 dan 0,094 ($p > 0,05$) sehingga data berdistribusi normal. Sedangkan pada perlakuan intensitas 40 W/m² dan 60 W/m² diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,047 dan 0,036 ($p < 0,05$) yang menunjukkan data pada kedua perlakuan tersebut tidak berdistribusi normal. Secara keseluruhan, hasil uji normalitas menunjukkan bahwa tidak semua kelompok perlakuan memenuhi asumsi normalitas sehingga diperlukan pengujian asumsi statistik homogenitas yang disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Uji Homogenitas SPSS Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Jumlah Bakteri *Escherichia coli*

Bakteri <i>Escherichia coli</i>	Based on Mean	.091	15	64	1.000
	Based on Median	.038	15	64	1.000
	Based on Median and with adjusted df	.038	15	58.783	1.000
	Based on trimmed mean	.089	15	64	1.000

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Dependent variable: Bakteri *Escherichia coli*

b. Design: Intercept + Intensitas + Waktu + Intensitas * Waktu

c. Confidence Interval: 0%

Pengujian dilakukan menggunakan metode *Levene's Test of Equality of Error Variances* dengan kriteria apabila nilai signifikansi ($> 0,05$) maka data dinyatakan homogen. Berdasarkan hasil uji homogenitas, diperoleh nilai signifikansi pada masing-masing sebesar 1,000. Nilai tersebut menunjukkan bahwa seluruh nilai signifikansi lebih besar dari 0,05 ($> 0,05$) sehingga data jumlah bakteri *Escherichia coli* pada setiap perlakuan intensitas ultrasonik memiliki varians yang homogen. Dengan demikian, data telah memenuhi asumsi homogenitas dan dapat dilanjutkan dengan uji ANOVA dua arah untuk mengetahui pengaruh intensitas dan waktu paparan gelombang ultrasonik terhadap jumlah bakteri *Escherichia coli* pada daging ayam yang disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Uji Anova SPSS Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Jumlah Bakteri *Escherichia coli*

Variasi	df	F hitung	Sig.	Keterangan
Intensitas	2	2508,927	$< 0,001$	Berpengaruh sangat nyata
Waktu	4	2722,712	$< 0,001$	Berpengaruh sangat nyata
Intensitas x Waktu	8	90,847	$< 0,001$	Berpengaruh sangat nyata
Error	64	-	-	Berpengaruh sangat nyata

Hasil analisis ANOVA menunjukkan intensitas gelombang ultrasonik berpengaruh sangat nyata terhadap jumlah bakteri *Escherichia coli* dengan nilai

signifikansi $< 0,001$ ($p < 0,05$) waktu paparan juga memberikan pengaruh yang sangat nyata dengan nilai signifikansi $< 0,001$ ($p < 0,05$). Selain itu, hubungan intensitas dan waktu paparan menunjukkan pengaruh yang sangat nyata terhadap jumlah bakteri *Escherichia coli* pada daging ayam.

Hasil ini menunjukkan bahwa penurunan jumlah bakteri tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya intensitas ultrasonik atau lamanya waktu paparan tetapi kombinasi keduanya. Semakin tinggi intensitas dan semakin lama waktu paparan yang diberikan, jumlah bakteri *Escherichia coli* cenderung semakin menurun dimana hasil tersebut menunjukkan bahwa perlakuan gelombang ultrasonik efektif dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* pada daging ayam melalui mekanisme kavitasi yang dapat merusak struktur sel mikroorganisme. Setelah uji ANOVA dilakukan analisis mengenai uji post hoc tukey untuk mengetahui hubungan intensitas dan waktu yang dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan 4.6.

Tabel 4.5 Uji Post Hoc Tukey Hubungan Intensitas dengan Jumlah Bakteri

Intensitas	Rata – Rata Jumlah Bakteri	Notasi
60 W/m ²	5, 120	a
40 W/m ²	5, 940	b
20 W/m ²	6, 840	c
Kontrol	8, 360	d

Tabel 4. 6 Uji Post Hoc Tukey Hubungan Waktu dengan Jumlah Bakteri

Waktu Paparan	Rata – Rata Jumlah Bakteri	Notasi
25 menit	4, 587	a
20 menit	5, 187	b
15 menit	5, 920	c
10 menit	6, 620	d
1 menit	7, 520	e

Kontrol	8,360	f
---------	-------	---

Berdasarkan hasil uji lanjut post hoc tukey, seluruh perlakuan intensitas gelombang ultrasonik menunjukkan perbedaan yang signifikan terhadap jumlah bakteri *Escherichia coli* ($p < 0,05$). Perlakuan kontrol menghasilkan rata-rata jumlah bakteri tertinggi sebesar $8,36 \times 10^6$ CFU/ml, sedangkan perlakuan dengan intensitas ultrasonik 60 W/m^2 menghasilkan rata-rata jumlah bakteri terendah sebesar $5,12 \times 10^6$ CFU/ml. Temuan ini mengindikasikan bahwa peningkatan intensitas gelombang ultrasonik berkontribusi terhadap peningkatan efektivitas inaktivasi bakteri *Escherichia coli*.

Uji post hoc tukey pada faktor waktu menunjukkan seluruh waktu paparan berbeda nyata satu sama lain ($p < 0,05$). Rata - rata jumlah bakteri mengalami penurunan seiring bertambahnya lama paparan ultrasonik dari $8,36 \times 10^6$ CFU/ml kontrol menjadi $4,587 \times 10^6$ CFU/ml paparan 25 menit. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin lama paparan gelombang ultrasonik yang diberikan semakin besar kemampuan ultrasonik dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* pada daging ayam.

4.1.2. Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Kadar Protein pada Daging Ayam

Dari hasil penelitian pengaruh paparan gelombang ultrasonik terhadap kadar protein pada daging ayam disajikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Kadar Protein

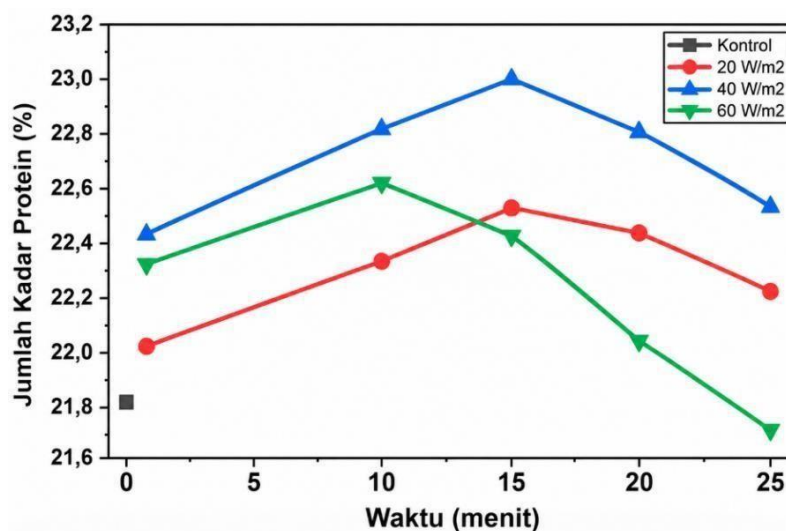
Perlakuan		Kadar Protein (%)					Jumlah Rata–Rata
Intensitas	Waktu	1	2	3	4	5	
Kontrol		21,8	21,7	21,9	21,8	21,7	21,8 ± 0,084
20 W/m ²	1 menit	22,0	22,1	22,0	22,1	22,0	22,0 ± 0,055
	10 menit	22,3	22,4	22,2	22,3	22,4	22,3 ± 0,084
	15 menit	22,5	22,6	22,4	22,5	22,6	22,5 ± 0,084
	20 menit	22,4	22,5	22,3	22,4	22,5	22,4 ± 0,084
	25 menit	22,2	22,3	22,1	22,2	22,3	22,2 ± 0,084
40 W/m ²	1 menit	22,4	22,5	22,4	22,5	22,4	22,4 ± 0,055
	10 menit	22,8	22,9	22,7	22,8	22,9	22,8 ± 0,084
	15 menit	23,0	23,1	22,9	23,0	23,1	23,0 ± 0,084
	20 menit	22,8	22,9	22,7	22,8	22,9	22,8 ± 0,084
	25 menit	22,5	22,6	22,4	22,5	22,6	22,5 ± 0,084
60 W/m ²	1 menit	22,3	22,4	22,2	22,3	22,4	22,3 ± 0,084
	10 menit	22,6	22,7	22,5	22,6	22,7	22,6 ± 0,084
	15 menit	22,4	22,5	22,3	22,4	22,5	22,4 ± 0,084
	20 menit	22,0	22,1	21,9	22,0	22,1	22,0 ± 0,084
	25 menit	21,7	21,8	21,6	21,7	21,8	21,7 ± 0,084

Tabel 4.7 menunjukkan bahwa kadar protein pada daging ayam kontrol memiliki rata-rata sebesar 21,8%. Setelah diberikan paparan gelombang ultrasonik, kadar protein cenderung meningkat hampir seluruh perlakuan dibandingkan kontrol. Pada intensitas 20 W/m² kadar protein meningkat dari 22,0% di 1 menit menjadi 22,3% pada 10 menit dan mencapai nilai tertinggi sebesar 22,5% pada 15 menit. Setelah itu kadar protein sedikit menurun menjadi 22,4% pada 20 menit dan 22,2% pada 25 menit. Peningkatan ini menunjukkan bahwa paparan ultrasonik mampu membantu pelepasan protein dari jaringan

daging melalui proses kavitasi yang menyebabkan struktur sel menjadi lebih terbuka sehingga protein lebih mudah terdeteksi.

Pada intensitas 40 W/m² peningkatan kadar protein lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya dimana nilai kadar protein meningkat dari 22,4% pada 1 menit menjadi 22,8% pada 10 menit dan mencapai nilai tertinggi sebesar 23,0% pada 15 menit. Setelah itu kadar protein mulai menurun menjadi 22,8% pada 20 menit dan 22,5% pada 25 menit. Hasil ini menunjukkan bahwa intensitas 40 W/m² dengan waktu paparan 15 menit merupakan kondisi optimum untuk meningkatkan kadar protein karena energi ultrasonik cukup efektif merusak jaringan tanpa menyebabkan kerusakan protein yang berlebihan.

Pada intensitas 60 W/m² kadar protein mengalami peningkatan pada awal perlakuan yaitu sebesar 22,3% di 1 menit dan 22,6% pada 10 menit, kemudian menurun menjadi 22,4% pada 15 menit, 22,0% pada 20 menit, dan 21,7% pada 25 menit. Penurunan pada intensitas tinggi dan waktu paparan yang lebih lama menunjukkan bahwa perlakuan ultrasonik berlebihan dapat menyebabkan perubahan atau denaturasi protein sehingga kadar protein yang terukur menjadi lebih rendah. Secara keseluruhan, data menunjukkan bahwa gelombang ultrasonik dapat meningkatkan kadar protein daging ayam hingga mencapai titik optimum namun penggunaan intensitas terlalu tinggi dan waktu perlakuan terlalu lama menyebabkan penurunan kadar protein. Perlakuan terbaik berdasarkan hasil penelitian diperoleh pada intensitas 40 W/m² selama 15 menit karena menghasilkan kadar protein tertinggi sebesar 23,0%.



Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik dengan Kadar Protein

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa kadar protein daging ayam mengalami perubahan setelah diberikan perlakuan gelombang ultrasonik. Sebagai pembanding, sampel kontrol memiliki kadar protein sebesar 21,8%. Setelah diberikan perlakuan ultrasonik, kadar protein cenderung meningkat hingga mencapai nilai optimum pada kombinasi intensitas dan waktu tertentu kemudian mengalami penurunan pada perlakuan dengan intensitas dan waktu yang lebih tinggi. Pada intensitas 20 W/m² kadar protein meningkat dari 22,0% pada paparan 1 menit menjadi 22,5% pada 15 menit. Setelah itu, kadar protein sedikit menurun menjadi 22,4% pada 20 menit dan 22,2% pada 25 menit.

Pada intensitas 40 W/m² diperoleh kadar protein tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya, yaitu mencapai 23,0% pada waktu paparan 15 menit. Selanjutnya kadar protein menurun menjadi 22,8% pada 20 menit dan 22,5% pada 25 menit. Sementara itu, pada intensitas 60 W/m² kadar protein meningkat hingga

22,6% pada 10 menit, kemudian mengalami penurunan bertahap menjadi 22,4% pada 15 menit, 22,0% pada 20 menit, dan 21,7% pada 25 menit.

Tabel 4.8 Uji Normalitas SPSS Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Kadar Protein

Tests of Normality							
	Intensitas	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Kadar Protein	20	.139	25	.200 [*]	.941	25	.157
	40	.155	25	.122	.921	25	.054
	60	.155	25	.122	.940	25	.150
	Kontrol	.231	5	.200 [*]	.881	5	.314

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Dilihat dari Tabel 4.8 Uji normalitas untuk mengetahui distribusi data kadar protein pada setiap kelompok perlakuan. dengan nilai signifikansi ($> 0,05$) maka data dinyatakan berdistribusi normal, apabila nilai signifikansi ($< 0,05$) maka data dinyatakan tidak berdistribusi normal. Berdasarkan hasil uji normalitas diperoleh nilai signifikansi pada perlakuan intensitas 20 W/m² sebesar 0,157, intensitas 40 W/m² sebesar 0,054, intensitas 60 W/m² sebesar 0,150, dan kontrol sebesar 0,314. Seluruh nilai signifikansi menunjukkan nilai lebih besar dari ($> 0,05$) sehingga data kadar protein pada seluruh perlakuan berdistribusi normal dan memenuhi asumsi untuk dilakukan analisis statistik lanjutan untuk mengetahui pengaruh paparan gelombang ultrasonik terhadap kadar protein daging ayam yang disajikan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Uji Homogenitas SPSS Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Kadar Protein

Levene's Test of Equality of Error Variances^{a,b}

		Levene Statistic	df1	df2	Sig. ^c
Kadar Protein	Based on Mean	.090	15	64	1.000
	Based on Median	.078	15	64	1.000
	Based on Median and with adjusted df	.078	15	64.000	1.000
	Based on trimmed mean	.101	15	64	1.000

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Dependent variable: Kadar Protein

b. Design: Intercept + Intensitas + Waktu + Intensitas * Waktu

c. Confidence Interval: 0%

Uji homogenitas dilakukan untuk mengetahui kesamaan varians data kadar protein pada setiap kelompok perlakuan yang menggunakan metode *Levene's Test of Equality of Error Variances* dengan kriteria nilai signifikansi ($> 0,05$) maka data dinyatakan homogen. Berdasarkan hasil uji homogenitas pada tabel, diperoleh nilai signifikansi masing-masing sebesar 1,000. Nilai tersebut menunjukkan bahwa seluruh nilai signifikansi lebih besar dari (0,05) sehingga data kadar protein pada setiap perlakuan intensitas ultrasonik memiliki varians yang homogen. Dengan demikian, data telah memenuhi asumsi homogenitas dapat dilanjutkan dengan uji ANOVA untuk mengetahui pengaruh perlakuan intensitas dan waktu paparan gelombang ultrasonik terhadap kadar protein daging ayam yang disajikan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Uji Homogenitas SPSS Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Kadar Protein

Variasi	df	F hitung	Sig.	Keterangan
Intensitas	2	280,431	$< 0,001$	Berpengaruh sangat nyata
Waktu	4	101,979	$< 0,001$	Berpengaruh sangat nyata
Intensitas x Waktu	8	32,226	$< 0,001$	Berpengaruh sangat nyata
Error	64	-	-	Berpengaruh sangat nyata

Hasil analisis ANOVA menunjukkan intensitas gelombang ultrasonik memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap kadar protein daging ayam ($p < 0,001$). Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan intensitas ultrasonik yang diberikan mampu menyebabkan perubahan kadar protein pada sampel daging ayam. Intensitas 40 W/m² menghasilkan rata - rata kadar protein tertinggi yaitu 22,724% dibandingkan intensitas 20 W/m² sebesar 22,304% intensitas 60 W/m² sebesar 22,220% dan kontrol sebesar 21,780%.

Selain itu, lama waktu paparan ultrasonik juga berpengaruh sangat nyata terhadap kadar protein ($p < 0,001$). Rata - rata kadar protein cenderung meningkat hingga waktu tertentu yang kemudian mengalami penurunan pada waktu paparan lebih lama dimana kondisi ini menunjukkan durasi paparan ultrasonik memengaruhi perubahan struktur protein selama proses sonikasi.

Interaksi antara intensitas dan waktu paparan juga menunjukkan pengaruh yang sangat nyata ($p < 0,001$). Hasil ini mengindikasikan respons kadar protein tidak hanya dipengaruhi oleh intensitas atau waktu secara terpisah tetapi kombinasi keduanya. Kombinasi perlakuan yang berbeda menghasilkan respons kadar protein yang berbeda pula sehingga efektivitas ultrasonik dalam meningkatkan kadar protein sangat ditentukan oleh kesesuaian antara intensitas dan lama paparan yang disajikan pada Tabel 4. 11 dan 4. 12.

Tabel 4.11 Uji Post Hoc Tukey Intensitas dengan Kadar Protein

Intensitas	Rata – Rata Kadar Protein (%)	Notasi
60 W/m ²	21, 780	a
40 W/m ²	22, 220	b
20 W/m ²	22, 304	c
Kontrol	22, 724	d

Tabel 4. 12 Uji Post Hoc Tukey Hubungan Waktu dengan Kadar Protein

Waktu Paparan	Rata – Rata Kadar Protein (%)	Notasi
25 menit	21, 780	a
20 menit	22, 153	b
15 menit	22, 267	c
10 menit	22, 420	d
1 menit	22, 587	e
Kontrol	21, 780	f

Hasil uji lanjut post hoc tukey menunjukkan faktor intensitas ultrasonik memberikan perbedaan nyata terhadap kadar protein daging ayam. Intensitas 40 W/m² menghasilkan kadar protein tertinggi sebesar 22,780% dan berbeda nyata dibandingkan perlakuan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa intensitas tersebut merupakan kondisi optimum dalam meningkatkan kadar protein.

Pada faktor waktu, kadar protein tertinggi diperoleh pada perlakuan 15 menit sebesar 22,653%. Hasil uji post hoc tukey menunjukkan perlakuan 10 menit dan 15 menit tidak berbeda nyata tetapi keduanya berbeda nyata dengan perlakuan waktu lainnya. Peningkatan kadar protein hingga 15 menit berkaitan dengan efek kavitasi ultrasonik yang mampu meningkatkan pelepasan dan keterukuran protein. Namun, paparan yang terlalu lama menyebabkan penurunan kadar protein sehingga rata-rata kadar protein pada waktu 20 dan 25 menit menjadi lebih rendah dibandingkan 15 menit.

4.1.3. Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Susut Berat pada Daging Ayam

Dari hasil penelitian pengaruh paparan gelombang ultrasonik terhadap susut berat pada daging ayam disajikan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Pengaruh paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Susut Berat pada Daging Ayam

Perlakuan		Susut Berat (%)					Jumlah Rata – Rata
Intensitas	Waktu	1	2	3	4	5	
Kontrol		1,2	1,1	1,3	1,2	1,1	1,20 ± 0,08
20 W/m ²	1 menit	1,5	1,4	1,5	1,4	1,5	1,46 ± 0,05
	10 menit	2,0	2,1	2,0	2,1	2,0	2,04 ± 0,05
	15 menit	2,4	2,5	2,4	2,5	2,4	2,44 ± 0,05
	20 menit	2,8	2,9	2,8	2,9	2,8	2,84 ± 0,05
	25 menit	3,2	3,3	3,2	3,3	3,2	3,24 ± 0,05
40 W/m ²	1 menit	1,8	1,9	1,8	1,9	1,8	1,8 ± 0,05
	10 menit	2,6	2,7	2,6	2,7	2,6	2,64 ± 0,05
	15 menit	3,3	3,4	3,3	3,4	3,3	3,34 ± 0,05
	20 menit	4,0	4,1	4,0	4,1	4,0	4,04 ± 0,05
	25 menit	4,8	4,9	4,8	4,9	4,8	4,84 ± 0,05
60 W/m ²	1 menit	2,1	2,2	2,1	2,2	2,1	2,14 ± 0,05
	10 menit	3,1	3,2	3,1	3,2	3,1	3,14 ± 0,05
	15 menit	4,2	4,3	4,2	4,3	4,2	4,24 ± 0,05
	20 menit	5,3	5,4	5,3	5,4	5,3	5,34 ± 0,05
	25 menit	6,2	6,3	6,2	6,3	6,2	6,24 ± 0,05

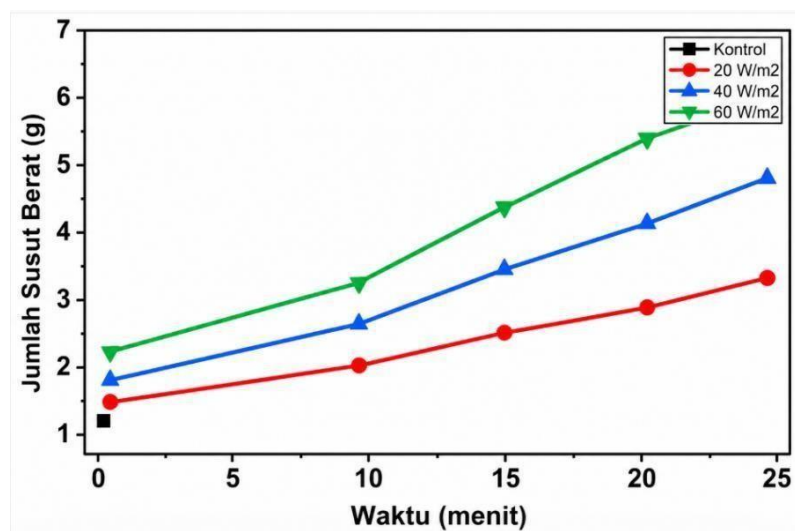
Tabel 4.13 menunjukkan bahwa sampel kontrol memiliki rata-rata susut berat terendah yaitu 1,20 ± 0,08%. Nilai ini menunjukkan bahwa tanpa paparan gelombang ultrasonik daging ayam hanya mengalami sedikit kehilangan bobot alami dan struktur jaringan masih stabil. Setelah diberikan perlakuan ultrasonik, susut berat meningkat secara bertahap seiring bertambahnya intensitas dan lama waktu paparan.

Pada intensitas 20 W/m² susut berat meningkat dari 1,46 ± 0,05% pada 1 menit menjadi 2,04 ± 0,05% pada 10 menit, kemudian terus naik hingga 2,44 ± 0,05% pada 15 menit, 2,84 ± 0,05% pada 20 menit, dan mencapai 3,24 ± 0,05% pada 25 menit. Peningkatan ini menunjukkan bahwa paparan ultrasonik mulai memengaruhi struktur jaringan daging sehingga kemampuan mengikat air menurun dan cairan lebih mudah keluar.

Sedangkan intensitas 40 W/m² susut berat meningkat lebih besar dibandingkan 20 W/m², yaitu dari $1,84 \pm 0,05\%$ pada 1 menit menjadi $2,64 \pm 0,05\%$ pada 10 menit, $3,34 \pm 0,05\%$ pada 15 menit, $4,04 \pm 0,05\%$ pada 20 menit, dan $4,84 \pm 0,05\%$ pada 25 menit. Hal ini menunjukkan bahwa intensitas yang lebih tinggi menghasilkan efek kavitasi yang lebih kuat sehingga kerusakan struktur serat otot dan kehilangan air semakin besar.

Pada intensitas 60 W/m² peningkatan susut berat menjadi yang paling tinggi dimulai dari $2,14 \pm 0,05\%$ pada 1 menit, kemudian $3,14 \pm 0,05\%$ pada 10 menit, $4,24 \pm 0,05\%$ pada 15 menit, $5,34 \pm 0,05\%$ pada 20 menit, hingga mencapai $6,24 \pm 0,05\%$ pada 25 menit. Nilai ini menunjukkan bahwa kombinasi intensitas tinggi dan waktu paparan lama menyebabkan kerusakan jaringan paling besar sehingga kehilangan massa daging meningkat signifikan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi intensitas dan semakin lama paparan gelombang ultrasonik maka susut berat daging ayam semakin meningkat meskipun ultrasonik efektif sebagai perlakuan. Peningkatan susut berat yang terlalu tinggi dapat menurunkan kualitas fisik daging sehingga perlakuan 40 W/m² selama 15 menit dinilai lebih seimbang karena masih memberikan susut berat moderat dibandingkan perlakuan paling ekstrem.



Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Susut Berat pada Daging Ayam

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa paparan gelombang ultrasonik menyebabkan peningkatan susut berat pada daging ayam seiring dengan meningkatnya intensitas dan lamanya waktu perlakuan. Sampel kontrol memiliki nilai susut berat terendah, yaitu sebesar 1,20%, sedangkan seluruh perlakuan ultrasonik menghasilkan nilai susut berat yang lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol. Pada intensitas 20 W/m², susut berat meningkat secara bertahap dari 1,46% pada waktu paparan 1 menit menjadi 2,04% pada 10 menit, kemudian terus meningkat hingga mencapai 3,24% pada 25 menit. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin lama paparan ultrasonik diberikan, semakin besar jumlah air yang keluar dari jaringan daging sehingga menyebabkan peningkatan susut berat.

Pada intensitas 40 W/m², peningkatan susut berat terjadi lebih besar dibandingkan intensitas 20 W/m². Nilai susut berat berturut-turut sebesar 1,84%, 2,64%, 3,34%, 4,04%, dan 4,84% pada waktu paparan 1, 10, 15, 20, dan 25 menit. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan intensitas ultrasonik memperbesar kehilangan massa daging akibat keluarnya cairan dari jaringan. Perlakuan dengan

intensitas 60 W/m² menghasilkan susut berat tertinggi pada seluruh waktu paparan. Nilai susut berat meningkat dari 2,14% pada 1 menit menjadi 3,14% pada 10 menit kemudian naik menjadi 4,24% pada 15 menit, 5,34% pada 20 menit, dan mencapai nilai tertinggi sebesar 6,24% pada 25 menit. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi intensitas tinggi dan waktu paparan yang lebih lama memberikan efek paling besar terhadap kehilangan berat daging.

Secara keseluruhan, grafik menunjukkan bahwa susut berat daging ayam berbanding lurus dengan peningkatan intensitas dan durasi paparan gelombang ultrasonik. Perlakuan 60 W/m² selama 25 menit menghasilkan susut berat tertinggi sebesar 6,24%, sedangkan kontrol menunjukkan nilai terendah sebesar 1,20%. Hasil ini membuktikan bahwa paparan ultrasonik berpengaruh terhadap perubahan sifat fisik daging ayam yang khususnya dalam menurunkan kemampuan jaringan untuk mempertahankan kandungan airnya.

Tabel 4.14 Uji Normalitas menggunakan SPSS Pengaruh paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Susut Berat pada Daging Ayam

Tests of Normality							
	Intensitas	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Susut Berat	20	.134	25	.200*	.924	25	.064
	40	.131	25	.200*	.915	25	.040
	60	.164	25	.082	.900	25	.018
	Kontrol	.231	5	.200*	.881	5	.314

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Dari Tabel 4.14 Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui distribusi data susut berat pada setiap kelompok perlakuan. Kriteria pengambilan keputusan yaitu apabila nilai signifikansi ($> 0,05$) maka data dinyatakan berdistribusi normal, sedangkan apabila nilai signifikansi ($< 0,05$) maka data dinyatakan tidak

berdistribusi normal. Berdasarkan hasil uji normalitas pada tabel, diperoleh nilai signifikansi pada perlakuan intensitas 20 W/m² sebesar 0,064, intensitas 40 W/m² sebesar 0,040, intensitas 60 W/m² sebesar 0,018, dan kontrol sebesar 0,314. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perlakuan intensitas 20 W/m² dan kontrol memiliki nilai signifikansi lebih besar dari 0,05 sehingga data berdistribusi normal, sedangkan perlakuan intensitas 40 W/m² dan 60 W/m² memiliki nilai signifikansi lebih kecil dari 0,05 sehingga data tidak berdistribusi normal. Dengan demikian, data susut berat belum sepenuhnya memenuhi asumsi normalitas karena masih terdapat kelompok perlakuan yang menunjukkan distribusi tidak normal sehingga dilanjutkan uji homogenitas yang disajikan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Uji Homogenitas menggunakan SPSS Pengaruh paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Susut Berat pada Daging Ayam

Levene's Test of Equality of Error Variances^{a,b}

		Levene Statistic	df1	df2	Sig. ^c
Susut Berat	Based on Mean	.348	15	64	.987
	Based on Median	.042	15	64	1.000
	Based on Median and with adjusted df	.042	15	64.000	1.000
	Based on trimmed mean	.344	15	64	.988

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Dependent variable: Susut Berat

b. Design: Intercept + Intensitas + Waktu + Intensitas * Waktu

c. Confidence Interval: 0%

Uji homogenitas dilakukan untuk mengetahui kesamaan varians data susut berat pada setiap kelompok perlakuan sebelum dilakukan analisis statistik lanjutan. Pengujian homogenitas menggunakan metode *Levene's Test of Equality of Error Variances* dengan kriteria apabila nilai signifikansi ($> 0,05$) maka data dinyatakan homogen. Berdasarkan hasil uji homogenitas pada tabel, diperoleh nilai signifikansi berdasarkan Based on Mean sebesar 0,987, Based on Median

sebesar 1,000, Based on Median with adjusted df sebesar 1,000, dan Based on Trimmed Mean sebesar 0,988. Seluruh nilai signifikansi menunjukkan nilai lebih besar dari 0,05 (Sig. > 0,05) sehingga dapat disimpulkan bahwa data susut berat pada setiap perlakuan intensitas ultrasonik memiliki varians yang homogen. Dengan demikian, data telah memenuhi asumsi homogenitas dan dapat dilanjutkan dengan analisis statistik lanjutan menggunakan uji ANOVA untuk mengetahui pengaruh intensitas dan waktu paparan gelombang ultrasonik terhadap susut berat daging ayam yang disajikan pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Uji Anova menggunakan SPSS Pengaruh paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Susut Berat pada Daging Ayam

Variasi	df	F hitung	Sig.	Keterangan
Intensitas	2	6344, 041	< 0, 001	Berpengaruh sangat nyata
Waktu	4	6298, 810	< 0, 001	Berpengaruh sangat nyata
Intensitas x Waktu	8	354, 810	< 0, 001	Berpengaruh sangat nyata
Error	64	-	-	Berpengaruh sangat nyata

Berdasarkan hasil analisis ANOVA tabel 4.16 faktor intensitas ultrasonik, waktu paparan, dan interaksi antara keduanya berpengaruh sangat nyata ($p < 0,05$) terhadap susut berat daging ayam. Nilai F di hitung masing-masing faktor yaitu 6344,041 untuk intensitas 6298,810 waktu, dan 354,810 untuk interaksi intensitas dan waktu. Hasil tersebut menunjukkan perubahan susut berat dipengaruhi oleh besarnya intensitas ultrasonik, lama waktu paparan, serta kombinasi kedua faktor tersebut yang hubungannya ditunjukkan dalam Tabel 4.17 dan 4.18.

Tabel 4.17 Uji Post Hoc Tukey menggunakan SPSS Hubungan Intensitas dengan Susut Berat

Intensitas	Rata – Rata Susut Berat (%)	Notasi
60 W/m ²	1, 180	a

40 W/m ²	2, 404	b
20 W/m ²	3, 340	c
Kontrol	4, 220	d

Tabel 4.18 Uji Post Hoc Tukey menggunakan SPSS Hubungan Waktu Paparan dengan Susut Berat

Waktu Paparan	Rata – Rata Susut Berat (%)	Notasi
25 menit	1, 180	a
20 menit	1, 813	b
15 menit	2, 607	c
10 menit	3, 340	d
1 menit	4, 073	e
Kontrol	4, 773	f

Hasil uji post hoc tukey menunjukkan perlakuan intensitas gelombang ultrasonik memberikan pengaruh yang nyata terhadap susut berat daging ayam ($p < 0,05$). Nilai rata-rata susut berat meningkat seiring peningkatan intensitas ultrasonik, yaitu dari 1,180% pada kontrol menjadi 2,404%, 3,340%, dan 4,220% pada intensitas 20 W/m², 40 W/m², dan 60 W/m². Seluruh kelompok perlakuan berada pada subset yang berbeda sehingga menunjukkan adanya perbedaan nyata antar perlakuan. Peningkatan susut berat terjadi akibat efek kavitasi yang dihasilkan oleh gelombang ultrasonik dimana kavitasi menyebabkan kerusakan struktur jaringan otot sehingga kemampuan daging dalam mengikat air menurun. Akibatnya, lebih banyak cairan keluar dari jaringan daging dan menyebabkan nilai susut berat meningkat.

Selain itu, hasil uji post hoc tukey berdasarkan lama paparan menunjukkan bahwa semakin lama waktu paparan ultrasonik, semakin tinggi nilai susut berat yang dihasilkan. Rata-rata susut berat meningkat dari 1,180% pada kontrol menjadi 4,773% pada paparan 25 menit, dan seluruh waktu perlakuan berbeda

nyata satu sama lain ($p < 0,05$) yang menunjukkan intensitas dan lama paparan ultrasonik berperan penting dalam meningkatkan susut berat daging ayam. Semakin tinggi intensitas dan semakin lama waktu paparan, semakin besar kerusakan jaringan yang terjadi sehingga kemampuan menahan air berkurang dan susut berat meningkat.

4.1.4. Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Nilai pH pada Daging Ayam

Dari hasil penelitian pengaruh paparan gelombang ultrasonik terhadap nilai pH pada daging ayam disajikan pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Nilai pH pada Daging Ayam

Perlakuan		Nilai pH					Jumlah Rata-Rata
Intensitas	Waktu	1	2	3	4	5	
Kontrol		6,30	6,28	6,31	6,29	6,30	$6,3 \pm 0,011$
20 W/m ²	1 menit	6,25	6,24	6,26	6,25	6,24	$6,3 \pm 0,008$
	10 menit	6,18	6,17	6,19	6,18	6,17	$6,2 \pm 0,008$
	15 menit	6,10	6,09	6,11	6,10	6,09	$6,1 \pm 0,008$
	20 menit	6,03	6,02	6,04	6,03	6,02	$6,0 \pm 0,008$
	25 menit	5,98	5,97	5,99	5,98	5,97	$6,0 \pm 0,008$
40 W/m ²	1 menit	6,20	6,19	6,21	6,20	6,19	$6,2 \pm 0,008$
	10 menit	6,08	6,07	6,09	6,08	6,07	$6,1 \pm 0,008$
	15 menit	5,98	5,97	5,99	5,98	5,97	$6,0 \pm 0,008$
	20 menit	5,89	5,88	5,90	5,89	5,88	$5,9 \pm 0,008$
	25 menit	5,80	5,79	5,81	5,80	5,79	$5,8 \pm 0,008$
60 W/m ²	1 menit	6,15	6,14	6,16	6,15	6,14	$6,1 \pm 0,008$
	10 menit	6,00	5,99	6,01	6,00	5,99	$6,0 \pm 0,008$
	15 menit	5,88	5,87	5,89	5,8	5,87	$5,9 \pm 0,008$
	20 menit	5,75	5,74	5,76	5,75	5,74	$5,8 \pm 0,008$
	25 menit	5,65	5,64	5,66	5,65	5,64	$5,6 \pm 0,008$

Tabel 4.19 menunjukkan bahwa sampel kontrol memiliki rata-rata nilai pH sebesar $6,3 \pm 0,011$ yang menunjukkan kondisi normal pH daging ayam segar sebelum diberikan perlakuan. Setelah diberikan perlakuan ultrasonik, nilai pH mengalami penurunan secara bertahap pada seluruh kombinasi intensitas dan

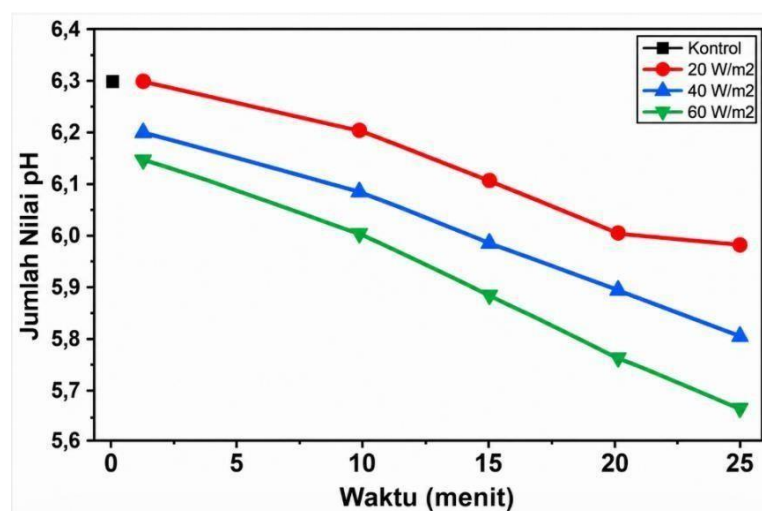
waktu yang menunjukkan bahwa paparan ultrasonik memengaruhi keseimbangan kimia dan kondisi keasaman daging ayam. Pada intensitas 20 W/m² penurunan pH terjadi secara perlahan seiring bertambahnya waktu paparan. Nilai pH pada 1 menit tercatat sebesar $6,3 \pm 0,008$, kemudian menurun menjadi $6,2 \pm 0,008$ pada 10 menit, $6,1 \pm 0,008$ pada 15 menit, $6,0 \pm 0,008$ pada 20 menit, dan mencapai $6,0 \pm 0,008$ pada 25 menit. Penurunan ini menunjukkan bahwa paparan ultrasonik intensitas rendah menyebabkan perubahan struktur jaringan dan pelepasan senyawa tertentu yang dapat meningkatkan keasaman meskipun perubahan yang terjadi masih relatif kecil.

Pada intensitas 40 W/m² penurunan pH berlangsung lebih nyata dibandingkan intensitas 20 W/m². Nilai pH menurun dari $6,2 \pm 0,008$ pada 1 menit menjadi $6,1 \pm 0,008$ pada 10 menit, kemudian turun menjadi $6,0 \pm 0,008$ pada 15 menit, $5,9 \pm 0,008$ pada 20 menit, dan mencapai $5,8 \pm 0,008$ pada 25 menit. Hasil ini menunjukkan bahwa intensitas 40 W/m² memberikan efek lebih besar terhadap perubahan biokimia daging yang akibatnya meningkat kerusakan sel dan percepatan pelepasan ion hidrogen maupun senyawa asam dari jaringan.

Pada intensitas tertinggi yaitu 60 W/m² penurunan pH menjadi yang paling besar. Nilai pH tercatat sebesar $6,1 \pm 0,008$ pada 1 menit, turun menjadi $6,0 \pm 0,008$ pada 10 menit, kemudian $5,9 \pm 0,008$ pada 15 menit, $5,8 \pm 0,008$ pada 20 menit, dan mencapai nilai terendah sebesar $5,6 \pm 0,008$ pada 25 menit. Data ini menunjukkan bahwa kombinasi intensitas tinggi dan waktu paparan lama memberikan perubahan paling signifikan terhadap keasaman daging ayam. Energi ultrasonik yang lebih besar dapat mempercepat kerusakan jaringan, meningkatkan

pelepasan komponen asam, serta memicu perubahan metabolik yang menyebabkan pH menurun lebih cepat.

Secara keseluruhan, data menunjukkan bahwa semakin tinggi intensitas dan semakin lama waktu paparan gelombang ultrasonik maka nilai pH daging ayam semakin menurun. Berdasarkan data, perlakuan 40 W/m² selama 15 menit menunjukkan penurunan pH yang cukup stabil tanpa perubahan terlalu ekstrem, sehingga dapat dianggap lebih seimbang dalam mempertahankan kualitas produk dibandingkan perlakuan 60 W/m² selama 25 menit yang menghasilkan penurunan pH paling besar.



Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Nilai pH pada Daging Ayam

Gambar 4.4 menunjukkan grafik pengaruh paparan gelombang ultrasonik menyebabkan penurunan nilai pH daging ayam seiring dengan meningkatnya intensitas dan lamanya waktu perlakuan. Sampel kontrol memiliki nilai pH tertinggi yaitu 6,30 sedangkan seluruh perlakuan ultrasonik menunjukkan nilai pH lebih rendah dibandingkan kontrol. Pada intensitas 20 W/m² nilai pH mengalami penurunan secara bertahap dari 6,30 pada waktu paparan 1 menit menjadi 6,20

pada 10 menit kemudian turun menjadi 6,10 pada 15 menit, 6,00 pada 20 menit, dan mencapai 5,98 pada 25 menit. Penurunan ini menunjukkan semakin lama paparan ultrasonik diberikan semakin besar pengaruhnya terhadap perubahan kondisi kimia daging.

Pada intensitas 40 W/m² nilai pH yang diperoleh lebih rendah dibandingkan intensitas 20 W/m² pada seluruh waktu perlakuan. Nilai pH berturut-turut sebesar 6,20 6,08 5,98 5,89 dan 5,80 pada waktu paparan 1, 10, 15, 20, dan 25 menit yang menunjukkan peningkatan intensitas ultrasonik dan mempercepat penurunan pH daging ayam. Perlakuan dengan intensitas 60 W/m² menghasilkan nilai pH terendah dibandingkan perlakuan lainnya. Nilai pH menurun dari 6,15 pada waktu paparan 1 menit menjadi 6,00 pada 10 menit kemudian turun menjadi 5,88 pada 15 menit, 5,75 pada 20 menit dan mencapai nilai terendah sebesar 5,65 pada 25 menit. Hal ini menunjukkan kombinasi intensitas tinggi dan waktu paparan yang lebih lama memberikan pengaruh paling besar terhadap penurunan pH daging ayam.

Secara keseluruhan, grafik menunjukkan nilai pH daging ayam berbanding terbalik dengan intensitas dan waktu paparan gelombang ultrasonik. Perlakuan 60 W/m² selama 25 menit menghasilkan nilai pH terendah sebesar 5,65 sedangkan kontrol memiliki nilai pH tertinggi sebesar 6,30. Hasil ini menunjukkan bahwa gelombang ultrasonik tidak hanya mampu menurunkan jumlah bakteri tetapi juga memengaruhi karakteristik kimia daging ayam yang ditunjukkan oleh perubahan nilai pH.

Tabel 4.20 Uji Normalitas menggunakan SPSS Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap pH pada Daging Ayam

Tests of Normality							
	Intensitas	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
pH	20	.145	25	.186	.911	25	.032
	40	.130	25	.200*	.916	25	.042
	60	.153	25	.132	.908	25	.027

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Dilihat dari Tabel 4.20 Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui distribusi data pH pada setiap kelompok perlakuan, apabila nilai signifikansi ($> 0,05$) maka data dinyatakan berdistribusi normal, sedangkan apabila nilai signifikansi ($< 0,05$) maka data dinyatakan tidak berdistribusi normal. Berdasarkan hasil uji normalitas pada tabel, diperoleh nilai signifikansi pada perlakuan intensitas 20 W/m² sebesar 0,032, intensitas 40 W/m² sebesar 0,042, intensitas 60 W/m² sebesar 0,027, dan kontrol sebesar 0,027. Hasil tersebut menunjukkan bahwa seluruh perlakuan memiliki nilai signifikansi lebih kecil dari ($< 0,05$), sehingga data pH pada setiap perlakuan tidak berdistribusi normal. Oleh karena itu, analisis selanjutnya menggunakan uji homogenitas yang disajikan pada Tabel 4.21.

Tabel 4.1 Uji Homogenitas menggunakan SPSS Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap pH pada Daging Ayam

Levene's Test of Equality of Error Variances ^{a,b}					
pH		Levene Statistic	df1	df2	Sig. ^c
pH	Based on Mean	.000	14	60	1.000
	Based on Median	.000	14	60	1.000
	Based on Median and with adjusted df	.000	14	60.000	1.000
	Based on trimmed mean	.000	14	60	1.000

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Dependent variable: pH

b. Design: Intercept + Intensitas + Waktu + Intensitas * Waktu

c. Confidence Interval: 0%

Uji homogenitas dilakukan untuk mengetahui kesamaan varians data pH pada setiap kelompok perlakuan sebelum dilakukan analisis statistik lanjutan. Pengujian homogenitas menggunakan metode *Levene's Test of Equality of Error Variances* apabila nilai signifikansi ($> 0,05$) maka data dinyatakan homogen. Berdasarkan hasil uji homogenitas pada tabel, diperoleh nilai signifikansi masing-masing sebesar 1,000. Nilai tersebut menunjukkan bahwa seluruh nilai signifikansi lebih besar dari ($> 0,05$) sehingga dapat disimpulkan bahwa data pH pada setiap perlakuan memiliki varians yang homogen. mengetahui pengaruh paparan gelombang ultrasonik terhadap nilai pH daging ayam yang disajikan pada Tabel 4.22.

Tabel 4. 20 Uji Anova menggunakan SPSS Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap pH pada Daging Ayam

Variasi	df	F hitung	Sig.	Keterangan
Intensitas	2	4406, 190	$< 0, 001$	Berpengaruh sangat nyata
Waktu	4	5129, 286	$< 0, 001$	Berpengaruh sangat nyata
Intensitas x Waktu	8	142, 500	$< 0, 001$	Berpengaruh sangat nyata
Error	64	-	-	Berpengaruh sangat nyata

Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa perlakuan intensitas gelombang ultrasonik dan lama waktu paparan memberikan pengaruh yang sangat nyata ($P < 0,05$) terhadap nilai pH daging ayam. Nilai signifikansi pada faktor intensitas, waktu, maupun interaksi keduanya masing-masing menunjukkan nilai $< 0,001$. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan intensitas dan lamanya paparan ultrasonik mampu memengaruhi karakteristik pH daging ayam secara signifikan.

Berdasarkan nilai rata-rata deskriptif, pH cenderung mengalami penurunan seiring meningkatnya intensitas dan lamanya perlakuan ultrasonik.

Rata-rata pH tertinggi terdapat pada intensitas 20 W/m², yaitu sebesar 6,1060, sedangkan pH terendah terdapat pada intensitas 60 W/m², yaitu sebesar 5,8840. Penurunan pH terjadi akibat perubahan struktur protein dan peningkatan aktivitas ion hidrogen selama proses ultrasonikasi. Semakin tinggi intensitas dan semakin lama waktu perlakuan, maka efek kavitasi yang dihasilkan semakin besar sehingga memengaruhi kondisi kimia daging ayam dan dapat dilihat hubungannya pada table 4.23 dan 4.24.

Tabel 4.21 Uji Post Hoc Tukey menggunakan SPSS Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap pH pada Daging Ayam

Intensitas	Rata – Rata pH	Notasi
60 W/m ²	5, 8840	a
40 W/m ²	5, 9880	b
20 W/m ²	6, 1060	c

Tabel 4.22 Uji Post Hoc Tukey menggunakan SPSS Hubungan Waktu dengan pH pada Daging Ayam

Waktu Paparan	Rata – Rata pH	Notasi
25 menit	5, 8080	a
20 menit	5, 8880	b
15 menit	5, 9847	c
10 menit	6, 0847	d
1 menit	6, 1980	e

Hasil uji lanjut post hoc tukey menunjukkan seluruh perlakuan intensitas ultrasonik memberikan perbedaan yang sangat nyata terhadap nilai pH daging ayam. Perlakuan intensitas 20 W/m² menghasilkan rata-rata pH tertinggi yaitu 6,1060 sedangkan intensitas 60 W/m² menghasilkan rata-rata pH terendah yaitu 5,8840. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi intensitas ultrasonik yang diberikan maka nilai pH cenderung mengalami penurunan.

Pada faktor waktu, seluruh perlakuan juga menunjukkan perbedaan sangat nyata dimana nilai pH tertinggi diperoleh pada waktu 1 menit sebesar 6,1980 dan terus menurun hingga waktu 25 menit sebesar 5,8080. Penurunan pH terjadi akibat meningkatnya efek kavitasi selama proses ultrasonikasi yang menyebabkan perubahan struktur protein dan meningkatnya pembentukan ion hidrogen. Semakin lama paparan ultrasonik diberikan maka perubahan kimia pada daging ayam semakin besar sehingga nilai pH menurun secara bertahap.

4.2. Pembahasan

4.2.1. Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Pertumbuhan Bakteri *Escherichia coli* pada Daging Ayam

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan ultrasonik mampu menurunkan jumlah bakteri *Escherichia coli* pada daging ayam. Jumlah bakteri tertinggi ditemukan pada kontrol tanpa perlakuan ultrasonik, sedangkan jumlah bakteri semakin menurun seiring meningkatnya intensitas dan lama waktu paparan ultrasonik. Perlakuan intensitas tinggi dan waktu paparan lebih lama menunjukkan efektivitas yang lebih besar dalam menghambat pertumbuhan *Escherichia coli*.

Penurunan jumlah bakteri terjadi akibat mekanisme kavitasi akustik yang dihasilkan oleh gelombang ultrasonik. Proses kavitasi menghasilkan gelombang kejut, mikrojet, tekanan tinggi, dan suhu lokal ekstrem yang mampu merusak dinding serta membran sel bakteri. Kerusakan membran menyebabkan kebocoran komponen intraseluler sehingga sel bakteri mengalami lisis dan kematian. Selain itu, pembentukan radikal bebas selama proses ultrasonik juga dapat merusak protein, enzim, dan DNA bakteri sehingga menghambat metabolisme sel.

Efektivitas penurunan *Escherichia coli* dipengaruhi oleh intensitas dan lama paparan ultrasonik. Semakin besar energi ultrasonik yang diberikan, maka efek kavitasi yang dihasilkan semakin kuat sehingga kerusakan sel bakteri menjadi lebih besar. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa frekuensi rendah dan intensitas tinggi mampu menghasilkan inaktivasi mikroba yang lebih efektif melalui mekanisme kerusakan membran dan oksidasi komponen sel. Dengan demikian, teknologi ultrasonik berpotensi digunakan sebagai metode pengawetan pangan untuk meningkatkan keamanan mikrobiologis daging ayam.

4.2.2. Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Kadar Protein pada Daging Ayam

Berdasarkan hasil penelitian, perlakuan gelombang ultrasonik memberikan pengaruh terhadap kadar protein daging ayam. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kadar protein pada kontrol tanpa perlakuan ultrasonik memiliki rata-rata sebesar 21,78%, sedangkan setelah diberikan perlakuan ultrasonik kadar protein cenderung meningkat. Perlakuan intensitas 20 W/m² menghasilkan kadar protein tertinggi yaitu sebesar 22,52%, kemudian sedikit menurun pada intensitas 40 W/m² sebesar 22,31% dan 60 W/m² sebesar 22,08%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pemberian ultrasonik dengan intensitas tertentu mampu meningkatkan kadar protein daging ayam dibandingkan kontrol.

Peningkatan kadar protein diduga terjadi akibat efek kavitasi akustik yang dihasilkan oleh gelombang ultrasonik. Proses kavitasi menyebabkan terbentuknya gelembung mikro yang pecah dan menghasilkan gaya geser serta mikrojet sehingga struktur jaringan otot menjadi lebih terbuka. Kondisi tersebut menyebabkan protein miofibril lebih mudah terekstraksi dan terdeteksi saat

pengujian kadar protein. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa ultrasonik dapat meningkatkan ekstraksi protein dan memodifikasi struktur protein otot melalui efek mekanik kavitasi.

Namun, pada intensitas yang lebih tinggi terjadi sedikit penurunan kadar protein. Hal ini diduga karena energi ultrasonik yang terlalu besar dapat menyebabkan denaturasi protein. Paparan ultrasonik intensitas tinggi dapat merusak struktur sekunder dan tersier protein akibat tekanan dan suhu lokal yang meningkat selama proses kavitasi. Akibatnya, sebagian protein mengalami perubahan struktur sehingga kadar protein yang terukur menjadi sedikit menurun. Dengan demikian, perlakuan ultrasonik memiliki pengaruh positif terhadap kadar protein, tetapi penggunaan intensitas yang terlalu tinggi dapat mengurangi kestabilan protein daging ayam.

4.2.3. Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Susut Berat pada Daging Ayam

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan ultrasonik berpengaruh terhadap susut berat daging ayam. Nilai susut berat tertinggi terdapat pada kontrol tanpa perlakuan ultrasonik, sedangkan perlakuan ultrasonik menunjukkan penurunan persentase susut berat. Semakin tinggi intensitas dan lama waktu paparan ultrasonik, maka susut berat daging ayam cenderung semakin rendah. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan ultrasonik mampu meningkatkan kemampuan daging dalam mempertahankan kandungan air. Penurunan susut berat diduga disebabkan oleh perubahan struktur protein miofibril akibat efek kavitasi ultrasonik. Gelombang ultrasonik menghasilkan tekanan mekanik yang

menyebabkan struktur jaringan otot menjadi lebih longgar sehingga kemampuan protein dalam mengikat air meningkat.

Air menjadi lebih banyak terperangkap dalam matriks jaringan otot sehingga tidak mudah keluar selama penyimpanan maupun proses pengolahan. Kondisi ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa ultrasonik dapat meningkatkan *water holding capacity* dan menurunkan kehilangan cairan pada daging. Selain itu, proses ultrasonik juga dapat meningkatkan hidrasi protein sehingga retensi air pada jaringan daging menjadi lebih baik. Semakin tinggi intensitas perlakuan, maka efek kavitasi yang dihasilkan semakin besar sehingga kemampuan pengikatan air juga meningkat. Dengan demikian, perlakuan ultrasonik dapat mempertahankan kualitas fisik daging ayam melalui penurunan susut berat dan peningkatan retensi air.

4.2.4. Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik terhadap Nilai pH pada Daging Ayam

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan gelombang ultrasonik memberikan pengaruh nyata terhadap nilai pH daging ayam. Nilai pH tertinggi diperoleh pada perlakuan intensitas 20 W/m² yaitu sebesar 6,1060, sedangkan nilai pH terendah diperoleh pada intensitas 60 W/m² yaitu sebesar 5,8840. Selain itu, semakin lama waktu paparan ultrasonik maka nilai pH juga cenderung mengalami penurunan. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa faktor intensitas, waktu, dan interaksi keduanya memberikan pengaruh sangat nyata terhadap nilai pH daging ayam. Penurunan nilai pH diduga terjadi akibat efek kavitasi yang dihasilkan selama proses ultrasonikasi. Pecahnya gelembung mikro menghasilkan tekanan tinggi dan radikal bebas yang menyebabkan kerusakan membran sel serta

pelepasan ion hidrogen ke dalam jaringan daging. Peningkatan konsentrasi ion hidrogen menyebabkan kondisi daging menjadi lebih asam sehingga nilai pH menurun. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa ultrasonik dapat memengaruhi keseimbangan asam basa jaringan melalui pelepasan komponen intraseluler dan pembentukan senyawa reaktif.

Selain itu, semakin tinggi intensitas dan semakin lama waktu paparan ultrasonik, maka energi yang diterima sampel semakin besar sehingga efek kavitasi menjadi lebih kuat. Kondisi tersebut menyebabkan perubahan struktur protein dan aktivitas kimia dalam jaringan daging meningkat. Penurunan pH juga dapat memengaruhi kualitas daging, terutama terhadap daya ikat air, tekstur, dan pertumbuhan mikroba. Dengan demikian, perlakuan ultrasonik tidak hanya memengaruhi karakteristik kimia daging tetapi juga dapat berpengaruh terhadap mutu dan stabilitas produk pangan.

4.3. Kajian Keislaman

Hasil penelitian menunjukkan paparan gelombang ultrasonik memberikan pengaruh terhadap jumlah bakteri *Escherichia coli*, kadar protein, susut berat, dan pH daging ayam. Semakin tinggi intensitas dan semakin lama waktu paparan ultrasonik jumlah bakteri *Escherichia coli* cenderung mengalami penurunan. Di sisi lain, perlakuan ultrasonik juga memengaruhi karakteristik fisik dan kimia daging yang ditunjukkan melalui perubahan kadar protein, susut berat, dan pH. Temuan ini menunjukkan bahwa kualitas pangan tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan bahan makanan tetapi proses pengolahan yang mampu menjaga keamanan dan mutu pangan sehingga layak dikonsumsi oleh manusia. Dalam perspektif Islam, perhatian terhadap kualitas pangan telah dijelaskan dalam QS. 'Abasa (30) 24:

فَلْيَنْظُرِ الْإِنْسَانُ إِلَى طَعَامِهِ ﴿٢٤﴾

“Maka, hendaklah manusia itu memperhatikan makanannya.”

Menurut Quraish Shihab dalam Tafsir Al-Misbah, ayat tersebut mengandung perintah kepada manusia untuk memperhatikan makanan yang dikonsumsi, baik dari aspek asal-usul, proses memperoleh, kandungan gizi, maupun dampaknya terhadap kesehatan tubuh. Perintah untuk memperhatikan makanan bukan sekadar melihat bentuk fisiknya, tetapi juga menelaah kualitas dan manfaat yang terkandung di dalamnya. Makanan yang dikonsumsi akan menjadi sumber energi, memengaruhi kesehatan, bahkan berpengaruh terhadap aktivitas dan kualitas hidup manusia. Oleh karena itu, Islam mendorong umatnya untuk memilih dan mengolah makanan secara bijaksana agar memberikan manfaat yang optimal (Shihab, 2002).

Hamka dalam Tafsir Al-Azhar menjelaskan bahwa ayat tersebut mengajak manusia untuk merenungkan proses panjang yang dilalui suatu makanan sebelum sampai ke tangan manusia. Makanan bukanlah sesuatu yang hadir secara kebetulan, melainkan merupakan hasil dari sunnatullah yang berlangsung secara teratur melalui berbagai proses alam yang telah ditetapkan Allah SWT. Dengan memperhatikan makanan, manusia diharapkan semakin menyadari kebesaran Allah serta terdorong untuk menjaga dan memanfaatkan nikmat tersebut dengan sebaik-baiknya. Dalam konteks pangan hewani, termasuk daging ayam perhatian terhadap kualitas dan keamanan produk merupakan bentuk syukur atas nikmat yang telah diberikan Allah (Hamka, 1982).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perlakuan ultrasonik mampu menurunkan jumlah bakteri *Escherichia coli* pada daging ayam. Penurunan jumlah bakteri tersebut mengindikasikan peningkatan keamanan mikrobiologis produk

pangan. Keberadaan *Escherichia coli* patogen pada produk unggas diketahui dapat menimbulkan gangguan kesehatan apabila dikonsumsi oleh manusia (Iskandar et al., 2024). Oleh karena itu, upaya menekan pertumbuhan bakteri melalui teknologi ultrasonik merupakan bentuk implementasi dari perintah Allah untuk memperhatikan makanan yang dikonsumsi. Makanan yang aman dari kontaminasi mikroba akan memberikan manfaat yang lebih besar dan mengurangi risiko penyakit yang dapat ditimbulkan oleh pangan yang tercemar. Hal ini sejalan dengan prinsip Islam yang menekankan pentingnya menjaga kesehatan sebagai bagian dari menjaga kemaslahatan hidup manusia (Shihab, 2002).

Selain berkaitan dengan keamanan mikrobiologis, hasil penelitian juga menunjukkan adanya pengaruh ultrasonik terhadap kadar protein daging ayam. Protein merupakan salah satu komponen gizi utama yang berperan dalam pertumbuhan, perbaikan jaringan tubuh, pembentukan enzim, hormon, dan berbagai fungsi fisiologis lainnya (Kennedy, 2016). Menjaga kualitas protein dalam bahan pangan berarti menjaga nilai manfaat yang terkandung dalam makanan tersebut. Dalam perspektif QS. 'Abasa (30):24, memperhatikan makanan juga mencakup memperhatikan kandungan gizi yang terdapat di dalamnya (Shihab, 2002). Oleh karena itu, penggunaan teknologi pengolahan yang mampu mengendalikan mikroorganisme tanpa merusak kandungan gizi secara berlebihan menjadi langkah yang penting dalam menghasilkan pangan yang berkualitas (Alarcon-rojo et al., 2019).

Fenomena perubahan susut berat dan pH yang diamati pada penelitian ini juga menunjukkan bahwa setiap perlakuan yang diberikan terhadap bahan pangan akan menghasilkan respons tertentu sesuai dengan karakteristik fisik dan biologis bahan

tersebut. Dalam Islam, keteraturan tersebut dapat dipahami melalui konsep qadar atau ketetapan ukuran yang telah ditentukan Allah pada setiap ciptaan-Nya. Dalam QS. Al - Qamar (54) 49:

إِنَّا كُلَّ شَيْءٍ خَلَقْنَاهُ بِقَدَرٍ ﴿٤٩﴾

“Sesungguhnya kami menciptakan segala sesuatu sesuai dengan ukuran.”

Menurut Quraish Shihab, kata bi qadar menunjukkan bahwa seluruh ciptaan Allah berlangsung berdasarkan ukuran, ketentuan, hukum, dan sistem yang sangat teratur. Tidak ada satu pun peristiwa di alam semesta yang terjadi secara acak tanpa aturan. Setiap fenomena memiliki sebab dan akibat yang dapat dipelajari melalui ilmu pengetahuan (Shihab, 2002). Dengan demikian, perubahan jumlah bakteri, kadar protein, susut berat, dan pH akibat paparan ultrasonik merupakan bagian dari hukum alam yang telah Allah tetapkan. Gelombang ultrasonik menghasilkan energi yang menyebabkan terjadinya kavitas akustik, kemudian memengaruhi struktur sel bakteri maupun komponen penyusun daging. Semua proses tersebut berlangsung sesuai hukum fisika dan biologi yang telah Allah ciptakan (Alarcon-rojo et al., 2019).

Hamka menjelaskan bahwa konsep qadar menunjukkan adanya keseimbangan dan ketelitian Allah dalam menciptakan alam semesta. Segala sesuatu memiliki ukuran, batas, serta ketentuan yang telah ditetapkan. Manusia diperintahkan untuk mempelajari ketentuan tersebut agar dapat memanfaatkan alam secara benar (Hamka, 1982). Dalam konteks penelitian ini, pengaruh variasi intensitas dan lama paparan ultrasonik terhadap kualitas daging ayam menunjukkan adanya hubungan sebab-akibat yang terukur. Semakin besar energi yang diberikan, semakin besar pula pengaruh yang ditimbulkan terhadap bakteri maupun

karakteristik daging. Hubungan tersebut merupakan bukti bahwa alam bekerja berdasarkan hukum yang teratur dan dapat dipahami melalui penelitian ilmiah (Alarcon-rojo et al., 2019).

Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya memberikan informasi ilmiah mengenai efektivitas gelombang ultrasonik dalam mengendalikan *Escherichia coli* dan mempertahankan mutu daging ayam, tetapi juga memperlihatkan keselarasan antara sains dan ajaran Islam. QS. 'Abasa (30):24, mengajarkan pentingnya memperhatikan kualitas makanan yang dikonsumsi (Shihab, 2002) sedangkan QS. Al-Qamar (54):49, menjelaskan bahwa seluruh proses yang terjadi di alam berlangsung menurut ukuran dan ketetapan Allah (Hamka, 1982). Penurunan jumlah bakteri, perubahan kadar protein, susut berat, dan pH yang terjadi akibat perlakuan ultrasonik merupakan manifestasi dari hukum-hukum alam yang telah Allah tetapkan (Alarcon-rojo et al., 2019). Oleh karena itu, penelitian ini dapat dipandang sebagai salah satu upaya untuk memahami sunnatullah sekaligus menghasilkan pangan yang lebih aman, berkualitas, dan bermanfaat bagi kehidupan manusia.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh paparan gelombang ultrasonik terhadap bakteri *Escherichia coli*, kadar protein, susut berat, dan pH pada daging ayam, dapat disimpulkan bahwa:

1. Paparan gelombang ultrasonik berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* pada daging ayam. Semakin tinggi intensitas dan semakin lama waktu perlakuan, maka jumlah bakteri semakin menurun.
2. Paparan gelombang ultrasonik berpengaruh sangat nyata terhadap kadar protein dan pH daging ayam. Perlakuan intensitas 40 W/m² dengan waktu paparan 15 menit menghasilkan kadar protein sebesar 23,0%, namun peningkatan intensitas dan lama paparan yang berlebihan menyebabkan penurunan kadar protein akibat perubahan struktur atau denaturasi protein. Selain itu, perlakuan ultrasonik dapat menurunkan nilai pH daging ayam melalui mekanisme kavitasi yang menyebabkan perubahan struktur jaringan dan pelepasan ion sehingga meningkatkan konsentrasi ion hidrogen (H⁺) pada daging.
3. Paparan gelombang ultrasonik berpengaruh terhadap susut berat daging ayam. Peningkatan intensitas ultrasonik menyebabkan peningkatan susut berat, dengan nilai tertinggi pada intensitas 60 W/m² sebesar 6,24 % akibat perubahan struktur jaringan dan pelepasan air dari daging.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh paparan gelombang ultrasonik terhadap *Escherichia coli*, kadar protein, susut berat, dan pH pada daging ayam, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai pengaruh ultrasonik terhadap kualitas sensoris daging ayam seperti warna, aroma, tekstur, dan tingkat kesukaan konsumen.
2. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan variasi frekuensi ultrasonik yang berbeda untuk mengetahui perlakuan paling optimal.
3. Perlu dilakukan pengujian terhadap jenis mikroorganisme lain untuk mengetahui efektivitas ultrasonik secara lebih luas dalam pengawetan pangan.
4. Penelitian berikutnya dapat mengombinasikan ultrasonik dengan metode pengawetan lain seperti *plasma activated water* atau pendinginan untuk meningkatkan efektivitas penghambatan mikroba.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, N. (2017). Identifikasi Bakteri Pada Jamur Tiram. *Karya Tulis Ilmiah*, 11(8), 211–222.
- Alarcon-Rojo, A. D., Carrillo-Lopez, L. M., Reyes-Villagrana, R., Huerta-Jiménez, M., & Garcia-Galicia, I. A. (2019). Ultrasound and meat quality: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 55(September 2018), 369–382. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.09.016>
- Bai, X., Nakatsu, C. H., & Bhunia, A. K. (2021). Bacterial biofilms and their implications in pathogenesis and food safety. *Foods*, 10(9), 1–26. <https://doi.org/10.3390/foods10092117>
- Barbut, S. (2024). Measuring water holding capacity in poultry meat. *Poultry Science*, 103(5), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103577>
- Barbut, S., & Leishman, E. M. (2022). Quality and Processability of Modern Poultry Meat. *Animals*, 12(20). <https://doi.org/10.3390/ani12202766>
- Bariya, A. R., Rathod, N. B., Patel, A. S., Nayak, J. K. B., Ranveer, R. C., Hashem, A., Abd_Allah, E. F., Ozogul, F., Jambrak, A. R., & Rocha, J. M. (2023). Recent developments in ultrasound approach for preservation of animal origin foods. *Ultrasonics Sonochemistry*, 101(November). <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106676>
- Bhargava, N., Mor, R. S., Kumar, K., & Sharanagat, V. S. (2021). Advances application of ultrasound in food processing: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70(July 2020), 105293. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105293>
- Chavan, P., Sharma, P., Sharma, S. R., Mittal, T. C., & Jaiswal, A. K. (2022). Application of High-Intensity Ultrasound to Improve Food Processing Efficiency: A Review. *Foods*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/foods11010122>
- Chávez-Martínez, A., Reyes-Villagrana, R. A., Rentería-Monterrubio, A. L., Sánchez-Vega, R., Tirado-Gallegos, J. M., & Bolivar-Jacobo, N. . (2020). Low and High-Intensity Ultrasound in Dairy. *Foods*, 9(1688), 1–27. <https://doi.org/10.3390/foods9111688>
- Collins, S. P., Storrow, A., Liu, D., Jenkins, C. A., Miller, K. F., Kampe, C., & Butler, J. (2021). No Title 濟無No Title No Title No Title. 167–186.

- Croxen, M. A., & Finlay, B. B. (2010). Molecular mechanisms of *Escherichia Coli* pathogenicity. *Nature Reviews Microbiology*, 8(1), 26–38. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2265>
- Cruz-Cansino, N. del S., Reyes-Hernández, I., Delgado-Olivares, L., Jaramillo-Bustos, D. P., Ariza-Ortega, J. A., & Ramírez-Moreno, E. (2016). Effect of ultrasound on survival and growth of *Escherichia Coli* in cactus pear juice during storage. *Brazilian Journal of Microbiology*, 47(2), 431–437. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2016.01.014>
- Dudek, P., Grajek, A., Kowalczewski, J., Madycki, G., & Marczak, D. (2020). Ultrasound frequency of sonication applied in microbiological diagnostics has a major impact on viability of bacteria causing periprosthetic joint infection. *International Journal of Infectious Diseases*, 100, 158–163. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.08.038>
- DwicaHYo PratomO, I., Rouf, A., & Wahyu Supardi, T. (2016). Pengukuran Jarak Lubang Pada Benda Padat Menggunakan Sensor Ultrasonik. *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, 6(1), 81. <https://doi.org/10.22146/ijeis.10774>
- Farfán-García, A. E., Ariza-Rojas, S. C., Vargas-Cárdenas, F. A., & Vargas-Remolina, L. V. (2016). Mecanismos de virulencia de *Escherichia Coli* enteropatógena. *Revista Chilena de Infectología*, 33(4), 438–450. <https://doi.org/10.4067/s0716-10182016000400009>
- FAS. (2020). *Livestock and Poultry: World Markets and Trade*. United States Department of Agriculture and Foreign Agricultural Service, 17. http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.PDF
- Gallo, M., Ferrara, L., & Naviglio, D. (2018). Application of ultrasound in food science and technology: A perspective. *Foods*, 7(10), 1–18. <https://doi.org/10.3390/foods7100164>
- Gilmore, M. C., Ritzl-Rinkenberger, B., & Cava, F. (2021). An updated toolkit for exploring bacterial cell wall structure and dynamics. *Faculty Reviews*, 10. <https://doi.org/10.12703/r/10-14>
- Hasib, F. M. Y., Magouras, I., St-Hilaire, S., Paudel, S., Kamali, M., Lugsomya, K., Lam, H. K., Elsohaby, I., Butaye, P., & Nekouei, O. (2024). Prevalence and characterization of antimicrobial-resistant *Escherichia Coli* in chicken meat from wet markets in Hong Kong. *Frontiers in Veterinary Science*, 11(January). <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1340548>

- Irakoze, Z., Nwadike, L., Stoeckel, D., Bhullar, M., Byers, P., & Gragg, S. E. (2022). Evaluation of Peroxyacetic Acid and Chlorine as Treatments for Surface Water for Post-Harvest Uses in the Produce Industry. *Water (Switzerland)*, 14(23), 1–12. <https://doi.org/10.3390/w14233890>
- Ji, L., Nie, Q., Zhou, Y., Ning, J., Wang, S., Zhou, C., Luo, Y., Yang, R., & Zhang, J. (2024). Advances and applications in water retention technology for meat and meat products: Status and future research directions. *International Journal of Food Science and Technology*, 59(5), 2823–2836. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16980>
- Kernou, O. N., Azzouz, Z., Belbahi, A., Kerdouche, K., Kaanin-Boudraa, G., Amir, A., Madani, K., & Rijo, P. (2023). Inactivation of *Escherichia Coli* in an Orange Juice Beverage by Combined Ultrasonic and Microwave Treatment. *Foods*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/foods12030666>
- Lauteri, C., Ferri, G., Piccinini, A., Pennisi, L., & Vergara, A. (2023). Ultrasound Technology as Inactivation Method for Foodborne Pathogens: A Review. *Foods*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/foods12061212>
- Lee, Y., & Yoon, Y. (2024). Principles and Applications of Non-Thermal Technologies for Meat Decontamination. *Food Science of Animal Resources*, 44(1), 19–38. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2023.e72>
- Li, B., Zhong, M., Sun, Y., Liang, Q., Shen, L., Qayum, A., Rashid, A., Rehman, A., Ma, H., & Ren, X. (2024). Recent advancements in the utilization of ultrasonic technology for the curing of processed meat products: A comprehensive review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 103(December 2023), 106796. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.106796>
- Linggasari, D. (2019). Memperkirakan Kedalam Retak Pada Beton Menggunakan Gelombang Ultrasonik. *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran Dan Ilmu Kesehatan*, 3(1), 145. <https://doi.org/10.24912/jmstkik.v3i1.3912>
- MacCain, W. J., & Tuomanen, E. I. (2020). Mini-Review: Bioactivities of Bacterial Cell Envelopes in the Central Nervous System. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 10(October), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.588378>
- Comparison of selected quality attributes of chicken meat as affected by rearing systems. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 64(2), 121–126. <https://doi.org/10.2478/v10222-012-0096-y>

- Nagy, D., Baranyai, L., Nguyen, L. L. P., Taczman Brückner, A., Zsom, T., Németh, C., Felföldi, J., & Zsom-Muha, V. (2022). Combined Effect of Ultrasound and Low-Heat Treatments on *E. coli* in Liquid Egg Products and Analysis of the Inducted Structural Alterations by NIR Spectroscopy. *Sensors*, 22(24). <https://doi.org/10.3390/s22249941>
- Nasrollahian, S., Graham, J. P., & Halaji, M. (2024). A review of the mechanisms that confer antibiotic resistance in pathotypes of *E. coli*. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 14(April), 1–28. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2024.1387497>
- Pereira, R. N., & Vicente, A. A. (2010). Environmental impact of novel thermal and non-thermal technologies in food processing. *Food Research International*, 43(7), 1936–1943. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.013>
- Prawira, N. B., & Rouf, A. (2018). Perancangan Alat Ukur Massa Jenis Zat Cair Menggunakan Cepat Rambat Gelombang Ultrasonik. *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, 8(2), 143. <https://doi.org/10.22146/ijeis.2448>
- Prempeh, N. Y. A., Nunekepeku, X., Murugesan, A., & Li, H. (2025). Ultrasound in the Food Industry: Mechanisms and Applications for Non-Invasive Texture and Quality Analysis. In *Foods* (Vol. 14, Issue 12). <https://doi.org/10.3390/foods14122057>
- Qian, S., Lan, T., Zhao, X., Song, T., Cao, Y., Zhang, H., & Liu, J. (2023). Mechanism of ultrasonic combined with different fields on protein complex system and its effect on its functional characteristics and application: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 98(June), 106532. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106532>
- Rojas, E. R., Billings, G., Odermatt, P. D., Auer, G. K., Zhu, L., Miguel, A., Chang, F., Weibel, D. B., Theriot, J. A., & Huang, K. C. (2018). The outer membrane is an essential load-bearing element in Gram-negative bacteria. *Nature*, 559(7715), 617–621. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0344-3>
- Starek, A., Kobus, Z., Sagan, A., Chudzik, B., Pawłat, J., Kwiatkowski, M., Terebun, P., & Andrejko, D. (2021). Influence of ultrasound on selected microorganisms, chemical and structural changes in fresh tomato juice. *Scientific Reports*, 11(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83073-8>

- Taha, A., Mehany, T., Pandiselvam, R., Anusha Siddiqui, S., Mir, N. A., Malik, M. A., Sujayasree, O. J., Alamuru, K. C., Khanashyam, A. C., Casanova, F., Xu, X., Pan, S., & Hu, H. (2024). Sonoprocessing: mechanisms and recent applications of power ultrasound in food. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(17), 6016–6054. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2161464>
- Tegegne, H., Filie, K., Tolosa, T., Debelo, M., & Ejigu, E. (2024). Isolation, and Identification of *Escherichia Coli* O157:H7 Recovered from Chicken Meat at Addis Ababa Slaughterhouses. *Infection and Drug Resistance*, 17(March), 851–863. <https://doi.org/10.2147/IDR.S430115>
- Wang, J., Ma, W., & Wang, X. (2021). Insights into the structure of *Escherichia Coli* outer membrane as the target for engineering microbial cell factories. *Microbial Cell Factories*, 20(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/s12934-021-01565-8>
- Wen, X., Nie, M., Zhang, Z., Xiong, L., Feng, J., Zhang, Z., Li, D., Bao, Y., & Wu, H. (2025). Effect of Ultrasound Combined with Plasma-Activated Water on Lethal and Sublethal Injury Against *Escherichia coli*. *Foods*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/foods14091457>
- Xu, B., Azam, S. M. R., Feng, M., Wu, B., Yan, W., Zhou, C., & Ma, H. (2021). Application of multi-frequency power ultrasound in selected food processing using large-scale reactors: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 81(November), 105855. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105855>
- Yousef, H. M. Y., Hashad, M. E., Osman, K. M., Alatfeehy, N. M., Hassan, W. M. M., Elebeedy, L. A., Salem, H. M., Shami, A., Al-Saeed, F. A., El-Saadony, M. T., El-Tarabily, K. A., & Marouf, S. (2023). Surveillance of *Escherichia Coli* in different types of chicken and duck hatcheries: one health outlook. *Poultry Science*, 102(12), 103108. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103108>
- Yue, K., Cao, Q. Q., Shaukat, A., Zhang, C., & Huang, S. C. (2024). Insights into the evaluation, influential factors and improvement strategies for poultry meat quality: a review. *Npj Science of Food*, 8(1), 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41538-024-00306-6>
- Zhu, X., Das, R. S., Bhavya, M. L., Garcia-Vaquero, M., & Tiwari, B. K. (2024). Acoustic cavitation for agri-food applications: Mechanism of action, design of new systems, challenges and strategies for scale-up. *Ultrasonics*

Sonochemistry, 105(November 2023), 106850.
<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.106850>

LAMPIRAN

Lampiran 1

Data Hasil Penelitian

1. Data Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik Terhadap Pertumbuhan Bakteri *Escherichia coli*

Pengenceran: 10^6

Volume Plate: 1 ml

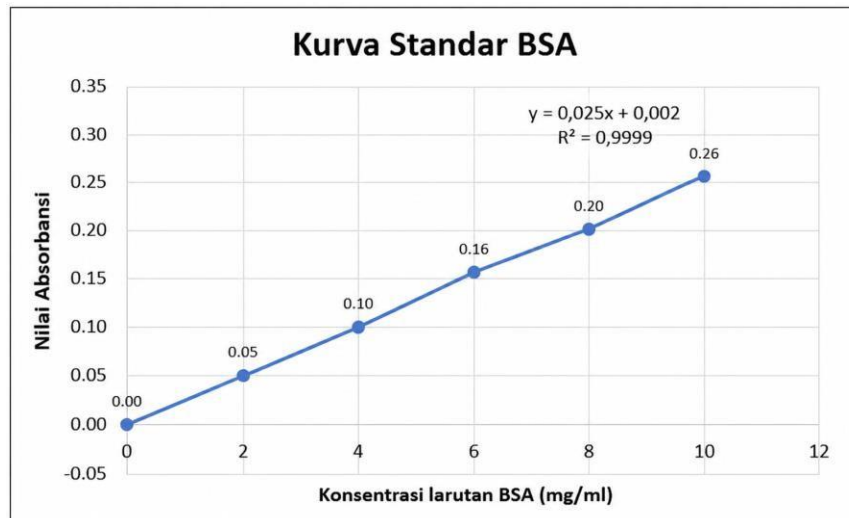
Perlakuan		Jumlah Sel Bakteri (10^6 CFU/ml)					Jumlah Rata-Rata
Intensitas	Waktu	1	2	3	4	5	
Kontrol		8.2	8.4	8.3	8.5	8.4	$8.4 \pm 0,114$
20 W/m ²	1 menit	7.9	8.0	7.8	7.9	8.0	$7.9 \pm 0,084$
	10 menit	7.2	7.3	7.1	7.2	7.3	$7.2 \pm 0,084$
	15 menit	6.8	6.9	6.7	6.8	6.9	$6.8 \pm 0,084$
	20 menit	6.3	6.4	6.2	6.3	6.4	$6.3 \pm 0,084$
	25 menit	5.9	6.0	5.8	5.9	6.0	$5.9 \pm 0,084$
40 W/m ²	1 menit	7.5	7.6	7.4	7.5	7.6	$7.5 \pm 0,084$
	10 menit	6.6	6.7	6.5	6.6	6.7	$6.6 \pm 0,084$
	15 menit	5.9	6.0	5.8	5.9	6.0	$5.9 \pm 0,084$
	20 menit	5.1	5.2	5.0	5.1	5.2	$5.1 \pm 0,084$
	25 menit	4.5	4.6	4.4	4.5	4.6	$4.5 \pm 0,084$
60 W/m ²	1 menit	7.1	7.2	7.0	7.1	7.2	$7.1 \pm 0,084$
	10 menit	6.0	6.1	5.9	6.0	6.1	$6.0 \pm 0,084$
	15 menit	5.0	5.1	4.9	5.0	5.1	$5.0 \pm 0,084$
	20 menit	4.1	4.2	4.0	4.1	4.2	$4.1 \pm 0,084$
	25 menit	3.3	3.4	3.2	3.3	3.4	$3.3 \pm 0,084$

2. Data Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik Terhadap Kadar Protein pada Daging Ayam

Nilai Absorbansi λ : 540 nm

Perlakuan		Nilai Absorbansi				
Intensitas	Waktu	1	2	3	4	5
Kontrol		0,547	0,544	0,549	0,547	0,544
20 W/m ²	1 menit	0,552	0,554	0,552	0,554	0,552
	10 menit	0,599	0,562	0,557	0,559	0,562
	15 menit	0,564	0,567	0,562	0,564	0,567
	20 menit	0,562	0,564	0,559	0,562	0,564
	25 menit	0,557	0,559	0,554	0,557	0,559
40 W/m ²	1 menit	0,562	0,564	0,562	0,564	0,562
	10 menit	0,572	0,574	0,569	0,572	0,574
	15 menit	0,577	0,579	0,574	0,577	0,579
	20 menit	0,572	0,574	0,569	0,572	0,574
	25 menit	0,564	0,567	0,562	0,564	0,567
60 W/m ²	1 menit	0,559	0,562	0,557	0,559	0,562
	10 menit	0,567	0,569	0,564	0,567	0,569

	15 menit	0,562	0,564	0,559	0,562	0,564
	20 menit	0,552	0,554	0,549	0,552	0,554
	25 menit	0,554	0,547	0,542	0,544	0,547



3. Data Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik Terhadap Susut Berat pada Daging Ayam

Berat Awal: 2 g

Perlakuan		Berat Akhir (g)				
Intensitas	Waktu	1	2	3	4	5
Kontrol		1,976	1,978	1,974	1,976	1,978
20 W/m ²	1 menit	1,97	1,972	1,97	1,972	1,97
	10 menit	1,96	1,958	1,96	1,958	1,96
	15 menit	1,952	1,95	1,952	1,95	1,952
	20 menit	1,944	1,942	1,944	1,942	1,944
	25 menit	1,936	1,934	1,936	1,934	1,936
40 W/m ²	1 menit	1,964	1,962	1,964	1,962	1,964
	10 menit	1,948	1,946	1,948	1,946	1,948
	15 menit	1,934	1,932	1,934	1,932	1,934
	20 menit	1,92	1,918	1,92	1,918	1,92
	25 menit	1,904	1,902	1,904	1,902	1,904
60 W/m ²	1 menit	1,958	1,956	1,958	1,956	1,958
	10 menit	1,938	1,936	1,938	1,936	1,938
	15 menit	1,916	1,914	1,916	1,914	1,916
	20 menit	1,894	1,892	1,894	1,892	1,894
	25 menit	1,876	1,874	1,876	1,874	1,876

4. Data Pengaruh Paparan Gelombang Ultrasonik Terhadap Nilai pH pada Daging Ayam

Perlakuan		Nilai Ph					Jumlah Rata–Rata
Intensitas	Waktu	1	2	3	4	5	
Kontrol		6,30	6,28	6,31	6,29	6,30	$6,3 \pm 0,011$
20 W/m ²	1 menit	6,25	6,24	6,26	6,25	6,24	$6,3 \pm 0,008$
	10 menit	6,18	6,17	6,19	6,18	6,17	$6,2 \pm 0,008$
	15 menit	6,10	6,09	6,11	6,10	6,09	$6,1 \pm 0,008$
	20 menit	6,03	6,02	6,04	6,03	6,02	$6,0 \pm 0,008$
	25 menit	5,98	5,97	5,99	5,98	5,97	$6,0 \pm 0,008$
40 W/m ²	1 menit	6,20	6,19	6,21	6,20	6,19	$6,2 \pm 0,008$
	10 menit	6,08	6,07	6,09	6,08	6,07	$6,1 \pm 0,008$
	15 menit	5,98	5,97	5,99	5,98	5,97	$6,0 \pm 0,008$
	20 menit	5,89	5,88	5,90	5,89	5,88	$5,9 \pm 0,008$
	25 menit	5,80	5,79	5,81	5,80	5,79	$5,8 \pm 0,008$
60 W/m ²	1 menit	6,15	6,14	6,16	6,15	6,14	$6,1 \pm 0,008$
	10 menit	6,00	5,99	6,01	6,00	5,99	$6,0 \pm 0,008$
	15 menit	5,88	5,87	5,89	5,8	5,87	$5,9 \pm 0,008$
	20 menit	5,75	5,74	5,76	5,75	5,74	$5,8 \pm 0,008$
	25 menit	5,65	5,64	5,66	5,65	5,64	$5,6 \pm 0,008$

Lampiran 2

Uji SPSS ANOVA

1. Bakteri *Escherichia coli*

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Bakteri Escherichia coli

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	149.537 ^a	15	9.969	1351.746	<.001
Intercept	2735.120	1	2735.120	370863.740	<.001
Intensitas	37.007	2	18.503	2508.927	<.001
Waktu	80.320	4	20.080	2722.712	<.001
Intensitas * Waktu	5.360	8	.670	90.847	<.001
Error	.472	64	.007		
Total	3142.690	80			
Corrected Total	150.009	79			

a. R Squared = .997 (Adjusted R Squared = .996)

2. Kadar Protein

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Kadar Protein

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	9.869 ^a	15	.658	101.219	<.001
Intercept	33597.187	1	33597.187	5168797.962	<.001
Intensitas	3.646	2	1.823	280.431	<.001
Waktu	2.651	4	.663	101.979	<.001
Intensitas * Waktu	1.676	8	.209	32.226	<.001
Error	.416	64	.007		
Total	40066.010	80			
Corrected Total	10.285	79			

a. R Squared = .960 (Adjusted R Squared = .950)

3. Susut Berat

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Susut Berat

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	153.839 ^a	15	10.256	3155.682	<.001
Intercept	593.185	1	593.185	182518.564	<.001
Intensitas	41.236	2	20.618	6344.041	<.001
Waktu	81.885	4	20.471	6298.810	<.001
Intensitas * Waktu	9.225	8	1.153	354.810	<.001
Error	.208	64	.003		
Total	966.860	80			
Corrected Total	154.047	79			

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .998)

4. pH

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: pH

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2.133 ^a	14	.152	2176.395	<.001
Intercept	2693.404	1	2693.404	38477200.476	<.001
Intensitas	.617	2	.308	4406.190	<.001
Waktu	1.436	4	.359	5129.286	<.001
Intensitas * Waktu	.080	8	.010	142.500	<.001
Error	.004	60	7.000E-5		
Total	2695.541	75			
Corrected Total	2.137	74			

Tests of Between-Subjects Effects

Lampiran 3

Gambar Penelitian



Sterilisasi



Sampel Daging
Ayam



Media NA



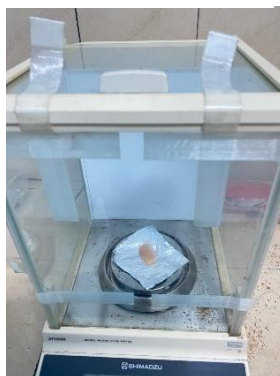
Media NB



Pengenceran



Pengujian Kadar
Protein



Pengukuran Susut
Berat



Pengukuran Nilai pH



Perhitungan Bakteri



Pemaparan Gelombang Ultrasonik



JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

IDENTITAS MAHASISWA

NIM : 220604110044
Nama : FALIZA BERLIANI
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Jurusan : FISIKA
Dosen Pembimbing 1 : Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO, M.Si
Dosen Pembimbing 2 : Dr. UMAIYATUS SYARIFAH, MA
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi : PENGARUH PAPARAN GELOMBANG ULTRASONIK TERHADAP PERTUMBUHAN BAKTERI Escherichia coli, KADAR PROTEIN, SUSUT BERAT DAN PH PADA DAGING AYAM

IDENTITAS BIMBINGAN

No	Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1	29 September 2025	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO, M.Si	Konsultasi mengenai Judul Skripsi dan Rencana Penelitian	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
2	03 Desember 2025	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO, M.Si	Konsultasi Bab 1-3	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
3	04 Desember 2025	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO, M.Si	Revisi Bab 1-3	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
4	10 Desember 2025	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO, M.Si	ACC Seminar Proposal	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
5	10 Juni 2026	Dr. UMAIYATUS SYARIFAH, MA	Konsultasi Integrasi Kajian Islam	Genap 2026/2027	Sudah Dikoreksi
6	11 Juni 2026	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO, M.Si	Konsultasi Bab 4-5	Genap 2026/2027	Sudah Dikoreksi
7	12 Juni 2026	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO, M.Si	Revisi Bab 4-5	Genap 2026/2027	Sudah Dikoreksi
8	12 Juni 2026	Dr. UMAIYATUS SYARIFAH, MA	Revisi Integrasi Kajian Islam	Genap 2026/2027	Sudah Dikoreksi
9	15 Juni 2026	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO, M.Si	Revisi Gambar Grafik dan Pembahasan Grafik Bab 4	Genap 2026/2027	Sudah Dikoreksi
10	16 Juni 2026	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO, M.Si	Revisi Pembahasan Tabel Bab 4	Genap 2026/2027	Sudah Dikoreksi
11	17 Juni 2026	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO, M.Si	ACC Seminar Hasil	Genap 2026/2027	Sudah Dikoreksi
12	17 Juni 2026	Dr. UMAIYATUS SYARIFAH, MA	ACC Seminar Hasil	Genap 2026/2027	Sudah Dikoreksi
13	25 Juni 2026	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO, M.Si	Revisi Seminar Hasil dan ACC Sidang Akhir	Genap 2026/2027	Sudah Dikoreksi
14	25 Juni 2026	Dr. UMAIYATUS SYARIFAH, MA	ACC Sidang Akhir	Genap 2026/2027	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Dosen Pembimbing 2

Dr. UMAIYATUS SYARIFAH, MA

Malang,
Dosen Pembimbing 1

Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO, M.Si

