

Pengaruh Medan Magnet Elektromagnetik ELF 750 μ T Terhadap Ketahanan Tempe

Berlian Nur Sasikirana^{1*}, Diana Ragilia Putri², Delania Sylva Astanafa³, Elsa Ananda Putri⁴, Halwa Fathimah Zakkiyah⁵, Meylan Aisyatun Nur I⁶, Nur Elizah⁷, Yushardi⁸, Dyah Arum Arimukti⁹

^{1,2,3,4,5,6}Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember

^{7,8,9}Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember

Email Correspondent : berliannursasikirana@gmail.com

Abstract

The purpose of this study was to determine the effect of ELF electromagnetic magnetic fields on the durability of tempeh. Electromagnetic fields (ELF) are a type of non-ionizing radiation because their electromagnetic wave spectrum has a frequency below 300 Hz. One of the benefits of ELF waves is that they can be used to preserve food. Food ingredients that are often found often have limited durability or shelf life, these ELF waves can be used to increase the durability or shelf life of food ingredients such as tempeh. Several research results show that exposure to ELF magnetic fields can increase the growth of certain bacteria, which play an important role in the fermentation process of foods such as tempeh. In this study, we used a laboratory experiment method which is a research method with the aim of explaining the relationship between cause and effect from one variable to another. The results of the study showed that by providing exposure to ELF magnetic fields, the quality of fermentation increased, extended the shelf life, and maintained the stability of the quality of tempeh, so this technology has great potential to be widely applied in the food industry.

Keywords: Bacterial growth, Electromagnetic wave, ELF, Magnetic field

Absrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh medan magnet elektromagnetik ELF terhadap ketahanan tempe. Medan elektromagnetik (ELF) adalah sejenis radiasi non-pengion karena spektrum gelombang elektromagnetiknya memiliki frekuensi di bawah 300 Hz. Salah satu manfaat dari gelombang ELF yaitu dapat dimanfaatkan untuk mengawetkan bahan pangan. Bahan pangan yang sering dijumpai, kerap memiliki daya tahan atau masa simpan yang terbatas, gelombang ELF ini dapat dimanfaatkan untuk menambah daya tahan atau masa simpan bahan makanan seperti tempe. Beberapa Hasil penelitian menunjukkan bahwa paparan medan magnet ELF dapat meningkatkan pertumbuhan bakteri tertentu, yang berperan penting dalam proses fermentasi makanan seperti tempe. Pada penelitian kali ini kita menggunakan metode eksperimen laboratorium yang merupakan metode penelitian dengan tujuan menjelaskan hubungan antara sebab dan akibat dari satu variabel dengan variabel yang lain. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa dengan pemberian paparan medan magnet ELF, kualitas fermentasi meningkat, memperpanjang masa simpan, dan menjaga stabilitas kualitas tempe, sehingga teknologi ini memiliki potensi besar untuk diterapkan secara luas dalam industri pangan.

Kata Kunci: ELF, Gelombang elektromagnetik, Medan magnet, Pertumbuhan bakteri

PENDAHULUAN

Tempe fermentasi adalah makanan tradisional yang dibuat dari biji kedelai yang telah mengalami proses fermentasi dengan bantuan kapang, biasanya dari genus *Rhizopus* seperti *Rhizopus oligosporus*. Dalam proses ini, kapang tumbuh pada kedelai, membentuk lapisan putih yang

menyatukan biji kedelai menjadi blok padat. Fermentasi ini tidak hanya meningkatkan tekstur dan rasa, tetapi juga memperkaya nilai gizi tempe, seperti meningkatkan kandungan protein, vitamin B12 (dari aktivitas mikroba), serta memecah senyawa antinutrisi yang ada pada kedelai, sehingga lebih mudah dicerna oleh tubuh. Tempe

sering digunakan sebagai sumber protein nabati dalam berbagai masakan, terutama di Indonesia.

Gelombang elektromagnetik merupakan bentuk radiasi yang terdiri dari osilasi medan listrik serta medan magnet yang merambat melalui ruang. Radiasi medan magnet ELF yaitu radiasi dengan sifat ionizing dan non thermal. Frekuensi mereka di bawah 300 Hz. Pada gelombang elektromagnetik, masing-masing komponen mempunyai karakteristik yang berbeda. Medan listrik membutuhkan medium untuk merambatkan arus, sedangkan medan magnet tidak mudah terhalang, sehingga intensitasnya akan berkurang jika terhalang benda. Medan magnet hampir menembus hampir semua material (Yulandari *et al.*, 2024). Salah satu manfaat dari gelombang ELF yaitu dapat dimanfaatkan untuk mengawetkan bahan pangan. Medan magnet ELF sering dimanfaatkan pada berbagai bidang, seperti bidang pertanian, kesehatan, pangan. Pada bidang pangan sendiri dapat menghambat pembusukan sehingga digunakan untuk memperpanjang daya simpan bahan makanan. Paparan ELF dapat dimanfaatkan pada bidang pangan karena paparan ELF mempunyai kemampuan untuk mengendalikan pH makanan (Utami *et al.*, 2024).

Teknologi yang digunakan dalam pengawetan pangan dengan menggunakan paparan medan magnet tidak akan menyebabkan kenaikan suhu yang dapat merusak zat gizi dalam. ELF dalam bahan pangan mengacu pada pengaruh gelombang elektromagnetik dengan frekuensi ELF terhadap pertumbuhan dan kualitas bahan pangan. Paparan medan elektromagnetik Elf memiliki pengaruh

terhadap mikroorganisme dan jaringan sel yang nantinya dapat mempengaruhi proses perkecambahan, ukuran tanaman, pertambahan berat kering dan juga pembentukan klorofil pada suatu tanaman. (Jannah & Hariyono, 2022). Medan magnet ELF (Extremely Low Frequency) dengan intensitas rendah dapat mengoptimalkan

proses fermentasi dengan berbagai indikator (Purbawati *et al.*, 2021).

Pemanfaatan radiasi medan magnet ELF pada bidang pangan dapat menjadi alternatif baru sebagai metode pengawetan (Ariyani *et al.*, 2024). Paparan medan magnet ELF dengan intensitas 100 μ T dan 300 T mempengaruhi perubahan pH pada tempe yang difermentasi. (Maghfirah *et al.*, 2022). Pada bidang pangan, pemanfaatan paparan medan magnet ELF dapat digunakan untuk menghambat pertumbuhan bakteri pembusuk yang dapat merugikan dan menjaga kualitas pangan (Yuniarta *et al.*, 2022). Medan magnet dengan intensitas dibawah 500 μ T dapat mendukung proses proliferasi sel, sedangkan intensitas diatas 500 μ T dapat berperan dalam proses kematian sel (apoptosis) sehingga dapat menghambat pertumbuhan bakteri pada pangan (Nuriyah *et al.*, 2022). Medan magnet ELF yang diaplikasikan pada bidang pangan dapat menghambat pertumbuhan bakteri pembusuk yang dapat merugikan dan menjaga kualitas pangan (Yuniarta *et al.*, 2022). Medan magnet ELF yang diaplikasikan pada bidang pangan dapat menghambat pertumbuhan bakteri pembusuk yang dapat merusak dan menjaga kualitas pangan (Yuniarta *et al.*, 2022). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh medan magnet elektromagnetik ELF terhadap ketahanan tempe.

METODE

Penelitian ini dilakukan pada hari Selasa, 12 November 2024, pukul 07.40 sampai 08.40 WIB, di Laboratorium Fisika Dasar, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember. Pada penelitian ini digunakan metode eksperimen untuk meningkatkan pemahaman mahasiswa tentang pengaruh medan magnet ELF terhadap ketahanan tempe, dengan melakukan eksperimen ini kita mampu menguji pengaruh medan magnet dengan frekuensi *Extremely Low Eksperimen* (ELF) terhadap proses fermentasi tempe, baik dari segi perubahan rasa, pH, dan makrobiologi.

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu, generator medan magnet ELF, EMF-meter, termometer, pH meter, gelas ukur, neraca/timbangan, nampan plastik, cawan, sarung tangan, penggaris dan tempe matang. Percobaan dalam penelitian ini dilakukan dengan membagi bahan tempe menjadi 2 bagian, yaitu kelompok kontrol (K) dan kelompok eksperimen (E). Dimana tempe pada kelompok eksperimen (E) nantinya akan memperoleh perlakuan yaitu dengan mendapatkan paparan medan magnet dengan intensitas 750 μ T. Paparan medan magnet yang diberikan terhadap tempe dapat mempengaruhi perubahan fisik atau kimia, adapun pengaruh paparannya yaitu dapat mempengaruhi struktur mikroskopis pada tempe, terutama dalam hal orientasi partikel magnetik yang ada di dalam bahan tempe yang digunakan.

Langkah-langkah dalam penelitian ini yaitu dengan menyiapkan bahan praktikum, berupa 20 bungkus sampel tempe yang kemudian dibagi menjadi 2 kelompok, 10 Bungkus merupakan kelompok kontrol (K) dan 10 bungkus merupakan kelompok eksperimen (E). Bedakan dua kelompok tersebut dengan memberikan nama pada masing-masing sampel menggunakan label dan spidol, lalu letakkan kelompok kontrol dan kelompok eksperimen pada dua nampan yang berbeda. Tempe pada kelompok eksperimen diberikan paparan medan magnet ELF dengan intensitas 750 μ T kurang lebih selama 60 menit. Setelah itu simpan kedua kelompok tersebut pada suhu ruangan. Dan lakukan pengamatan kembali setelah tempe disimpan selama dua hari.

Proses pengambilan data dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama dilakukan sebelum tempe memperoleh perlakuan paparan medan magnet, sedangkan pengambilan data kedua dilakukan setelah tempe memperoleh perlakuan paparan dari medan magnet dan telah disimpan selama 2 hari. Pengambilan data yaitu meliputi pengukuran pH, pengukuran ini dilakukan pada setiap sampel dengan menggunakan pH-meter. Selanjutnya pengukuran massa

jenis, dalam mengukur massa jenis sampel menggunakan rumus $\rho = \frac{m}{\Delta v}$ dimana $\Delta V = V_1 - V_0$. Untuk pengambilan data terakhir yaitu dengan memeriksa kondisi fisik tempe. Pemeriksaan kondisi fisik ini meliputi perubahan warna, ketebalan rhizopus, aroma, tekstur dan rasa yang terjadi pada setiap masing-masing sampel tempe.



Gambar 1. Proses Pemaparan Tempe Menggunakan Medan Magnet ELF

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian tentang pengaruh medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap proses kematangan tempe, berikut adalah analisis detail terhadap data yang diamati seperti pengukuran pH, Massa Jenis, Kondisi Fisik (warna, rhizopus, aroma, tekstur, dan rasa).

Tabel 1. Pengukuran pH

Kelompok Kontrol		Kelompok Eksperimen	
K1	3,8	E1	7,3
K2	4,7	E2	7,3
K3	2,7	E3	3,7
K4	3,5	E4	6,8
K5	3,0	E5	6,8
pH rata-rata		3,54	pH rata-rata
			6,38

Hasil pengamatan pH kelompok kontrol (K), dapat diketahui bahwa nilai pH rata-rata yang lebih rendah (sekitar 3,0 - 4,7) menunjukkan kondisi asam, yang umum terjadi pada proses fermentasi tempe. Selama fermentasi, aktivitas mikroorganisme seperti *Rhizopus oligosporus* menghasilkan asam laktat dan senyawa asam lainnya, yang menyebabkan penurunan pH. Kondisi ini menandakan bahwa fermentasi berlangsung secara normal tanpa adanya gangguan dari faktor eksternal yang mempengaruhi proses tersebut. Sebaliknya, pada kelompok

eksperimen (E), hasil pengamatan menunjukkan variasi nilai pH yang lebih beragam. Nilai pH tempe pada eksperimen 1 dan 2 tercatat sebesar 7,3, yang mengindikasikan pH netral, sementara pada eksperimen tempe 3, nilai pH tercatat lebih rendah, yaitu 3,7, yang menunjukkan kondisi asam. Pada eksperimen tempe 4 dan 5, pH tercatat sebesar 6,8, yang mendekati kondisi netral, namun sedikit lebih asam dibandingkan dengan kontrol. Perbedaan ini dipengaruhi oleh variasi perlakuan yang diterapkan selama proses fermentasi.

Tabel 2. Pengukuran massa jenis

Kelompok kontrol				Kelompok Eksperimen			
Nama sampel	m	$\frac{\Delta}{v}$	ρ	Nama sampel	m	$\frac{\Delta}{v}$	ρ
K1	14	20	0,7	E1	14	15	2,3
K2	11	10	1,1	E2	15	16	1,06
K3	13	15	0,36	E3	19	20	0,95
K4	17	20	0,35	E4	14	10	1,4
K5	13	15	0,36	E5	10	11	1,1
Massa Jenis rata-rata			0,574	Massa Jenis rata-rata			1,422



Gambar 2. Proses penimbangan massa jenis tempe

Pada pengamatan ini, untuk menghitung massa jenis, diperlukan data massa dan volume. Massa jenis diperoleh dengan membagi massa dengan volume. Pada pengamatan kelompok kontrol (K), massa jenis tempe berkisar antara 0,35 hingga 0,7 g/mL. Rentang nilai ini menunjukkan adanya rongga udara yang terbentuk di dalam tempe akibat aktivitas mikroorganisme selama proses fermentasi, yang menghasilkan gas. Proses ini berkontribusi pada tekstur tempe yang lebih ringan dan berongga. Proses ini menyebabkan tekstur tempe menjadi lebih ringan dan berongga. Sementara itu, pada tempe eksperimen (E) yang sudah matang

diketahui bahwa pada tempe eksperimen 1 massa nya yaitu 14, perubahan volumenya 15 dan massa jenisnya yaitu 2,3, pada tempe eksperimen 2 diketahui bahwa massa nya yaitu 15, perubahan volumenya yaitu 16 dan massa jenisnya yaitu 1,06, pada tempe eksperimen 3 diketahui bahwa massa nya yaitu 19, perubahan volume nya yaitu 20 dan massa jenisnya 0,95, pada tempe eksperimen 4 diketahui bahwa massa nya yaitu 14, perubahan volumenya yaitu 10 dan massa jenisnya yaitu 1,4 dan yang terakhir yaitu tempe eksperimen 5 diketahui bahwa massa nya yaitu 10, perubahan volumenya yaitu 11 dan massa jenisnya yaitu 1,1. Massa jenis yang bervariasi antara eksperimen menunjukkan bahwa proses fermentasi dan perkembangan struktur tempe berbeda pada setiap eksperimen, yang dapat dipengaruhi oleh faktor seperti lama fermentasi, kelembapan, atau suhu.

Tabel 3. Warna tempe kelompok kontrol untuk tempe sudah matang

Sampel	Normal			Kecoklatan			Hitam		
	p(1)	p(2)	p(3)	p(1)	p(2)	p(3)	p(1)	p(2)	p(3)
K1			✓						
K2			✓						
K3			✓						
K4			✓						
K5			✓						

Pada pengamatan warna tempe kelompok kontrol (K), dapat diketahui warna tempe adalah normal. Tempe matang dari kelompok kontrol masih berada dalam kondisi baik tanpa adanya perubahan warna signifikan. Warna normal ini menunjukkan bahwa kondisi awal tempe normal dan tidak dipengaruhi oleh faktor eksternal.

Tabel 4. Warna tempe kelompok eksperimen untuk tempe sudah matang

Sampel	Normal			Kecoklatan			Hitam		
	P(1)	P(2)	P(3)	P(1)	P(2)	P(3)	P(1)	P(2)	P(3)
E1			✓						
E2			✓						
E3			✓						
E4			✓						
E5			✓						

Pada pengamatan warna tempe eksperimen (E), dapat diketahui bahwa

semua warna tempe eksperimen yaitu p(2) atau normal, hal ini disebabkan oleh kelembapan yang cukup sehingga akan membantu menghasilkan warna tempe matang yang tetap normal dan tidak adanya pertumbuhan jamur atau mikroorganisme yang tidak diinginkan juga dapat membuat tempe yang sudah matang memiliki warna yang normal.

Tabel 5. Aroma tempe kelompok eksperimen untuk tempe sudah matang

Sampel	Normal/khas			Tidak ada aroma			Busuk		
	p(1)	p(2)	p(3)	p(1)	p(2)	p(3)	p(1)	p(2)	p(3)
E1		✓							
E2		✓							
E3		✓							
E4		✓							
E5		✓							

Hasil pengamatan aroma tempe pada kelompok eksperimen (E) yang telah mencapai kematangan, dapat disimpulkan bahwa seluruh sampel memiliki warna yang normal dan konsisten. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses fermentasi berlangsung dengan baik dan terkendali, tanpa adanya gangguan dari mikroorganisme asing yang tidak diinginkan. Fermentasi yang berjalan optimal berperan penting dalam menjaga kualitas tempe, termasuk aroma yang khas dan tidak berbau busuk. Hal ini menandakan bahwa tidak terjadi kontaminasi yang dapat merusak struktur tempe atau menghambat proses fermentasi alami, sehingga tempe tetap memiliki aroma yang baik, segar, dan sesuai dengan karakteristik produk tempe matang pada umumnya.



Gambar 3. Proses pengecekan pada tempe yang terpapar medan ELF

Tabel 6. Aroma tempe kelompok kontrol untuk tempe yang sudah matang

Sampel	Normal/khas			Tidak ada aroma			Busuk		
	p(1)	p(2)	p(3)	p(1)	p(2)	p(3)	p(1)	p(2)	p(3)
K1		✓							
K2		✓							
K3		✓							
K4		✓							
K5		✓							

Hasil pengamatan aroma tempe pada kelompok kontrol (K), terlihat bahwa aroma khas fermentasi menjadi semakin kuat seiring dengan bertambahnya waktu. Aroma tersebut menandakan bahwa proses fermentasi berlangsung dengan baik, di mana mikroorganisme bekerja secara optimal dalam menguraikan bahan organik yang terkandung dalam tempe. Kondisi ini merupakan salah satu indikator bahwa proses fermentasi berjalan normal dan tidak mengalami gangguan dari faktor eksternal seperti kontaminasi mikroorganisme yang tidak diinginkan atau kondisi lingkungan yang tidak mendukung.

Tabel 7. Tekstur tempe kelompok eksperimen untuk tempe yang sudah matang

Sampel	Padat			Lembek			Berair		
	p(1)	p(2)	p(3)	p(1)	p(2)	p(3)	p(1)	p(2)	p(3)
E1		✓							
E2		✓							
E3		✓							
E4		✓							
E5		✓							

Hasil pengamatan tekstur tempe eksperimen (E) dapat diketahui bahwa semua tekstur tempe eksperimen yaitu bertekstur padat, hal ini disebabkan oleh proses fermentasi berjalan dengan baik, serta suhu fermentasi yang cukup dan kelembapan yang cukup sehingga dapat mendukung pertumbuhan miselium *rhizopus oligosporus* dapat mengikat kedelai menjadi tempe yang padat.

Tabel 8. Tekstur tempe kelompok kontrol untuk tempe yang sudah matang

Sampel	Padat			Lembek			Berair		
	p(1)	p(2)	p(3)	p(1)	p(2)	p(3)	p(1)	p(2)	p(3)
E1		✓							
E2		✓							
E3		✓							
E4		✓							
E5		✓							

Hasil pengamatan tekstur kelompok kontrol (K), dapat diketahui bahwa tekstur tempe menjadi lebih lembut dan berongga akibat aktivitas mikroorganisme selama proses fermentasi. Mikroorganisme ini menghasilkan enzim yang memecah protein dan karbohidrat kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana, sehingga struktur tempe menjadi lebih lunak. Selain itu, gas yang dihasilkan selama fermentasi menciptakan rongga-rongga udara di dalam tempe, yang juga berkontribusi pada tekstur yang lebih ringan.

Tabel 9. Rasa tempe kelompok kontrol

Sampel	Baik/khas			pahit			asam		
	p(1)	p(2)	p(3)	p(1)	p(2)	p(3)	p(1)	p(2)	p(3)
E1		✓							
E2		✓							
E3		✓							
E4		✓							
E5		✓							

Hasil pengamatan rasa tempe pada kelompok eksperimen (E) menunjukkan bahwa seluruh sampel memiliki karakteristik rasa yang normal (P2), tanpa adanya rasa pahit dan asam. Dikarenakan medan magnet ELF meskipun dapat mempengaruhi beberapa aspek mikrobiologis dalam proses fermentasi ini, ia juga tidak cukup untuk mengubah karakter rasa yang terbentuk dari suatu senyawa seperti asam amino, asam lemak, dan berbagai senyawa lainnya yang terbentuk selama fermentasi berlangsung. Medan magnet ELF tidak mengganggu proses dasar pada fermentasi yang dapat menghasilkan rasa ringan dan aroma khas tempe. Terdapat beberapa faktor lain juga yang dapat membuat aroma tempe tetap normal yaitu suhu, kelembapan, dan waktu fermentasi.

Tabel 10. Rasa tempe kelompok kontrol untuk tempe sudah matang

Sampel	Baik/khas			pahit			asam		
	p(1)	p(2)	p(3)	p(1)	p(2)	p(3)	p(1)	p(2)	p(3)
K1									✓
K2									✓
K3									✓
K4									✓
K5									✓

Hasil pengamatan rasa tempe pada kelompok kontrol menunjukkan bahwa seluruh sampel memiliki karakteristik rasa yang didominasi oleh rasa asam, tanpa adanya rasa baik/khas ataupun pahit. Dominasi rasa asam ini mengindikasikan proses fermentasi berjalan normal, dengan produksi senyawa asam organik seperti asam laktat dan asam asetat sebagai hasil metabolisme jamur *Rhizopus*. Tidak adanya rasa baik/khas menunjukkan bahwa fermentasi pada kelompok kontrol belum mencapai tahap optimal untuk menghasilkan rasa tempe segar yang khas. Selain itu, ketiadaan rasa pahit menandakan bahwa proses fermentasi tidak mengalami gangguan yang menyebabkan penurunan kualitas rasa. Proses fermentasi pada tempe dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk suhu, waktu fermentasi, dan kelembapan. Pada kelompok kontrol, dominasi rasa asam menunjukkan bahwa kondisi lingkungan fermentasi mendukung pertumbuhan mikroorganisme yang menghasilkan senyawa asam, tetapi belum cukup lama untuk memungkinkan pengembangan profil rasa khas tempe. Faktor lain yang berkontribusi adalah aktivitas enzimatis yang berlangsung selama fermentasi, di mana enzim yang dihasilkan oleh jamur memecah protein kedelai menjadi asam amino yang memberi kontribusi terhadap rasa khas tempe segar.

Tabel 11. Luasan dan ketebalan rhizopus kelompok eksperimen tempe sudah matang

Sampel	Luasan			Ketebalan
	P(Mm)	L(Mm)	Luas(Mm)	
E1	4	2	8	Tebal
E2	3,5	1	3,1	Tebal
E3	5	0,5	2,5	Tebal
E4	4	1	4	Tebal
E5	4	1	4	Tebal

Hasil pengamatan luasan dan ketebalan rhizopus eksperimen tempe sudah matang, dengan keterangan (Tipis : Luas 1-2 cm), (Tebal : Luas 3-10) didapatkan hasil bahwa pada eksperimen tempe 5 panjangnya yaitu 4, lebar nya yaitu 2, dan luas nya yaitu 8, pada eksperimen tempe 6 didapatkan hasil panjangnya yaitu 3,5, lebarnya yaitu 1 dan luas nya yaitu 3,1, pada eksperimen tempe 7 didapatkan hasil bahwa panjangnya yaitu 5, lebarnya yaitu 0,5 dan luasnya yaitu 2,5, pada tempe eksperimen 8 didapatkan hasil bahwa panjangnya 4, lebarnya 1 dan luasnya yaitu 4 dan yang terakhir yaitu tempe eksperimen 10 dimana panjang nya 4, lebarnya 1 dan luasnya yaitu 4. Tempe eksperimen ini juga memiliki ketebalan.

Tabel 12. Luas dan ketebalan rizhopus kelompok kontrol tempe sudah matang

Sampel	Luasan			Ketebalan
	P (mm)	L (mm)	Luas (mm)	
K1	5	0,7	3,5	Tebal
K2	6	20	120	Tebal
K3	6	5	30	Tebal
K4	5	10	50	Tebal
K5	5	12	60	Tebal

Pertumbuhan Rhizopus pada kelompok kontrol (K) menunjukkan variasi dalam panjang dan lebar koloni, dengan luas koloni berkisar antara 3,5 mm² hingga 10 mm². Hal ini menunjukkan bahwa fermentasi berjalan normal tanpa adanya gangguan dari faktor eksternal seperti medan magnet ELF. Perbedaan ukuran koloni di antara sampel disebabkan oleh variasi distribusi nutrisi pada substrat tempe, perbedaan mikroklimat (kelembapan dan oksigen), serta laju metabolisme mikroorganisme yang tidak sepenuhnya seragam. Rhizopus, sebagai jamur utama dalam proses fermentasi tempe, memanfaatkan nutrisi dari kedelai untuk pertumbuhannya. Ukuran koloni yang lebih besar, seperti pada sampel K3 dengan luas 10 mm², mengindikasikan bahwa fermentasi berjalan optimal pada sampel tersebut.

Medan magnet ELF dengan intensitas 750 μ T memberikan pengaruh langsung terhadap laju fermentasi tempe. Hal ini

ditunjukkan oleh peningkatan pH, massa jenis yang lebih tinggi, serta kondisi fisik yang lebih stabil pada kelompok eksperimen dibandingkan dengan kelompok kontrol. Pengaruh medan magnet ELF terhadap ketahanan pangan sangat positif, karena mampu memperlambat laju fermentasi tanpa menyebabkan kerusakan struktural maupun toksisitas pada bahan pangan. Teknologi medan magnet ELF memiliki potensi besar untuk diterapkan dalam industri pangan sebagai solusi inovatif dalam memperpanjang umur simpan dan menjaga kualitas produk fermentasi. Teknologi ini dapat membantu meningkatkan efisiensi produksi serta mengurangi potensi kerugian akibat kerusakan bahan pangan.

KESIMPULAN

Medan elektromagnetik ELF (Extremely Low Frequency) memiliki pengaruh positif terhadap ketahanan tempe. Paparan medan ELF dapat meningkatkan kualitas fermentasi dengan mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme seperti Rhizopus dan bakteri yang berperan penting dalam proses fermentasi dan memperlambat pertumbuhan mikroba pembusuk. Hal ini berkontribusi pada peningkatan daya tahan dan masa simpan tempe, menjadikannya lebih stabil terhadap pembusukan. Oleh karena itu, medan elektromagnetik ELF berpotensi sebagai teknologi inovatif dalam meningkatkan ketahanan pangan, khususnya pada produk fermentasi seperti tempe. Namun, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan parameter optimal paparan medan ELF agar penggunaannya aman dan efektif.

DAFTAR PUSTAKA

Agustina, M. A. D., Tias, E. R. W., Nissaâ, N., Yushardi, Y., Anggraeni, F. K. A., & Meilina, I. L. (2023). *Extremely low frequency (ELF) Magnetic Field Radiation Analysis Of Tempe Material Maturity*. *EduFisika: Jurnal Pendidikan Fisika*, 8(3): 395-405.

- Ariyani, D. T., Najah, S., Cahayati, E., Sudarti, S., & Mahmudi, K. (2024). Konsep Radiasi Medan Elektromagnetik ELF (*Extremely Low Frequency*) oleh Peralatan Rumah Tangga. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 8(1): 147-156.
- Ashari, B., Jumingin, J., & Atina, A. (2023). Lamanya Paparan Medan Magnet Elf (*Extremely Low Frequency*) 500 μ t terhadap pH pada Proses Fermentasi Beksam Ikan Nila. *Journal Online Of Physics*, 8(2): 7-11.
- Azizah, M. N., Sudarti, S., & Bektiarso, S. (2022). Pengaruh Paparan Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) 2agustina00 μ t dan 300 μ t terhadap pH dalam Proses Fermentasi Tempe. *ORBITA: Jurnal Pendidikan dan Ilmu Fisika*, 8(1): 28-34.
- Faridawati, D., Maulida, R. Y., & Sudarti, S. (2023). Potensi Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) untuk Meningkatkan Kualitas Fermentasi. *Eduproxima (Jurnal Ilmiah Pendidikan Ipa)*, 5(2): 199-204.
- Ferlita, S. A., Wulandari, I. T., Sari, N. L., Sudarti, S., & Mahmudi, K. (2024). Potensi Pemanfaatan Medan Magnet ELF Untuk Meningkatkan Ketahanan Daging. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 8(1): 138-146.
- Ghausia, A. N., Sudarti, S., & Supriadi, B. (2020). Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF (*Extremely Low Frequency*) 100 μ t dan 200 μ t terhadap ph sebagai Indikator Ketahanan Minuman Susu Fermentasi. *JPFT (Jurnal Pendidikan Fisika Tadulako Online)*, 8(3).
- Jannah, A., & Hariyono, K. (2022). Pengaruh Paparan Medan Elektromagnetik pada Biji terhadap Pertumbuhan dan Hasil Selada (*Lactuca sativa*. L). *Berkala Ilmiah Pertanian*, 5(4): 229-235.
- Magfirah, S., Prihandono, T., & Sudarti, S. (2022). Analysis of pH Changes In Cassava Fermentation Process Exposed To Elf Magnetic Fields Intensity 100 μ T, 200 μ T and 300 μ T. *Sainteks: Jurnal Sain dan Teknik*, 4(2): 163-170.
- Nuriyah, S., Sudarti, S., & Bektiarso, S. (2022). Pengaruh paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap Nilai pH Cabai Merah Kecil (*Capsicum Frutescens* L). *ORBITA: Jurnal Kajian, Inovasi dan Aplikasi Pendidikan Fisika*, 8(1): 45-51.
- Purbawati, M., Sudarti, S., & AA, F. K. (2021). Pengaruh Paparan Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap Perubahan pH Pada Proses Fermentasi Biji Kopi Lanang (*Peaberry*) kering. *Jurnal Kumparan Fisika*, 4(2): 129-136.
- Rohmandhoni, A. D. (2022). Pengaruh intensitas paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap pertumbuhan dan produktivitas kedelai (*Glycine max* L. Merrill) (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- Utami, R. D. S., & El Firdausi, Z. (2024). Analisis Potensi Pemanfaatan Radiasi Electromagnetic *Extremely Low Frequency* Untuk Meningkatkan Ketahanan Ikan. *Jurnal Informasi, Sains dan Teknologi*, 7(1): 226-238.
- Yulandari, A., Sudarti, S., & Yushardi, Y. (2024). Dosis Efektif Radiasi Medan Magnet Elf Untuk Memicu Perkembangbiakan Bakteri. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 8(1): 205-212.
- Yuniarta, E., Sudarti, S., & Anggraeni, F. K. A. (2022). Analisis Ketahanan Fisik Jamur Tiram Oleh Paparan Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) Intensitas 600 $\hat{I}$ ¼T dan 900 $\hat{I}$ ¼T. *Jurnal Fisika Unand*, 11(3): 299-305.