

**PENGARUH PAPARAN RADIASI GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK
TELEPON SELULER DAN PEMBERIAN EKSTRAK DAUN KELOR
(*Moringa Oleifera*) TERHADAP GAMBARAN HISTOLOGI HATI MENCIT
(*Mus Musculus*)**

SKRIPSI

Oleh :

SILVIAFNIARIZATUL KHOIROH
NIM. 210604110075



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

**PENGARUH PAPARAN RADIASI GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK
TELEPON SELULER DAN PEMBERIAN EKSTRAK DAUN KELOR
(*Moringa Oleifera*) TERHADAP GAMBARAN HISTOLOGI HATI MENCIT
(*Mus Musculus*)**

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:
SILVI AFNI ARIZATUL KHOIROH
NIM. 210604110075**

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

HALAMAN PERSETUJUAN

**PENGARUH PAPARAN RADIASI GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK
TELEPON SELULER DAN PEMBERIAN EKSTRAK DAUN KELOR
(*Moringa Oleifera*) TERHADAP GAMBARAN HISTOLOGI HATI MENCIT
(*Mus Musculus*)**

SKRIPSI

Oleh:

Silvi Afni Arizatul Khoiroh
NIM. 210604110075

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Pada Tanggal, 01 April 2026

Pembimbing I



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

Pembimbing II



Muthmainnah, M.Si
NIP. 19860325 201903 2 009

Mengetahui,
Ketua Program Studi



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

HALAMAN PENGESAHAN

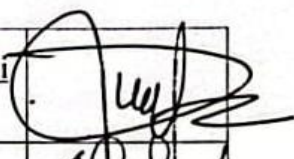
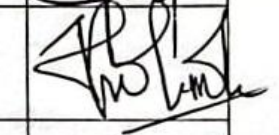
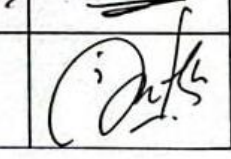
PENGARUH PAPARAN RADIASI GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK
TELEPON SELULER DAN PEMBERIAN EKSTRAK DAUN KELOR
(*Moringa Oleifera*) TERHADAP GAMBARAN HISTOLOGI HATI MENCIT
(*Mus Musculus*)

SKRIPSI

Oleh:

SILVI AFNI ARIZATUL KHOIROH
NIM. 210604110075

Telah Dipertahankan di Depan dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
untuk Memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal, 17 Juni 2026

Penguji Utama	:	<u>Prof. Dr. Drs. Mokhamad Tirono, M.Si</u> NIP. 19641211 199111 1 001	
Ketua Penguji	:	<u>Utiya Hikmah, M. Si</u> NIP. 19880605 202321 2 054	
Sekretaris Penguji	:	<u>Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes</u> NIP. 19750808 199903 1 003	
Anggota Penguji	:	<u>Muthmainnah, M.Si</u> NIP. 19860325 201903 2 009	

Mengesahkan,

Ketua Program Studi



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

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Silvi Afni Arizatul Khoiroh
NIM : 210604110075
Jurusan : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Pengaruh Paparan Radiasi Gelombang Elektromagnetik
Telepon Seluller Dan Pemberian Ekstrak Daun Kelor
(*Moringa Oleifera*) Terhadap Gambaran Histologi Hati
Mencit (*Mus Musculus*)

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar Pustaka.

Apabila hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk mempertanggung jawabkan serta diproses sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 17 Juni 2026

Yang membuat pernyataan



Silvi Afni Arizatul Khoiroh
NIM. 210604110075

MOTTO

Allah memang tidak menjanjikan hidupmu akan selalu mudah, tapi dua kali Allah

berjanji bahwa : “*Fa inna ma'al 'usri yusra, inna ma'al 'usri yusra*”

“ Setiap kesulitan pasti ada kemudahan”

(QS. Al-Insyirah 94:5-6)

“Aku membahayakan nyawa ibuku untuk lahir ke dunia, jadi tidak mungkin aku

tidak ada artinya, dan aku membuat ayahku bekerja setiap hari hingga lelah, jadi

aku pastikan lelahnya tidak sia-sia”

(Penulis)

“Tidak ada yang bisa diandalkan, kecuali diri sendiri”

(Penulis)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Di antara seluruh halaman dalam skripsi ini, lembar persembahan Adalah halaman yang paling bermakna, karena di sinilah penulis menitipkan rasa terimakasih yang tidak mampu terucap oleh kata-kata. Bismillahirrahmanirrahim, skripsi ini penulis persembahkan kepada:

1. Allah SWT, yang telah memberikan nikmat yang sangat luar biasa, memberi saya kekuatan, membekali dengan ilmu pengetahuan serta memperkenalkan saya dengan cinta. Atas karunia dan kemudahan yang engkau berikan, akhirnya tugas akhir ini dapat diselesaikan. Sholawat serta salam semoga tercurahkan kepada baginda Rasulullah SAW.
2. Teruntuk *support system* dan panutan. Ayahanda Slamet Effendi, terimakasih selalu berjuang tanpa mengenal kata Lelah dan menyerah demi mengupayakan yang terbaik untuk kehidupan penulis, beliau memang tidak sempat merasakan Pendidikan sampai bangku perkuliahan, namun beliau mampu mendidik penulis, memotivasi, memberikan dukungan dan semangat serta selalu mengajarkan kebaikan dalam hidup sehingga penulis mampu menyelesaikan studinya sampai sarjana. Sekali lagi, terimakasih untuk setiap cucur keringat dan kerja keras yang engkau tukarkan menjadi sebuah nafkah hingga anakmu bisa sampai di tahap ini.
3. Teruntuk Mama tersayang, Mama Nurafni Rohmawati yang menjadi alasan utama penulis bisa bertahan hingga saat ini. Terimakasih atas segala motivasi, semangat, harapan, serta bersedia menjadi sandaran terkuat dari kerasnya dunia, serta terimakasih telah senantiasa mendampingi penulis

untuk menjadi seseorang yang berpendidikan. Terimakasih atas kasih sayang tanpa batas yang diberikan, mendoakan tanpa henti dan terimakasih atas kesabaran serta pengorbanan yang selalu mengiringi perjalanan penulis. Walaupun sering adu argumen tetapi penulis tetap mendoakan beliau diberikan umur yang panjang, untuk selalu mendampingi penulis.

4. Teruntuk Adikku Yafiq Annadim Rafif Effendi. Terimakasih sudah menjadi sumber semangat dan motivasi dalam setiap langkah perjuangan penulis. Meski kadang kami tidak akur, namun dialah alasan penulis terus berusaha menempuh Pendidikan dengan sungguh-sungguh, agar kelak dia dapat menikmati kehidupan yang lebih layak tanpa harus bersusah payah menata hidup dan karimu dari awal. Semoga apa yang kakak perjuangkan hari ini dapat menjadi pijakan bagi masa depanmu yang lebih baik.
5. Teruntuk kakek dan nenekku tercinta, Alm. H.Moh Khoiri dan Hj. Lilik Masro'iyah. Sosok yang penulis rindukan, yang kini telah beristirahat di Surga-Nya Allah. Meski tidak sempat menemani penulis melalui setiap langkah dalam proses ini, beliau tetap memiliki tempat tersendiri dalam hati penulis. Terimakasih selama hadir dalam hidup penulis kalian menjadi kapal disaat ombak laut yang begitu keras menghantam, semoga kalian senang dengan pencapaian gelar yang penulis dapatkan, penulis persembahkan gelar yang luar biasa ini kepada kalian. Semoga Allah SWT melapangkan jalan beliau dan menempatkan di tempat terbaik di sisi-Nya.
6. Teruntuk Sahabat dekat penulis, Ardiani Tri Karuniawati, M. Alex Febrianto, Bobby Dwi Januarta, Dara Intan Nurjannah. Terimakasih atas setiap waktu yang diluangkan, memberi dukungan, motivasi, semangat, doa, pendengar

yang baik, serta menjadi rekan yang menemani penulis dari awal perkuliahan sampai selesai skripsi. Tiada hentinya memberikan motivasi kepada penulis agar skripsi dapat segera selesai.

7. Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes selaku pembimbing skripsi saya. Terimakasih sudah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan arahan, pengetahuan serta bimbingan mulai awal pengerjaan hingga terselesaikannya skripsi ini.
8. Teruntuk seseorang yang tak kalah penting kehadirannya, M.Shilman Rafi Annuzul, S.Pd. Terimakasih telah menjadi penyemangat karena selalu ada dalam suka maupun duka, serta menjadi bagian dari perjalanan hidup penulis. Berkontribusi banyak dalam penulisan karya tulis ini, baik tenaga, waktu, maupun materi kepada penulis. Telah menjadi rumah, pendamping dalam segala hal yang menemani, mendukung ataupun menghibur dalam kesedihan, mendengar keluh kesah, memberi semangat untuk pantang menyerah. Semoga Allah selalu memberi keberkahan dalam segala hal yang kita lalui. Seperti kata Bapak B.J. Habibie “Kalau memang kamu dilahirkan untuk saya, dia jungkir balikpun tetap saya yang akan dapat”
9. Teruntuk Adik keponakan tercinta Azmira Hanin, terimakasih atas kelucuan-kelucuanmu yang membuat penulis semangat dan selalu membuat penulis senang, sehingga penulis semangat untuk mengerjakan skripsi ini sampai selesai.
10. Teruntuk Teman-teman Fisika angkatan 2021, khususnya Biofisika.

11. Teman- teman saya dan semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung membantu saya dalam mengerjakan skripsi ini. Terimakasih atas semangat dan bantuannya.
12. *Last but not least, I wanna thank me. I wanna thank for my self* yang telah mampu kuat berjuang dan bertahan sampai detik ini. Untuk setiap malam yang dihabiskan dalam kelelahan, setiap pagi yang disambut dengan keraguan namun tetap dijalani, serta setiap ketakutan yang berhasil dilawan dengan keberanian, Terimakasih kepada hati yang tetap Ikhlas, mesti tidak semua hal berjalan sesuai harapan. Terimakasih kepada jiwa yang tetap kuat, meski berkali-kali hamper menyerah. Terimakasih kepada raga yang terus melangkah, meski lelah sering kali tak terlihat. Penulis bangga kepada diri sendiri yang telah mampu melewati berbagai fase sulit kehidupan ini. Semoga kedepannya raga ini tetap kuat, hati tetap tegar, dan jiwa tetap lapang dalam menghadapi setiap proses kehidupan. Mari terus bekerja sama untuk tumbuh dan berkembang, menjadi pribadi yang lebih baik dari hari ke hari.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil Alamiin, Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Paparan Radiasi Gelombang Elektromagnetik Telepon Seluler Dan Pemberian Ekstrak Daun Kelor (*Moringa Oleifera*) Terhadap Gambaran Histologi Hati Mencit (*Mus Musculus*)” dengan lancar. Sholawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menuntun manusia dari jaman jahiliyah menuju jaman yang terang benderang. Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu terselesainya skripsi ini, ucapan terimakasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. Hj. Ilfi Nur Diana, M.Si selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Farid Samsu Hananto, M.T selaku Ketua Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah bersedia meluangkan banyak waktunya dan memberi kritik serta sarannya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

5. Muthmainnah, M.Si selaku Dosen Pembimbing Integrasi yang telah bersedia meluangkan waktu waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan bidang integrasi Sains dan Al-Qur'an.
6. Prof. Dr. H. M. Tirono, M.Si dan Utiya Hikmah, M.Si selaku Dosen Penguji skripsi yang telah bersedia meluangkan waktunya dan memberi kritik serta sarannya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
7. Segenap Dosen, Laboran dan Admin Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah bersedia mengamalkan ilmunya, membimbing dan memberikan pengarahan serta membantu selama proses skripsi.

Penulis berharap semoga skripsi ini memberikan manfaat bagi penulis dan semua pihak yang membaca laporan ini dalam menambah wawasan ilmiah dan memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat konstruktif sangat penulis harapkan demi kebaikan bersama.

Malang, 25 Juni 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
ABSTRAK	xviii
ABSTRACT	xix
مستخلص البحث	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan	8
1.4 Batasan Masalah	8
1.5 Manfaat Penelitian	9
BAB II KAJIAN PUSTAKA	10
2.1 Gelombang Elektromagnetik	10
2.2 Gelombang Radiofrekuensi	12
2.3 Telepon Seluler	15
2.4 Radiasi Elektromagnetik	17
2.5 Radikal bebas	19
2.6 Antioksidan	20
2.7 Daun Kelor	21
2.8 Hepar	23
2.9 Mencit (<i>Mus Musculus</i>)	25
BAB III METODE PENELITIAN	27
3.1 Jenis Penelitian	27
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	27
3.3 Alat dan Bahan	27
3.3.1 Alat Penelitian	27
3.3.2 Bahan Penelitian	28

3.5 Prosedur Penelitian	28
3.6 Diagram Alir	29
3.6.1 Persiapan Sampel	29
3.6.2 Perlakuan Hewan Uji coba	32
3.6.3 Analisis Histologi Jaringan Hati	33
3.6.4 Perhitungan Kerusakan Organ Hati	34
3.6.5 Penentuan Nilai Medan Elektromagnetik dan <i>Specific Absorption</i> <i>Rate (SAR)</i>	35
3.6.6 Teknik Pengumpulan Data	35
3.6.7 Analisis Data	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Data Hasil Penelitian	38
4.1.1 Pengaruh Radiasi Elektromagnetik terhadap Histologi Hati Mencit	39
4.1.2 Pengaruh Ekstrak Daun Kelor terhadap Histologi Hati Mencit Terpapar Radiasi	42
4.1.3 Perbedaan Histologi Hati Mencit pada Paparan Radiasi dan Pemberian Ekstrak Kelor	46
4.2 Pembahasan	51
4.2.1 Pengaruh Radiasi Elektromagnetik terhadap Histologi Hati Mencit	52
4.2.2 Pengaruh Ekstrak Daun Kelor terhadap Histologi Hati Mencit Terpapar Radiasi	55
4.2.3 Perbedaan Histologi Hati Mencit pada Paparan Radiasi dan Pemberian Ekstrak Kelor	58
4.3 Integrasi Al -Qur'an	66
BAB V PENUTUP	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi spektrum gelombang elektromagnetik.	11
Gambar 2.2 Telepon seluler berbasis 4G	15
Gambar 2.3 Energi radiasi dari ponsel	17
Gambar 2.4 Histologi hepar	23
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	29
Gambar 3.2 Paparan radiasi gelombang elektromagnetik telepon seluler	32
Gambar 3.3 Proses pemberian antioksidan pada mencit dengan metode sonde oral.....	33
Gambar 4.2 Grafik persentase sel (lisis) tanpa ekstrak daun kelor	40
Gambar 4.3 Gambar histologi hati mencit tanpa ekstrak daun kelor	41
Gambar 4.4 Grafik Persentase Sel (Lisis) dengan Ekstrak Kelor	43
Gambar 4.5 Gambar histologi hati mencit dengan ekstrak kelor	45
Gambar 4.6 Grafik Data Hasil Presentase Kerusakan Sel Lisis Pada Hati Mencit	47
Gambar 4.7 Mekanisme kerja radiasi elektromagnetik terhadap hepar	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spektrum gelombang elektromagnetik.....	12
Tabel 2.2 Sumber radiasi gelombang elektromagnetik	13
Tabel 2.3 Kandungan antioksidan daun (<i>Moringa oleifera</i>) segar dan daun kelor	22
Tabel 3.1 Konversi perhitungan dosis hewan dan manusia	31
Tabel 3.2 Data hasil penilaian presentase kerusakan sel lisis pada hati mencit	36
Tabel 4.1 Data hasil penilaian presentase sel (lisis) pada hati mencit tanpa daun kelor	39
Tabel 4.2 Data hasil penilaian presentase sel (lisis) pada hati mencit dengan daun kelor	42
Tabel 4.3 Data hasil nilai presentase sel (lisis) pada hati mencit	46
Tabel 4.4 Hasil analisis Percobaan Faktorial perlakuan terhadap dosis ekstrak daun kelor	48
Tabel 4.5 Hasil uji DMRT pengaruh radiasi gelombang elektromagnetik.....	49
Tabel 4.6 Hasil uji DMRT radiasi gelombang elektronik terhadap dosis ekstrak daun kelor	50
Tabel 4.7 Hasil uji DMRT gabungan radiasi gelombang elektronik terhadap dosis ekstrak daun kelor	51

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar Penelitian	77
Lampiran 2. Perhitungan Dosis Aloksan.....	78
Lampiran 3. Perhitungan Persentase Viskositas Darah.....	79
Lampiran 4. Data Hasil Penelitian	80
Lampiran 5. Data Hasil Penelitian	82

ABSTRAK

Khoiroh, Silvi Afni Arizatul. 2026. **Pengaruh Paparan Radiasi Gelombang Elektromagnetik Telepon Seluler Dan Pemberian Ekstrak Daun Kelor (*Moringa Oleifera*) Terhadap Gambaran Histologi Hati Mencit (*Mus Musculus*)**. Skripsi. Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes i. (II) Muthmainnah, M.Si

Kata Kunci: Gelombang Elektromagnetik, Histologi Hati, *Moringa Oleifera*, Mencit, Telepon Seluler

Paparan radiasi gelombang elektromagnetik dari telepon seluler meningkat seiring perkembangan teknologi komunikasi, khususnya jaringan 4G, sehingga menimbulkan kekhawatiran terhadap dampak biologisnya terhadap organ tubuh, termasuk hati. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh paparan radiasi gelombang elektromagnetik terhadap kondisi histologi hati mencit (*Mus musculus*), pengaruh pemberian ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*), serta perbedaan kondisi histologi antara kelompok yang hanya terpapar radiasi dan kelompok yang diberikan ekstrak. Penelitian ini menggunakan 45 ekor mencit jantan yang dibagi ke dalam kelompok kontrol, paparan tanpa ekstrak, dan paparan dengan ekstrak daun kelor dosis 2,6 mg dan 3,6 mg. Paparan dilakukan menggunakan telepon seluler 4G frekuensi 2,3 GHz selama 1–4 jam selama 14 hari. Pengamatan histologi dilakukan dengan pewarnaan Hematoxylin-Eosin (HE) perbesaran 400× dan dianalisis menggunakan ImageJ untuk menentukan persentase kerusakan sel lisis. Data dianalisis menggunakan percobaan faktorial dan uji Duncan. Hasil menunjukkan bahwa paparan meningkatkan kerusakan hati secara signifikan dari 37% menjadi 75%. Pemberian ekstrak kelor menurunkan tingkat kerusakan, dengan dosis 3,6 mg lebih efektif dibandingkan 2,6 mg. Analisis statistik menunjukkan pengaruh signifikan perlakuan, ekstrak, dan interaksinya ($p < 0,05$).

ABSTRACT

Khoiroh, Silvi Afni Arizatul. 2026. **The Effect of Exposure to Electromagnetic Radiation from Cell Phones and Administration of *Moringa Oleifera* Leaf Extract on the Histological Profile of Mouse (*Mus musculus*) Livers.** Thesis. Physics Program, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University, Malang. Advisors: (I) Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes i. (II) Muthmainnah, M.Si

Keywords: Electromagnetic Waves, Liver Histology, *Moringa Oleifera*, Mice, Cell Phones

Exposure to electromagnetic radiation from cell phones has increased with the advancement of communication technology, particularly 4G networks, raising concerns about its biological effects on organs, including the liver. This study aims to determine the effects of electromagnetic wave radiation exposure on the histological condition of the livers of mice (*Mus musculus*), the effects of administering moringa leaf extract (*Moringa oleifera*), and the differences in histological conditions between the group exposed only to radiation and the group administered the extract. This study used 45 male mice divided into a control group, a radiation-only group, and groups exposed to Moringa leaf extract at doses of 2.6 mg and 3.6 mg. Exposure was conducted using a 4G mobile phone operating at a frequency of 2.3 GHz for 1–4 hours over 14 days. Histological observations were performed using Hematoxylin-Eosin (HE) staining at 400× magnification and analyzed using ImageJ to determine the percentage of lysed cells. Data were analyzed using a factorial design and Duncan's test. Results showed that exposure significantly increased liver damage from 37% to 75%. Administration of moringa extract reduced the level of damage, with a 3.6 mg dose being more effective than 2.6 mg. Statistical analysis showed a significant effect of treatment, extract, and their interaction ($p < 0.05$).

مستخلص البحث

خَيْرَة، سلفي افني أريزاتول. 2026. تأثير التعرض لإشعاع الموجات الكهرومغناطيسية للهواتف المحمولة وإعطاء مستخلص أوراق المورينغا (*Moringa Oleifera*) على الصورة النسيجية لكبد الجرذان (*Mus Musculus*). بحث جامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرفان: (الأول) الدكتور. الحاج. أغوس موليونو، الماجستير. (الثاني) مطمئنة، الماجستير.

الكلمة الرئيسية: الموجات الكهرومغناطيسية، علم الأنسجة الكبدي، مورينغا أوليفيرا، الفرن، الهاتف المحمول

التعرض لإشعاعات الموجات الكهرومغناطيسية من الهواتف المحمولة يزداد مع تطور تكنولوجيا الاتصالات، خاصة شبكة G4، مما يثير القلق بشأن تأثيرها البيولوجي على أعضاء الجسم، بما في ذلك الكبد. يهدف هذا البحث إلى معرفة تأثير التعرض لإشعاعات الموجات الكهرومغناطيسية على الحالة النسيجية لكبد الفرن (*Mus musculus*)، وتأثير إعطاء مستخلص أوراق المورينغا (*Moringa oleifera*)، بالإضافة إلى الفرق في الحالة النسيجية بين المجموعة التي تعرضت فقط للإشعاع والمجموعة التي أعطيت المستخلص. استخدم البحث 45 فأرًا ذكورًا تم تقسيمهم إلى مجموعة السيطرة، والتعرض بدون مستخلص، والتعرض مع مستخلص أوراق المورينغا بجرعات 2.6 ملغ و 3.6 ملغ. تم التعرض باستخدام الهاتف المحمول 4G بتردد 2.3 غيغاهرتز لمدة 1-4 ساعات على مدار 14 يومًا. أجريت الملاحظات النسيجية باستخدام تلوين هيماتوكسيلين-إيوزين (HE) بتكبير 400× وتم تحليلها باستخدام برنامج ImageJ لتحديد نسبة تحلل الخلايا. تم تحليل البيانات باستخدام تجربة عاملية واختبار دنكان. أظهرت النتائج أن التعرض يزيد من تلف الكبد بشكل ملحوظ من 37% إلى 75%. أدى إعطاء مستخلص المورينغا إلى تقليل معدل التلف، وكان الجرعة 3.6 ملغ أكثر فعالية مقارنة بالجرعة 2.6 ملغ. أظهر التحليل الإحصائي تأثيرًا كبيرًا للمعاملة والمستخلص وتفاعلهما ($p > 0.05$).

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi informasi yang begitu pesat telah memengaruhi pola hidup manusia di era modern. Salah satu perubahan yang terlihat adalah meningkatnya ketergantungan manusia terhadap Telepon Seluler. Saat ini, Telepon Seluler telah menjadi bagian penting dalam kegiatan sehari-hari dari berbagai kalangan masyarakat. Penggunaan Telepon Seluler tidak hanya digunakan oleh orang dewasa, tetapi juga sudah merambah ke kalangan anak-anak. Selain sebagai alat komunikasi, Telepon Seluler juga dimanfaatkan untuk mengakses internet, melakukan transaksi jual beli secara *online*, hingga mengakses media sosial yang kini populer di kalangan anak-anak. (I Nyoman Sudiana et al. 2024).

Seiring meningkatnya penggunaan Telepon Seluler, teknologi jaringan yang mendukungnya juga terus mengalami kemajuan. Perkembangan teknologi seluler kini telah memasuki generasi keempat yang dikenal dengan sistem 4G LTE (*Long Term Evolution*). Jaringan 4G LTE menyediakan layanan komunikasi yang lebih cepat dan stabil dibandingkan generasi sebelumnya (3G) termasuk kecepatan transfer data yang jauh lebih tinggi dan koneksi yang lebih stabil. Dalam implementasinya, teknologi ini memanfaatkan pita frekuensi tinggi dalam wilayah UHF (*Ultra High Frequency*), yaitu sekitar 800 hingga 1900 MHz, bahkan hingga 2300 MHz untuk tingkat yang lebih tinggi (Yulianto and , Munnik Haryanti 2021). Penggunaan frekuensi tinggi dalam jaringan 4G tidak hanya memberikan dampak positif dalam mempercepat perkembangan teknologi informasi, tetapi juga memiliki potensi dampak terhadap lingkungan sekitar.

Dengan semakin luasnya penerapan teknologi 4G, kekhawatiran mengenai potensi dampak dari radiasi elektromagnetik yang dihasilkan pun turut meningkat. Radiasi elektromagnetik merupakan bentuk energi yang tidak dapat dilihat secara kasat mata dan dapat berasal dari sumber alami seperti sinar matahari serta medan geomagnetik, maupun dari perangkat buatan manusia seperti Telepon Seluler, laptop, dan alat elektronik lainnya. Seiring meningkatnya penggunaan teknologi berbasis elektromagnetik, anak-anak dan bayi menjadi kelompok yang paling rentan terhadap paparan radiasi ini dalam berbagai aktivitas, mulai dari kegiatan belajar di sekolah, hiburan, permainan, hingga interaksi sosial (Sudewi et al. 2023).

Selain itu, Paparan radiasi elektromagnetik dari perangkat 4G memicu kekhawatiran terkait dampak biologisnya, khususnya pada sistem organ tubuh. Salah satu organ yang dianggap rentan terhadap dampak tersebut adalah hepar atau hati. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Şahin et al. 2018), paparan gelombang elektromagnetik dari ponsel dengan frekuensi 900 MHz, baik dalam jangka pendek maupun panjang, dapat mengakibatkan kerusakan pada hepar serta memicu perubahan berlebihan pada struktur histopatologi sel hati.

Hal ini menjadi perhatian yang serius karena hepar atau hati adalah organ metabolik terbesar dan memiliki peran yang sangat vital dalam tubuh. Hati menjalankan berbagai fungsi penting, seperti menghasilkan garam empedu, melakukan proses detoksifikasi, membentuk protein plasma, mengaktifkan vitamin D, serta mengekskresikan kolesterol dan bilirubin. Selain itu, hati juga berperan dalam menyimpan glikogen, lemak, zat besi, tembaga, dan berbagai jenis vitamin (Nugroho and Armalina 2019). Sebagai kelenjar terbesar dalam tubuh, hati berfungsi sebagai pusat metabolisme. Nutrisi utama seperti karbohidrat, protein,

dan lemak yang diserap dari sistem pencernaan akan diproses di hati. Organ ini juga memiliki kemampuan untuk menguraikan dan menetralkan zat – zat sisa tubuh, hormon, obat dan senyawa lainnya (Mashitoh Nur Iqlima 2020).

Dengan fungsi hati yang begitu kompleks dan penting, menjaga kesehatannya menjadi hal yang penting, terutama terhadap paparan faktor eksternal yang berpotensi menyebabkan kerusakan. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa radiasi dari ponsel dapat menyebabkan perubahan pada struktur dan fungsi hati. Penelitian oleh (Meo et al. 2010) paparan radiasi ponsel selama 30 menit/hari selama 3 bulan menyebabkan perubahan mikroskopis pada sel hati tikus berupa peradangan. Penelitian lain oleh (Laila K. Hanafy, Sawsan H, Karam 2010) yang memaparkan tikus pada radiasi ponsel selama 1 jam/hari selama 4 minggu mengalami perubahan histopatologi pada organ hati, seperti pada sinusoid dan vena sentralis. Namun, penelitian-penelitian tersebut belum menyesuaikan dengan pola penggunaan ponsel modern yang lebih intensif, dimana masyarakat saat ini cenderung menggunakan perangkat seluler selama berjam-jam setiap hari. Oleh karena itu, paparan radiasi elektromagnetik, khususnya dari perangkat seperti telepon seluler teknologi 4G, berpotensi memberikan dampak negatif yang lebih signifikan terhadap organ hepar melalui mekanisme peradangan dan perubahan histologis yang lebih parah.

Kekhawatiran terhadap dampak kesehatan akibat paparan radiasi elektromagnetik tidak hanya menjadi topik ilmiah, tetapi juga relevan dengan ajaran Islam yang menekankan pentingnya menjaga tubuh sebagai amanah dari Allah SWT. Dalam Surat Al-Baqarah ayat 195, Allah SWT berfirman:

وَلَا تُلْقُوا بِأَيْدِيكُمْ إِلَى التَّهْلُكَةِ وَأَحْسِنُوا إِنَّ اللَّهَ يُحِبُّ الْمُحْسِنِينَ ﴿١٩٥﴾

Artinya : “*Dan janganlah kamu menjatuhkan dirimu sendiri ke dalam kebinasaan, dan berbuat baiklah; sesungguhnya Allah menyukai orang-orang yang berbuat baik.*” (QS. Al-Baqarah : 195)

Ayat tersebut mengandung pesan agar kita menghindari segala sesuatu yang dapat membahayakan kesehatan, termasuk risiko dari lingkungan seperti paparan radiasi elektromagnetik. Oleh karena itu, penelitian mengenai pengaruh radiasi ini terhadap kesehatan, khususnya terhadap organ penting seperti hati, sangat diperlukan untuk memahami potensi bahayanya serta langkah pencegahannya.

Seiring dengan meningkatnya kesadaran akan pentingnya tindakan pencegahan, berbagai penelitian telah membuktikan bahwa kerusakan akibat paparan radiasi elektromagnetik dapat diminimalkan dengan bantuan senyawa pelindung tertentu. Sebagai contoh, penelitian yang dilakukan oleh (Nugroho and Armalina 2019) menunjukkan bahwa kombinasi vitamin C dan E mampu mencegah kerusakan hati yang disebabkan oleh paparan radiasi gelombang elektromagnetik ponsel. Hal ini memperkuat pentingnya peran antioksidan dalam menjaga kesehatan organ tubuh, khususnya hati, dari degenerasi sel hati atau inflamasi yang ditimbulkan oleh faktor lingkungan. Hal serupa juga ditemukan dalam penelitian oleh (S. Rahmanisa 2020) menunjukkan bahwa paparan gelombang elektromagnetik dari ponsel dapat memengaruhi struktur jaringan hati (hepar) pada tikus putih jenis *Sprague Dawley*. Namun, pemberian senyawa *zinc* dan tomat terbukti dapat memberikan efek perlindungan terhadap kerusakan jaringan hati tersebut. Dengan demikian, pemanfaatan senyawa alami yang bersifat antioksidan menjadi langkah preventif yang menjanjikan untuk mengurangi risiko gangguan fungsi hati akibat paparan radiasi elektromagnetik.

Dalam hal ini, Al-Qur'an mengingatkan kita akan pentingnya memanfaatkan kekayaan alam yang telah Allah ciptakan sebagai sarana penyembuhan berbagai penyakit. Allah berfirman dalam Surat An-Nahl ayat 69:

ثُمَّ كُلِّي مِنْ كُلِّ الثَّمَرَاتِ فَاسْلُكِي سُبُلَ رَبِّكِ ذُلُلًا يَخْرُجُ مِنْ بَطُونِهَا شَرَابٌ مُخْتَلِفٌ

أَلْوَانُهُ ۖ فِيهِ شِفَاءٌ لِلنَّاسِ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ

Artinya : “Kemudian makanlah dari tiap-tiap (macam) buah-buahan dan perjalanlah jalan Tuhanmu yang telah dimudahkan (bagimu). Keluar dari perut (lebah) minuman yang bermacam-macam warnanya, di dalamnya terdapat obat yang menyembuhkan bagi manusia. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi orang-orang yang berpikir.” (QS. An-Nahl : 69)

Ayat ini menjadi pengingat bahwa alam telah dianugerahi potensi penyembuhan yang luar biasa, asalkan kita mau memikirkannya dan memanfaatkannya dengan tepat. Hal ini menunjukkan bahwa alam telah menyediakan berbagai bahan alami yang berkhasiat sebagai obat, termasuk senyawa yang kaya akan antioksidan tinggi yang mampu melindungi hati dari sel inflamasi dan nekrosis. Dengan demikian, baik dari sudut pandang ilmiah maupun ajaran agama, kita dianjurkan untuk memanfaatkan sumber daya alam secara bijak demi menjaga kesehatan tubuh, terutama melindungi organ vital seperti hati.

Tanaman kelor (*Moringa oleifera* Lam) merupakan salah satu contoh bahan alami yang memiliki potensi besar sebagai obat tradisional. Sejak lama, tanaman ini dikenal sebagai tanaman multiguna yang kaya nutrisi dan dipercaya mampu mengatasi lebih dari 300 jenis penyakit. Berbagai bagian tanaman kelor memberikan manfaat kesehatan, seperti berperan sebagai stimulan jantung dan sirkulasi darah, antitumor, penurun demam (antipiretik), antiepilepsi, antiinflamasi, pelindung lambung (antiulser), diuretik, antihipertensi, penurun kolesterol,

antioksidan, antidiabetik, antibakteri, hingga antijamur (Toripah 2014). Dengan berbagai manfaat tersebut, kelor menjadi salah satu bukti nyata bahwa alam menyimpan solusi alami menjaga dan memulihkan kesehatan manusia.

Hasil penelitian oleh (Kurniawan Gondo 2022) menunjukkan bahwa daun kelor mengandung senyawa flavonoid yang terbukti mampu mengurangi jumlah kerusakan sel hati (hepar). Penelitian lain oleh (O. H. Putri et al. 2019) menjelaskan bahwa aktivitas antioksidan pada daun kelor terutama disebabkan oleh kandungan senyawa fenolik, yang merupakan jenis polifenol utama di dalamnya, seperti *kaempferol* dan *quercitin*. Senyawa fenolik berperan sebagai penghambat stres oksidatif atau *Reactive Oxygen Species* (ROS) melalui mekanisme yang bersifat multifaktorial, dengan menghambat pembentukan ROS, jumlah radikal bebas dalam tubuh dapat ditekan, sehingga memberikan efek perlindungan terhadap hati (hepatoprotektif).

Dengan demikian, hasil penelitian tersebut memperkuat bukti ilmiah bahwa kelor memiliki potensi besar sebagai tanaman penyembuh alami, khususnya dalam melindungi tubuh dari dampak buruk radikal bebas dan stres oksidatif. Oleh karena itu, pemanfaatan tanaman kelor sangat relevan sebagai alternatif pengobatan alami dalam menghadapi tantangan kesehatan di era modern.

Salah satu tantangan tersebut muncul dari kemajuan teknologi, terutama penggunaan Telepon Seluler berbasis jaringan 4G yang semakin luas. Perkembangan ini menimbulkan kekhawatiran terhadap dampak biologisnya, terutama pada organ vital seperti hati. Paparan radiasi elektromagnetik dari perangkat seluler berpotensi menyebabkan perubahan struktural pada jaringan hepar melalui mekanisme nekrosis dan inflamasi. Di sisi lain, belum banyak studi

menunjukkan bahwa senyawa alami dengan sifat antioksidan tinggi, seperti yang terdapat dalam daun kelor (*Moringa oleifera*), memiliki potensi protektif terhadap kerusakan hati akibat paparan radiasi tersebut.

Berdasarkan hal tersebut, penting untuk dilakukan penelitian secara ilmiah mengenai efek paparan radiasi elektromagnetik jaringan 4G terhadap organ hepar, serta sejauh mana ekstrak daun kelor mampu memberikan perlindungan. Oleh karena itu, penelitian ini disusun dengan judul **“Pengaruh Paparan Radiasi Gelombang Elektromagnetik Telepon Seluler dan Pemberian Ekstrak Daun Kelor (*Moringa oleifera*) terhadap Gambaran Histologi Hati Mencit (*Mus musculus*)”** sebagai upaya ilmiah untuk memahami sekaligus mencari solusi protektif berbasis bahan alami terhadap dampak negatif dari kemajuan teknologi modern.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh paparan radiasi gelombang elektromagnetik telepon seluler terhadap kondisi histologi hati mencit (*Mus musculus*) ?
2. Bagaimana pengaruh pemberian ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) terhadap kondisi histologi hati mencit yang terpapar radiasi gelombang elektromagnetik?
3. Bagaimana perbedaan kondisi histologi hati mencit antara kelompok yang hanya terpapar radiasi dengan kelompok yang juga diberikan ekstrak daun kelor ?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, tujuan yang ingin dicapai adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh paparan radiasi gelombang elektromagnetik telepon seluler terhadap kondisi histologi hati mencit (*Mus musculus*).
2. Untuk mengetahui pengaruh pemberian ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) terhadap kondisi histologi hati mencit yang terpapar radiasi gelombang elektromagnetik.
3. Untuk mengetahui perbedaan kondisi histologi hati mencit antara kelompok yang hanya terpapar radiasi dengan kelompok yang juga diberikan ekstrak daun kelor.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai, maka perlu diberikan batasan masalah sebagai berikut :

1. Paparan radiasi gelombang elektromagnetik telepon seluler 4G dengan frekuensi 2,3 GHz dengan variasi lama waktu paparan selama 1 jam, 2 jam, 3 jam dan 4 jam dengan dosis perjamnya 2,6 (mg), dan 3,9 (mg).
2. Ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) yang digunakan dalam penelitian ini merupakan ekstrak dengan dosis tertentu yang diberikan secara oral
3. Parameter yang diamati terbatas pada gambaran histologi hati, seperti perubahan morfologi sel hati (hepatosit), inflamasi, yang diamati menggunakan mikroskop cahaya.
4. Penelitian ini tidak membahas mekanisme molekuler secara mendalam, seperti analisis ekspresi gen atau enzim hati, melainkan hanya terbatas pada pengamatan struktur jaringan.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian diharapkan dapat :

1. Bagi Masyarakat, penelitian ini dapat memberi informasi mengenai dampak kesehatan akibat paparan radiasi elektromagnetik 4G serta upaya pencegahannya melalui konsumsi bahan alami seperti daun kelor.
2. Menjadi dasar bagi dunia medis, farmasi, dalam mengembangkan pemanfaatan daun kelor sebagai agen hepatoprotektif, serta referensi penelitian lanjutan terkait efek radiasi elektromagnetik terhadap organ tubuh.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Gelombang Elektromagnetik

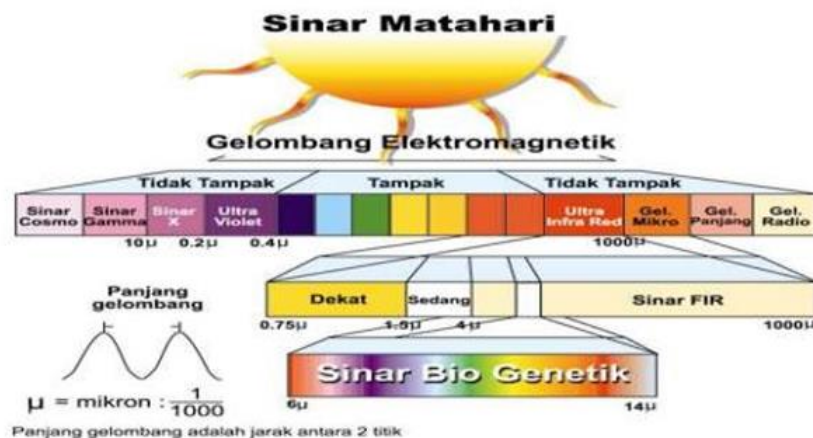
Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang dihasilkan dari interaksi antara medan listrik dan medan magnet. Kedua medan tersebut berosilasi secara saling tegak lurus dan tergolong sebagai gelombang transversal, yaitu gelombang yang arah rambatnya tegak lurus terhadap arah getarnya. Dengan demikian, gelombang elektromagnetik dapat merambat tanpa memerlukan medium, berbeda dengan gelombang mekanik yang membutuhkan zat perantara untuk merambat (Sudirman 2020).

Berbeda dengan gelombang mekanik yang membutuhkan medium untuk merambat, gelombang elektromagnetik mampu merambat tanpa adanya medium. Energi yang dibawanya dapat diukur melalui beberapa parameter, seperti panjang gelombang (wavelength), frekuensi, amplitudo, dan kecepatan. Selain itu, gelombang elektromagnetik juga memiliki sifat dualisme, yakni dapat berperilaku baik sebagai gelombang maupun sebagai partikel. Ketika arus listrik dan tegangan mengalir melalui jaringan transmisi dan peralatan elektronik, medan elektromagnetik akan terbentuk di sekitar saluran atau perangkat tersebut. (Eka et al. 2025).

Selain itu, gelombang elektromagnetik memiliki berbagai sifat fisik yang penting dalam kehidupan sehari-hari dan teknologi. Gelombang ini mampu merambat di ruang hampa, tidak memiliki muatan listrik, dan dapat mengalami fenomena seperti pemantulan (refleksi), pembiasan (refraksi), perpaduan (interferensi), pelenturan (difraksi) dan pengutuban (polarisasi), perubahan yang

terjadi pada medan listrik dan medan magnet berlangsung secara bersamaan, dengan arah dan fase yang sebanding, sehingga keduanya saling mendukung dalam proses perambatan gelombang (Situmeang, Zondra, and Yuvensius 2022).

Spektrum elektromagnetik adalah pengelompokan seluruh jenis gelombang elektromagnetik berdasarkan perbedaan panjang gelombang dan frekuensinya. Urutan spektrum ini dimulai dari energi paling rendah, yang ditandai dengan panjang gelombang yang besar dan frekuensi yang rendah (Enny 2015). Untuk memperjelas susunan tersebut, spektrum gelombang elektromagnetik dapat dilihat pada Gambar 2.1. berikut.



Gambar 2.1 Ilustrasi spektrum gelombang elektromagnetik (Enny 2015).

Setiap jenis gelombang elektromagnetik dalam spektrumnya memiliki frekuensi yang berbeda-beda. Gelombang radio menempati spektrum dengan frekuensi terendah, sementara sinar gamma memiliki frekuensi tertinggi. Perbandingan nilai frekuensi masing-masing spektrum dapat dilihat pada tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Spektrum gelombang elektromagnetik (Purwanti et al.2020).

Spektrum	Frekuensi
Gelombang Radio	$10^4 - 10^8$ Hz
Gelombang Mikro	$10^8 - 10^{12}$ Hz
Sinar Inframerah	$10^{11} - 10^{14}$ Hz
Sinar Tampak	$4 \times 10^{14} - 7,5 \times 10^{14}$ Hz
Sinar Ultraviolet	$10^{15} - 10^{18}$ Hz
Sinar X	$10^{16} - 10^{20}$ Hz
Sinar Gamma	$10^{19} - 10^{25}$ Hz

Spektrum gelombang elektromagnetik mencakup tujuh jenis gelombang yang diklasifikasikan menurut frekuensi dan panjang gelombangnya, meskipun memiliki kecepatan rambat yang sama dalam ruang hampa, yakni $c = 3 \times 10^8$ m/s. Hal ini sesuai dengan teori Maxwell mengenai gelombang elektromagnetik. Dalam spektrum ini, gelombang radio memiliki frekuensi terendah dan panjang gelombang terpanjang, sementara sinar gamma menempati posisi sebaliknya dengan frekuensi tertinggi dan panjang gelombang terpendek (Enny 2015).

2.2 Gelombang Radiofrekuensi

Salah satu bagian dari spektrum elektromagnetik yang paling sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah gelombang radio, yang dikenal dengan istilah gelombang radiofrekuensi. Karena panjang gelombangnya yang besar, gelombang ini mampu dipantulkan oleh lapisan ionosfer, yaitu lapisan atmosfer yang terletak cukup tinggi di atas permukaan bumi, sehingga memungkinkan transmisi sinyal mencapai jarak yang sangat jauh. Gelombang radio mencakup rentang frekuensi yang sangat luas, mulai dari beberapa hertz (Hz) hingga gigahertz (GHz), dengan energi yang umumnya berada pada kisaran 30 KHz hingga 300 GHz

. Gelombang ini biasanya dihasilkan oleh osilator elektronik dalam peralatan komunikasi, dimana satu hertz menunjukkan satu siklus gelombang per detik. (Purwadi, Utomo, and Harahap 2023).

Gelombang radiofrekuensi ini kemudian dimanfaatkan dalam bentuk sinyal radiofrekuensi, yaitu sinyal radiofrekuensi dimanfaatkan dalam sistem komunikasi untuk mentransmisikan informasi melalui udara antar lokasi yang terpisah. Rentang frekuensi operasionalnya kisaran 3 KHz hingga 3 GHz, sesuai dengan karakteristik gelombang radio dan arus bolak-balik pembawa sinyal. Sumber sinyal radiofrekuensi sangat beragam, meliputi perangkat seperti telepon seluler, stasiun pemancar radio/TV, menara BTS, jaringan internet nirkabel, radar, sistem navigasi, komunikasi satelit, hingga jaringan komputer (Rahajoeningroem and Vilandika 2017).

Untuk memberikan gambaran lebih jelas mengenai sumber gelombang radiofrekuensi dan rentang frekuensinya, dapat dilihat pada Tabel 2.2 (Karipidis et al. 2017).

Tabel 2.2 Sumber radiasi gelombang elektromagnetik (Karipidis et al. 2017)

Sumber	Jenis	Rentang Frekuensi
Radio	AM	526.5 kHz – 1.6065 MHz
	FM	87.5 – 108 MHz
	DAB	202 – 209 MHz
TV	VHV TV	174 – 202 MHz
		209 – 230 MHz
	UHF TV	526 – 820 MHz

Telepon Seluler		758 – 788 MHz
		870 – 890 MHz
		935 – 960 MHz
		1.805 – 1.88 GHz
		1.9 – 1.92 GHz
		2.11 – 2.17 GHz
		2.302 – 2.4 GHz
		2.57 – 2.62 GHz
		2.62 – 2.69 GHz
		3.425 – 3.575 GHz
Wifi		2.4 – 2.5 GHz
		5.15 – 5.85 GHz

Telepon seluler merupakan salah satu perangkat yang memancarkan gelombang radiofrekuensi. Ketika digunakan, stasiun penerima akan menangkap sinyal dari telepon seluler tersebut, yang kemudian membentuk dua jenis medan radiasi yaitu medan magnet jauh (*far-field*) dan medan magnet dekat (*near-field*). Interaksi antara gelombang radiofrekuensi dari telepon seluler dengan jaringan tubuh manusia berpotensi mengganggu medan magnet *biofield* tubuh, yang dapat mempengaruhi proses metabolisme dan fungsi fisiologis (Manarisip, Rumampuk, and Pangemanan 2015).

Meskipun demikian, penting untuk diketahui bahwa radiofrekuensi yang dipancarkan oleh telepon seluler termasuk dalam kategori radiasi non-pengion, artinya, radiasi ini tidak cukup kuat untuk menghasilkan elektron dalam tubuh, sehingga tidak menyebabkan ionisasi di dalam tubuh. Mekanisme utama perpindahan energi pada radiasi non-pengion bukan melalui pembentukan radikal bebas, melainkan melalui konversi energi menjadi panas (termal). Tubuh manusia yang memiliki sifat elektrik alami, mampu menerima dan menginduksi medan

listrik yang ditimbulkan oleh paparan gelombang radiofrekuensi ini, terutama pada bagian yang terpapar secara langsung, seperti saat telepon didekatkan ke kepala atau tubuh (Dewi and Wulan 2015).

2.3 Telepon Seluler



Gambar 2.2 Telepon Seluler berbasis 4G

Telepon seluler (ponsel), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.2, merupakan salah satu perangkat komunikasi nirkabel yang menggunakan gelombang radio sebagai media transmisinya. Salah satu keunggulan utama penggunaan gelombang radio dibandingkan kabel adalah kemudahannya dalam penggunaan serta fleksibilitas lokasi, karena ponsel dapat digunakan di mana saja selama tersedia sinyal di area tersebut, menjadikan ponsel sebagai perangkat serbaguna yang hampir selalu dibawa penggunanya. Di era modern, ponsel tidak sekedar untuk komunikasi dasar, tetapi telah berevolusi menjadi *smartphone* dengan kemampuan canggih seperti *browsing*, *e-commerce*, dan interaksi media sosial (I. Putri et al. 2018).

Seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin pesat, kebutuhan masyarakat akan akses komunikasi dan informasi yang cepat semakin meningkat telah mendorong hadirnya teknologi jaringan generasi terbaru, yaitu 4G. Teknologi

ini diimplementasikan secara luas di Indonesia sebagai kelanjutan dari jaringan sebelumnya, yakni 2G dan 3G. Istilah 4G merupakan singkat dari *Fourth Generation*, yang mengacu pada standar generasi keempat pada teknologi seluler. Salah satu keunggulan dari jaringan 4G adalah kemampuannya dalam mengintegrasikan berbagai jenis jaringan *broadband wireless access* secara *seamless*, sehingga pengguna tidak merasakan proses perpindahan antar jaringan yang sedang digunakan, baik dari sisi perangkat, jaringan, maupun aplikasi (Ulfah and Sri Irtawaty 2018).

Di Indonesia, jaringan 4G LTE beroperasi pada beberapa pita frekuensi, di antaranya adalah frekuensi 1800 MHz dan 2300 MHz. Perbedaan utama antara kedua frekuensi ini terletak pada metode *duplexing* yang digunakan. Jaringan 4G LTE dengan frekuensi 1800 MHz menggunakan metode *Frequency Division Duplex* (FDD), sementara jaringan pada frekuensi 2300 MHz menggunakan metode *Time Division Duplex* (TDD). Operator seluler yang menggunakan frekuensi 1800 MHz antara lain Telkomsel, XL, Indosat Ooredoo, dan Hutchinson 3 Indonesia. Sementara itu, operator yang menggunakan frekuensi 2300 MHz yaitu PT Smartfren Telecom Tbk (Widhiantoro and Khairunisa 2018). Dengan semakin canggih dan meluasnya teknologi seluler ini, berbagai aktivitas berbasis internet menjadi semakin mudah diakses oleh pengguna.

Namun, di balik kemajuan teknologi jaringan ini, perlu diperhatikan pula potensi dampak dari penggunaan perangkat 4G, khususnya ponsel. Ponsel (*handphone*) atau telepon genggam diketahui memancarkan radiasi elektromagnetik frekuensi gelombang radio (*Radio Frequency-Electromagnetic Radiation* atau RF-EMR). Radiasi ini termasuk dalam kategori radiasi

elektromagnetik non-ionisasi, yang berarti tidak memiliki energi yang cukup untuk menyebabkan ionisasi pada sel atau jaringan tubuh. Radiasi dari ponsel ini sering pula disebut sebagai radiasi gelombang mikro (*microwave radiation*) (Wilatika 2019).

2.4 Radiasi Elektromagnetik



Gambar 2.3 Energi radiasi dari ponsel

Radiasi elektromagnetik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2, merupakan perpaduan antara medan listrik dan medan magnet yang berosilasi serta merambat melalui ruang, sehingga mampu memindahkan energi dari satu tempat ke tempat lainnya. Salah satu contoh radiasi elektromagnetik adalah cahaya tampak (Wijaya, Kartika, and Utari 2019). Energi ini biasanya merambat dalam bentuk gelombang, terutama gelombang sinusoidal (Hutabarat 2018). Pada dasarnya, radiasi adalah energi yang ditransmisikan, dipancarkan, maupun diserap baik dalam bentuk partikel maupun gelombang (Sitti Normawati 2022).

Radiasi terbagi menjadi dua jenis, yaitu radiasi pengion dan radiasi non-pengion. Radiasi pengion merupakan jenis radiasi yang dapat melepaskan elektron dari atom, sehingga menghasilkan pasangan ion. Jenis radiasi ini perlu diwaspadai karena berkaitan dengan sumber, karakteristik, dampak yang ditimbulkan, serta cara pencegahannya. Salah satu contoh radiasi pengion yang umum dikenal adalah

sinar-X. Sementara itu, radiasi non-pengion dapat ditemukan pada perangkat seperti *gadget* atau *handphone*, di mana *transmitter* mengubah suara menjadi gelombang sinusoidal kontinu yang kemudian dipancarkan melalui antena dan merambat di udara (Ramadhani, Saputra, and Nurrachman 2023).

Dalam Islam Hadits Rasulullah SAW yang berbunyi:

إِنَّ جِسَدَكَ عَلَيْكَ حَقًّا

Artinya : “*Sesungguhnya tubuhmu memiliki hak atasmu*” (HR. Bukhari)

Hadist tersebut mengajarkan bahwa menjaga kesehatan tubuh adalah bagian dari kewajiban seorang muslim. Paparan radiasi elektromagnetik, meskipun tidak terlihat, merupakan potensi ancaman yang nyata terhadap kesehatan jika tidak diwaspadai. Maka, melakukan tindakan pencegahan termasuk dengan membatasi durasi penggunaan paparan perangkat elektronik, serta menjaga daya tahan tubuh dengan konsumsi makanan sehat adalah bagian dari memenuhi hak tubuh dan tanggung jawab sebagai seorang muslim.

Radiasi elektromagnetik merupakan energi yang tidak terlihat oleh mata, namun dapat menimbulkan efek biologis pada tubuh manusia jika terpapar terus-menerus. Salah satu dampak yang dikhawatirkan dari paparan radiasi ini adalah proses ionisasi dalam sel, terutama karena tubuh manusia sebagian besar terdiri atas air (H_2O). Proses ionisasi ini berpotensi menyebabkan kematian sel, kerusakan seluler, atau mutasi sel, yang kemudian menimbulkan berbagai dampak klinis. Dampak tersebut dapat berupa kelainan yang langsung terlihat pada individu yang terpapar, kelainan genetik yang diturunkan ke generasi berikutnya, maupun perkembangan kanker (Eka et al. 2025). Bahaya yang ditimbulkan oleh radiasi

elektromagnetik bagi manusia antara lain, sakit kepala, insomnia, kerusakan sel hepar (Hermawan, Nurbaiti, and Yulianti 2021).

2.5 Radikal bebas

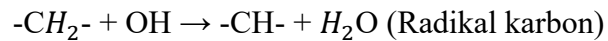
Radikal bebas adalah molekul atau atom tidak stabil yang mengandung elektron tidak berpasangan, sehingga cenderung menarik elektron dari molekul lain. Ketika hal ini terjadi, reaksi berantai akan muncul dan memperbanyak jumlah radikal bebas di dalam tubuh. Jika tidak dinetralkan, radikal bebas dapat berinteraksi dengan komponen sel biologis, merusak berbagai makromolekul penting seperti protein, lipid dan asam nukleat dan karbohidrat (Adelia et al. 2021).

Penelitian yang dilakukan oleh (Panjaitan et al. 2007) menunjukkan bahwa keberadaan radikal bebas dapat menyebabkan kerusakan serius pada struktur dan fungsi sel, termasuk merusak membran sel, retikulum endoplasma, mengganggu proses oksidasi, serta memicu pembengkakan pada hati. Dalam jangka panjang yang tidak terkendali dapat menyebabkan terjadinya degenerasi lemak, bahkan kematian sel hati (nekrosis).

Pembentukan radikal bebas dalam tubuh tidak berlangsung secara acak, tetapi melalui tiga tahapan yang terstruktur. Menurut (Simanjuntak 2011), proses tersebut terjadi melalui tiga tahap utama, yaitu :

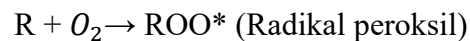
1. Tahap Inisiasi

Pada tahap ini, radikal bebas terbentuk ketika senyawa seperti lipid diserang oleh spesies reaktif (misalnya radikal hidroksil), menghasilkan radikal lipid. Selanjutnya radikal lipid peroksil mengambil atom hidrogen dari molekul lipid lain, membentuk senyawa lipid hidropeksida. Reaksinya ini dapat digambarkan sebagai berikut :



2. Tahap Propagasi

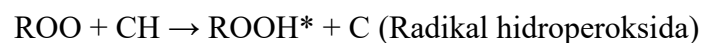
Pada tahap ini, radikal bebas yang telah terbentuk menyebar dan memperbanyak diri melalui reaksi berantai. Radikal karbon bereaksi dengan oksigen, menghasilkan radikal peroksil yang lebih reaktif. Reaksinya yaitu:



Radikal peroksil ini kemudian mengoksidasi lebih banyak molekul di sekitarnya, memperluas kerusakan.

3. Tahap Terminasi

Pada tahap ini, di mana dua radikal bebas bertemu dan membentuk senyawa yang lebih stabil. Pada proses ini, radikal peroksil akan menangkap atom hidrogen dari molekul lipid, membentuk senyawa radikal hidroperoksida yang relatif lebih stabil. Reaksinya adalah :



Ketiga tahapan ini menggambarkan bagaimana radikal bebas terbentuk, menyebar, dan akhirnya dinetralisir, namun jika tidak dikendalikan dengan baik, proses ini dapat menyebabkan kerusakan serius pada struktur sel, terutama pada membran sel yang mengandung lipid dalam jumlah besar.

2.6 Antioksidan

Antioksidan merupakan senyawa yang mampu menyumbangkan elektron kepada radikal bebas dan molekul reaktif lainnya, sehingga dapat menghentikan atau memperlambat proses oksidasi yang merusak sel (Faisal, Nasution, and Wakidi 2022). Menurut (Dwimayasanti 2018), mekanisme kerja antioksidan adalah dengan memberikan satu elektron kepada senyawa oksidatif, sehingga aktivitas

merusaknya dapat dihentikan. Dalam hal ini, antioksidan mampu memperlambat atau bahkan mencegah terjadinya reaksi autooksidasi lipid yang dipicu oleh radikal bebas.

Selain itu, antioksidan juga berfungsi untuk meningkatkan sistem imun dan mengurangi risiko penyakit degeneratif. Seperti yang dijelaskan oleh (Sari 2017), konsumsi antioksidan dalam jumlah yang cukup dapat membantu menurunkan kemungkinan terjadinya penyakit akibat penuaan dan menjaga kesehatan sel. Oleh karena itu, asupan antioksidan yang optimal sangat diperlukan untuk mendukung fungsi tubuh dan mencegah kerusakan sel-sel akibat radikal bebas.

Secara umum, antioksidan dapat diperoleh dari dua sumber, yaitu sintetis dan alami. Antioksidan sintetis seperti *buthylated hydroxytoluene* (BHT), *buthylated hidroxyanisol* (BHA), dan *tert-butylated hydroxyquinone* (TBHQ) memang efektif dalam menghambat proses oksidasi. Namun, penggunaan jangka panjang dari senyawa ini dapat menimbulkan efek samping, karena sifatnya yang berpotensi karsinogenik dan toksik bagi tubuh. Oleh karena itu, penggunaan antioksidan alami lebih dianjurkan karena dianggap lebih aman. Antioksidan alami banyak ditemukan dalam berbagai jenis sayur-sayuran dan buah-buahan yang mengandung senyawa fitokimia, seperti flavonoid, isoflavin, flavon, vitamin C dan antosianin (Handito et al. 2022). Kandungan ini tidak hanya berfungsi sebagai pelindung sel, tetapi juga memberikan manfaat kesehatan lainnya bagi tubuh.

2.7 Daun Kelor

Kelor (*Moringa oleifera*) merupakan tanaman yang berasal dari India, namun kini telah banyak dibudidayakan di berbagai negara di Asia, Eropa, dan Afrika, termasuk Indonesia. Tanaman ini dikenal karena kemampuannya

beradaptasi dengan berbagai kondisi lingkungan, mulai dari iklim tropis yang lembab hingga daerah kering dengan tanah kurang subur. (Kou et al. 2018).

Daun kelor merupakan bagian yang paling sering dimanfaatkan sebagai bahan pangan karena kandungan nutrisinya yang luar biasa tinggi. Menurut (Hekmat et al. 2015), dibandingkan dengan sayur-sayuran atau buah-buahan biasa, daun kelor memiliki nilai gizi yang jauh lebih unggul. Menurut (Crop et al. 2018), menyebutkan bahwa daun kelor mengandung vitamin C lebih banyak dibandingkan jeruk, kalium lebih tinggi dari pisang, vitamin A lebih banyak dari wortel, kalsium melebihi kandungan susu, serta protein yang lebih tinggi dibandingkan yoghurt.

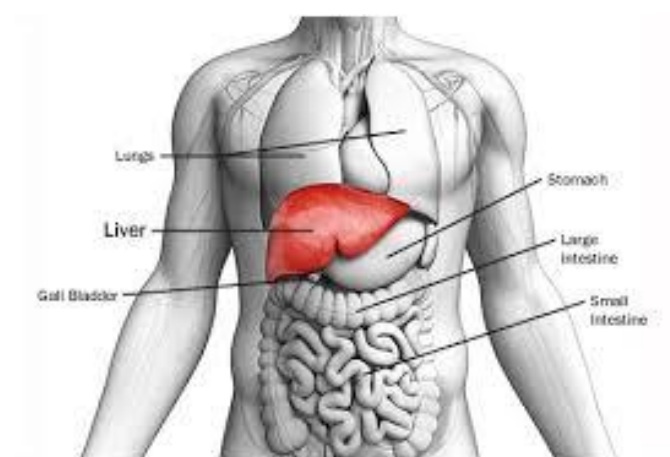
Selain kaya akan vitamin dan mineral, daun kelor mengandung berbagai senyawa bioaktif yang berfungsi sebagai antioksidan alami, seperti asam askorbat, flavonoid, senyawa fenolik, dan karotenoid. Menurut (Falowo et al. 2018), kandungan mineral dalam daun kelor meliputi zat besi, kalsium, kalium, seng, serta berbagai vitamin penting seperti vitamin A, B, C, D, dan E. Selain itu, daun kelor diketahui memiliki kandungan asam amino esensial dan non-esensial yang lengkap seperti, asam aspartat, glutamat, lisin, leusin, isoleusin, triptofan, fenilalanin, alanin, valin, histidin, arginin, sistein, dan metionin (Marhaeni 2021). Kandungan antioksidan daun kelor baik dalam bentuk segar maupun kering ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Kandungan antioksidan daun (*Moringa oleifera*) segar dan daun kelor (per 100g)

Kandungan gizi	Daun kelor segar	Daun kelor kering	Referensi
Kadar air (%)	75,9	6	(Shiriki, Igyor, and Gernah 2015)
Kadar abu	-	7,95	
Kalori (kal)	92	205	

Protein (%)	6,7	23,78	
Lemak (%)	4,65	2,74	(Augustyn, Tuhumury, and Dahoklory 2017)
Karbohidrat (%)	12,5	51,66	
Serat (%)	7,92	12,63	(Marhaeni 2021)
Kalsium (mg)	440	2003	(USDA 2016)
Kalium (mg)	259	1324	
Besi (mg)	0,85	28,2	
Magnesium (mg)	42	368	
Seng (mg)	0,16	3,29	
Fosfor (mg)	70	204	
Tembaga (mg)	0,07	0,57	
Vitamin A (mg)	6,78	18,9	
Niacin (B3) (mg)	0,8	8,2	
Riboflavin (B2) (mg)	0,05	20,5	
Thiamin (B1) (mg)	0,06	2,64	
Vitamin C (mg)	220	17,3	

2.8 Hepar



Gambar 2.4 Histologi Hepar

Hepar (hati) merupakan organ vital yang berperan penting sebagai penghubung antara sistem pencernaan dan sistem peredaran darah, serta memiliki fungsi utama memetabolisme berbagai zat menjadi nutrisi yang dapat dimanfaatkan oleh tubuh. Darah yang masuk ke hati sebagian besar (70-80%) berasal dari vena porta yang membawa zat gizi dari usus, sedangkan sisanya (20-30%) disuplai oleh arteri hepatic yang kaya oksigen. Struktur fungsional terkecil dari hati adalah lobulus, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Lobulus memiliki bentuk heksagonal dengan vena sentralis di bagian tengah dan dikelilingi hepatosit dan sinusoid (Ayuningtyas 2014).

Pada setiap sudut lobulus terdapat struktur yang disebut triad porta yang terdiri atas vena porta, arteri hepatic, dan duktus biliaris. Lobulus hati tersusun atas dua jenis sel, yaitu sel *parenkimal* (hepatosit) yang menjalankan fungsi metabolisme, serta non-parenkimal seperti sel *Kupffer* (makrofag hati), *stellate* (penyimpanan vitamin A), dan epitel empedu. Sinusoid hepar memiliki dinding tidak sempurna, memungkinkan terjadinya zat antara darah dan sel hati, serta diperkuat oleh serabut retikulin. Di antara sinusoid terdapat ruang kecil yang disebut celah disse tempat sel *stellate* berada. Sel *Kupffer* (makrofag) sendiri terletak di sisi luminal endotel sinusoid dan berfungsi dalam sistem imun hati (Ayuningtyas 2014).

Selain berperan dalam metabolisme dan sistem pencernaan, hepar juga berfungsi sebagai organ utama dalam proses detoksifikasi. Hepar berperan dalam biotransformasi, yaitu mengubah zat-zat beracun menjadi bentuk yang tidak berbahaya. Namun, peran ini menjadikan hepar sangat rentan mengalami kerusakan, baik secara struktural maupun fungsional, terutama jika terpapar zat

toksik secara berlebihan atau berkepanjangan (Nugraha, Isdadiyanto, and Tana 2018).

Hepar dikenal sebagai organ metabolik terbesar dan paling vital dalam tubuh karena menjalankan berbagai fungsi penting lainnya. Fungsi-fungsi tersebut meliputi sekresi garam empedu untuk membantu pencernaan lemak, proses detoksifikasi kimia berbahaya, sintesis protein plasma seperti albumin dan faktor pembekuan darah, aktivasi vitamin D, serta ekskresi kolesterol dan bilirubin. Selain itu hepar juga berperan sebagai tempat penyimpanan berbagai zat penting seperti glikogen, lemak, besi, tembaga dan berbagai vitamin (Nugroho and Armalina 2019). Dengan beragam fungsinya tersebut, hepar menjadi salah satu organ yang sangat krusial bagi kelangsungan hidup dan keseimbangan fisiologi tubuh.

2.9 Mencit (*Mus Musculus*)

Mencit (*Mus musculus L.*) merupakan hewan mamalia dari kelompok rodensia yang memiliki kemampuan reproduksi tinggi, mudah dipelihara dalam jumlah besar, memiliki variasi genetik yang cukup luas, serta karakteristik anatomi dan fisiologinya telah teridentifikasi dengan baik. Adapun klasifikasinya adalah sebagai berikut :

Phylum	: Chordata
Sub phylum	: Vertebrata
Class	: Mamalia
Ordo	: Rodentia
Family	: Muridae
Genus	: Mus
Species	: Mus musculus

Mencit sering dimanfaatkan dalam penelitian karena memiliki berbagai keunggulan, seperti pola reproduksi yang teratur dan mudah diamati, masa kebuntingan yang relatif singkat, serta jumlah anak yang banyak. Selain itu,

pertumbuhan mencit memiliki kemiripan dengan manusia. Dalam pemeliharaannya, mencit (*Mus musculus*) memerlukan kondisi lingkungan yang bersih, kering, dan terhindar dari kebisingan (Rakhmawati, Kedokteran, and Maret 2011).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, yaitu metode yang dilakukan untuk menganalisis pengaruh paparan radiasi gelombang elektromagnetik telepon seluler 4G dan pemberian ekstrak daun kelor (*moringa oleifera*) terhadap gambaran histologi hati mencit (*mus musculus*).

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juli 2025 di Laboratorium Biofisika, Laboratorium Kandang Hewan Coba, dan Laboratorium Fisiologi Hewan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat Penelitian

Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Telepon seluler berbasis 4G
2. RF (Radio Frequency) Meter / Electromagnetic Field (EMF) Meter
3. Mikroskop Olympus CX23
4. Wadah mencit
5. Alat sonde
6. Alat bedah
7. Masker
8. Sarung Tangan latex
9. Nipel (tempat minum hewan coba)
10. Kandang hewan coba

11. Kertas label

12. Alat tulis

3.3.2 Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mencit 45 ekor dengan berat sekitar 20 gram
2. Makanan mencit (BR 1)
3. Minuman mencit (air putih)
4. Sekam
5. Ekstrak daun kelor
6. Pewarna HE (Hemaktosilin-Erosin)
7. NaCL 0,9%
8. Aquades
9. Formalin 10%
10. Xylol

3.4 Variabel Penelitian

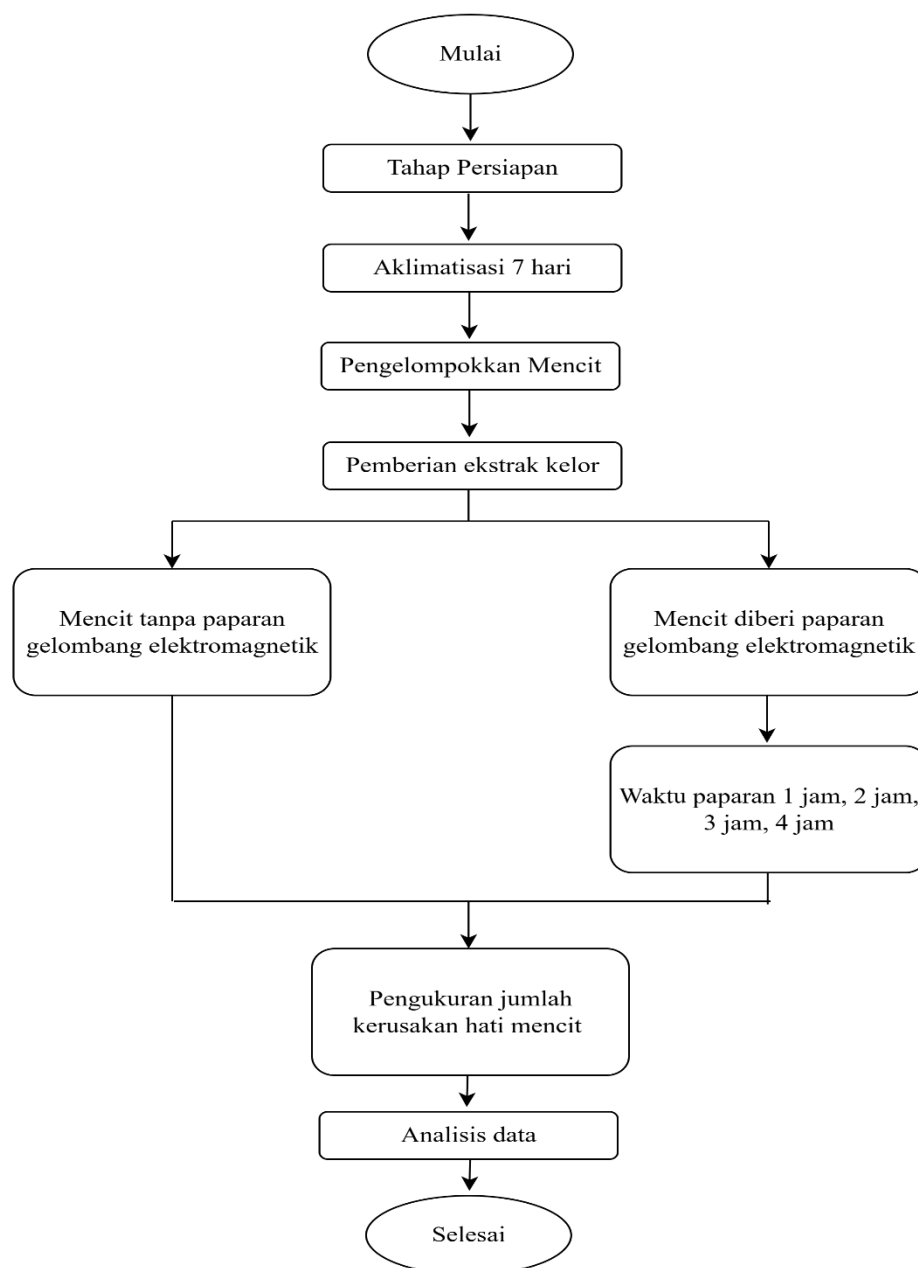
Variabel bebas : Paparan radiasi gelombang elektromagnetik telepon seluler
4G, dan ekstrak daun kelor

Variabel terikat : Kondisi histologi hati mencit (*Mus musculus*)

3.5 Prosedur Penelitian

Mencit putih jantan sejumlah 45 ekor berumur 8 minggu dengan berat badan rata-rata 20-30 gram yang digunakan pada penelitian ini. Mencit kemudian diberi paparan radiasi gelombang elektromagnetik telepon seluler 4G dengan frekuensi 2,3 GHz dengan variasi lama waktu paparan selama 1 jam, 2 jam, 3 jam, dan 4 jam dengan dosis perjamnya 2,6 (mg), dan 3,6 (mg).

3.6 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.6.1 Persiapan Sampel

a. Persiapan Hewan Coba Mencit

Tahap persiapan untuk hewan uji melibatkan 45 ekor mencit putih jantan berumur rata-rata 8 minggu. Sebelum perlakuan dimulai, mencit diaklimatisasi dengan lingkungan baru selama 7 hari (1 minggu). Selama masa aklimatisasi,

mencit ditempatkan dalam kandang sesuai kelompok perlakuan, dengan setiap kandang berisi ekor mencit. Alas kandang berupa sekam diganti setiap 2 hari sekali. Mencit diberi pakan BR 1 sehari sekali dalam jumlah yang sama untuk setiap ekor, serta disediakan 100 ml air melalui nipel mencit. Jika terdapat mencit yang sakit atau mati, mencit tersebut akan dikeluarkan dari penelitian. Mencit yang telah disiapkan dibagi menjadi 3 kelompok yaitu :

1. Kelompok Kontrol (K)

Pada kelompok ini, mencit yang berperan sebagai variabel kontrol berjumlah 9 ekor dan tidak diberikan perlakuan apa pun, baik berupa paparan maupun pemberian antioksidan.

2. Kelompok Paparan Negatif (P-)

Kelompok paparan negatif dalam penelitian ini terdiri atas 12 ekor mencit yang diberikan radiasi gelombang elektromagnetik dengan variasi waktu paparan tanpa pemberian antioksidan.

3. Kelompok paparan positif (P+)

Kelompok perlakuan dalam penelitian ini terdiri atas 24 ekor mencit yang diberikan paparan radiasi gelombang elektromagnetik dengan variasi waktu paparan serta perlakuan antioksidan berupa ekstrak daun kelor dengan dosis yang bervariasi.

- b. Perhitungan Dosis Antioksidan

Untuk menentukan dosis antioksidan yang digunakan pada mencit, perlu dikonversi terlebih dahulu dari berat badan manusia normal (70 kg), dan berat badan mencit yang digunakan sebagai acuan yaitu 25 gr, dengan faktor konversi 0,0026.

	Mencit 20 gr	Tikus 200 gr	Marmot 400 gr	Kelinci 1,5 kg	Kucing 2 kg	Kera 4 kg	Anjing 12 kg	Manusia 70 kg
Mencit 20 gr	1.0	7.0	12.25	27.8	29.7	64.1	124.2	387.9
Tikus 200 gr	0.14	1.0	1.74	3.9	4.2	9.2	17.8	56.0
Marmot 400 gr	0.08	0.57	1.0	2.25	2.4	5.2	10.2	31.5
Kelinci 1,5 kg	0.04	0.25	0.44	1.0	1.08	2.4	4.5	14.2
Kucing 2 kg	0.03	0.23	0.41	0.92	1.0	2.2	4.1	13.0
Kera 4 kg	0.016	0.11	0.19	0.42	0.45	1.0	1.9	6.1
Anjing 12 kg	0.008	0.06	0.1	0.22	0.24	0.52	1.0	3.1
Manusia 70 kg	0.0026	0.018	0.031	0.07	0.076	0.16	0.32	1.0

Tabel 3.1 Konversi perhitungan dosis hewan dan manusia

Penentuan dosis ekstrak daun kelor yang diberikan kepada mencit dilakukan berdasarkan persamaan (1) berikut.

$$\text{Dosis} = \text{Kebutuhan manusia perhari} \times 0,0026 \dots\dots\dots (1)$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang merujuk pada Tabel 3.1 mengenai konversi dosis serta persamaan yang telah digunakan, diperoleh variasi dosis ekstrak daun kelor yang diberikan kepada mencit secara bertingkat sebesar 2,6 mg dan 3,6 mg.

c. Persiapan Ekstrak Daun Kelor

Ekstrak daun kelor yang diberikan kepada mencit dalam penelitian ini merupakan produk yang telah dikemas dan tersedia di pasaran dalam bentuk serbuk. Oleh karena itu, sebelum digunakan, ekstrak tersebut terlebih dahulu dilarutkan menggunakan aquades. Pemberian ekstrak daun kelor yang telah dilarutkan dilakukan dengan metode sonde lambung melalui mulut mencit. Dosis yang diberikan disesuaikan dengan berat badan masing-masing mencit serta

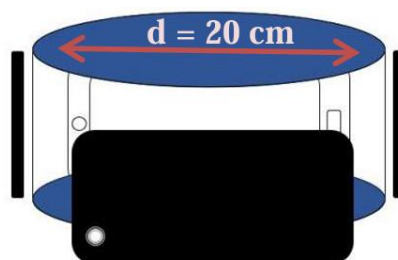
menggunakan variasi konsentrasi dosis yang berbeda-beda sesuai dengan kelompok perlakuan.

d. Persiapan Telepon Seluler

Telepon seluler yang digunakan adalah telepon yang berbasis 4G dengan frekuensi 2,3 GHz diletakkan di dalam kandang mencit. Setiap kelompok menggunakan empat telepon seluler yaitu Samsung M12, Samsung A12, Redmi 10, Vivo Y20. Telepon seluler ditelepon selama 1 jam/hari, 2 jam/hari, 3 jam/hari selama, dan 4 jam/hari 14 hari. Perangkat telepon seluler yang digunakan harus berada dalam kondisi penuh, tersedia pulsa untuk komunikasi, serta tidak sedang dalam keadaan mengisi daya.

3.6.2 Perlakuan Hewan Uji coba

Perlakuan pada mencit dilakukan dengan menempatkan 6 ekor mencit ke dalam wadah berbentuk tabung sebagai tempat paparan radiasi, kemudian diberikan paparan dari 4 unit telepon seluler yang disusun mengelilingi wadah. Paparan dilakukan dengan variasi waktu 1 jam, 2 jam, 3 jam, dan 4 jam per hari selama 14 hari. Wadah memiliki diameter 20 cm dengan jarak antar perangkat sekitar 1,5 cm untuk memastikan paparan optimal. Telepon seluler berada dalam kondisi aktif dengan jaringan seluler (misalnya 4G) dan diatur pada mode panggilan aktif selama proses paparan berlangsung sehingga menghasilkan radiasi gelombang elektromagnetik secara kontinu.



Gambar 3.2 Paparan radiasi gelombang elektromagnetik telepon seluler

Setelah dilakukan perlakuan paparan seperti pada Gambar 3.2, terlebih dahulu ditentukan variasi waktu paparan yang menghasilkan tingkat kerusakan terbesar. Selanjutnya dilakukan pemberian antioksidan berupa ekstrak daun kelor menggunakan metode sonde, yaitu pemberian secara langsung ke dalam lambung mencit seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3. Dosis ekstrak yang diberikan adalah 2,6 mg dan 3,6 mg, yang disesuaikan dengan berat badan mencit. Pemberian antioksidan dilakukan 15 menit sebelum mencit dipaparkan kembali terhadap radiasi gelombang elektromagnetik telepon seluler dengan durasi paparan berdasarkan waktu efektif yang telah ditentukan sebelumnya, kemudian mencit ditempatkan kembali pada wadah paparan seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.3 Proses pemberian antioksidan pada mencit dengan metode sonde oral

Mencit yang telah diberi perlakuan kemudian pada hari berikutnya mencit dibunuh dengan menggunakan metode dislokasi. Setelah dibunuh, mencit dibedah untuk dilakukan pengambilan organ hati untuk dianalisis histologi jaringan hatinya.

3.6.3 Analisis Histologi Jaringan Hati

Analisis histologi hati dilakukan dengan cara mengambil sampel jaringan hati dari mencit. Kemudian difiksasi dalam larutan buffer formalin netral selama 24 jam. Setelah dilakukan fiksasi, sepotong kecil hati dipotong dengan ketebalan 3-5

mm untuk setiap sampel. Jaringan yang telah difiksasi kemudian didehidrasi menggunakan etanol 70%, 80%, 96%, alcohol absolut. Setelah selesai proses dehidrasi, jaringan hati tersebut direndam dalam xylene untuk proses pembersihan, kemudian jaringan ditanamkan ke dalam paraffin dan dipotong menjadi beberapa bagian serial dengan ketebalan 4-5 μm . Setelah dilakukan deparafinisasi dan rehidrasi, jaringan kemudian diwarnai dengan hematoksin dan dibedakan menggunakan air mengalir. Jaringan tersebut kemudian direndam dalam etanol asam (HCl 1% pada etanol 70%) dan dicuci menggunakan air suling.

Irisan sel hati dapat diamati menggunakan mikroskop dengan perbesaran 100 kali. Masing-masing sampel diiris menjadi dua dan pengamatan dilakukan pada lima lapang pandang di sekitar vena sentral hati. Adapun penilaian hasil histologi dibagi menjadi empat kelompok yaitu Kerusakan 0%, yaitu tidak dijumpai degenerasi dan nekrosis pada bagian yang diamati. Kerusakan 1- 20%, yaitu dijumpai 1-20% degenerasi dan nekrosis pada bagian yang diamati (kerusakan ringan). Kerusakan 21- 50%, yaitu dijumpai 20-50% degenerasi dan nekrosis pada bagian yang diamati (kerusakan sedang). Kerusakan >50%, yaitu dijumpai >50% degenerasi dan nekrosis pada bagian yang diamati (kerusakan berat)

3.6.4 Perhitungan Kerusakan Organ Hati

Variabel kerusakan organ hati yang diamati dalam penelitian ini meliputi kerusakan mikroskopis berupa sel inflamasi dan nekrosis. Pengamatan dilakukan pada setiap lapang pandang sebanyak 5 field dengan perbesaran mikroskop 400 $\times$. Pada masing-masing lapang pandang dihitung jumlah sel hati yang mengalami kerusakan, baik berupa sel inflamasi maupun nekrosis. Proses pengamatan dilakukan menggunakan perangkat lunak *ImageJ*, kemudian data yang diperoleh diolah menggunakan *Microsoft Excel* untuk analisis lebih lanjut.

3.6.5 Penentuan Nilai Medan Elektromagnetik dan *Specific Absorption Rate* (SAR)

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran parameter paparan gelombang elektromagnetik berupa kuat medan listrik (E-field) menggunakan alat RF (*Radio Frequency*) meter. Selain itu, dihitung nilai *Specific Absorption Rate* (SAR) untuk mengetahui besarnya energi radiasi yang diserap oleh jaringan biologis.

Nilai SAR dihitung menggunakan persamaan:

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

- **SAR** = *Specific Absorption Rate* (W/kg)
- σ = konduktivitas jaringan (S/m)
- **E** = kuat medan listrik (V/m)
- ρ = massa jenis jaringan (kg/m³)

di mana SAR adalah laju serapan energi (W/kg), σ adalah konduktivitas jaringan (S/m), E adalah kuat medan listrik (V/m), dan ρ adalah massa jenis jaringan (kg/m³). Nilai SAR berbanding lurus dengan kuadrat kuat medan listrik, sehingga peningkatan E-field akan meningkatkan nilai SAR.

Menurut *World Health Organization* (WHO) dan *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP), SAR digunakan sebagai parameter standar untuk menilai tingkat paparan gelombang elektromagnetik, dengan batas aman untuk masyarakat umum sebesar 2 W/kg. Dalam penelitian ini, nilai SAR digunakan untuk mendukung analisis pengaruh paparan terhadap kerusakan histologi hati mencit.

3.6.6 Teknik Pengumpulan Data

Data yang diperoleh dari hasil pengujian dimasukkan pada tabel.

Tabel 3.2 Data hasil penilaian presentase sel (lisis) pada hati mencit

No	Paparan Gel. Eelektromagnetik	Kelor (mg)	Presentase Sel (Lisis) (%)			Rata-Rata	Medan Elektro magnetik V/m	SAR (W/kg)
			1	2	3			
1.	Kontrol	0						
2.		2,6						
3.		3,6						
4.	1 jam	0						
5.		2,6						
6.		3,6						
7.	2 jam	0						
8.		2,6						
9.		3,6						
10.	3 jam	0						
11.		2,6						
12.		3,6						
13.	4 jam	0						
14.		2,6						
15.		3,6						

Keterangan :

1. Kerusakan 0% : Tidak dijumpai degenerasi dan nekrosis pada bagian yang diamati
2. Kerusakan 1- 20% : Dijumpai 1-20% degenerasi dan nekrosis pada bagian yang diamati (kerusakan ringan)
3. Kerusakan 20-50% : Dijumpai 20-50% degenerasi dan nekrosis pada bagian yang diamati (kerusakan sedang)
4. Kerusakan > 50% : Dijumpai >50% degenerasi dan nekrosis pada bagian yang diamati (kerusakan berat)

3.6.7 Analisis Data

Teknik analisis data dalam penelitian ini adalah analisis dengan menggunakan software IBM SPSS Statistics untuk melihat pengaruh yang diberikan masing-masing variabel bebas yaitu durasi paparan radiasi elektromagnetik dan dosis pemberian ekstrak daun kelor. Uji statistik yang digunakan adalah Percobaan Faktorial. Jika hasil uji menunjukkan adanya

perbedaan yang signifikan, maka dilanjutkan Post Hoc menggunakan uji DMRT untuk mengetahui kelompok perlakuan mana yang memberikan perbedaan nyata. Nilai signifikansi statistik ditetapkan sebesar $p < 0,05$ untuk menentukan perlakuan mana yang memberikan efek paling efektif terhadap perbaikan atau perlindungan struktur hati.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Penelitian ini berjudul “Pengaruh Paparan Radiasi Gelombang Elektromagnetik Telepon Seluler dan Pemberian Ekstrak Daun Kelor (*Moringa oleifera*) terhadap Gambaran Histologi Hati Mencit (*Mus musculus*)” yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh paparan radiasi gelombang elektromagnetik telepon seluler terhadap kondisi histologi hati mencit (*Mus musculus*), untuk mengetahui pengaruh pemberian ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) terhadap kondisi histologi hati mencit yang terpapar radiasi gelombang elektromagnetik, untuk mengetahui perbedaan kondisi histologi hati mencit antara kelompok yang hanya terpapar radiasi dengan kelompok yang juga diberikan ekstrak daun kelor. untuk Jenis penelitian ini yaitu penelitian eksperimental menggunakan hewan coba mencit (*Mus musculus*) sebanyak 45 ekor yang dilaksanakan di Laboratorium Optik Fisika, Laboratorium Fisiologi Hewan, dan Laboratorium Kandang Hewan Coba Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Penelitian ini dilaksanakan melalui lima tahap. Tahap pertama yaitu mencit diaklimatisasi selama 7 hari di Laboratorium Kandang Hewan Coba. Tahap kedua yaitu mencit di sonde lambung dengan dosis 2.6 mg dan 3.6 mg, setelah itu tahap ketiga dimasukkan kedalam tabung dan dipapari gelombang elektromagnetik pada telepon seluler dalam bentuk video call, menggunakan empat telepon seluler yaitu Samsung M12, Samsung A12, Redmi 10, Vivo Y20 selama 1 jam, 2 jam, 3 jam, dan 4 jam dan diulangi tahap kedua dan ketiga selama 2 minggu. Tahap keempat yaitu

pembedahan pada mencit dan diambil seperempat organ hati untuk dijadikan preparat. Tahap kelima organ hati yang sudah menjadi preparat diamati menggunakan mikroskop perbesaran 400X dengan diambil lima lapang pandang per preparat. Lima tahap tersebut kemudian menghasilkan data untuk diolah lalu dianalisis.

4.1.1 Pengaruh Radiasi Elektromagnetik terhadap Histologi Hati Mencit

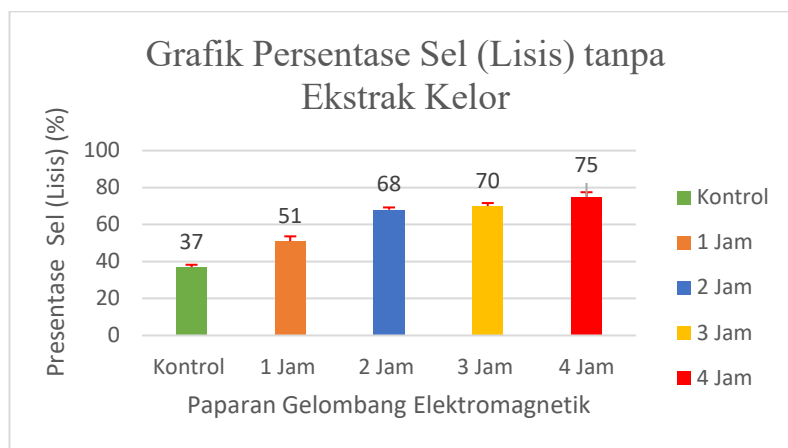
Gambaran histologi organ hati mencit diamati menggunakan mikroskop digital tipe *Mikrokom Olympus CX23* dengan perbesaran total $400\times$ untuk melihat kondisi sel hepatosit. Pengamatan dilakukan pada preparat histologi sebanyak 4 preparat per kelompok untuk mengidentifikasi perubahan struktur sel, khususnya yang berkaitan dengan kerusakan seperti sel inflamasi dan nekrosis. Selain itu, perangkat lunak *ImageJ* digunakan untuk menganalisis persentase kerusakan histologi hati pada kelompok kontrol, paparan negatif, dan paparan positif, kemudian hasil analisis diolah lebih lanjut untuk keperluan interpretasi data.

Tabel 4.1 Data hasil penilaian presentase sel (lisis) pada hati mencit tanpa daun kelor

No	Paparan Gel. Elektromagnetik	Kelor	Presentase Sel (Lisis) (%)			Rata-Rata	Standar Deviasi
			1	2	3		
1.	Kontrol	Tanpa Kelor	35	38	37	37	1,25
2.	1 jam		53	52	47	51	2,62
3.	2 jam		68	67	70	68	1,25
4.	3 jam		72	68	70	70	1,63
5.	4 jam		72	76	78	75	2,49

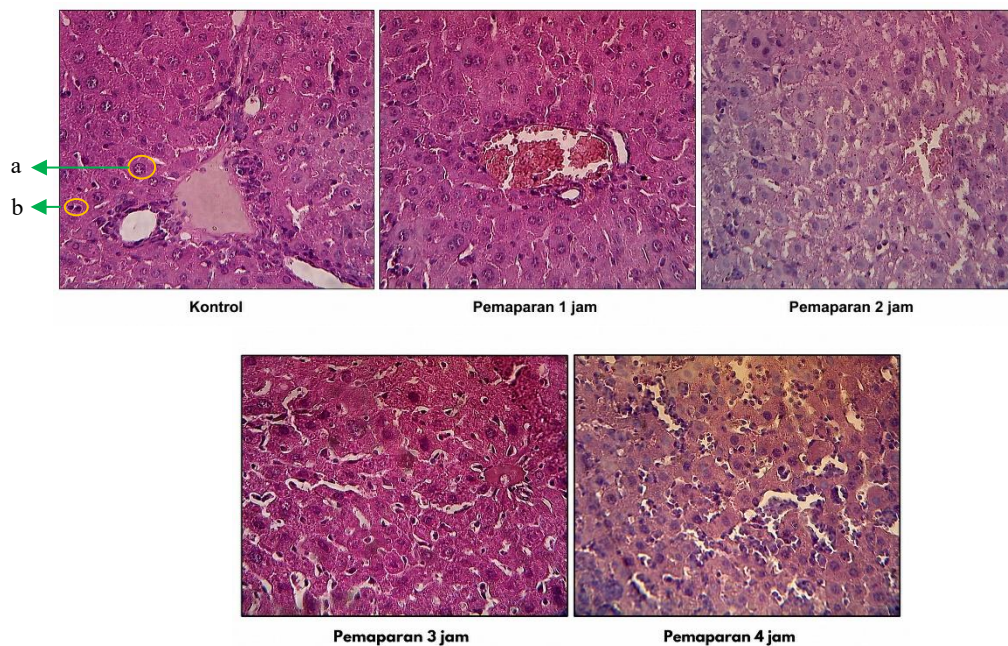
Tabel 4.1 menunjukkan bahwa paparan gelombang elektromagnetik dapat mempengaruhi kerusakan lisis nekrosis pada hati. Jumlah rata-rata kerusakan histologi hati mencit sebelum dipapari gelombang elektromagnetik adalah 37%. Setelah dilakukan pemaparan selama 1 jam rata-rata kerusakan ialah 51%, lalu

setelah dilakukan pemaparan selama 2 jam rata-rata kerusakan semakin meningkat menjadi 68%, dan setelah dilakukan pemaparan selama 3 jam rata-rata meningkat menjadi 70% dan setelah pemaparan selama 4 jam rata rata kerusakan semakin meningkat menjadi 75%. Tabel 4.1 dapat disimpulkan bahwa semakin lama pemaparan maka kerusakan lisis nekrosis pada hati semakin meningkat.



Gambar 4.1 Grafik persentase sel (lisis) tanpa ekstrak daun kelor

Berdasarkan Gambar grafik 4.1 persentase kerusakan sel lisis tanpa pemberian ekstrak kelor, terlihat bahwa persentase kerusakan sel meningkat secara bertahap seiring bertambahnya lama paparan gelombang elektromagnetik. Nilai kerusakan meningkat dari 37% pada kontrol menjadi 51% pada 1 jam, 68% pada 2 jam, 70% pada 3 jam, dan mencapai 75% pada paparan 4 jam. Hal ini menunjukkan bahwa tanpa perlakuan protektif, durasi paparan memiliki hubungan langsung dengan peningkatan tingkat kerusakan sel, di mana semakin lama paparan diberikan, semakin tinggi persentase kerusakan yang terjadi.



Gambar 4.2 Gambar histologi hati mencit tanpa ekstrak daun kelor
keterangan: a. sel normal, b. sel nekrosis

Pada Gambar 4.2 kelompok kontrol, jaringan masih tampak normal dengan susunan sel yang teratur, inti sel jelas, serta tidak ditemukan nekrosis maupun gangguan pembuluh darah. Pada kelompok pemaparan 1 jam mulai terlihat perubahan ringan berupa beberapa sel dengan inti sel mengecil (lisis). Pada pemaparan 2 jam, jumlah sel yang mengalami kerusakan meningkat disertai susunan jaringan yang mulai tidak teratur dan adanya gangguan pembuluh darah.

Pada kelompok pemaparan 3 jam dan 4 jam, kerusakan jaringan terlihat semakin berat, ditandai dengan banyaknya sel nekrotik, hilangnya struktur inti sel, serta berkurangnya jumlah sel normal. Kongesti pembuluh darah juga tampak lebih jelas, bahkan disertai perdarahan pada beberapa area. Secara keseluruhan, hasil menunjukkan bahwa semakin lama durasi pemaparan, maka tingkat kerusakan jaringan semakin meningkat.

4.1.2 Pengaruh Ekstrak Daun Kelor terhadap Histologi Hati Mencit Terpapar Radiasi

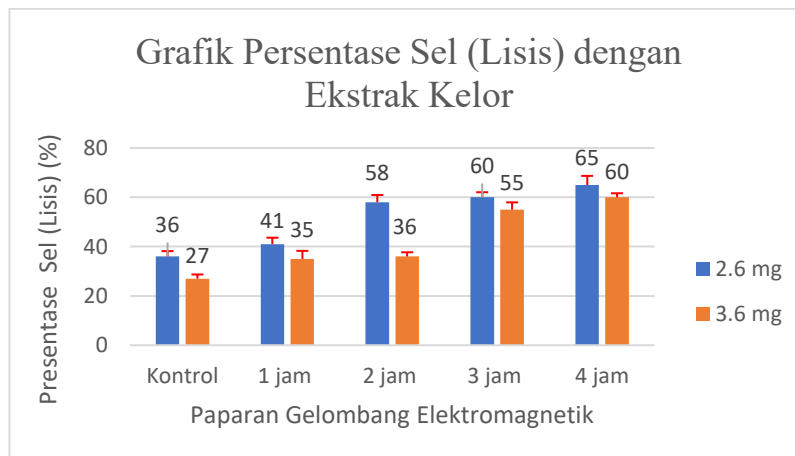
Hasil Pengamatan dihasilkan gambaran mikroskopis histologi hati yang didapatkan presentase kerusakan. Data tersebut tersebut digambarkan dengan grafik yang menyatakan hubungan antara presentase kerusakan dengan lama paparan radiasi gelombang elektromagnetik telepon seluler pada mencit. Analisis dilakukan terhadap preparat jaringan hati dari setiap kelompok perlakuan untuk melihat pengaruh pemberian ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) dalam melindungi atau memulihkan struktur seluler hati dari kerusakan akibat paparan radiasi gelombang elektromagnetik. Berdasarkan hipotesis bahwa ekstrak daun kelor kaya akan antioksidan, maka pengaruhnya terhadap integritas histologis hati diuji, mengingat paparan radiasi elektromagnetik diduga menimbulkan stres oksidatif yang dapat merusak sel hati.

Tabel 4.2 Data hasil penilaian presentase sel (lisis) pada hati mencit dengan daun kelor

No.	Paparan Gel. Eelektromagnetik	Kelor	Presentase Sel (Lisis) (%)			Rata-Rata	Standar Deviasi
			1	2	3		
1.	Kontrol	2,6 (mg)	34	39	35	36	2,16
2.		3,6 (mg)	25	29	28	27	1,70
3.	1 Jam	2,6 (mg)	45	39	40	41	2,62
4.		3,6 (mg)	35	31	39	35	3,27
5.	2 Jam	2,6 (mg)	54	59	61	58	2,94
6.		3,6 (mg)	44	48	45	46	1,70
7.	3 Jam	2,6 (mg)	57	62	60	60	2,05
8.		3,6 (mg)	54	59	52	55	2,94
9.	4 Jam	2,6 (mg)	65	60	69	65	3,68
10.		3,6 (mg)	58	62	60	60	1,63

Pada tabel 4.1 menunjukkan bahwa semakin lama durasi paparan gelombang elektromagnetik, semakin tinggi nilai kerusakan histologi hati mencit. Namun demikian pada tabel 4.2, pemberian ekstrak daun kelor dosis 3,6 mg secara

konsisten menghasilkan nilai kerusakan yang lebih rendah dibandingkan dosis 2,6 mg pada setiap durasi paparan. Hal ini mengindikasikan adanya efek protektif ekstrak daun kelor yang bersifat dosis dependen dalam mengurangi kerusakan jaringan hati akibat paparan radiasi gelombang elektromagnetik.



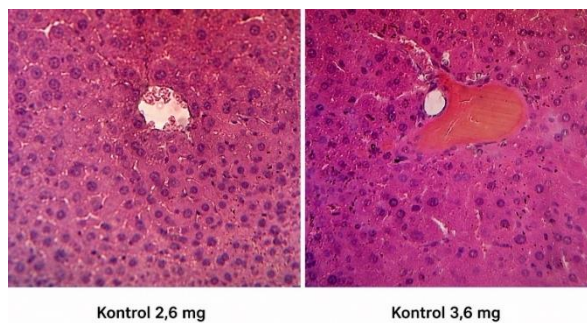
Gambar 4.3 Grafik Persentase Sel (Lisis) dengan Ekstrak Kelor

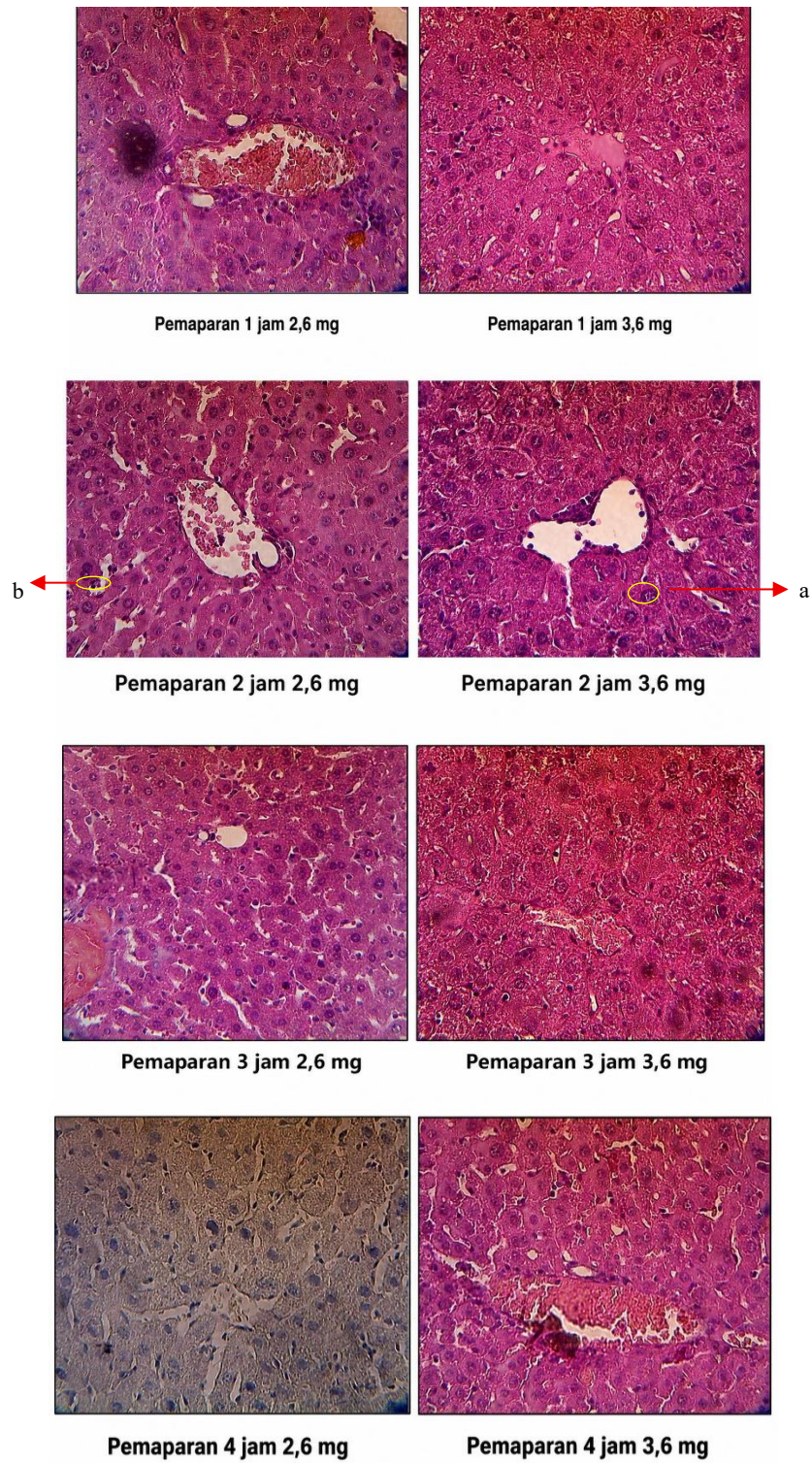
Berdasarkan gambar grafik persentase kerusakan sel lisis dengan ekstrak kelor, terlihat bahwa persentase kerusakan sel mengalami peningkatan seiring bertambahnya lama paparan gelombang elektromagnetik pada kedua dosis ekstrak kelor. Pada dosis 2,6 mg, persentase kerusakan meningkat dari 36% pada kelompok kontrol menjadi 41% (1 jam), 58% (2 jam), 60% (3 jam), dan mencapai nilai tertinggi 65% pada paparan 4 jam. Sementara itu, pada dosis 3,6 mg persentase kerusakan meningkat dari 27% pada kontrol menjadi 35% (1 jam), 36% (2 jam), 55% (3 jam), dan 60% pada paparan 4 jam. Selain itu, pada setiap durasi paparan, dosis 3,6 mg cenderung menunjukkan nilai kerusakan yang lebih rendah dibandingkan dosis 2,6 mg, yang mengindikasikan bahwa dosis ekstrak kelor yang lebih tinggi berpotensi memberikan efek perlindungan lebih baik. Secara keseluruhan, grafik menunjukkan bahwa durasi paparan berpengaruh terhadap

peningkatan kerusakan sel, namun pemberian ekstrak kelor dapat menurunkan tingkat kerusakan tersebut.

Gambar di bawah ini menunjukkan perbandingan struktur jaringan hati mencit pada kelompok kontrol 2,6 mg dan 3,6 mg, struktur jaringan hati tampak normal dengan susunan hepatosit yang teratur, inti sel terlihat jelas, serta tidak ditemukan area nekrosis maupun gangguan pada pembuluh darah. Pada kelompok pemaparan 1 dan 2 jam, mulai terlihat adanya perubahan berupa munculnya beberapa sel nekrosis dan sedikit ketidakteraturan susunan jaringan. Namun, pada dosis 3,6 mg jumlah sel yang mengalami nekrosis tampak lebih sedikit dibandingkan dosis 2,6 mg. Struktur jaringan pada dosis 3,6 mg masih relatif lebih terjaga, dengan lebih banyak sel yang mempertahankan bentuk dan inti yang jelas.

Pada pemaparan 3 dan 4 jam, kerusakan jaringan tampak semakin jelas pada kedua dosis, namun tingkat kerusakan pada dosis 3,6 mg terlihat lebih ringan dibandingkan dosis 2,6 mg. Pada dosis 2,6 mg ditemukan area nekrosis yang lebih luas, susunan hepatosit yang lebih tidak teratur, serta pelebaran pembuluh darah yang lebih nyata. Sementara itu, pada dosis 3,6 mg masih tampak lebih banyak sel normal dan area nekrosis relatif lebih terbatas. Secara keseluruhan, hasil pengamatan menunjukkan bahwa pemberian dosis 3,6 mg memperlihatkan tingkat kerusakan jaringan hati yang lebih rendah dibandingkan dosis 2,6 mg.





Gambar 4.4 Gambar histologi hati mencit dengan ekstrak kelor
 keterangan: a. sel normal, b. sel nekrosis

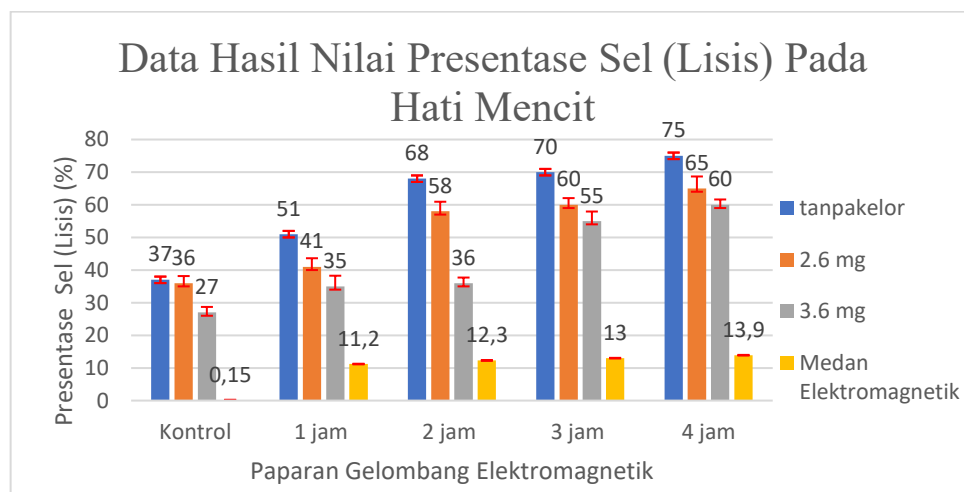
4.1.3 Perbedaan Histologi Hati Mencit pada Paparan Radiasi dan Pemberian Ekstrak Kelor

Data Tabel 4.3, berikut merupakan persentase sel (lisis) pada hati mencit meningkat seiring bertambahnya durasi paparan gelombang elektromagnetik. Pada kelompok tanpa kelor, kerusakan meningkat dari 37% (kontrol) menjadi 51% (1 jam), 68% (2 jam), 70% (3 jam), dan 75% (4 jam). Pada kelompok dengan pemberian kelor 2,6 mg dan 3,6 mg, tingkat kerusakan lebih rendah pada setiap durasi paparan, menunjukkan adanya efek protektif. Nilai medan elektromagnetik dan SAR berada pada kisaran yang relatif stabil dengan peningkatan ringan, dari sekitar 11,20–13,90 V/m dan 0,20–0,31 W/kg. Hal ini menunjukkan bahwa intensitas medan listrik cenderung konstan, sedangkan peningkatan kerusakan jaringan lebih dipengaruhi oleh lamanya paparan. Secara keseluruhan, semakin lama paparan gelombang elektromagnetik, semakin tinggi tingkat kerusakan sel, namun pemberian ekstrak daun kelor dapat menurunkan tingkat kerusakan tersebut.

Tabel 4.3 Data hasil nilai presentase sel (lisis) pada hati mencit

No	Paparan Gel. Elektromagnetik	Kelor (mg)	Presentase Sel (Lisis) (%)			Rata-Rata	Medan Elektromagnetik V/m	SAR (W/kg)
			1	2	3			
1.	Kontrol	0	35	38	37	37	0,15	0,034
2.		2,6	34	39	35	36		
3.		3,6	25	29	28	27		
4.	1 jam	0	53	52	47	51	11,20	0,20
5.		2,6	45	39	40	41		
6.		3,6	35	31	39	35		
7.	2 jam	0	68	67	70	68	12,30	0,24
8.		2,6	54	59	61	58		
9.		3,6	44	48	45	46		
10.	3 jam	0	72	68	70	70	13,00	0,27
11.		2,6	57	62	60	60		
12.		3,6	54	59	52	55		
13.	4 jam	0	72	76	78	75	13,90	0,31
14.		2,6	65	60	69	65		
15.		3,6	58	62	60	60		

Berdasarkan grafik dibawah ini, merupakan persentase sel (lisis) pada hati mencit menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya durasi paparan gelombang elektromagnetik, di mana pada kelompok tanpa kelor kerusakan meningkat dari 37% (kontrol) menjadi 51% (1 jam), 68% (2 jam), 70% (3 jam), dan 75% (4 jam). Pada kelompok yang diberikan ekstrak daun kelor dosis 2,6 mg dan 3,6 mg, tingkat kerusakan cenderung lebih rendah pada setiap durasi paparan, yang mengindikasikan adanya efek protektif terhadap jaringan hati. Sementara itu, nilai medan elektromagnetik berada pada kisaran yang relatif stabil dengan peningkatan ringan dari 0,15 V/m hingga 13,9 V/m, sehingga menunjukkan bahwa peningkatan kerusakan sel lebih dipengaruhi oleh lamanya paparan dibandingkan perubahan intensitas medan listrik. Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa durasi paparan berperan dalam meningkatkan kerusakan jaringan hati, sedangkan pemberian ekstrak daun kelor dapat membantu menurunkan tingkat kerusakan tersebut.



Gambar 4.5 Grafik Data Hasil Presentase Kerusakan Sel Lisis Pada Hati Mencit

Tabel 4.4 Hasil analisis Percobaan Faktorial perlakuan terhadap dosis ekstrak daun kelor

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	131847.000 ^a	15	8789.800	1038.165	.000
Perlakuan	6988.089	4	1747.022	206.341	.000
Ekstrakkelor	1827.378	2	913.689	107.916	.000
Perlakuan*ekstrakkelor	204.844	8	25.606	2.024	.013
Error	254.000	30	8.467		
Total	132101.000	45			

Pada Tabel 4.4 merupakan hasil uji SPSS pada desain percobaan faktorial yang melibatkan dua faktor, yaitu Perlakuan dan Ekstrak kelor, serta interaksi keduanya (Perlakuan $\times$ Ekstrak kelor). Kolom Sig. (p-value) menunjukkan apakah masing-masing faktor berpengaruh signifikan terhadap variabel yang diteliti. Pada tabel terlihat bahwa nilai signifikansi untuk Perlakuan (0,000) dan Ekstrak kelor (0,000) lebih kecil dari 0,05, sehingga keduanya berpengaruh signifikan. Nilai signifikansi untuk interaksi Perlakuan $\times$ Ekstrak kelor adalah 0,013, yang juga lebih kecil dari 0,05. Menurut (Montgomery n.d.) juga menyatakan bahwa pada analisis faktorial, interaksi antar faktor dinyatakan signifikan apabila p-value lebih kecil dari tingkat signifikansi yang ditetapkan (umumnya 0,05). Artinya, pengaruh perlakuan terhadap hasil penelitian dipengaruhi oleh dosis ekstrak kelor yang diberikan.

Nilai F menunjukkan besarnya pengaruh masing-masing faktor dibandingkan dengan kesalahan (*error*). Semakin besar nilai F, semakin besar pengaruh faktor tersebut. Pada tabel, nilai F untuk Perlakuan (206,341) lebih besar dibandingkan Ekstrak kelor (107,916), sehingga dapat dikatakan bahwa perlakuan memiliki pengaruh yang lebih dominan. Nilai Sig. pada Model = 0,000 menunjukkan bahwa model secara keseluruhan signifikan. Hasil penelitian ini

secara langsung mendukung hipotesis penelitian (H_1) yang menyatakan bahwa paparan gelombang elektromagnetik telepon seluler meningkatkan kerusakan histologi hati, dan pemberian ekstrak daun kelor mampu memberikan perlindungan terhadap kerusakan tersebut, sehingga hipotesis nol (H_0) ditolak.

Tabel 4.5 Hasil uji DMRT pengaruh radiasi gelombang elektromagnetik

Perlakuan	Nilai	Notasi Huruf
Kontrol	33.33	a
1 Jam	42.33	b
2 Jam	57.33	c
3 Jam	61.56	cd
4 Jam	66.67	d

Pada tabel 4.5 hasil uji SPSS dengan desain *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antar perlakuan. Uji DMRT bertujuan untuk mengetahui secara lebih rinci kelompok mana saja yang berbeda nyata satu sama lain. Notasi huruf pada tabel menunjukkan bahwa perlakuan yang memiliki huruf berbeda berarti berbeda nyata secara statistik, sedangkan perlakuan yang memiliki huruf yang sama atau tumpang tindih (misalnya “cd”) berarti tidak berbeda nyata. Berdasarkan tabel, kontrol (a) dan perlakuan 1 jam (b) berbeda nyata dengan semua perlakuan lainnya, sedangkan perlakuan 3 jam (cd) tidak berbeda nyata dengan perlakuan 2 jam (c) dan 4 jam (d) karena memiliki huruf yang sama. Secara umum, hasil DMRT menunjukkan adanya peningkatan nilai rata-rata seiring bertambahnya lama pemaparan, serta adanya perbedaan yang signifikan antar sebagian besar kelompok perlakuan (Gomez and Wiley n.d.).

Tabel 4.6 Hasil uji DMRT terhadap dosis ekstrak daun kelor

Dosis Ekstrak Daun Kelor	Nilai	Notasi Huruf
3.6	44.60	a
2.6	51.93	ab
0	60.20	b

Pada tabel 4.6 hasil uji Duncan Multiple Range Test (DMRT) untuk mengetahui perbedaan rata-rata nilai berdasarkan dosis ekstrak daun kelor. Notasi huruf menunjukkan bahwa perlakuan dengan huruf yang berbeda berarti berbeda nyata, sedangkan perlakuan yang memiliki huruf sama atau tumpang tindih berarti tidak berbeda nyata. Berdasarkan tabel, dosis 3,6 mg (a) memiliki nilai rata-rata terendah yaitu 44,60 dan berbeda nyata dengan dosis 0 mg (b) yang memiliki nilai rata-rata tertinggi yaitu 60,20. Sementara itu, dosis 2,6 mg (ab) tidak berbeda nyata baik dengan dosis 3,6 mg maupun dosis 0 mg karena memiliki huruf yang tumpang tindih. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian dosis ekstrak daun kelor cenderung menurunkan nilai rata-rata dibandingkan tanpa pemberian ekstrak, meskipun pada dosis 2,6 mg penurunannya belum berbeda nyata secara statistik.

Tabel dibawah ini menunjukkan hasil uji lanjut Duncan Multiple Range Test (DMRT) pada kombinasi perlakuan dan dosis ekstrak daun kelor untuk mengetahui perbedaan rata-rata antar kombinasi perlakuan. Notasi huruf menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan dengan huruf yang berbeda berarti berbeda nyata secara statistik, sedangkan kombinasi yang memiliki huruf sama atau tumpang tindih (misalnya “bc”, “cd”, “ef”, “fg”, “gh”, “hi”) berarti tidak berbeda nyata. Berdasarkan tabel, kombinasi nomor 3 memiliki nilai terendah (27,33) dengan notasi a yaitu kontrol dengan dosis ekstrak kelor 3.6 mg sehingga berbeda nyata dengan kombinasi lain yang memiliki huruf berbeda, sedangkan kombinasi nomor

13 memiliki nilai tertinggi (75,33) dengan notasi j yaitu pemaparan 4 jam tanpa ekstrak kelor yang menunjukkan perbedaan nyata paling tinggi dibanding kombinasi lainnya. Kombinasi yang memiliki notasi huruf berdekatan menunjukkan bahwa nilai rata-ratanya relatif tidak berbeda jauh, sehingga DMRT mengelompokkan perlakuan berdasarkan tingkat kemiripan respon. Secara umum, hasil DMRT menunjukkan adanya perbedaan nyata antar sebagian besar kombinasi perlakuan dan dosis ekstrak daun kelor, yang berarti setiap kombinasi memberikan respon yang berbeda terhadap variabel yang diamati.

Tabel 4.7 Hasil uji DMRT terhadap gabungan dosis ekstrak daun kelor

Gabungan dosis ekstrak daun kelor dan perlakuan	Nilai	Notasi Huruf
3	27,33	a
6	35,00	b
2	36,00	b
1	36,67	bc
5	41,33	cd
9	45,67	d
4	50,67	e
12	55,00	ef
8	58,00	f
11	59,67	fg
15	60,00	fg
14	64,67	gh
7	68,33	hi
10	70,00	i
13	75,33	j

4.2 Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh paparan radiasi gelombang elektromagnetik telepon seluler terhadap gambaran histologi hati mencit serta peran ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) sebagai agen protektif.

Berdasarkan hasil penelitian, peningkatan durasi paparan dari 1 hingga 4 jam menunjukkan peningkatan kerusakan histologis hati yang ditandai dengan munculnya nekrosis dan ketidakaturan struktur sel. Nilai medan listrik (V/m) dan estimasi SAR (W/kg) yang meningkat seiring lama paparan menunjukkan hubungan searah dengan derajat kerusakan jaringan. Selain itu, pemberian ekstrak daun kelor dosis 2,6 mg dan 3,6 mg cenderung menurunkan tingkat kerusakan dibandingkan kelompok tanpa ekstrak, sehingga menunjukkan potensi efek protektif terhadap paparan radiasi.

4.2.1 Pengaruh Radiasi Elektromagnetik terhadap Histologi Hati Mencit

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, terlihat bahwa paparan gelombang elektromagnetik memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tingkat kerusakan histologi hati mencit, khususnya dalam bentuk lisis dan nekrosis sel hepatosit. Pada kelompok kontrol tanpa paparan, jaringan hati masih menunjukkan kondisi normal dengan rata-rata kerusakan sebesar 37%, ditandai dengan susunan sel yang teratur dan inti sel yang jelas. Namun, setelah dilakukan pemaparan selama 1 jam, terjadi peningkatan kerusakan menjadi 51%, yang ditandai dengan munculnya perubahan awal berupa lisis ringan dan pengecilan inti sel. Kondisi ini menunjukkan bahwa paparan awal sudah mampu memicu gangguan pada integritas sel hati (Dasdag and Zulkuf 2016).

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa paparan gelombang elektromagnetik dapat menimbulkan perubahan struktur sel melalui mekanisme stres oksidatif. Yakymenko et al. melaporkan bahwa radiasi elektromagnetik intensitas rendah mampu meningkatkan pembentukan *reactive oxygen species* (ROS) yang berperan dalam kerusakan seluler, termasuk perubahan morfologi jaringan (Yakymenko et al. 2016). Dengan demikian, peningkatan

kerusakan yang mulai terlihat pada paparan 1 jam dalam penelitian ini diduga berkaitan dengan peningkatan produksi radikal bebas.

Seiring dengan bertambahnya durasi paparan, tingkat kerusakan jaringan hati menunjukkan peningkatan yang cukup signifikan. Pada pemaparan selama 2 jam, rata-rata kerusakan meningkat menjadi 68%, disertai dengan perubahan susunan jaringan yang mulai tidak teratur serta adanya gangguan pada pembuluh darah. Kerusakan ini semakin meningkat pada paparan 3 jam dan 4 jam, dengan rata-rata masing-masing sebesar 70% dan 75%, yang ditandai dengan banyaknya sel nekrotik, hilangnya inti sel, serta adanya kongesti dan perdarahan pada jaringan hati. Kondisi ini menunjukkan bahwa semakin lama durasi paparan, maka semakin besar tingkat kerusakan yang terjadi dan cenderung bersifat *irreversibel* (Yakymenko et al. 2016).

Hasil penelitian tersebut didukung oleh penelitian Dasdag dan Akdag yang menyatakan bahwa peningkatan durasi paparan gelombang elektromagnetik berkorelasi dengan meningkatnya tingkat kerusakan jaringan akibat akumulasi efek biologis. Paparan dalam jangka waktu yang lebih lama diketahui dapat menyebabkan gangguan fungsi sel, kerusakan DNA, serta perubahan struktur jaringan yang lebih berat dibandingkan paparan dalam waktu singkat (Dasdag and Zulkuf 2016). Oleh karena itu, peningkatan kerusakan yang terjadi dalam penelitian ini dapat dijelaskan sebagai akibat dari akumulasi paparan yang berlangsung secara terus-menerus.

Peningkatan kerusakan sel yang terjadi dalam penelitian ini diduga berkaitan dengan mekanisme stres oksidatif yang ditandai dengan peningkatan produksi ROS. Radikal bebas tersebut dapat merusak berbagai komponen seluler,

seperti membran sel, protein, dan DNA, sehingga menyebabkan gangguan fungsi sel yang pada akhirnya berujung pada kematian sel melalui proses nekrosis. Selain itu, kerusakan mitokondria akibat stres oksidatif juga dapat menyebabkan penurunan produksi energi (ATP), yang semakin memperburuk kondisi sel (Reiter et al. 2016).

Penelitian lain menyebutkan bahwa ketidakseimbangan antara produksi radikal bebas dan sistem antioksidan dalam tubuh dapat menyebabkan terjadinya stres oksidatif. Reiter et al. menjelaskan bahwa apabila produksi ROS melebihi kapasitas sistem antioksidan, maka akan terjadi kerusakan sel dan jaringan secara luas (Reiter et al. 2016). Hal ini memperkuat dugaan bahwa mekanisme utama kerusakan hati pada penelitian ini adalah akibat stres oksidatif yang tidak dapat dikendalikan oleh sistem pertahanan tubuh.

Penelitian (Vamsy, Lakshmi, and Venkatachalam 2021) menunjukkan bahwa paparan radiasi telepon seluler dapat menyebabkan perubahan histologi pada jaringan hati. Perubahan yang ditemukan berupa hiperplasia sel Kupffer, kongesti sinusoid, kongesti vena sentral, kongesti vena porta, nekrosis, apoptosis hepatosit, serta inflamasi pada area portal. Kerusakan tersebut semakin jelas seiring bertambahnya lama paparan, sehingga menunjukkan bahwa efek radiasi telepon seluler terhadap jaringan hati bersifat progresif dan berhubungan dengan durasi paparan.

Hasil tersebut mendukung penelitian ini, yaitu bahwa semakin lama durasi paparan gelombang elektromagnetik, semakin tinggi tingkat kerusakan sel hati yang diamati. Adanya sel lisis pada jaringan hati mencit diduga berkaitan dengan kerusakan membran sel akibat stres oksidatif. Paparan radiasi elektromagnetik dari

telepon seluler dapat meningkatkan pembentukan radikal bebas atau *Reactive Oxygen Species* (ROS). Jika jumlah ROS melebihi kemampuan antioksidan tubuh, maka terjadi peroksidasi lipid pada membran sel. Kerusakan membran ini menyebabkan integritas sel terganggu, sehingga sel dapat mengalami pembengkakan, nekrosis, apoptosis, hingga lisis.

Dengan demikian, hasil penelitian ini sejalan dengan (Vamsy, Lakshmi, and Venkatachalam 2021), bahwa paparan radiasi telepon seluler dalam durasi tertentu dapat menyebabkan kerusakan jaringan hati. Semakin lama paparan diberikan, semakin besar kemungkinan terjadinya perubahan histologi seperti ketidakteraturan hepatosit, kongesti pembuluh darah, nekrosis, apoptosis, dan lisis sel. Oleh karena itu, peningkatan persentase sel lisis pada hati mencit dalam penelitian ini dapat dijelaskan sebagai akibat dari akumulasi stres oksidatif dan gangguan struktur jaringan akibat paparan gelombang elektromagnetik.

4.2.2 Pengaruh Ekstrak Daun Kelor terhadap Histologi Hati Mencit Terpapar Radiasi

Berdasarkan hasil penelitian pada Tabel 4.2, diketahui bahwa pemberian ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) memberikan pengaruh terhadap penurunan tingkat kerusakan histologi hati mencit yang terpapar gelombang elektromagnetik. Pada kelompok kontrol, rata-rata kerusakan jaringan hati pada dosis 2,6 mg sebesar 36% dan menurun menjadi 27% pada dosis 3,6 mg. Pada kelompok dengan paparan 1 hingga 4 jam, tingkat kerusakan tetap meningkat seiring bertambahnya durasi paparan, namun nilai kerusakan pada dosis 3,6 mg secara konsisten lebih rendah dibandingkan dosis 2,6 mg. Hal ini menunjukkan bahwa ekstrak daun kelor memiliki efek protektif terhadap sel hepatosit yang bersifat dosis dependen (Tiloke, Phulukdaree, and Chuturgoon 2013).

Hasil tersebut sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa daun kelor mengandung berbagai senyawa bioaktif yang berperan sebagai antioksidan, seperti flavonoid, asam askorbat, dan polifenol. Menurut penelitian oleh Tiloke et al., ekstrak daun kelor terbukti mampu mengurangi stres oksidatif dan meningkatkan aktivitas enzim antioksidan dalam sel, sehingga dapat melindungi jaringan dari kerusakan akibat radikal bebas (Tiloke, Phulukdaree, and Chuturgoon 2013). Dengan demikian, penurunan tingkat kerusakan pada kelompok yang diberi ekstrak kelor dalam penelitian ini diduga berkaitan dengan aktivitas antioksidan tersebut.

Meskipun demikian, peningkatan kerusakan jaringan tetap terjadi seiring bertambahnya lama paparan gelombang elektromagnetik. Pada paparan selama 2 hingga 4 jam, kerusakan jaringan meningkat secara bertahap pada kedua dosis, meskipun pada dosis 3,6 mg tingkat kerusakan relatif lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa durasi paparan merupakan faktor utama yang mempengaruhi tingkat kerusakan sel, sementara pemberian ekstrak kelor hanya berperan dalam mengurangi tingkat keparahan kerusakan (Pall 2018).

Penelitian terbaru lainnya juga menunjukkan bahwa daun kelor memiliki efek sitoprotektif terhadap jaringan hati melalui mekanisme penghambatan stres oksidatif. (Hegazy et al. 2025) menyatakan bahwa ekstrak daun kelor mampu mengurangi kerusakan hati dengan cara menekan pembentukan radikal bebas serta mengurangi kerusakan inflamasi pada jaringan hati. Hal ini memperkuat dugaan bahwa perlindungan yang diberikan oleh ekstrak kelor dalam penelitian ini berkaitan dengan kemampuannya dalam menekan stres oksidatif.

Secara histologis, hasil pengamatan menunjukkan bahwa pada dosis 3,6 mg, struktur jaringan hati relatif lebih terjaga dibandingkan dosis 2,6 mg. Hal ini

ditandai dengan lebih sedikitnya sel nekrotik serta susunan hepatosit yang masih lebih teratur. Sebaliknya, pada dosis 2,6 mg terlihat kerusakan yang lebih luas, termasuk adanya area nekrosis dan gangguan pada pembuluh darah. Perbedaan ini menunjukkan bahwa peningkatan dosis ekstrak kelor memberikan perlindungan yang lebih optimal terhadap jaringan hati (Hegazy et al. 2025).

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa ekstrak daun kelor memiliki aktivitas antioksidan yang kuat serta mampu memperbaiki kerusakan histologis hati. Penelitian dari (Nurhayati et al. 2024) melaporkan bahwa pemberian ekstrak daun kelor dapat memperbaiki struktur histopatologi hati serta meningkatkan metabolisme seluler melalui aktivitas antioksidan dan antiinflamasi. Hal ini mendukung hasil penelitian bahwa pemberian ekstrak kelor mampu menurunkan tingkat kerusakan jaringan hati pada mencit yang terpapar radiasi.

Kemampuan protektif ekstrak daun kelor tersebut diduga berkaitan dengan kandungan senyawa bioaktif di dalamnya, terutama flavonoid. Flavonoid merupakan senyawa antioksidan yang berperan dalam menangkap radikal bebas dan menekan pembentukan *Reactive Oxygen Species* (ROS). Paparan gelombang elektromagnetik dapat meningkatkan produksi ROS, yang kemudian memicu stres oksidatif dan peroksidasi lipid pada membran sel. Penelitian (Amelia, et. al. 2024) menunjukkan bahwa pemberian ekstrak daun kelor dapat menurunkan kadar MDA pada mencit yang dipapar gelombang elektromagnetik dari telepon seluler. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan flavonoid dalam daun kelor berpotensi memberikan efek protektif terhadap kerusakan jaringan akibat paparan gelombang elektromagnetik.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemberian ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) berpotensi sebagai agen hepatoprotektif dalam mengurangi kerusakan jaringan hati akibat paparan gelombang elektromagnetik. Namun demikian, efek perlindungan tersebut tidak sepenuhnya mampu mencegah kerusakan, terutama pada paparan dengan durasi yang lebih lama. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa efektivitas ekstrak kelor dipengaruhi oleh dosis yang diberikan serta lamanya paparan yang diterima oleh jaringan hati

4.2.3 Perbedaan Histologi Hati Mencit pada Paparan Radiasi dan Pemberian Ekstrak Kelor

Berdasarkan hasil penelitian pada Tabel 4.3, diketahui bahwa paparan gelombang elektromagnetik menyebabkan peningkatan persentase kerusakan sel lisis pada hati mencit secara signifikan seiring bertambahnya durasi paparan. Pada kelompok tanpa ekstrak kelor, kerusakan meningkat dari 37% (kontrol) menjadi 75% pada paparan 4 jam. Sementara itu, pada kelompok yang diberikan ekstrak daun kelor, baik dosis 2,6 mg maupun 3,6 mg, tingkat kerusakan lebih rendah pada setiap durasi paparan, dengan dosis 3,6 mg menunjukkan efek protektif yang lebih baik. Hal ini menunjukkan bahwa ekstrak daun kelor memiliki potensi sebagai agen hepatoprotektif yang bersifat dosis dependen.

Selain itu, nilai medan elektromagnetik dan SAR yang diperoleh dalam penelitian ini berada pada kisaran yang relatif stabil dengan peningkatan yang tidak terlalu signifikan, yaitu medan elektromagnetik berkisar antara 0,15–13,90 V/m dan SAR antara 0,034–0,31 W/kg. Kenaikan yang relatif kecil ini menunjukkan bahwa intensitas paparan gelombang elektromagnetik cenderung konstan, sehingga peningkatan kerusakan jaringan hati lebih dipengaruhi oleh lamanya durasi paparan

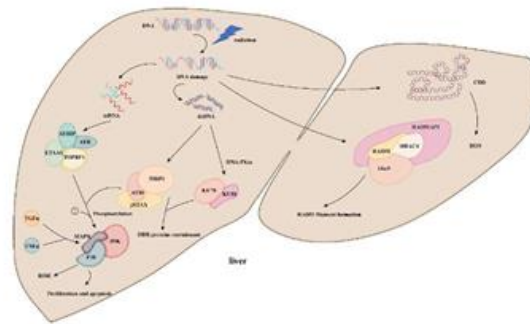
dibandingkan peningkatan intensitas medan listrik. Dengan kata lain, efek biologis yang terjadi bersifat akumulatif terhadap waktu paparan, bukan akibat perubahan besar pada nilai medan elektromagnetik

Secara teoritis, nilai SAR (*Specific Absorption Rate*) menggambarkan jumlah energi elektromagnetik yang diserap oleh jaringan per satuan massa. Meskipun nilai SAR dalam penelitian ini masih berada di bawah batas aman yang ditetapkan oleh *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP), yaitu 2 W/kg, paparan dalam waktu yang lama tetap berpotensi menimbulkan efek biologis. Foster dan Moulder menyatakan bahwa efek biologis radiasi elektromagnetik tidak hanya ditentukan oleh besarnya nilai SAR, tetapi juga oleh durasi paparan dan kondisi jaringan yang terpapar (Foster, Moulder, and States 2003).

Selain itu, nilai medan elektromagnetik yang relatif stabil menunjukkan bahwa sumber paparan dalam penelitian ini memiliki kondisi yang cukup konstan. Variasi kecil yang terjadi kemungkinan disebabkan oleh faktor teknis seperti fluktuasi daya pancar perangkat, kualitas sinyal, serta kondisi lingkungan pemaparan. Simko dan Mattsson menjelaskan bahwa meskipun intensitas medan elektromagnetik rendah, paparan yang berlangsung secara terus-menerus dapat meningkatkan produksi *reactive oxygen species* (ROS) yang berkontribusi terhadap kerusakan seluler (Simk 2019).

Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa peningkatan kerusakan sel hati yang terjadi bukan disebabkan oleh peningkatan intensitas medan elektromagnetik, melainkan lebih dipengaruhi oleh lamanya durasi paparan. Dalam konteks ini, efek biologis gelombang elektromagnetik bersifat akumulatif, di mana paparan yang

berlangsung lebih lama akan memberikan dampak yang lebih besar terhadap jaringan meskipun intensitas medan relatif tetap. Hal ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa paparan gelombang elektromagnetik pada tingkat rendah namun dalam waktu yang lama tetap dapat menimbulkan efek biologis melalui mekanisme stres oksidatif.



Gambar 4.6 Mekanisme kerja radiasi elektromagnetik terhadap hepar

Hasil penelitian ini sesuai dengan Gambar 4.6 yaitu mekanisme kerja radiasi elektromagnetik bahwa paparan EMF dapat memicu stres oksidatif melalui peningkatan produksi *Reactive Oxygen Species* (ROS), seperti anion superoksida (O_2^-), hidrogen peroksida (H_2O_2), dan radikal hidroksil ($OH^\bullet$) pada jaringan hati (Lai and Singh 1997). Kerusakan histologis yang semakin berat pada paparan jangka panjang menunjukkan bahwa kemampuan sistem antioksidan alami hati, seperti superoksida dismutase (SOD), katalase (CAT), dan glutathione peroksidase (GPx), menjadi tidak seimbang terhadap peningkatan ROS akibat EMF. Peningkatan ROS tersebut dapat mengganggu keseimbangan redoks sel, merusak membran sel melalui proses peroksidasi lipid, dan pada akhirnya menyebabkan degenerasi, nekrosis, serta peradangan pada sel hepatosit, yang tampak sebagai peningkatan skor kerusakan histologi (Kurutas 2016).

Mekanisme lain yang terlibat adalah peningkatan ion kalsium intraseluler akibat aktivasi kanal kalsium. Kondisi ini akan memicu aktivasi enzim yang menghasilkan radikal bebas serta mediator inflamasi. Menurut penelitian oleh (Bandara and Carpenter n.d.), paparan gelombang elektromagnetik dapat meningkatkan kadar kalsium intraseluler yang berkontribusi terhadap stres oksidatif dan kerusakan sel. Hal ini memperkuat dugaan bahwa kerusakan jaringan hati dalam penelitian ini terjadi melalui jalur oksidatif dan inflamasi.

Perbedaan tingkat kerusakan antara kelompok tanpa ekstrak dan dengan ekstrak menunjukkan bahwa jaringan hati tanpa perlindungan lebih rentan terhadap efek paparan gelombang elektromagnetik. Pada kelompok tanpa ekstrak, kerusakan meningkat lebih tajam karena tidak adanya mekanisme tambahan untuk menetralkan radikal bebas. Sebaliknya, pada kelompok dengan ekstrak kelor, peningkatan kerusakan tetap terjadi namun dengan tingkat yang lebih rendah, yang menunjukkan adanya efek protektif terhadap sel hepatosit.

Efek protektif tersebut diduga berkaitan dengan kandungan antioksidan dalam daun kelor seperti flavonoid dan polifenol yang mampu menetralkan reactive oxygen species (ROS) akibat paparan gelombang elektromagnetik. Leone et al. menyatakan bahwa daun kelor memiliki aktivitas antioksidan tinggi yang dapat melindungi sel dari kerusakan oksidatif (Leone et al. 2015). Selain itu, dosis 3,6 mg menunjukkan tingkat kerusakan yang lebih rendah dibandingkan dosis 2,6 mg, yang mengindikasikan adanya hubungan dosis-respons dalam perlindungan jaringan hati. Hal ini sejalan dengan penelitian Vergara-Jimenez et al. yang menyatakan bahwa peningkatan dosis kelor dapat meningkatkan efek hepatoprotektif (Vergara-jimenez, Almatrafi, and Fernandez 2017).

Berdasarkan hasil uji percobaan faktorial menggunakan SPSS pada Tabel 4.4, model penelitian secara keseluruhan menunjukkan hasil yang signifikan ($F = 1038,165$; $p = 0,000 < 0,05$), yang berarti kombinasi perlakuan paparan gelombang elektromagnetik dan pemberian ekstrak daun kelor secara bersama-sama berpengaruh nyata terhadap tingkat kerusakan histologi hati mencit. Secara parsial, faktor perlakuan memiliki nilai F sebesar 206,341 dengan $p = 0,000$, sedangkan faktor ekstrak daun kelor memiliki nilai F sebesar 107,916 dengan $p = 0,000$, sehingga dapat disimpulkan bahwa kedua faktor berpengaruh signifikan, namun perlakuan paparan gelombang elektromagnetik memiliki pengaruh yang lebih dominan dalam meningkatkan kerusakan jaringan hati.

Selain itu, interaksi antara perlakuan dan ekstrak daun kelor juga menunjukkan hasil yang signifikan ($F = 2,024$; $p = 0,013 < 0,05$), yang mengindikasikan bahwa pengaruh paparan gelombang elektromagnetik terhadap kerusakan hati dipengaruhi oleh dosis ekstrak yang diberikan. Hal ini menunjukkan bahwa efek kedua faktor tidak berdiri sendiri, melainkan saling berinteraksi dalam mempengaruhi respon jaringan. Dengan demikian, hasil penelitian ini mendukung hipotesis penelitian (H_1) dan menolak hipotesis nol (H_0), serta mengonfirmasi bahwa pemberian ekstrak daun kelor berperan dalam memoderasi dampak paparan radiasi elektromagnetik terhadap jaringan hati (Andrade 2024).

Hasil uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada Tabel 4.5 menunjukkan adanya perbedaan nyata antar kelompok perlakuan, dengan kecenderungan peningkatan nilai rata-rata kerusakan jaringan seiring bertambahnya durasi paparan, yaitu dari kelompok kontrol sebesar 33,33 hingga mencapai 66,67 pada paparan 4 jam. Kelompok kontrol (notasi a) dan perlakuan 1

jam (notasi b) masing-masing berbeda nyata dengan seluruh kelompok lainnya, sedangkan perlakuan 3 jam (notasi cd) tidak berbeda nyata dengan perlakuan 2 jam maupun 4 jam. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kerusakan jaringan cenderung mulai melambat pada durasi paparan yang lebih panjang (plateau). Uji DMRT yang dikembangkan oleh Duncan pada tahun 1955 merupakan uji lanjutan (post-hoc) yang menggunakan tingkat signifikansi secara keseluruhan, sehingga mampu membandingkan rata-rata antar kelompok secara bertahap (*stepwise*) (Tripathi and Pandey 2017).

Pada Tabel 4.6, pemberian ekstrak daun kelor menunjukkan adanya perbedaan tingkat kerusakan jaringan berdasarkan dosis yang diberikan. Dosis 3,6 mg memiliki nilai rata-rata kerusakan terendah yaitu 44,60 (notasi a) dan berbeda nyata dengan kelompok tanpa ekstrak yang memiliki nilai tertinggi yaitu 60,20 (notasi b). Sementara itu, dosis 2,6 mg (notasi ab) belum menunjukkan perbedaan yang signifikan secara statistik dibandingkan kedua kelompok tersebut. Hasil ini menunjukkan bahwa pemberian ekstrak daun kelor, terutama pada dosis yang lebih tinggi, cenderung lebih efektif dalam menurunkan tingkat kerusakan jaringan hati. Hal ini sesuai dengan peran ekstrak daun kelor sebagai agen hepatoprotektif yang bekerja melalui mekanisme antioksidan dalam mengurangi stres oksidatif akibat paparan radiasi, yang ditunjukkan melalui penurunan inflamasi dan peroksidasi lipid (Sinha et al. 2011).

Hasil uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada Tabel 4.7 menunjukkan bahwa 15 kombinasi perlakuan dan dosis ekstrak daun kelor menghasilkan tingkat kerusakan histologi hati yang berbeda, dengan rentang nilai rata-rata dari 27,33 (kombinasi 3; notasi a) hingga 75,33 (kombinasi 13; notasi j). Beberapa kombinasi

memiliki notasi huruf yang tumpang tindih seperti bc, cd, ef, fg, gh, dan hi, yang menunjukkan bahwa kombinasi tersebut tidak berbeda nyata secara statistik meskipun memiliki perbedaan nilai. Hal ini sesuai dengan prinsip DMRT yang mengelompokkan perlakuan berdasarkan kemiripan respons statistik. Secara umum, kombinasi dengan nilai terendah mencerminkan kondisi paparan yang lebih singkat dengan dosis ekstrak yang lebih tinggi, sehingga memberikan perlindungan maksimal, sedangkan kombinasi dengan nilai tertinggi menunjukkan paparan terlalu lama tanpa ekstrak yang menyebabkan kerusakan paling besar (Gomez and Wiley n.d.).

Penelitian ini didukung oleh peran ekstrak daun kelor yang mengandung senyawa bioaktif seperti kaempferol, rhamnetin, dan kuersetin yang berfungsi sebagai antioksidan dan antiinflamasi dalam melindungi jaringan hati. Senyawa tersebut diketahui mampu menekan inflamasi dan menjaga struktur hepatosit dari kerusakan akibat paparan agen toksik. Dengan demikian, hasil penelitian ini menegaskan bahwa interaksi antara durasi paparan gelombang elektromagnetik dan dosis ekstrak daun kelor berpengaruh nyata terhadap tingkat kerusakan histologi hati, sehingga analisis kombinasi perlakuan menjadi penting untuk memahami efek perlindungan secara menyeluruh (Karthivashan, Kura, and Arulselvan 2016).

Apabila hasil penelitian ini diaplikasikan pada manusia, maka efek yang ditimbulkan kemungkinan tidak seberat pada mencit karena adanya perbedaan fisiologis, ukuran tubuh, serta sistem pertahanan antioksidan yang lebih kompleks pada manusia. Namun demikian, paparan gelombang elektromagnetik dalam jangka panjang tetap berpotensi menimbulkan gangguan biologis, terutama melalui mekanisme stres oksidatif. Penggunaan telepon seluler yang terus-menerus dalam

durasi lama dapat meningkatkan produksi reactive oxygen species (ROS) yang berkontribusi terhadap kerusakan sel, meskipun intensitas paparan berada dalam batas aman. Hal ini sejalan dengan penelitian Yakymenko yang menyatakan bahwa paparan radiasi elektromagnetik intensitas rendah dapat memicu stres oksidatif pada jaringan biologis (Yakymenko et al. 2016).

Selain itu, penelitian pada manusia juga menunjukkan bahwa paparan gelombang elektromagnetik dapat mempengaruhi keseimbangan oksidatif dan memicu respon inflamasi ringan dalam tubuh. Hardell menyatakan bahwa penggunaan perangkat komunikasi nirkabel dalam jangka panjang perlu diperhatikan karena berpotensi menimbulkan efek biologis kumulatif, meskipun masih dalam tahap penelitian lebih lanjut (Hardell 2017). Hal ini menunjukkan bahwa durasi paparan tetap menjadi faktor penting dalam menentukan risiko terhadap kesehatan.

Terkait dengan pemberian ekstrak daun kelor, hasil penelitian ini menunjukkan potensi penggunaannya sebagai agen protektif yang dapat diaplikasikan pada manusia. Ekstrak daun kelor diketahui mengandung senyawa antioksidan yang mampu menekan stres oksidatif dan melindungi sel dari kerusakan. Penelitian oleh Vergara et al. menunjukkan bahwa konsumsi daun kelor pada manusia dapat meningkatkan kapasitas antioksidan tubuh serta membantu melindungi dari kerusakan akibat radikal bebas (Vergara-jimenez, Almatrafi, and Fernandez 2017). Namun demikian, aplikasi pada manusia tetap memerlukan uji klinis lebih lanjut untuk menentukan dosis yang aman dan efektif.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar bahwa paparan gelombang elektromagnetik dalam jangka panjang berpotensi menimbulkan efek

biologis pada manusia, meskipun tidak langsung menyebabkan kerusakan berat. Pemberian antioksidan alami seperti ekstrak daun kelor dapat menjadi salah satu upaya preventif untuk mengurangi dampak tersebut, namun diperlukan penelitian lanjutan untuk memastikan efektivitasnya secara klinis.

4.3 Integrasi Al -Qur'an

Seperti yang dijelaskan pada QS. Ar-Rum ayat 41 Allah SWT berfirman :

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا
لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya : “Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia; Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar).”

Ayat ini menjelaskan bahwa kerusakan yang terjadi di alam, termasuk pada tubuh manusia, merupakan konsekuensi dari aktivitas manusia sendiri. Dalam konteks penelitian ini, paparan gelombang elektromagnetik telepon seluler yang berlebihan dapat dipandang sebagai bagian dari perkembangan teknologi yang, apabila tidak dikendalikan secara bijak, berpotensi menimbulkan dampak negatif bagi kesehatan. Kerusakan histologi hati yang meningkat seiring durasi paparan radiasi gelombang elektromagnetik mencerminkan bentuk kerusakan biologis yang selaras dengan makna ayat tersebut, yaitu adanya akibat nyata dari perbuatan manusia terhadap keseimbangan alam dan tubuh.

Penelitian ini tidak hanya dipahami dalam kerangka ilmu biologi dan kesehatan, tetapi juga dapat dikaji melalui perspektif Al-Qur'an sebagai sumber nilai dan petunjuk kehidupan. Al-Qur'an memberikan landasan teologis bahwa tubuh manusia merupakan amanah yang harus dijaga dari segala bentuk kerusakan. Permasalahan kerusakan jaringan hati akibat paparan gelombang elektromagnetik

serta peran antioksidan alami seperti daun kelor dapat dimaknai sebagai bagian dari sunnatullah, yaitu hukum sebab-akibat yang berlaku di alam. Dengan demikian, integrasi Al-Qur'an dalam penelitian ini bertujuan memperkuat makna ilmiah sekaligus spiritual mengenai pentingnya menjaga kesehatan dan memanfaatkan sumber daya alam secara bijaksana. Seperti yang tercantum dalam QS. Asy-Syu'ara' ayat 7:

أَوَلَمْ يَرَوْا إِلَى الْأَرْضِ كَمْ أَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ

Artinya : *“Dan apakah mereka tidak memperhatikan bumi, berapa banyak Kami tumbuhkan di bumi itu berbagai macam tumbuh-tumbuhan yang baik?”*

Untuk memahami makna QS. Asy-Syu'ara' ayat 7 secara komprehensif dan kontekstual, diperlukan penjelasan dari para ulama tafsir yang memiliki otoritas keilmuan. Penafsiran para mufasir memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai istilah نَبَاتٍ كَرِيمٍ (tumbuh-tumbuhan yang baik) serta relevansinya dengan kehidupan manusia. Oleh karena itu, berikut disajikan penafsiran ayat tersebut menurut beberapa ulama tafsir, yaitu Ibnu Katsir, Al-Qurthubi, dan Tafsir Kementerian Agama Republik Indonesia, guna menguatkan integrasi antara temuan penelitian ilmiah dan nilai-nilai Al-Qur'an.

1. Tafsir Ibnu Katsir

Ibnu Katsir menafsirkan frasa “tumbuh-tumbuhan yang baik (نَبَاتٍ كَرِيمٍ)” sebagai berbagai jenis tanaman yang memiliki manfaat dan keberkahan bagi kehidupan manusia, baik sebagai sumber pangan maupun obat, serta sebagai bukti kekuasaan Allah dalam menciptakan sesuatu yang bermanfaat dari tanah (Ibnu Katsir, 2000).

2. Tafsir Al-Qurthubi

Al-Qurthubi menjelaskan bahwa istilah karim mencakup makna bermanfaat, bergizi, dan menyembuhkan, sehingga tumbuhan diciptakan sebagai sarana pemeliharaan tubuh dan pengobatan penyakit, yang perlu dimanfaatkan secara bijak (Al-Qurthubi, 2006).

3. Tafsir Kementerian Agama Republik Indonesia (Tafsir Al-Qur'an Kemenag)

Tafsir Kementerian Agama RI menekankan bahwa ayat ini merupakan ajakan untuk mengamati dan meneliti tumbuhan yang diciptakan Allah karena manfaatnya bagi kehidupan manusia, baik sebagai sumber pangan, obat, maupun penjaga keseimbangan lingkungan (Kementerian Agama RI, 2010).

Berdasarkan ketiga tafsir tersebut, daun kelor (*Moringa oleifera*) dapat dipahami sebagai salah satu bentuk “tumbuh-tumbuhan yang baik” sebagaimana dimaksud dalam QS. Asy-Syu'ara' ayat 7. Pemanfaatan ekstrak daun kelor yang terbukti mampu menurunkan kerusakan histologi hati pada penelitian ini selaras dengan pandangan Al-Qur'an dan penafsiran para ulama bahwa tumbuhan diciptakan sebagai sarana pemeliharaan dan penyembuhan bagi manusia.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh paparan radiasi gelombang elektromagnetik telepon seluler dan Pemberian ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) terhadap gambaran histologi hati mencit , dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Paparan gelombang elektromagnetik telepon seluler berpengaruh terhadap kondisi histologi hati mencit, ditunjukkan dengan meningkatnya persentase kerusakan sel lisis seiring bertambahnya durasi paparan dari 37% hingga 75%, serta perubahan struktur jaringan menjadi nekrosis dan tidak teratur.
2. Pemberian ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera*) berpengaruh dalam menurunkan tingkat kerusakan histologi hati mencit yang terpapar radiasi, dengan dosis 3,6 mg menunjukkan efek protektif yang lebih baik dibandingkan dosis 2,6 mg.
3. Terdapat perbedaan yang nyata antara kelompok tanpa ekstrak dan dengan ekstrak daun kelor, di mana kelompok tanpa ekstrak mengalami kerusakan lebih tinggi, sedangkan kelompok dengan ekstrak menunjukkan kerusakan lebih rendah, sehingga ekstrak kelor berperan sebagai agen hepatoprotektif terhadap paparan gelombang elektromagnetik.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penulis menyarankan :

1. Agar dilakukan penelitian lanjutan dengan jumlah sampel yang lebih besar dan variasi dosis ekstrak daun kelor yang lebih luas guna memperoleh perbedaan efek yang lebih signifikan secara statistik.
2. Selain itu, diperlukan kajian lebih lanjut mengenai durasi dan intensitas paparan gelombang elektromagnetik yang lebih bervariasi agar dapat menggambarkan kondisi paparan yang mendekati situasi penggunaan telepon seluler dalam kehidupan sehari-hari.
3. Disarankan untuk menambahkan parameter pengujian lain seperti analisis biokimia (misalnya kadar enzim hati SGOT/SGPT), stres oksidatif (MDA, SOD), serta pemeriksaan histopatologi yang lebih detail, sehingga mekanisme kerusakan dan perlindungan sel dapat dijelaskan secara lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Adelia, Kadek Ayu Cintya, Wenti Marlensi Maubana, Yanti Boimau, Kristina Uskenat, and Hilary Fridolin Lipikuni. 2021. "Pengaruh Paparan Radiasi Gamma Dan Pemberian Ekstrak Kulit Manggis (*Garcinia Mangostana*) Terhadap Kadar SGPT Organ Hepar Mencit (*Mus Musculus*).” *Diffraction* 2(2): 74–79. doi:10.37058/diffraction.v2i2.2436.
- Andrade, Chittaranjan. 2024. "Understanding Factorial Designs , Main Effects , and Interaction Effects : Simply Explained with a Worked Example.” 46(2): 175–77. doi:10.1177/02537176241237066.
- Augustyn, Gelora Helena, Helen Cynthia Dewi Tuhumury, and Matheos Dahoklory. 2017. "Pengaruh Penambahan Tepung Daun Kelor (*Moringa Oleifera*) Terhadap Karakteristik Organoleptik Dan Kimia Biskuit MOCAF (Modified Cassava Flour).” *Agritekno, Jurnal Teknologi Pertanian* 6(2): 52–58. doi:10.30598/jagritekno.2017.6.2.52.
- Ayuningtyas, Krisnha Dian. 2014. "Efek Etanol Dan Metanol Pada Minuman Keras Oplosan Terhadap Perubahan Histopatologi Organ Hepar Tikus Wistar Jantan.” *Ghalia Indonesia* 65: 25.
- Bandara, Priyanka, and David O Carpenter. "Comment Planetary Electromagnetic Pollution : It Is Time to Assess Its Impact.” *The Lancet Planetary Health* 2(12): e512–14. doi:10.1016/S2542-5196(18)30221-3.
- Crop, African, Science Society, K Gandji, F J Chadare, R Idohou, V K Salako, and A E Assogbadjo. 2018. "Status And Utilisation Of *Moringa Oleifera* Lam : A Review *Moringa Oleifera* Lam . Is the Most Widely Cultivated Species of the Tropical Flowering Plant Family Moringaceae Containing Thirteen Diverse Species (Shahzad et Al . , 2013). *Moringa Oleifera* Is I.” 26(1): 137–56.
- Dasdag, Suleyman, and Mehmet Zulkuf. 2016. "The Link between Radiofrequencies Emitted from Wireless Technologies and Oxidative Stress.” *Journal of Chemical Neuroanatomy* 75: 85–93. doi:10.1016/j.jchemneu.2015.09.001.
- Dewi, Inaz Kemala, and Anggaraeni Janar Wulan. 2015. "Efek Paparan Gelombang Elektromagnetik Handphone Terhadap Kadar Glukosa Darah Effects of Handphone Electromagnetic Wave Exposure on Blood Glucose Level.” *Jurnal kedokteran Universitas Kristen Krida Wacana* 17(3): 31–38.
- Dwimayasanti, Rany. 2018. "Rumput Laut: Antioksidan Alami Penangkal Radikal Bebas.” *Oseana* 43(2): 13–23. doi:10.14203/oseana.2018.vol.43no.2.17.
- Eka, Alfino, Putra Darwansyah, Meva Relita, Setia Putri, Alief Chandra, and Subiantara Putra. 2025. "Penyuluhan Masyarakat Mengenai Proteksi Radiasi Pada Pemeriksaan Radiologi.” 4(2): 173–79.
- Enny, Enny. 2015. "Efek Samping Penggunaan Ponsel.” *Gema Teknologi* 17(4): 178–83. doi:10.14710/gt.v17i4.8938.
- Faisal, Ahmad Purnawarman, Pratiwi Rukmana Nasution, and Riza Fahlevi Wakidi. 2022. "Aktivitas Antioksidan Dari Daun Bintangur (*Calophyllum*

- Inophyllum L.) Terhadap Radikal Bebas DPPH (1,1 Difenil-2-Pikrihidrazil.” *Jurnal Riset Kefarmasian Indonesia* 4(1): 1–10. doi:10.33759/jrki.v4i1.200.
- Falowo, Andrew B., Felicitas E. Mukumbo, Emrobowansan M. Idamokoro, José M. Lorenzo, Anthony J. Afolayan, and Voster Muchenje. 2018. “Multi-Functional Application of Moringa Oleifera Lam. in Nutrition and Animal Food Products: A Review.” *Food Research International* 106(December 2017): 317–34. doi:10.1016/j.foodres.2017.12.079.
- Foster, By Kenneth R, John E Moulder, and United States. 2003. “Are Mobile Phones Safe ?” 37.
- Gomez, Arturo A, and John Wiley. “Second Edition / I.” 6.
- Handito, Dody, Eko Basuki, Satrijo Saloko, Lingga Gita Dwikasari, and Eva Triani. 2022. “Analisis Komposisi Bunga Telang (Clitoria Ternatea) Sebagai Antioksidan Alami Pada Produk Pangan.” *Prosiding SAINTEK* 4(November 2021): 64–70. <https://jurnal.lppm.unram.ac.id/index.php/prosidingsaintek/article/view/481>.
- Hardell, Lennart. 2017. “World Health Organization , Radiofrequency Radiation and Health - a Hard Nut to Crack (Review).” : 405–13. doi:10.3892/ijo.2017.4046.
- Hegazy, Rabab A, Amal A Abdulbaqi, Rym Hassani, Sanad S El-kholy, Foad A Farrag, and Mohammed A El-magd. 2025. “Journal of Radiation Research and Applied Sciences Cytoprotective Impact of Moringa Oleifera Leaf Extract on Liver Damage and Insulin Resistance in Diabetic Rats.” *Journal of Radiation Research and Applied Sciences* 18(2): 101532. doi:10.1016/j.jrras.2025.101532.
- Hekmat, Sharareh, Kathryn Morgan, Mohammad Soltani, and Robert Gough. 2015. “Sensory Evaluation of Locally-Grown Fruit Purees and Inulin Fibre on Probiotic Yogurt in Mwanza , Tanzania and the Microbial Analysis of Probiotic Yogurt Fortified with Moringa Oleifera.” 33(1): 60–67.
- Hermawan, Mohamad Arif, Upik Nurbaiti, and Ian Yulianti. 2021. “Pengaruh Jumlah Komputer Terhadap Tingkat Radiasi Elektromagnetik Dan Dampak Kesehatan Manusia Dalam Lingkungan Teradiasi.” *Emitor: Jurnal Teknik Elektro* 21(1): 32–34. doi:10.23917/emitor.v21i1.13001.
- Hutabarat, Tommy. 2018. “Kajian Bahaya Radiasi Terhadap Norm Dalam Sedimen Permukaan Di Lingkungan Das Cisadane Hulu Dan Ciujung Hulu.” *REAKTOR - Buletin Pengelolaan Reaktor Nuklir* 15(1): 45. doi:10.17146/bprn.2018.15.1.4795.
- I Nyoman Sudiana, Ernita Susanti, Aripin, and Deniyatno. 2024. “Sosialisai Bahaya Radiasi Gelombang Elektromagnetik Handphone Dan Dampaknya Bagi Kesehatan : Siswa SD Kendari.” *Karismas - Jurnal Pengabdian Karya Inovasi Masyarakat* 1(1): 25–30. doi:10.70282/karismas.v1i1.5.
- Journal, Diponegoro Medical, and Diponegoro Medical Journal. 2024. “The Effect Of Moringa Leaves Extract On MDA Level In Male Mice.” : 173–77.

- Karipidis, Ken, Stuart Henderson, Don Wijayasinghe, Lydiawati Tjong, and Rick Tinker. 2017. "Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields from Wi-Fi in Australian Schools." *Radiation Protection Dosimetry* 175(4): 432–39. doi:10.1093/rpd/ncw370.
- Karthivashan, Govindarajan, Aminu Umar Kura, and Palanisamy Arulselvan. 2016. "The Modulatory Effect of Moringa Oleifera Leaf Extract on Endogenous Antioxidant Systems and Inflammatory Markers in an Acetaminophen-Induced Nephrotoxic Mice Model." doi:10.7717/peerj.2127.
- Kou, Xianjuan, Biao Li, Julia B. Olayanju, Justin M. Drake, and Ning Chen. 2018. "Nutraceutical or Pharmacological Potential of Moringa Oleifera Lam." *Nutrients* 10(3). doi:10.3390/nu10030343.
- Kurniawan Gondo, Harry. 2022. "Pengaruh Serbuk Daun Kelor (Moringa Oleifera) Terhadap Apoptosis Sel Hepar Pada Tikus Bunting Diabetes Mellitus." *Jurnal Ilmiah Kedokteran Wijaya Kusuma* 11(1): 12–18.
- Kurutas, Ergul Belge. 2016. "The Importance of Antioxidants Which Play the Role in Cellular Response against Oxidative / Nitrosative Stress : Current State." *Nutrition Journal*: 1–22. doi:10.1186/s12937-016-0186-5.
- Lai, Henry, and Narendra P Singh. 1997. "Acute Exposure to a 60 Hz Magnetic Field Increases DNA Strand Breaks in Rat Brain Cells." 165: 156–65.
- Laila K. Hanafy, Sawsan H, Karam, AnisaSaleh. 2010. "The Adverse Effects of Mobile Phone Radiation on Some Visceral Organs." *Research Journal of Medicine and Medical Sciences*. 5(1): 95–99.
- Leone, Alessandro, Alberto Spada, Alberto Battezzati, Alberto Schiraldi, Junior Aristil, and Simona Bertoli. 2015. "Cultivation , Genetic , Ethnopharmacology , Phytochemistry and Pharmacology of Moringa Oleifera Leaves : An Overview." : 12791–835. doi:10.3390/ijms160612791.
- Manarisip, Meldy, Jimmy F Rumampuk, and Damajanti H C Pangemanan. 2015. "Gambaran Gangguan Radiasi Handphone Terhadap Kesehatan Siswa Kelas Xi Smk Discovery Manado." *Jurnal Kedokteran Komunitas dan Tropik* 3(3): 154–59. <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/JKKT/article/view/9105>.
- Marhaeni, Luluk Sutji. 2021. "Daun Kelor (Moringa Oleifera) Sebagai Sumber Pangan Dan Antioksidan." *Jurnal Agrisia* Vol.13(2): 40–53. file:///C:/Users/Asus/Downloads/admin,(Page+40-53)+Daun+Kelor+(Moringa+oleifera).pdf.
- Mashitoh Nur Iqlima. 2020. "Kerusakan Sel Hepar Akibat Paparan Radiasi Elektromagnetik Telepon Seluler." *Ibnu Sina: Jurnal Kedokteran dan Kesehatan - Fakultas Kedokteran Universitas Islam Sumatera Utara* 19(1): 40–45. doi:10.30743/ibnusina.v19i1.13.
- Meo, Sultan Ayoub, Muhammad Arif, Shahzad Rashied, Sufia Husain, Muhammad M. Khan, Abeer A. Al Masri, Muhammad S. Vohra, et al. 2010. "Morphological Changes Induced by Mobile Phone Radiation in Liver and Pancreas in Wistar Albino Rats." *European Journal of Anatomy* 14(3): 105–9.

- Montgomery, Douglas C. *Design and Analysis of Experiments*.
- Nugraha, Agung Putra, Sri Isdadiyanto, and Silvana Tana. 2018. "Histopatologi Hepar Tikus Wistar (*Rattus Norvegicus*) Jantan Setelah Pemberian Teh Kombucha Konsentrasi 100 % Dengan Waktu Fermentasi Yang Berbeda Liver Histopathology of Male Wistar Rats (*Rattus Norvegicus*) after 100 % Concentration Kombucha ' s Tea T." *Buletin Anatomi dan Fisiologi* 3(1): 71–78.
- Nugroho, Destia Afta, and Desy Armalina. 2019. "Pengaruh Pemberian Kombinasi Vitamin C Dan E." *Jurnal Kedokteran Diponegoro* 8(1): 133–41.
- Nurhayati, Titing, Muhamad Farrel Ridho, Putri Teesa, Radhiyanti Santoso, Setiawan Setiawan, Hanna Goenawan, and Vita Murniati Tarawan. 2024. "Effects of Moringa Oleifera Leaf Extract on Liver Histopathology : A Systematic Review." 2024. doi:10.1155/2024/6815993.
- Pall, Martin L. 2018. "Wi-Fi Is an Important Threat to Human Health ☆." *Environmental Research* 164(January): 405–16. doi:10.1016/j.envres.2018.01.035.
- Panjaitan, Ruqiah Ganda Putri, Ekowati Handharyani, Chairul, Masriani, Zulfa Zakiah, and Wasmen Manalu. 2007. "Fungsi Hati Dan Ginjal Tikus." *Makara, Kesehatan* 11(1): 11–16.
- Purwadi, Agus, Denny Trias Utomo, and Partaonan Harahap. 2023. "Sistem Mitigasi Bencana Tanah Longsor Berbasis Gelombang Radio." *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro* 5(2): 70–75. doi:10.30596/rele.v5i2.13080.
- Putri, Irrayanti, Fakultas Kedokteran, Fakultas Kedokteran, Telepon Seluler, and Tikus Wistar. 2018. "Hubungan Durasi Paparan Gelombang Elektromagnetik Telepon Seluler Terhadap Kadar Melatonin Pada Tikus Putih (*Rattus Norvegicus*) Pendahuluan Telepon Seluler (Ponsel) Adalah Salah Satu Alat Komunikasi Nirkabel , Yang Menggunakan Gelombang Radio Sebagai." *Jurnal Profesi Medika* 12(1): 1–6.
- Putri, Okta Hardianti, Desy Armalina, Farmaditya Eka Putra Mundhofir, Akhmad Ismail, and Ika Pawitra Miranti. 2019. "Pengaruh Pemberian Ekstrak Daun Kelor (Moringa Oleifera) Dosis Bertingkat Pada Gambaran Mikroskopis Ginjal Tikus Wistar Yang Diinduksi Formalin." *Journal of Chemical Information and Modeling* 53(9): 1689–99.
- Rahajoeningroem, T, and H Vilandika. 2017. "Rancang Bangun Alat Pengisi Baterai Telepon Genggam Memanfaatkan Sinyal Radio Frekuensi Design of the Mobile Phone Charger in Using of the Radio" *Ojs.Unikom.Ac.Id* 5(2): 145–48. <https://ojs.unikom.ac.id/index.php/telekontran/article/view/1016>.
- Rakhmawati, Mulki, Fakultas Kedokteran, and Universitas Sebelas Maret. 2011. "Perpustakaan.Uns.Ac.Id Digilib.Uns.Ac.Id."
- Ramadhani, Nastiti Faradilla, Deny Saputra, and Aga Satria Nurrachman. 2023. "Literasi Bahaya Penggunaan Radiasi Pada Siswa Madrasah Tsanawiyah Miftahul Ulum Melirang Bungah Gresik." *Jurnal Pengabdian Nasional (JPN)*

- Indonesia* 4(2): 429–34. doi:10.35870/jpni.v4i2.234.
- Reiter, Russel J, Juan C Mayo, Dun-xian Tan Rosa, and Moises Alatorre-jimenez Lilan Qin. 2016. “Melatonin as an Antioxidant : Under Promises but over Delivers.” (August): 253–78. doi:10.1111/jpi.12360.
- S. Rahmanisa, N.Sudrajat. 2020. “Efek Protektif Pemberian Kombinasi Zinc Dan Tomat (*Solanum Lycopersicum* Efek Protektif Pemberian Kombinasi Zinc Dan Tomat (*Solanum Lycopersicum* L) Terhadap Histologi Hepar Tikus Putih (*Rattus Norvegicus*) Galur Sprague Dawley Akibat Stres Yang Terpapa.” (October 2017).
- Şahin, Elvan, Derya Güzel, Şadiye Açıkgöz, and Nihal Tufan. 2018. “Effects of Acute and Chronic Exposure to 900 Mhz Electromagnetic Field on the Rat Liver Microarchitecture.” : 1585. doi:10.3390/proceedings2251585.
- Sari, Ayu Nirmala. 2017. “Potensi Antioksidan Alami Pada Ekstrak Daun Jamblang (*Syzigium Cumini* (L.) Skeels).” *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA* 18(02): 107–12. doi:10.24036/eksakta/vol18-iss02/61.
- Shiriki, Dooshima, Michael A. Igyor, and Dick I. Gernah. 2015. “Nutritional Evaluation of Complementary Food Formulations from Maize, Soybean and Peanut Fortified with <I>Moringa Oleifera<I> Leaf Powder.” *Food and Nutrition Sciences* 06(05): 494–500. doi:10.4236/fns.2015.65051.
- Simanjuntak, Kristina. 2011. “Pengaruh Diet Tinggi Lipid Terhadap Timbulnya Penyakit.” *Bina Widya* 22(4): 191–99.
- Simk, Myrtil. 2019. “5G Wireless Communication and Health E Ff Ects — A Pragmatic Review Based on Available Studies Regarding 6 to 100 GHz.” : 1–23.
- Sinha, Mahuya, Surajit Bhattacharjee, Subrata Majumdar, and Sanjit Dey. 2011. “Leaf Extract of Moringa Oleifera Prevents Ionizing Radiation-Induced Oxidative Stress in Mice l l.” 14(10): 1167–72. doi:10.1089/jmf.2010.1506.
- Sitti Normawati. 2022. “Penerapan Proteksi Radiasi Di Instalasi Radiologi Rumah Sakit RSKD Dadi Provinsi Sulawesi Selatan.” *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Kedokteran* 1(2): 168–79. doi:10.55606/jurrike.v1i2.2229.
- Situmeang, Usaha, Elvira Zondra, and Hazra Yuvensius. 2022. “Sosialisasi Pengaruh Gelombang Elektromagnetik Terhadap Lingkungan Di Bawah Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) Di SMA Budhi Luhur Pekanbaru.” *Fleksibel: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat* 3(2): 77–84. doi:10.31849/fleksibel.v3i2.10685.
- Sudewi, Ni Putu, Bernadette Dian, Novita Dewi, Nita Kurniawati, Wilson Christianto Khudrati,) Program, Studi Kedokteran, et al. 2023. “Dampak Radiasi Elektromagnet Dan Mikroplastik Terhadap Kesehatan Manusia.” *Communnity Development Journal* 4(3): 6241–50.
- Sudirman, Asep Wahyudi. 2020. “Pengaruh Radiasi Gelombang Elektromagnetik Telepon Genggam Terhadap Perkembangan Sperma.” *Jurnal Ilmiah Kesehatan Sandi Husada* 12(2): 708–12. doi:10.35816/jiskh.v12i2.385.
- Tiloke, Charlette, Alisa Phulukdaree, and Anil A Chuturgoon. 2013. “The

- Antiproliferative Effect of Moringa Oleifera Crude Aqueous Leaf Extract on Cancerous Human Alveolar Epithelial Cells.” : 1–8.
- Toripah, Shintia Susanti. 2014. “Shintia Susanti Toripah, Jemmy Abidjulu, Frenly Wehantouw Program Studi Farmasi Fakultas MIPA UNSRAT Manado.” *Jurnal Ilmiah Farmasi* 3(4): 37–43.
- Tripathi, Arunabh, and Anant Pandey. 2017. “Post-Hoc Comparison in Survival Analysis : An Easy Approach.” : 112–19. doi:10.4236/jbm.2017.53012.
- Ulfah, Maria, and Andi Sri Irtawaty. 2018. “Optimization of 4G Lte (Long Term Evolution) Network in Balikpapan City.” *Jurnal Ecotipe* 5(2): 1–10.
- USDA. 2016. “U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Nutrient Data Laboratory. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 28 (Slightly Revised).” *United States Department of Agriculture* May(2015). <http://www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl>.
- Vamsy, Arjilli, V Sathia Lakshmi, and T Satya Prakash Venkatachalam. 2021. “A Study on the Histological and Biochemical Effects of Long-Term Exposure of 4G LTE Radiation Emitted by Mobile Phone on The Liver of Wistar Rats.” 13(2): 132–38. doi:10.18311/ajprhc/2021/26879.
- Vergara-jimenez, Marcela, Manal Mused Almatrafi, and Maria Luz Fernandez. 2017. “Bioactive Components in Moringa Oleifera Leaves Protect against Chronic Disease.” : 1–13. doi:10.3390/antiox6040091.
- Widhiantoro, Dandun, and Alifah Khairunisa. 2018. “Analisis Performansi Jaringan 4G LTE Frekuensi 1800 Mhz Dan 2300 Mhz Terhadap Pengunduhan File Video.” *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro* 3(2018): 41–47. <http://prosiding-old.pnj.ac.id/index.php/snte/article/view/008> - 2017.
- Wijaya, Nur Hudha, Wisnu Kartika, and Aulia Resti Dewi Utari. 2019. “Deteksi Radiasi Gelombang Elektromagnetik Dari Peralatan Medis Dan Elektronik Di Rumah Sakit.” *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)* 6(2): 102–6. doi:10.33019/ecotipe.v6i2.1393.
- Wilatika, cacan firman. 2019. “Pengaruh Smartphone Terhadap Kesehatan Dan Perilaku Remaja.” *Jurnal Obstetika Scientia* 3(2): 1–18.
- Yakymenko, Igor, Olexandr Tsybulin, Evgeniy Sidorik, Diane Henshel, Olga Kyrylenko, and Sergiy Kyrylenko. 2016. “Oxidative Mechanisms of Biological Activity of Low-Intensity Radiofrequency Radiation.” 35(2): 186–202. doi:10.3109/15368378.2015.1043557.
- Yulianto, Havis, and ST. MT. , Munnik Haryanti. 2021. “Perbaikan Dan Peningkatan Coverage Jaringan 4G LTE.” *Jurnal Teknologi Industri* 10(1): 6. <https://journal.universitassuryadarma.ac.id/index.php/jti/article/download/777/752>.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Analisis Percobaan Faktorial

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: data

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	131847.000 ^a	15	8789.800	1038.165	.000
perlakuan	6988.089	4	1747.022	206.341	.000
perlakuan * ekstrakkelor	204.844	8	25.606	3.024	.013
ekstrakkelor	1827.378	2	913.689	107.916	.000
Error	254.000	30	8.467		
Total	132101.000	45			

a. R Squared = ,998 (Adjusted R Squared = ,997)

Lampiran 2 Analisis Uji DMRT

1. Perlakuan pengaruh paparan radiasi elektromagnetik

data

Duncan^a

perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
1	9	33.33			
2	9		42.33		
3	9			57.33	
4	9			61.56	61.56
5	9				66.67
Sig.		1.000	1.000	.243	.159

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

2. Dosis antioksidan

data

Duncan^a

ekstrakkelor	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
3	15	44.60	
2	15	51.93	51.93
1	15		60.20
Sig.		.139	.096

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15,000.

3. Gabungan perlakuan energi elektromagnetik dengan ekstra daun kelor

data

Duncan^a

perlakuan	N	Subset for alpha = 0.05									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	3	27.33									
6	3		35.00								
2	3		36.00								
1	3		36.67	36.67							
5	3			41.33	41.33						
9	3				45.67						
4	3					50.67					
12	3					55.00	55.00				
8	3						58.00				
11	3						59.67	59.67			
15	3						60.00	60.00			
14	3							64.67	64.67		
7	3								68.33	68.33	
10	3									70.00	
13	3										75.33
Sig.		1.000	.515	.059	.078	.078	.062	.054	.133	.488	1.000

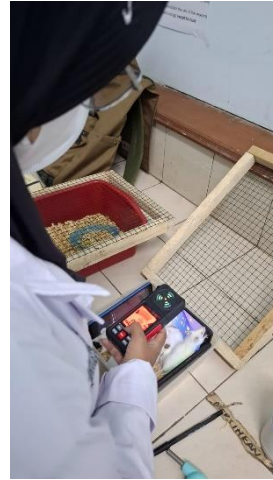
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Lampiran 3 Dokumentasi Penelitian



Penginduksian ekstrak daun kelor



Pemaparan radiasi elektromagnetik



Pembedahan

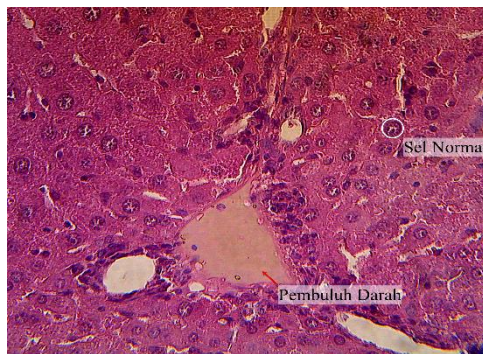


Pengambilan sampel hati

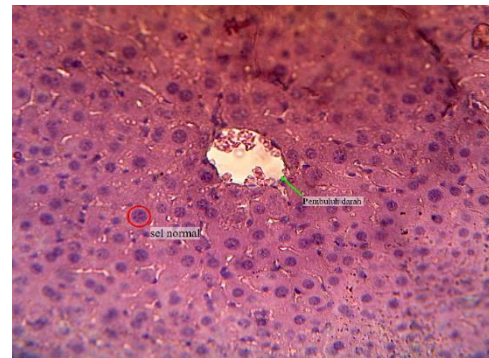


Proses Hidrasi

Lampiran 4 Gambar Histologi Hati Mencit



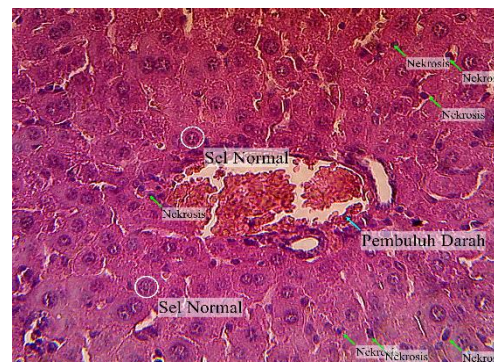
Kontrol tanpa ekstrak



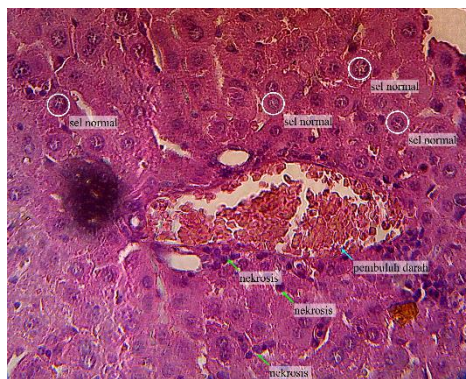
Kontrol dengan Ekstrak Dosis 2.6



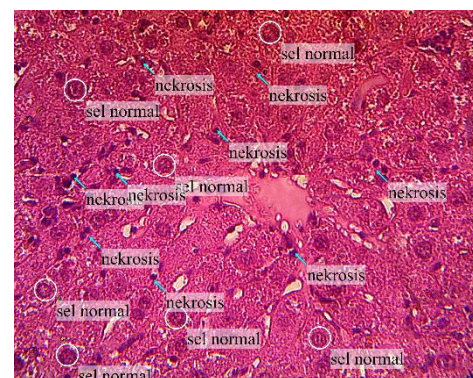
Kontrol dengan Ekstrak Dosis 3.6



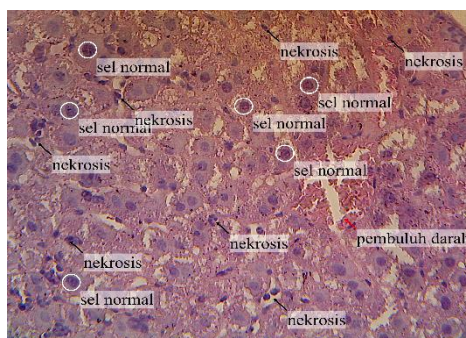
Pemaparan 1 Jam



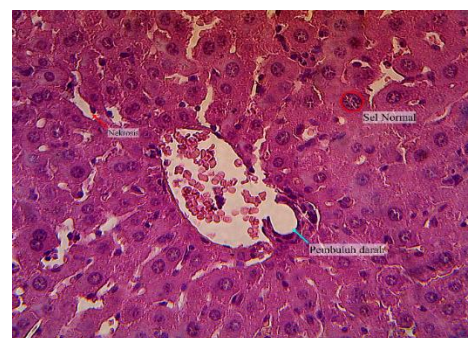
Pemaparan 1 Jam dengan ekstrak 2.6



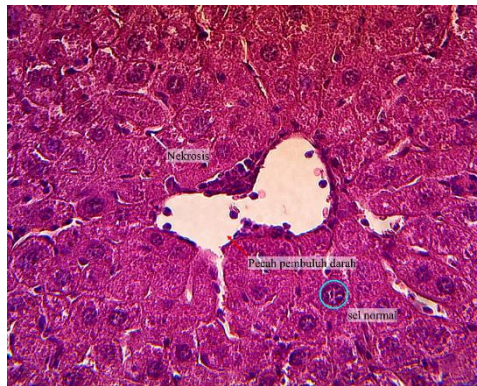
Pemaparan 1 Jam dengan ekstrak 3.6



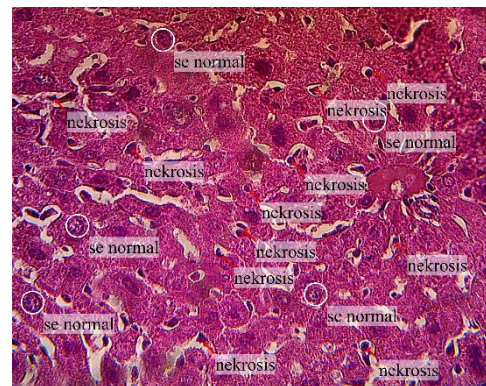
Pemaparan 2 Jam



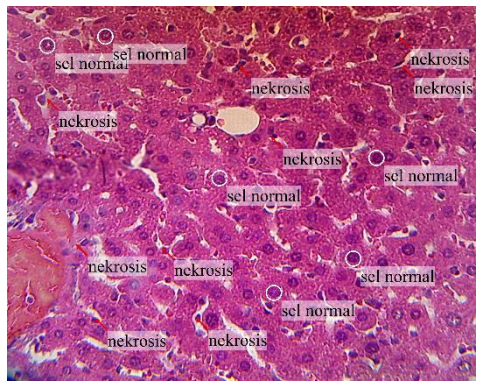
Pemaparan 2 Jam dengan ekstrak 2.6



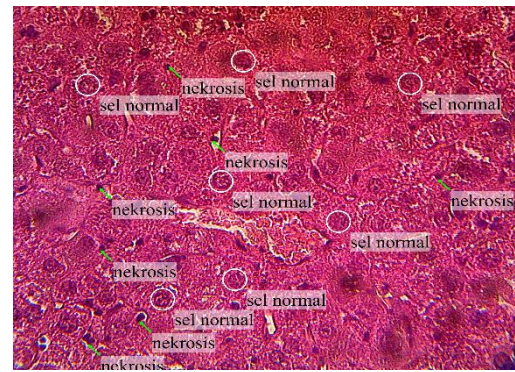
Pemaparan 2 Jam dengan ekstrak 3.6



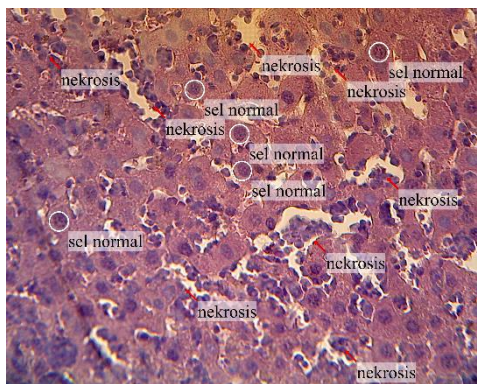
Pemaparan 3 Jam



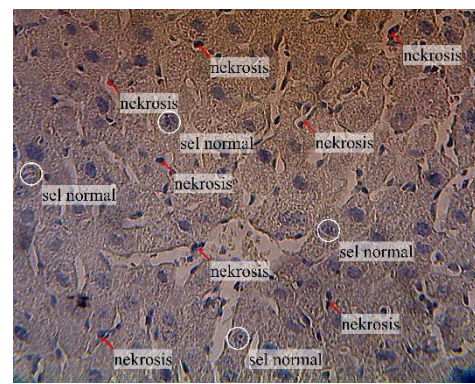
Pemaparan 3 Jam dengan ekstrak 2.6



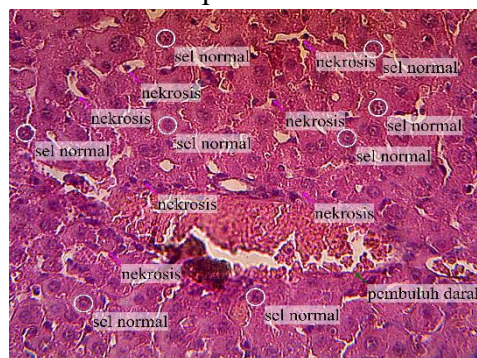
Pemaparan 3 Jam dengan ekstrak 3.6



Pemaparan 4 Jam



Pemaparan 4 Jam dengan ekstrak 2.6



Pemaparan 4 Jam dengan ekstrak 3.6

Lampiran 5 Perhitungan SAR

Rumus umumnya:

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho}$$

Keterangan:

- **SAR** = *Specific Absorption Rate* (W/kg)
- σ = konduktivitas jaringan (S/m)
- **E** = kuat medan listrik (V/m)
- ρ = massa jenis jaringan (kg/m³)

dengan nilai umum:

- $\sigma = 1 \text{ S/m}$
- $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

Sehingga rumus menjadi:

$$SAR = \frac{1 \times E^2}{1000}$$

atau:

$$SAR = \frac{E^2}{1000}$$

Perhitungan tiap kelompok

1. Kontrol

Diketahui:

$$E = 0,15 \text{ V/m}$$

Maka:

$$SAR = \frac{0,0225}{1000}$$

$$SAR = 0,0000225 \text{ W/kg}$$

2. Paparan 1 jam

Diketahui:

$$E = 11,20 \text{ V/m}$$

$$SAR = \frac{125,44}{1000}$$

$$SAR = 0,125 \text{ W/kg}$$

3. Paparan 2 jam

Diketahui:

$$E = 12,30 \text{ V/m}$$

$$SAR = \frac{151,29}{1000}$$

$$SAR = 0,151 \text{ W/kg}$$

4. Paparan 3 jam

Diketahui:

$$E = 13,00 \text{ V/m}$$

$$SAR = \frac{169}{1000}$$

$$SAR = 0,169 \text{ W/kg}$$

5. Paparan 4 jam

Diketahui:

$$E = 13,90 \text{ V/m}$$

$$SAR = \frac{193,21}{1000}$$

$$SAR = 0,193 \text{ W/kg}$$



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG

Jalan Gajayana Nomor 50, Telepon (0341) 551354, Fax. (0341) 572533
Website: <http://www.uin-malang.ac.id> Email: info@uin-malang.ac.id

JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

IDENTITAS MAHASISWA

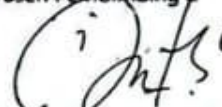
NIM : 210604110075
Nama : SILVI AFNI ARIZATUL KHOIROH
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Jurusan : FISIKA
Dosen Pembimbing 1 : Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes
Dosen Pembimbing 2 : MUTHMAINNAH, M.Si
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi : PENGARUH PAPARAN RADIASI GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK TELEPON SELULER DAN PEMBERIAN EKSTRAK DAUN KELOR (*Moringa Oleifera*) TERHADAP GAMBARAN HISTOLOGI HATI MENCIT (*Mus Musculus*)

IDENTITAS BIMBINGAN

No	Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1	17 Februari 2025	Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes	Konsultasi Judul Skripsi	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
2	18 Februari 2025	Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes	Konsultasi Judul Skripsi	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
3	25 Februari 2025	Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes	Konsultasi proposal skripsi bab I-III	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
4	02 Juni 2025	Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes	Persetujuan proposal skripsi untuk seminar proposal	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
5	24 Juli 2025	Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes	Konsultasi penelitian	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
6	19 Agustus 2025	Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes	Revisi proposal skripsi hasil seminar proposal	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
7	02 Oktober 2025	Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes	Persetujuan ujian komprehensif	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
8	08 Desember 2025	Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes	Konsultasi data penelitian	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
9	15 Desember 2025	Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes	Konsultasi bab IV-V	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
10	15 Desember 2025	MUTHMAINNAH, M.Si	Konsultasi integrasi bab I-IV	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
11	15 Desember 2025	Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes	Persetujuan untuk seminar hasil	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Dosen Pembimbing 2


MUTHMAINNAH, M.Si

Malang, 24 Desember 2025
Dosen Pembimbing 1


Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes

Kajur / Kaprodi,

