

Handwritten signature and initials.

Handwritten signature and date: Dec 19/01 2023.



**PENGARUH RADIASI MEDAN MAGNET ELF INTENSITAS 100  $\mu$ T  
DAN 500  $\mu$ T TERHADAP MASSA JENIS DAN VOLUME OTAK MENCIT  
BALB/C**

**SKRIPSI**

**Oleh:**

**Abniken Wahyu Puspitasari**

**NIM 190210102008**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA**

**JURUSAN PENDIDIKAN MIPA**

**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2023**





**PENGARUH RADIASI MEDAN MAGNET ELF INTENSITAS 100  $\mu$ T  
DAN 500  $\mu$ T TERHADAP MASSA JENIS DAN VOLUME OTAK MENCIT  
BALB/C**

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Pendidikan Fisika dan mencapai gelar Sarjana Pendidikan

**Oleh**

**Abniken Wahyu Puspitasari**

**NIM 190210102008**

Dosen Pembimbing Utama: Dr. Sudarti, M.Kes.

Dosen Pembimbing Anggota : Drs. Trapsilo Prihandono, M.Si.

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA  
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2023**

## PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua saya yaitu Ibunda Pujiati Wahyuningtyas dan Ayahanda Abdul Manab. Terimakasih atas segala doa, semangat, dukungan yang telah mengiringi hari-hari saya utuk teteap semangat dalam menuntut ilmu, dan kasih sayang yang selalu diberikan dengan tulus dan ikhlas.
2. Guru-guru saya baik di sekolah formal maupun non formal serta dosen-dosen yang telah sabar dan ikhlas membimbing dan memberikan ilmu yang barokah dan bermanfaat.
3. Almamater saya tercinta Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

**MOTTO**

"Hidup ini adalah perjalanan panjang dan tidak selalu mulus. Pada hari ke berapa dan pada jam ke berapa, kita tidak pernah tahu, rasa sakit apa yang harus kita lalui. Kita tidak tahu, kapan hidup akan mebanting kita dalam sekali, membuat terduduk, untuk kemudian memaksa kita mengambil keputusan."

*(Tere Liye)<sup>1</sup>*



---

\*Tere Liye. 2014. *Bumi*. Jakarta. PT. Gramedia Pustaka

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Abniken Wahyu Puspitasari

NIM : 190210102008

Menyatakan dengan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah dengan judul “Pengaruh Radiasi Medan Magnet ELF Intensitas 100 $\mu$ t dan 500 $\mu$ t Terhadap Massa Jenis dan Volume Otak Mencit Balb/C” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan dalam institute manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas kesalahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 21 Januari 2023

Yang menyatakan,

Abniken Wahyu Puspitasari

**SKRIPSI**

**PENGARUH RADIASI MEDAN MAGNET ELF INTENSITAS 100  $\mu$ T dan  
500  $\mu$ T TERHADAP MASSA JENIS DAN VOLUME OTAK MENCIT  
BALB/C**

Oleh :

**ABNIKEN WAHYU PUSPITASARI**

**NIM 190210102008**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Sudarti, M.Kes.

Dosen Pembimbing Anggota : Drs. Trapsilo Prihandono, M.Si.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Pengaruh Radiasi Medan Magnet ELF Intensitas 100  $\mu$ t Dan 500  $\mu$ t Terhadap Massa Jenis Dan Volume Otak Mencit Balb/C” karya Abniken Wahyu Puspitasari telah diuji dan disahkan pada :

Hari/Tanggal : Selasa, 07 Februari 2023

Tempat : Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Tim Penguji :

Ketua,

Sekretaris,

Dr. Sudarti, M.Kes.

NIP. 19620123 198802 2 001

Anggota I,

Drs. Trapsilo Prihandono, M.Si.

NIP. 196204011987021001

Anggota II,

Drs. Albertus Djoko Lesmono, M. Si.

NIP. 196412301993021001

Dr. Yushardi, S.Si., M.Si.

NIP. 19650420 199512 1 001

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Universitas Jember,

Prof. Dr. Bambang Soepeno, M.Pd.

NIP. 19600612 198702 1 001



## RINGKASAN

**PENGARUH PAPARAN MEDAN MAGNET ELF INTENSITAS  $100\mu T$  DAN  $500\mu T$  TERHADAP MASSA JENIS DAN VOLUME OTAK MENCIT BALB/C;** Abniken Wahyu Puspitasari, 190210102008; 2023; 80 Halaman; Program Studi Pendidikan Fisika; Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Badan kesehatan World Health Organization (WHO) merekomendasikan nilai ambang batas paparan medan listrik dan medan magnet 50/60 Hz adalah 5kV/M dan 100  $\mu T$  untuk kelompok umum, 10kV/M dan 500  $\mu T$  untuk kelompok pekerja. Batas paparan tersebut berdampak pada efek klinis. Di sisi lain, hubungan antara paparan medan magnet frekuensi sangat rendah (ELF-MF) dan kecemasan atau depresi maka terjadi peningkatan fungsi otak yang diinduksi ELF-MF juga telah ditemukan. Mekanisme efek ini diasumsikan sebagai respon stress yang disebabkan oleh paparan ELF-MF. Hasil penelitian sebuah universitas mengatakan bahwasannya efek dari sumber paparan medan ELF bagi kesehatan sangat berbahaya, diantaranya dapat menimbulkan kanker, leukimia, tumor otak dan lain sebagainya. Otak adalah salah satu organ vital bagi tubuh manusia, hal ini karena, sebagai bagian dari sistem saraf pusat, otak mengurus sebagian besar fungsi tubuh bersama-sama dengan sistem endokrin (Ningtyas, 2009). Oleh karena itu peneliti melakukan penyelidikan untuk membuktikan bahwasannya paparan medan magnet memberikan dampak negatif terhadap otak.

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengkaji pengaruh paparan medan magnet Extremely low Frequency (ELF) intensitas  $100\mu T$  dan  $500\mu T$  terhadap massa jenis otak dan volume otak pada mencit Balb/C. Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimen dengan desain penelitian Rancang Acak Lengkap (RAL) yang digunakan untuk membandingkan kelompok kontrol yang tidak dipapar medan magnet ELF dengan kelompok eksperimen yang dipapar medan magnet ELF intensitas  $100\mu T$  dan  $500\mu T$  kelompok kontrol dan kelompok eksperimen dengan lama paparan 2 jam per hari. Indikator pengukuran dalam penelitian ini yaitu massa jenis dan volume otak. Pengukuran dilakukan mula dari

hari ke-16 dan hari ke-31.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai massa tubuh antara kelompok control dan kelompok eksperimen dimana pada kelompok control dan kelompok eksperimen  $100\mu T$  mengalami kenaikan di hari ke-16 sampai hari ke-31 sedangkan kelompok eksperimen  $500\mu T$  mengalami penurunan di hari ke-16 sampai hari ke-31. Nilai massa otak kelompok control dengan kelompok eksperimen  $500\mu T$  mengalami penurunan di hari ke-16 sampai hari ke-31 sedangkan kelompok eksperimen  $100\mu T$  mengalami kenaikan di hari ke-16 sampai hari ke-31. Nilai volume otak kelompok control dengan kelompok eksperimen  $500\mu T$  mengalami penurunan di hari ke-16 sampai hari ke-31 sedangkan kelompok eksperimen  $100\mu T$  mengalami kenaikan di hari ke-16 sampai hari ke-31. Nilai massa jenis otak kelompok control dengan kelompok eksperimen  $500\mu T$  mengalami kenaikan di hari ke-16 sampai hari ke-31 sedangkan kelompok eksperimen  $100\mu T$  mengalami penurunan di hari ke-16 sampai hari ke-31.

Kesimpulan paparan medan magnet ELF dengan intensitas  $100\mu T$  dan  $500\mu T$  berpengaruh terhadap massa jenis otak pada mencit Balb/C yang dipengaruhi oleh faktor intensitas dan lama paparan medan magnet ELF. Jadi yang diperoleh pada saat mengkaji medan magnet ELF dapat mempengaruhi massa jenis otak oleh faktor intensitas dan lama paparan medan magnet ELF. Jadi semakin besar intensitas paparan medan magnet maka jumlah kerusakan sel otak mencit Balb/C akan semakin banyak, dan sebaliknya jika intensitas paparan medan magnet kecil maka jumlah kerusakan sel otak mencit Balb/C akan sedikit. Sehingga dapat disimpulkan bahwa paparan medan magnet ELF kelompok eksperimen  $100\mu T$  sangat mempengaruhi proliferasi sel otak. Sedangkan kelompok eksperimen  $500\mu T$  cenderung mengalami apoptosis.

## PRAKATA

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Pengaruh Radiasi Medan Magnet ELF Intensitas 100  $\mu\text{t}$  Dan 500  $\mu\text{t}$  Terhadap Massa Jenis Dan Volume Otak Mencit Balb/C”. Skripsi ini disusun untuk menyelesaikan strata satu (S1) Program Studi Pendidikan Fisika (S1) dan mencapai gelar sarjana pendidikan pada jurusan pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. Bambang Supeno, M.Pd. selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
2. Dr. Dwi Wahyuni, M.Kes, selaku Ketua Jurusan Pendidikan MIPA;
3. Drs. Bambang Supriadi, M.Sc. selaku Ketua Program Studi Fisika;
4. Dr. Sudarti, M.Kes. selaku Dosen Pembimbing Utama, Bapak Drs. Trapsilo Prihandono, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah membimbing dan meluangkan waktu dalam penyusunan skripsi;
5. Drs. Albertus Djoko Lesmono, M. Si. selaku Dosen Penguji Utama, Dr. Yushardi, S.Si., M.Si. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikan kritikan dan saran dalam penyusunan skripsi;
6. Bapak dan ibu dosen pendidikan fisika yang sudah memberikan ilmu selama menjadi mahasiswa;
7. Keluarga saya yatu bapak Abdul Manab, Ibu Pujiati Wahyuningtyas, dan adik saya Ramadhani Fatkhur Rahman yang selalu memberikan dukungan, do'a, dan semangat dalam menyelesaikan penyusunan skripsi;
8. Sahabat-sahabatku dan teman-temanku yang selalu memberikan bantuan, do'a dan dukungan.

Jember, 21 Januari 2023

Penulis

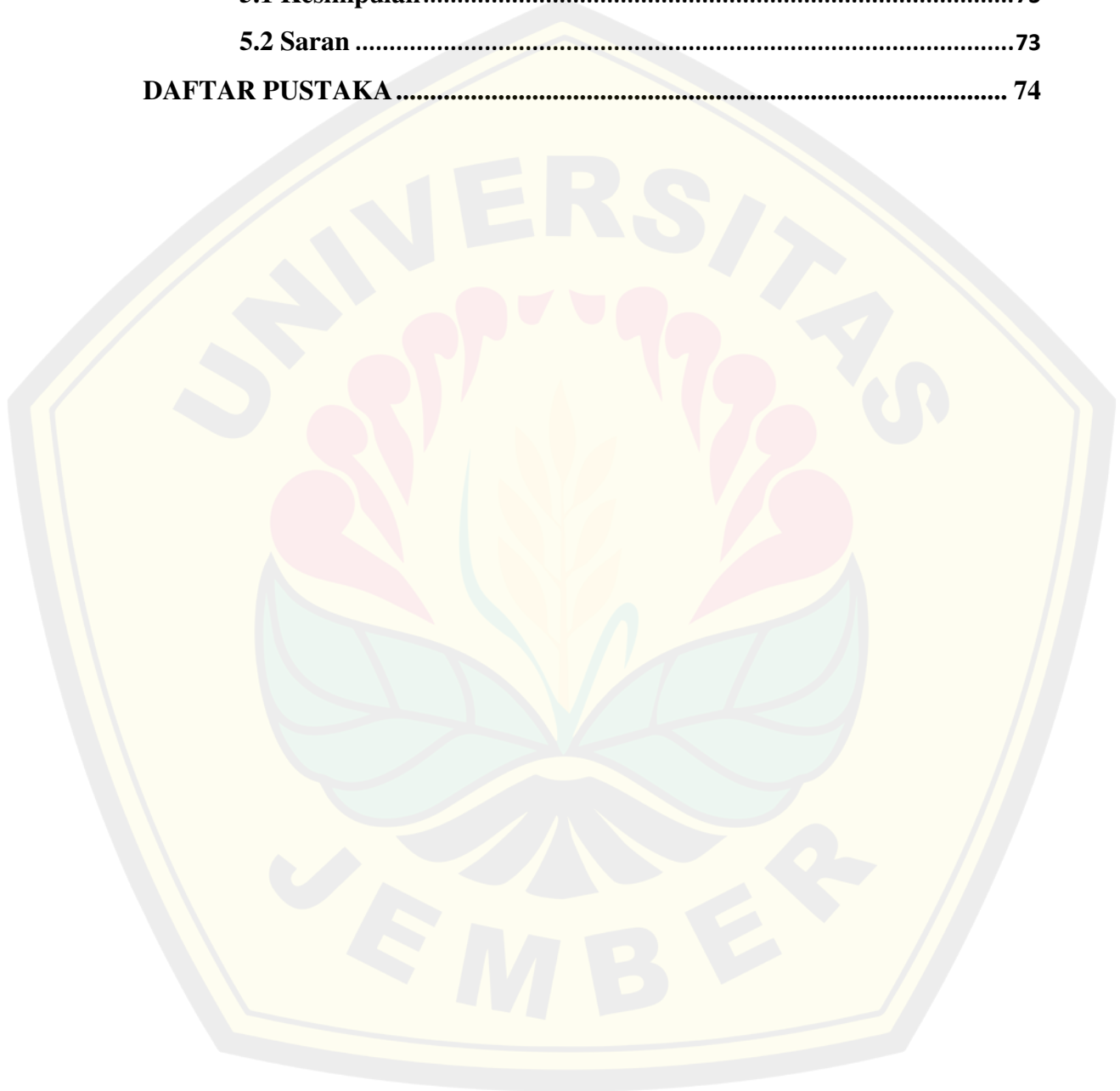


<b>2.4 Hasil Pengukuran Medan Magnet ELF</b> .....	<b>18</b>
2.4.1 Hasil Pengukuran Medan Magnet ELF di Peralatan Rumah Tangga .....	18
2.4.2 Hasil Pengukuran Medan Magnet ELF di Sekitar Peralatan Medis .....	19
<b>2.5 Hasil Penelitian Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF)</b> .....	<b>20</b>
2.5.1 Hasil Penelitian ELF Terhadap Perubahan Fungsional pada Otak Manusia.....	20
2.5.2 Hasil Penelitian ELF Alami dan EEG/Aktivitas Otak.....	20
2.5.3 Hasil Penelitian Metastasis Kanker Otak oleh AM RF EMF...	21
2.5.4 Hasil Penelitian Medan Elektromagnetik ( ELF-EMF) pada Pasien Stroke Iskemik.....	21
2.5.5 Hasil Penelitian Medan Elektromagnetik Terhadap Mekanisme Molekuler Apoptosis pada Pasien Pasca Stroke .....	22
2.5.6 Hasil Penelitian Medan Magnet Terhadap Otak.....	22
2.5.7 Hasil penelitian Medan Magnet ELF Pada Sel.....	23
2.5.8 Hasil Penelitian Medan Magnet ELF Pada Pertumbuhan Otak Anak.....	23
<b>2.6 Mekanisme Interaksi Seluler Medan Magnet ELF</b> .....	<b>24</b>
<b>2.7 Mekanisme Interaksi Medan Magnet ELF Terhadap Sel</b> .....	<b>25</b>
2.7.1 Membran Sel .....	26
2.7.2 Potensial Membran Sel.....	26
<b>2.8 Dampak Gelombang Elektromagnetik ELF Terhadap Massa Jenis dan Volume Otak</b> .....	<b>27</b>
<b>2.9 Fisiologi Otak</b> .....	<b>28</b>
2.9.1 Massa Jenis .....	29
<b>2.10 Sel Otak</b> .....	<b>30</b>
<b>2.11 Kerangka Konseptual</b> .....	<b>31</b>
<b>2.12 Hipotesis Penelitian</b> .....	<b>31</b>
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>32</b>
<b>3.1 Waktu dan Tempat Penelitian</b> .....	<b>32</b>

<b>3.2 Jenis dan Desain Penelitian.....</b>	<b>32</b>
3.2.1 Jenis Penelitian.....	32
3.2.2 Desain Penelitian .....	32
<b>3.3 Variabel Penelitian .....</b>	<b>34</b>
3.3.1 Jenis Variabel Penelitian.....	34
3.3.2 Definisi Operasional Variabel Penelitian .....	35
<b>3.4 Bahan dan Alat Penelitian .....</b>	<b>35</b>
3.4.1 Bahan Penelitian .....	35
3.4.2 Sampel Penelitian .....	36
3.4.3 Alat Penelitian.....	36
<b>3.5 Metode Pengumpulan Data.....</b>	<b>38</b>
3.5.1 Metode Anestesi dan Pembedahan Mencit.....	38
3.5.2 Metode Pengambilan Otak Mencit Balb/C.....	39
3.5.3 Metode Pengukuran Massa Jenis Otak Mencit Balb/C .....	39
3.5.4 Metode Pengukuran Volume Otak Mencit Balb/C .....	40
<b>3.6 Prosedur Penelitian.....</b>	<b>40</b>
3.6.1 Pemilihan Hewan Uji Coba .....	40
3.6.2 Adaptasi Hewan Coba.....	40
3.6.3 Pembagian Kelompok Perlakuan.....	41
3.6.4 Proses Pemaparan Medan Magnet ELF .....	42
3.6.5 Bagan Prosedur Penelitian.....	43
<b>3.7 Metode Analisis Data .....</b>	<b>45</b>
3.7.1 Tabel Hasil Pengukuran.....	45
<b>3.8 Teknik Analisis Data .....</b>	<b>48</b>
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>50</b>
<b>4.1 Hasil Penelitian.....</b>	<b>50</b>
4.1.1 Deskripsi Data Pengukuran Volume Otak Mencit Balb/C .....	50
4.1.2 Deskripsi Data Pengukuran Massa Jenis Otak Mencit Balb/C50	
<b>4.3 Pembahasan.....</b>	<b>68</b>



4.3.1 Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF Terhadap Volume Otak Mencit Balb/C.....	68
4.3.2 Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF Terhadap Massa Jenis Otak Mencit Balb/C .....	68
<b>BAB 5. PENUTUP.....</b>	<b>73</b>
<b>5.1 Kesimpulan.....</b>	<b>73</b>
<b>5.2 Saran .....</b>	<b>73</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>74</b>



**DAFTAR TABEL**

Tabel	Halaman
2.1 Pedoman Radiasi oleh ICNIRP .....	16
2.2 Paparan Maksimum Medan Elektromagnetik .....	17
2.3 Batas Paparan Medan Listrik dan Medan Magnet 50/60 Hz .....	17
2.4 Hasil Pengukuran Medan Magnet ELF di Sekitar Peralatan Rumah Tangga .	18
2.5 Hasil Pengukuran Medan Magnet ELF di Sekitar Peralatan Medis.....	19
3.7 Data Hasil Pengukuran Volume Otak Mencit Kelompok Kontrol Hari Ke-16 .....	46
3.8 Data Hasil Pengukuran volume Otak Mencit Kelompok Eksperimen 100 $\mu$ T Hari Ke-16 .....	46
3.9 Data Hasil Pengukuran Volume Otak Mencit Kelompok Eksperimen 500 $\mu$ T Hari Ke-16 .....	46
3.10 Data Hasil Pengukuran Volume Otak Mencit Kelompok Kontrol Hari Ke-31 .....	47
3.11 Data Hasil Pengukuran Volume Otak Mencit Kelompok Eksperimen 100 $\mu$ T Hari Ke-31 .....	47
3.12 Data Hasil Pengukuran Volume Otak Mencit Kelompok Eksperimen 500 $\mu$ T Hari Ke-31 .....	47
3.13 Data Hasil Pengukuran Massa Otak Mencit Kelompok Kontrol Hari Ke-16 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.14 Data Hasil Pengukuran Massa Otak Mencit Kelompok Eksperimen 100 $\mu$ T Hari Ke-16 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.15 Data Hasil Pengukuran Massa Otak Mencit Kelompok Eksperimen 500 $\mu$ T Hari Ke-16 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.16 Data Hasil Pengukuran Massa Otak Mencit Kelompok Kontrol Hari Ke-31 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.17 Data Hasil Pengukuran Massa Otak Mencit Kelompok Eksperimen 100 $\mu$ T Hari Ke-31 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.18 Data Hasil Pengukuran Massa Otak Mencit Kelompok Eksperimen 500 $\mu$ T	



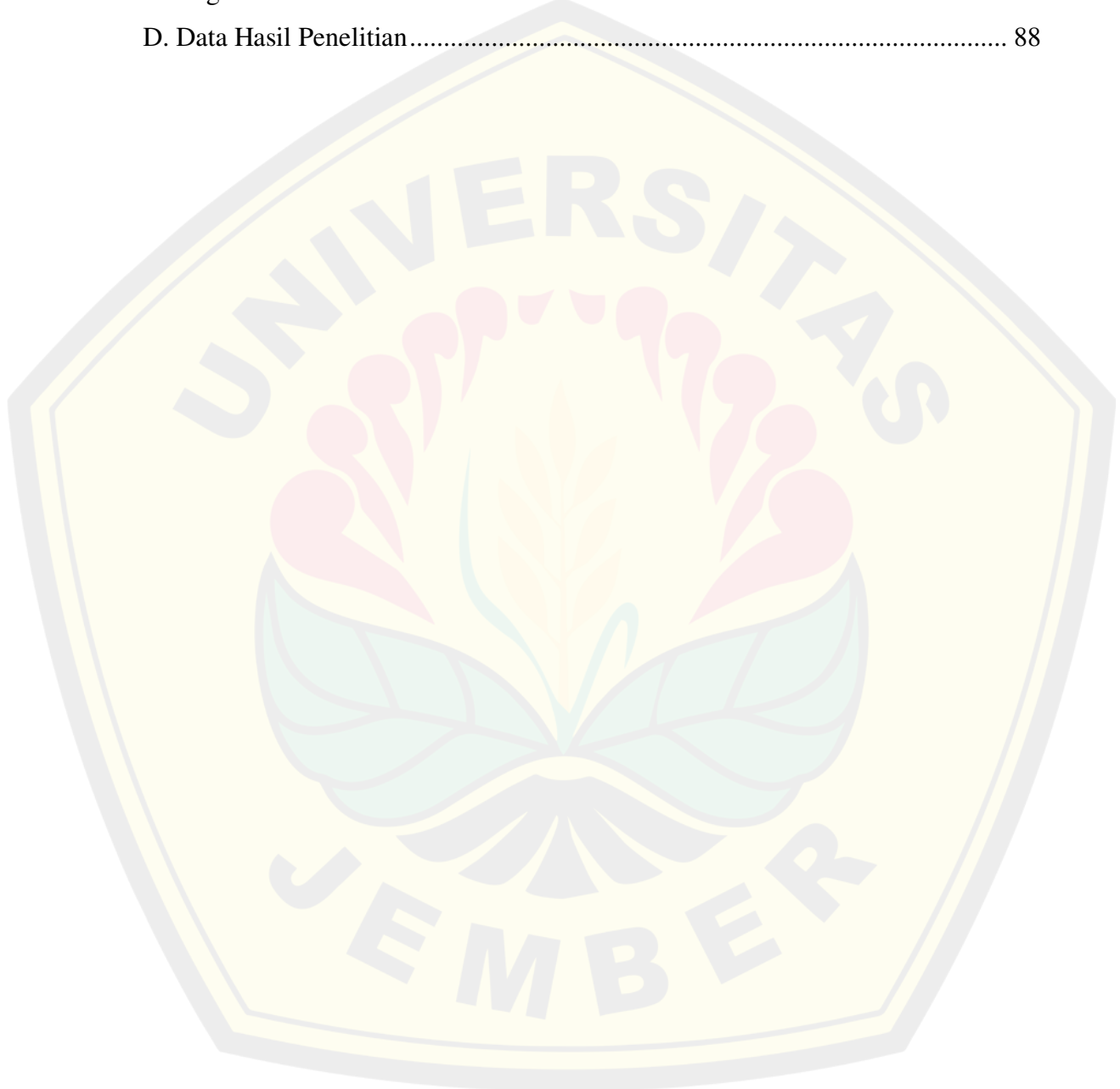
Hari Ke-31 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.19 Data Hasil Pengukuran Massa Jenis Otak Mencit Kelompok Kontrol Hari Ke-16.....	47
3.20 Data Hasil Pengukuran Massa Jenis Otak Mencit Kelompok Eksperimen 100 $\mu$ T Hari Ke-16.....	47
3.21 Data Hasil Pengukuran Massa Jenis Otak Mencit Kelompok Eksperimen 500 $\mu$ T Hari Ke-16.....	48
3.22 Data Hasil Pengukuran Massa Jenis Otak Mencit Kelompok Kontrol Hari Ke-31.....	48
3.23 Data Hasil Pengukuran Massa Jenis Otak Mencit Kelompok Eksperimen 100 $\mu$ T Hari Ke-31.....	48
3.24 Data Hasil Pengukuran Massa Jenis Otak Mencit Kelompok Eksperimen 500 $\mu$ T Hari Ke-31.....	48
4.1 Data nilai Volume Otak Mencit Balb/C.....	56
4.2 Data nilai Massa Otak mencit Balb/C.....	51
4.3 Data nilai Massa Jenis Otak Mencit Balb/C .....	63
4.7 Uji Normalitas Volume Otak mencit Balb/C.....	59
4.8 Uji One Way Anova Volume Otak mencit Balb/C.....	60
4.9 Uji Anova Multiple Comparison Post Hoc .....	60
4.10 Uji Independent Sampel T Test-Uji Mann Whitney Volume Otak mencit Balb/C .....	62
4.11 Uji Kruskall Wallis Volume Otak Mencit Balb/C.....	63
4.12 Uji Normalitas Massa Otak Mencit Balb/C .....	54
4.13 Uji <i>Independent Sampel T Test-Uji Mann Whitney</i> Massa Otak Mencit Balb/C .....	54
4.14 Uji Kruskall Wallis Massa Otak Mencit Balb/C.....	55
4.15 Uji Normalitas Massa Jenis Otak Mencit Balb/C .....	66
4.16 Uji One Way Anova Massa Jenis Otak Hari Ke-16.....	67
4.17 Uji One Way Anova Massa Jenis Otak Hari Ke-31.....	67

**DAFTAR GAMBAR**

Gambar	Halaman
2.1 Penampakan Garis Medan Magnetik pada Bidang Datar .....	11
2.2 Medan Magnet Bumi.....	12
2.3 Gambaran Paparan Radiasi Gadget Pada Penderita Sakit Kepala .....	24
2.4 Fisiologi Otak.....	29
2.5 Sel-sel Otak .....	30
2.6 Kerangka Konseptual .....	31
3.1 Desain Penelitian.....	33
3.2 Alat <i>Current Transformeer</i> (CT) .....	36
3.3 EMF Field Tester .....	36
3.4 Neraca Digital .....	37
3.5 Toples Kaca.....	37
3.6 Gelas Beaker .....	37
3.7 Papan Bedah.....	38
3.8 Gambaran Kandang Mencit .....	41
3.9 Bagan Prosedur Penelitian .....	44
4.4 Diagram Nilai Rata-Rata Volume Otak Setiap Pengukuran.....	56
4.5 Diagram Nilai Rata-Rata Volume Otak Mencit Balb/C Hari Ke-16 .....	57
4.6 Diagram Nilai Rata-Rata Volume Otak Mencit Balb/C Hari Ke-31 .....	58
4.7 Diagram Nilai Rata-Rata Massa Otak Setiap Pengukuran.....	51
4.8 Diagram Nilai Rata-Rata Massa Otak Mencit Balb/C Hari Ke-16.....	52
4.9 Diagram Nilai Rata-Rata Massa Otak Mencit Balb/C Hari Ke-31 .....	53
4.10 Diagram Nilai Rata-Rata Massa Jenis Otak Mencit Balb/C .....	64
4.11 Diagram Nilai Rata-Rata Massa Jenis Otak Mencit Balb/C Hari Ke-16 .....	65
4.12 Diagram Nilai Rata-Rata Massa Jenis Otak Mencit Balb/C Hari Ke-16 .....	65

**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran	Halaman
A. Matriks Penelitian .....	80
B. Surat Izin Penelitian .....	85
C. Kegiatan Penelitian.....	86
D. Data Hasil Penelitian.....	88





## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Penelitian dampak paparan medan elektromagnetik ELF terhadap Kesehatan sampai saat ini masih di perdebatkan. Badan kesehatan World Health Organization (WHO) merekomendasikan bahwa nilai ambang batas paparan medan listrik dan medan magnet 50/60 Hz adalah 5kV/M dan 100  $\mu$ T untuk kelompok umum, 10kV/M dan 500  $\mu$ T untuk kelompok pekerja(WHO, 1990). Batas paparan tersebut berdampak pada efek klinis. Efek klinis merupakan dampak kesehatan pada jaringan di dalam tubuh. Manusia yang secara klinis tampak sehat, belum tentu secara biologis sehat. Sehingga masih ada kekhawatiran tentang nilai ambang batas paparan medan magnet dan medan listrik yang direkomendasikan oleh WHO pada efek biologis. Efek biologis merupakan dampak kesehatan pada sel di dalam tubuh. Oleh karena itu mekanisme efek biologis oleh paparan medan magnet ELF pada intensitas 500  $\mu$ T masih perlu dikaji. Selain itu standar internasional untuk batas keamanan sampai saat ini belum stabil, karena belum memperhitungkan berbagai perbedaan ras, negara dan lain-lainnya. Bagaimanapun paparan medan magnet ELF pada pekerja dan masyarakat perlu dilakukan pengukuran dan standarisasi untuk memastikan adanya faktor patogen(Sari, 2018).

Banyak penelitian telah menyarankan hubungan antara paparan medan magnet frekuensi sangat rendah (ELF-MF) dan kecemasan atau depresi. Di sisi lain, peningkatan fungsi otak yang diinduksi ELF-MF juga telah ditemukan. Mekanisme efek ini diasumsikan sebagai respon stress yang disebabkan oleh paparan ELF-MF. MF frekuensi sangat rendah adalah fenomena fisik alami di lingkungan kita. Pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi mengakibatkan pengenalan banyak perangkat dan teknologi baru di bidang industri, pertanian, dan kehidupan sehari-hari. Kami terus-menerus terpapar ELF-MF di lingkungan kami (kisaran 0–300 Hz). MF berasal dari alam (medan geomagnetik, aktivitas matahari yang intens, badai petir) atau buatan manusia (pabrik, saluran transmisi, peralatan listrik di tempat kerja dan di rumah,

pencitraan resonansi magnetik, perawatan medis, dll.). Frekuensi medan listrik dan magnet yang umum digunakan dari catu daya listrik dan medan listrik dan magnet yang dihasilkan oleh saluran listrik dan perangkat listrik/elektronik adalah 50Hz di Eropa dan 60Hz di Amerika Utara. Efek biologis ELF-MF dan konsekuensinya terhadap kesehatan manusia telah menjadi bahan perdebatan public yang penting dan berulang. Sampai saat ini studi yang dilaporkan sebagian besar bertentangan sehubungan dengan studi epidemiologi (beberapa studi penelitian menemukan hubungan dengan perkembangan penyakit sementara yang lain gagal menemukan. Apakah paparan ELF-MF terkait dengan peningkatan risiko kesehatan, hal itu telah mengarahkan banyak ilmuwan untuk memeriksa mekanisme potensial di mana ELF-MF dapat mempengaruhi manusia(Angelika, K. 2021).

Ada banyak publikasi yang menjelaskan berbagai in vitro efek paparan medan elektromagnetik, meskipun signifikansi pengamatan ini untuk interpretasi klinis tidak berdasar. Mekanisme interaksi mendasar antara medan magnet ELF yang lemah dan sel juga kurang. meskipun beberapa mekanisme kandidat telah diusulkan. Banyak hipotesis telah diajukan, meskipun tidak ada yang didukung secara meyakinkan oleh data eksperimen. Sejumlah besar komponen seluler, sistem dan proses seperti proliferasi, morfologi, apoptosis, ekspresi gen dan diferensiasi, dapat dipengaruhi oleh paparan medan elektromagnetik. Meskipun peran peningkatan Ca intraseluler sudah didokumentasikan dengan baik lebih dari 20 tahun yang lalu, penelitian terbaru telah mengkonfirmasi peran peningkatan Ca. intraselulera-mengikuti paparan EMF(Angelo, C. D; Costantini, E; Kamal, M. A. 2015).

Hasil penelitian efek biologis pada risiko tumor otak oleh paparan medan elektromagnetik ELF yang signifikan untuk paparan tertinggi terhadap durasi kumulatif kurang dari 50m ke saluran dimana pun dan saluran tegangan tinggi tetapi tidak untuk saluran tegangan sangat tinggi, yang mengejutkan karena saluran tegangan sangat tinggi harus memancarkan lebih banyak ELF-MF daripada saluran dengan tegangan rendah. Tetapi saluran tegangan sangat tinggi lebih sering dibangun di daerah pedesaan dengan kepadatan penduduk rendah dan



digunakan untuk mengangkut daya, bukan untuk menyalurkannya dan seringkali sangat tinggi, hingga 100m. Oleh karena itu, tempat tinggal di dekat saluran tegangan sangat tinggi mungkin terjauh dari saluran daripada tempat tinggal di dekat saluran tegangan tinggi. Sehingga penelitian ini tidak menemukan hubungan yang signifikan untuk durasi kumulatif di koridor paparan, sedangkan kami dapat berharap bahwa paparan kurang dari 50m dan paparan di koridor harus serupa. Tetapi ambang 0,3 T sesuai dengan jarak lebih dari 50 m, dan hingga 400 m untuk saluran 400 kV dan dapat ditingkatkan. Selain itu, dalam penelitian kami, secara global, jumlah subjek yang sangat rendah terpapar ELF-MF, mungkin menyebabkan kurangnya kekuatan statistik (Camille, C; Yolande, E; Maxime, T; Clement, P. 2020).

Beberapa faktor intensitas atau lama paparan belum jelas terhadap peningkatan risiko kesehatan karena paparan EMF pada 50Hz dan 60Hz telah ditelaah oleh beberapa penulis ada juga pada peningkatan penggunaan mesin listrik dan peralatan elektronik, yang dapat menyebabkan kemungkinan peningkatan efek biologis logam dengan adanya medan magnet. Telah diketahui bahwa EMF menembus tubuh manusia dan bekerja pada semua organ, mengubah potensi membran sel dan distribusi ion. Kesimpulan dari hasil penelitian saat ini menunjukkan bahwa ELF-EMF meningkatkan kadar Mn di otak, ginjal dan hati tikus yang terpapar konsentrasi Mn yang diketahui, relatif terhadap tikus yang hanya terpapar konsentrasi Mn yang sama. Khususnya, peningkatan kadar Mn di otak tikus yang terpapar ELF-EMF, hal tersebut dapat meningkatkan efek perilaku dan neurotoksikologi, menyebabkan beberapa penyakit seperti penyakit Alzheimer, penyakit Parkinson dan penyakit Huntington, yang penting bagi manusia (Mustafa, K; Kemal, G; Veysi, A; Mehmet, Z; Mustafa, N; Yusuf, C. 2013).

Paparan medan elektromagnetik di sekitar kita tidak bisa di hindarkan, maka klasifikasi IARC pada tahun 2002 dan tinjauan sistematis yang diterbitkan pada tahun 2009 (SCENIHR. Kesehatan, 2009) memberikan berbagai kesimpulan yang sama tentang hubungan kanker dan paparan ELF-MF. Sebuah studi kasus-kontrol berbasis sertifikat kematian menemukan hubungan antara kematian tumor

otak dewasa dan hidup dari kabel listrik (I, Marcilio; N, Gouvanna; M.L, Pereira Filho; L, 2011). Sebuah studi kasus-kontrol baru-baru ini menemukan hubungan antara tumor otak dewasa dan khususnya meningioma(Baldi, I; Coureau, G; Jaffre, A; Gruber, A; Ducamp, S. 2011).

Sebuah studi kasus-kontrol yang lebih baru juga menemukan peningkatan tetapi tidak signifikan risiko tumor otak dewasa di antara subjek yang tinggal sangat dekat dengan saluran listrik yang kurang dari 50 m. Menurut Sudarti, 2013 menyebutkan bahwa keberadaan jaringan transmisi mempengaruhi peningkatan medan listrik ataupun medan magnet ELF di lingkungan sekitar. Dalam penelitiannya, mengungkapkan adanya keluhan yang diderita oleh masyarakat yang terkena paparan diantara lain adalah gangguan tidur, rasa mual, sakit kepala, sulit bernapas, dan vertigo. Menurutnya, hal ini tidak disebabkan dominan oleh paparan medan magnet ELF yang bersumber dari jaringan transmisi bukan sebagai faktor dominan penyebab timbulnya keluhan kesehatan yang berkepanjangan tersebut(Sudarti, 2013). Tapi ada banyak perbedaan antara studi dalam penilaian eksposur pengukuran jangka panjang, pengukuran spot atau bidang yang dihitung. Selain itu, kebanyakan dari mereka tidak mempertimbangkan subtype histologis tumor otak.

Beberapa penelitian kesehatan tersebut, hanya menunjukkan indikasi-indikasinya saja masih belum ada yang dapat mengatakan bahwa penelitian tersebut signifikan dan dapat menjadikan kanker otak, tumor otak, dan lain-lain. Namun masih perlu membuktikan pengaruh dari mekanisme biofisik yang mendasari seperti massa jenis dan volume otak. Dalam penelitian ini, bertujuan untuk mengkaji massa jenis dan volume otak akibat paparan gelombang elektromagnetik ELF pada mencit. Peneliti bermaksud melakukan penelitian tersebut dengan judul **“Pengaruh Radiasi Medan Magnet Elf Intensitas 100  $\mu$ t Dan 500  $\mu$ t Terhadap Massa Jenis Dan Volume Otak Mencit Balb/C ”**.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berkaitan dengan uraian latar belakang di atas, maka beberapa permasalahan yang dapat dirumuskan dalam penelitian ini adalah sebagai



berikut.

- a. Apakah lama paparan medan magnet ELF dengan intensitas  $100\mu\text{T}$  dan  $500\mu\text{T}$  berpengaruh terhadap Volume Otak Otak mencit Balb/C?
- b. Apakah lama paparan medan magnet ELF dengan intensitas  $100\mu\text{T}$  dan  $500\mu\text{T}$  berpengaruh terhadap Massa Jenis mencit Balb/C?

### 1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan Rumusan masalah diatas untuk memfokuskan pembahasan permasalahan yang ada pada penelitian ini, maka diperlukan Batasan masalah sebagai berikut.

- a. Intensitas medan magnet yang digunakan dalam penelitian ini  $100\ \mu\text{T}$  dan  $500\ \mu\text{T}$ .
- b. Medan listrik dikondisikan tidak berbeda dengan alamiah.
- c. Waktu pemaparan medan magnet ELF (*Extremely Low Frewuency*) 2 jam 15 hari dan 30 hari berturut-turut.
- d. Sampel yang digunakan adalah mencit Balb/C.
- e. Waktu pemaparan dilakukan selama waktu kerja 2 jam selama 15 hari dan 30 hari dengan 2 intensitas yang berbeda.
- f. Variabel yang diukur ialah massa jenis dan volume otak.
- g. Penelitian ini untuk mengaplikasikan medan magnet ELF (*Etremely Low Frequency*) terhadap massa jenis dan volume otak mencit Balb/C.
- h. Sampel yang digunakan pada penelitian ini yaitu mencit Balb/C usia 1 bulan.
- i. Jenis kelamin mencit yang digunakan dalam penelitian adalah jantan.

### 1.4 Tujuan Penelitian

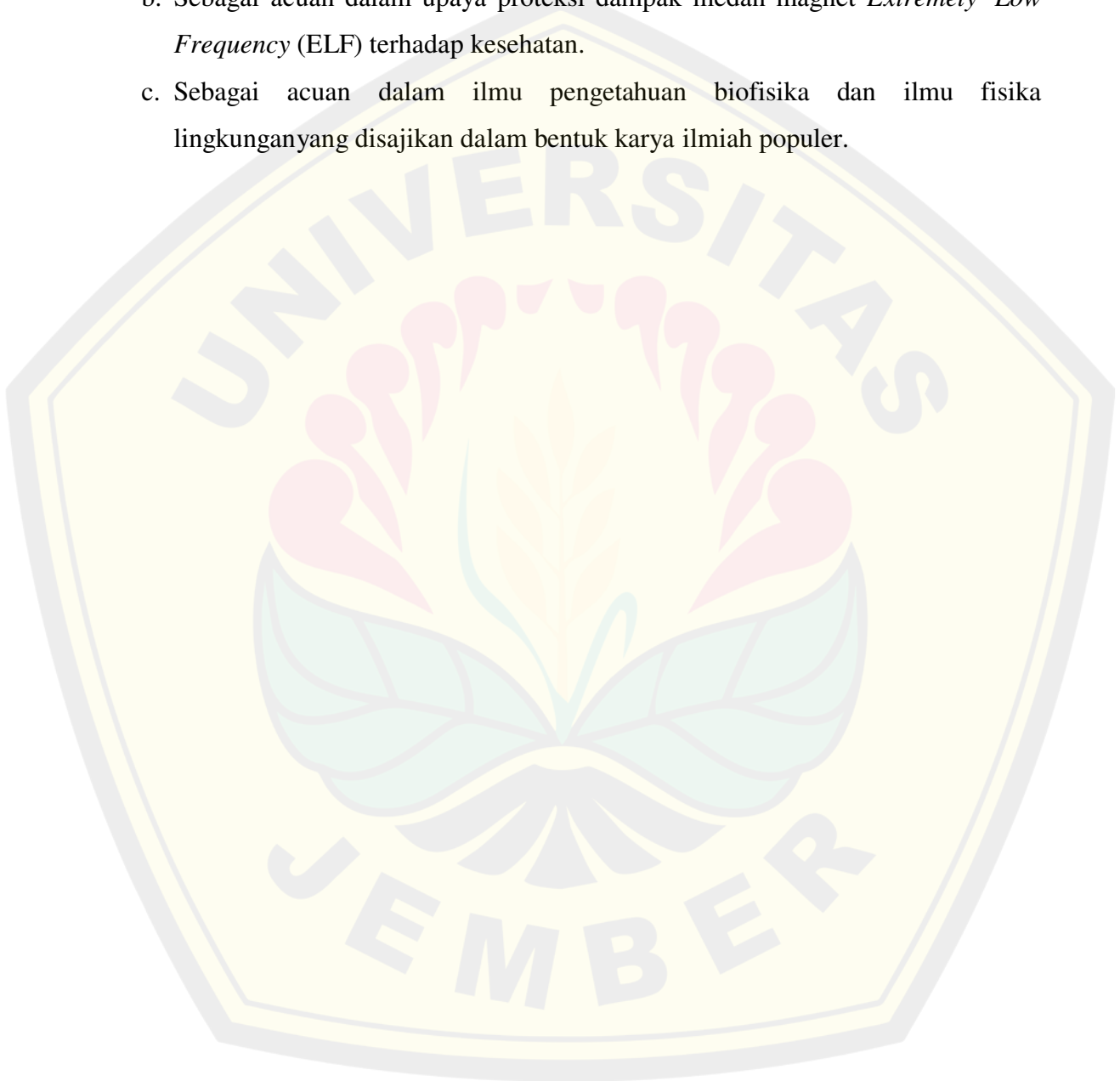
Berdasarkan rumusan di atas, maka tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah.

- a. Mengkaji pengaruh paparan medan magnet ELF  $100\mu\text{T}$  dan  $500\mu\text{T}$  terhadap volume otak mencit.
- b. Mengkaji pengaruh paparan medan magnet ELF  $100\mu\text{T}$  dan  $500\mu\text{T}$  terhadap massa jenis otak mencit

### 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari peneliti adalah.

- a. Sebagai informasi ilmiah tentang pengaruh paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) dengan intensitas 100  $\mu\text{T}$  dan 500  $\mu\text{T}$  terhadap massa jenis dan volume otak menci
- b. Sebagai acuan dalam upaya proteksi dampak medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap kesehatan.
- c. Sebagai acuan dalam ilmu pengetahuan biofisika dan ilmu fisika lingkungan yang disajikan dalam bentuk karya ilmiah populer.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Gelombang Elektromagnetik *Extremely Low Frequency* (ELF)

Berdasarkan teori medan magnet, bahwa disekitar kawat konduktor yang dialiri arus akan timbul medan magnet, jika arus yang mengalir adalah arus bolak-balik (AC atau *Alternating Current*) maka menurut Maxwell disekitar kawat konduktor tersebut akan timbul rambatan gelombang elektromagnetik yang terdiri dari komponen medan listrik dan medan magnet (Simanjuntak, 1985). Energi yang ditransmisikan melalui saluran transmisi dari sumber daya PLN adalah berupa gelombang tegangan listrik bolak-balik yang merambatkan arus AC melalui kawat konduktor dengan frekuensi 50 Hz atau 60 Hz, sehingga konduktor pada jaringan transmisi PLN merupakan sumber paparan medan elektromagnetik. Radiasi yang dihasilkan oleh muatan yang bergerak osilasi, seperti arus AC pada konduktor dari sumber PLN tersebut adalah tergolong radiasi tidak mengion dan di dalam spektrum gelombang elektromagnetik berada pada frekuensi sangat rendah yaitu kurang dari 300 Hz dan disebut sebagai gelombang elektromagnetik frekuensi sangat rendah (*Extremely Low Frequency*). Berdasarkan uraian di atas, maka dapat disimpulkan bahwa gelombang elektromagnetik *ELF* merupakan spektrum medan elektromagnetik pada frekuensi sangat rendah yaitu <300 Hz. Medan ini terdiri dari komponen medan listrik dan medan magnet dan umumnya dihasilkan di sekitar aliran arus listrik AC pada suatu konduktor dan termasuk radiasi *non-ionizing* (Ariangga, 2015).

Gelombang elektromagnetik *Extremely Low Frequency* (ELF) mempunyai rentang frekuensi 0-300 Hz. Gelombang ELF ini dihasilkan di sekitar aliran listrik seperti disepanjang kabel atau peralatan listrik. Radiasi gelombang elektromagnetik ELF merupakan radiasi non-pengion, dan dalam spektrum gelombang elektromagnetik berada pada frekuensi yang sangat rendah yaitu kurang dari 300 Hz, maka disebut gelombang elektromagnetik frekuensi sangat rendah (*Extremely Low Frequency*), yang mana radiasi ini dihasilkan oleh osilasi gerakan suatu muatan seperti arus AC pada konduktor dari sumber

PLN(Sudarti, 2010). Menurut (Sudarti, 2002:76) menyatakan bahwa energi medan elektromagnetik ELF sangat kecil maka efek yang ditimbulkan adalah sebagai efek non termal, yang berarti tidak menimbulkan perubahan suhu saat berinteraksi dengan suatu zat atau saat menginduksi materi. Hal tersebut dikarenakan rata-rata peningkatan suhu oleh paparan medan Elektromagnetik *Extremely Low Frequency* (ELF) umumnya  $< 0.001^{\circ}\text{C}$ , sehingga peningkatan suhu yang ditimbulkannya sangat kecil dan tidak menimbulkan efek biologis. Dalam penelitian (Pratama, 2021) EMF Tester merupakan suatu alat yang dimanfaatkan untuk mengukur besar medan magnet yang dihasilkan dari alat CT dan digunakan sebagai kalibrasi besarnya medan magnet yang akan digunakan dalam penelitian. Adapun prosedur pengoperasian EMF-827, sebagai berikut.

- 1) Memposisikan "off range switch" ke range yang sesuai. Memulai dari range tertinggi dan tunggu hingga nilai terukur stabil lalu gantilah ke range yang diinginkan.
- 2) Memegang probe sensor, kemudian mendekatkan kepala sensor ke objek yang akan diukur sehingga tersentuh secara fisis. Memperhatikan bagaimana intensitas medan bertambah atau menurun ketika probe didekatkan ke arah objek.
- 3) Memposisikan kepala sensor di sudut yang berbeda terhadap objek yang akan diukur dan lihat bagaimana pengaruhnya terhadap hasil pengukuran.
- 4) Mencatat hasil pengukuran yang tertera pada layar. Jika objek yang diukur mati selama pengukuran, seharusnya hasil pengukuran mendekati nol, jika tidak maka artinya ada sumber EM lain yang terdeteksi.
- 5) Alat ukur didesain untuk membaca satuan  $\mu\text{T}$  tetap dapat pula mengukur dalam satuan mG dengan cara mengalikan hasil pengukuran dengan angka 0.

#### 2.1.1 Sumber Paparan Gelombang Elektromagnetik ELF

Sumber paparan gelombang elektromagnetik berasal dari sumber alamiah dan sumber buatan. Sumber paparan alamiah diantaranya yaitu: medan magnet bumi, sinar matahari maupun radiasi sinar kosmik. Gelombang elektromagnetik ini terdiri atas medan listrik dan medan magnet. Medan listrik berasal dari proses

atmosfer dan magnetosfer yang menghasilkan sinyal dengan frekuensi mencapai beberapa Mega Hertz ( $1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$ ), dan variasi ELF muncul karena adanya aktivitas matahari di ionosfer dan efek atmosfer seperti pelepasan muatan petir yang menyebabkan resonansi osilasi dalam ionosfer bumi. Sedangkan medan magnet berasal dari medan magnet bumi yang secara berkelanjutan berubah-ubah yang besarnya sekitar 25 sampai  $60 \mu\text{T}$ , sedangkan resonansi Schumann menghasilkan medan magnet sekitar  $105 \mu\text{T}$  pada frekuensi 6 sampai 60 Hz (Swerdlow, 2006).

Sedangkan secara buatan, medan magnet dapat dihasilkan oleh aliran arus pada kabel pembangkit listrik dan penggunaan alat-alat elektronik (WHO, 2007). Setiap alat elektronik mempunyai medan magnet yang sebanding dengan arus yang mengalir dari sumber menuju peralatan yang terhubung. Hal tersebut sesuai dengan percobaan Hans Christian Oersted pada tahun 1820 yang menemukan bahwa arus listrik dapat menghasilkan medan magnet (Halliday dan Resnick, 1997).

### 2.1.2 Energi di Dalam Gelombang Elektromagnetik dan Vektor Poynting

Perambatan gelombang di sekitar senar yang memindahkan energy dengan gelombang sebanding dengan kuadrat dari amplitude gelombang. Teori elektromagnetik menjelaskan bahwa kerapatan energy ( $\text{J/m}^3$ ) berhubungan dengan gelombang elektromagnetik sebagai

$$U = \frac{(D \cdot E + B \cdot H)}{2} \quad (2.1)$$

Dengan menggunakan hubungan  $D = \epsilon E$  dan  $B = \mu H$  jika diaplikasikan ke medium perambatan

$$U = \frac{1}{2} \left( \epsilon E + \frac{B^2}{\mu} \right) = \frac{1}{2} \left( \epsilon + \frac{1}{\mu c^2} \right) E^2 \quad (2.2)$$

Pada ruang vakum, lebih disederhanakan

$$U = \epsilon_0 E^2 = \frac{B^2}{\mu_0} \quad (2.3)$$

(Guenther, 1990:33).

Selain merambat, gelombang juga membawa energy. Perubahan kerapatan energy (energy tiap satuan luas penampang, tiap satuan waktu) yang dipindahkan dinyatakan dengan vector poynting (Griffiths, 1999:380). Vector poynting

didefinisikan sebagai produk vector dari vector intensitas medan listrik dan vector medan magnetic pada suatu gelombang elektromagnetik. Pengertian fisik dari vector poynting yang menggambarkan laju energy per satuan waktu per satuan luas penampang medium yang dilalui oleh gelombang, baik harga sesaat atau harga rata-rata. Nilai vector poynting yang besar, berarti menggambarkan intensitas gelombang elektromagnetik yang besar juga (Effendi *et al.*, 2007:130-131). John Henry Poynting mendemonstrasikan bahwa kehadiran medan listrik dan medan magnet pada saat yang sama di tempat menghasilkan aliran pada medan energy, yang disebut teorema Poynting dan vector Poynting dideskripsikan

$$\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H} \quad (2.4)$$

Dimana  $S$  adalah laju energy rata-rata per meter yang dipindahkan melalui gelombang elektromagnetik ( $\text{J}/(\text{s}\cdot\text{m}^2) = \text{W}/\text{m}^2$ );  $H$  adalah kuat medan magnet ( $\text{A}/\text{m}$ );  $E$  adalah kuat medan listrik ( $\text{N}/\text{C}$ ) (Guenther,1990:33-34).

## 2.2 Medan Magnet

Medan magnet merupakan gaya pada muatan yang bergerak (seperti aliran arus electron dalam kawat) sama dengan muatan yang mengalir seperti yang lainnya. Medan magnet tidak bermuatan diam tetapi medan magnet yang terdapat di sekitar kawat, pada umumnya mengalir dalam kawat. Medan magnet mengelilingi loop atau *loop* pada umumnya, dari kawat hingga pada gulungan kawat. Udara yang berada pada kawat dalam gulungan berkonsentrasi hanya pada medan magnet yang mendekati pusat gulungan. Apabila suatu muatan  $q$  bergerak dengan kecepatan  $v$  dalam pengaruh medan magnetic  $B$ , maka gaya magnetic  $F$  yang terdapat pada muatan adalah:

$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (2.5)$$

(Tipler, 2001:211).

Analog dengan  $D$  dalam elektrostatika, dimana kita memiliki yang bisa disebut dengan induksi magnetik  $B$  dalam magnetostatika, yang dihubungkan dengan kuat medan magnet  $H$  dengan persamaan :

$$\mathbf{B} = \mu_0\mathbf{H} \quad (2.6)$$

Dimana  $\mu_0$  merupakan permabilitas bahan. Medan magnet disebabkan oleh



adanya gerak pada perpindahan suatu muatan. Kekuatannya dapat diukur dengan menggunakan satuan (A/m) adapun biasanya pada istilah induksi magnetika diukur dengan menggunakan sebuah satuan yang disebut dengan Tesla (T), mili Tesla (mT), dan mikro Tesla ( $\mu\text{T}$ ) (Peter, 2018:62).

Paparan medan magnet dapat mempercepat laju ion melalui fluks magnetik. Fluks magnetik merupakan jumlah total garis gaya magnet yang dapat menembus suatu luas A. fluks magnetik dalam satuan internasional adalah weber. Besar dari fluks magnetik dipengaruhi oleh tiga faktor, yaitu induksi magnetik atau rapat garis gaya magnet (B), luas penampang bidang (A), dan juga sudut antara garis gaya magnet dan garis normal (Umar, E, 2018:60-61). Secara matematis fluks magnetik dapat dituliskan sebagai berikut:

$$B = \frac{\phi}{A} \quad (2.7)$$

Densitas fluks magnet merupakan fluks magnet per satuan luas penampang yang tegak lurus terhadap arah fluksnya.



Gambar 2.1 Penampakan Garis Medan Magnetik pada Bidang Datar

(Sumber: <https://unej.id/RGAM5zg> )

Fluks magnetik tersebut sebanding dengan jumlah garis yang melalui luasan tersebut karena medan magnetik sebanding dengan jumlah garis medan magnetik persatuan luas. Hal tersebut berbeda apabila medan magnetik tidak tegak lurus terhadap permukaannya, maka sudut mempengaruhi besarnya fluks magnet sesuai dengan persamaan berikut.

$$\phi = B A \cos \theta \quad (2.8)$$

dimana :

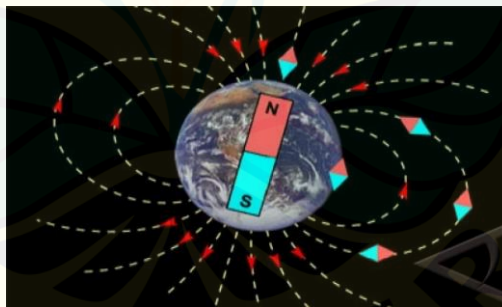
$\phi$  = fluks magnetic (Webber)

B = medan magnet ( $\text{Wb/m}^2$ )

A = luas penampang bahan yang dilalui garis gaya magnetic ( $\text{m}^2$ )

$\theta$  = sudut antara garis gaya magnet dengan permukaan bidang ( $^\circ$ )

Medan magnet sebagian dapat menembus bangunan, pepohonan dan objek lainnya. Sehingga, secara tidak langsung medan magnet sendiri telah memberikan dampak bagi manusia. Paparan medan magnet dengan intensitas yang sangat besar akan memberikan dampak buruk, khususnya untuk kesehatan. Namun, terdapat pula medan magnet dengan intensitas rendah yang biasa disebut dengan *Extremely Low Frequency* (ELF). Medan magnet ini menghasilkan energi yang rendah. ELF merupakan radiasi non ionizing dan efek yang ditimbulkan bersifat non formal. Setiap peralatan elektronika menghasilkan medan magnet ketika dialiri arus listrik. Hal ini sesuai dengan penelitian Oersted pada tahun 1819 bahwa arus listrik dapat menimbulkan medan magnet. James Clerk Maxwell mengembangkan suatu teori lengkap tentang listrik dan magnetism yang menunjukkan bahwa suatu perubahan medan listrik akan menghasilkan medan magnet. Tidak ada gelombang elektromagnetik yang hanya berupa perambatan osilasi medan magnet atau medan listrik saja (Tipler, 2001).



Gambar 2.2 Medan Magnet Bumi

(Sumber: <https://unej.id/64-YFuC> )

Medan magnet ELF memiliki spektrum gelombang dengan frekuensi kurang dari 300Hz dan termasuk dalam radiasi yang bersifat non-pengion (Tarigan, 2013). World Health Organization, 2007 menyatakan medan magnet ELF memiliki sifat yang tidak terhalangi atau medan magnet ELF dapat



menembus benda atau suatu materi biologis. Efek yang ditimbulkan dari medan magnet ELF berupa efek non-termal, artinya medan magnet ELF tidak dapat menimbulkan perubahan suhu ketika berinteraksi dengan suatu zat atau pada saat menginduksi materi (Sudarti *et al.*, 2017). Spectrum gelombang elektromagnetik terdiri dari radiasi ionizing dan radiasi non-ionizing. Radiasi non-ionizing adalah radiasi elektromagnetik yang tidak memiliki cukup energy untuk memindahkan electron dari atom atau molekul.

Secara alami terdapat kedekatan manusia dengan medan listrik. Hal tersebut disebabkan medan listrik sudah ada sejak bumi kita terbentuk. Awan yang mengandung potensial air memiliki medan listrik. Demikian pula bumi secara alamiah bermedan listrik. Pada kehidupan modern dewasa ini, peralatan listrik makin banyak digunakan oleh manusia untuk memperoleh kemudahan. Laju pertumbuhan konsumsi tenaga listrik di Indonesia ternyata di atas angka rata-rata di Asia Timur yaitu sekitar 7,9% per tahun dan jauh di atas rata-rata pertumbuhan konsumsi tenaga listrik dunia yang berkisar 3,6% per tahun (Busman & Muhartono, 2013).

Medan elektromagnetik (EMF) merupakan area energi yang tidak terlihat, juga diklaim sebagai gelombang atau radiasi. Mereka diukur pada hertz (Hz), & biasanya dicirikan oleh panjang gelombang atau frekuensi sebagai 2 kategori: pengion (frekuensi menengah ke tinggi, lebih kuat) & radiasi non-pengion (frekuensi rendah, kurang kuat). Gelombang yang dipancarkan berdasarkan ponsel merupakan jenis radiasi non-ionisasi yang diklaim menjadi bidang frekuensi radio, atau frekuensi radio. Frekuensi radio terletak pada rentang spektrum elektromagnetik 30 kilohertz (kHz) sampai 300 gigahertz (GHz) (Scholz, 2019).

### 2.2.1 Karakteristik Medan Magnet ELF

Karakteristik medan magnet yaitu mampu menembus sebagian besar bahan material seperti bangunan, pepohonan, dan objek lainnya lebih baik dibandingkan medan listrik. Berdasarkan karakteristik yang dimiliki medan magnet, dikhawatirkan akan menimbulkan dampak negative bagi kesehatan manusia. Adapun peraturan Standar PLN (SPLN No.112/1994) dalam Udiklat

Bogor PT PLN menetapkan ambang batas medan magnet berdasarkan rekomendasi INIRC, IRPA, dan WHO 1990 secara terus menerus adalah 100  $\mu\text{T}$  dan selama jam kerja sebesar 500  $\mu\text{T}$  (Suhatin et al., 2017).

Gelombang elektromagnetik Extremely Low Frequency banyak dihasilkan dari penggunaan arus bolak balik (AC) pada peralatan listrik dalam kehidupan sehari-hari seperti arus listrik PLN. Spektrum gelombang elektromagnetik terdiri dari radiasi ionizing dan radiasi non-ionizing, Radiasi non-ionizing adalah radiasi elektromagnetik yang tidak memiliki cukup energi untuk memindahkan elektron dari atom atau molekul (Sudarti et al., 2018).

Secara umum medan magnet ELF memiliki karakteristik antara lain sebagai berikut:

- 1) Tergolong dalam spektrum gelombang elektromagnetik
- 2) Rentang frekuensi medan magnet ELF antara 0 hingga 300 Hz
- 3) Termasuk dalam radiasi non-pengion (non-ionizing radiation)
- 4) Medan magnet ELF bersifat tak terhalangi atau dapat menembus benda dan suatu materi, contohnya seperti dinding bangunan.
- 5) Sumber paparan medan magnet mudah untuk didapat yaitu dari piranti elektronika yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari seperti pada saluran listrik, kabel listrik, dan lain sebagainya.

#### 2.2.2 Medan Magnet Terhadap ELF

Medan magnet bumi merupakan medan magnet dengan frekuensi yang ekstrim rendah. Beberapa penelitian laboratorium dilakukan oleh para peneliti di negara-negara maju sehubungan dengan efek medan magnet ELF bagi kesehatan. Beberapa faktor telah dicoba menggunakan berbagai frekuensi yang dihasilkan dari energi listrik maupun energi magnet. Hasil eksperimen tersebut menunjukkan beberapa bukti bahwa paparan medan magnet ELF memberikan dampak bagi kesehatan. Medan listrik dapat memengaruhi sekresi kelenjar endokrin, respon terhadap stimulasi hormonal, pertukaran ion kalsium pada otak, reaktivitas kekebalan limfosit, kejutan listrik pada jaringan syaraf, dan pada kecepatan tumbuh jaringan. Oleh karena itu, radiasi medan magnet ELF memberikan

dampak bagi janin dalam kehamilan (Fajri et al., 2015).

### 2.2.3 Medan Magnet Terhadap Otak

Medan magnet terjadi di otak dan menyebar di sekitar otak yang dapat dideteksi dengan metode magnetoencephalography (MEG; medan magnet) (Agnati, LF, Guidolin, D., Maura, G., Marcoli, 2018). Faktor-faktor yang menghasilkan medan elektromagnetik otak adalah potensial aksi, suatu fenomena yang terjadi pada neuron yang mengakibatkan depolarisasi membrane, dengan keluarnya ion melalui membrane sel menghasilkan arus ion yang selalu dikaitkan dengan medan magnet yang tegak lurus arahnya menurut metode aturan tangan kanan (Sing, 2014). Arus dendritik neuron pyramidal yang secara bersamaan menembak secara paralel adalah medan magnet otak. Salah satu bentuk potensial aksi yang terjadi di otak adalah osilasi saraf. Osilasi saraf didefinisikan sebagai pola berulang dari potensial aksi yang terjadi pada neuron di sistem saraf pusat. Sementara osilasi yang terkait dengan satu neuron tidak berwujud, aktivitas yang disinkronkan dari sejumlah besar neuron dapat menimbulkan osilasi besar, menghasilkan medan elektromagnetik yang lebih kuat, dapat diamati dengan MEG atau EEG. Potensial aksi biasanya tidak menghasilkan medan yang efektif, karena aliran yang terkait dengan aliran potensial aksi dalam arah yang berlawanan dan medan magnet otak tidak melebihi kekuatan 1000 femtotesla (10-15 Tesla). Salah satu studi menunjukkan bahwa sumber utama medan magnet adalah di wilayah sistem limbic, termasuk dari septum ke otak depan, serta mencakup area dari hipotalamus ke otak tengah ventral dan termasuk hipokampus (Khan, S., Cohen, 2019).

### 2.2.4 Batas Ambang Radiasi Medan Listrik Dan Medan Magnet ELF

Lembaga yang telah di akui oleh WHO untuk menentukan standart paparan elektro magnetik yakni International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Telah menentukan pedoman yang di rekomendasikan untuk batasan paparan radiasi medan elektroagnetik yang di tinjau secara berkala dan di perbaharui jika di perlukan. Hal tersebut dikarenakan tingkat radiasi medan elektromagnetik sering berubah ubah. Tabel di bawah merupakan rangkuman dari pedoman ambang batas paparan di tiga wilayah yang

menjadi fokus perhatian listrik di rumah, handphone, dan microwave.

Tabel 2.1 Pedoman Radiasi oleh ICNIRP

<i>European power frequency</i>		<i>Mobile phone base station frequency</i>		<i>Microwave oven frequency</i>	
<i>Frequency</i>	50Hz	50Hz	900Hz	1.8Hz	2.45Hz
Electric field (V/m)	Magnetic field ( $\mu T$ )	Power density ( $W/m^2$ )	Power density ( $W/m^2$ )	Power density ( $W/m^2$ )	
<i>Public exposure limits</i>	5000	100	4.5	10	
<i>Occupational Exposure Limits</i>	10000	500	22.5	45	

Sumber: (Organization, 2007).

Seperti yang kita ketahui manusia merupakan makhluk yang terdiri dari berbagai macam sel yang ada di dalam tubuh. Sehingga tanpa kita sadari manusia sendiri menghasilkan arus. Hal tersebut, menyebabkan sel-sel atau jaringan pada tubuh manusia tidak dapat mendeteksi arus tingkat dasar yang masuk oleh dorongan medan elektromagnetik.

Efek utama dari energi radiofrekuensi adalah pemanasan jaringan. Akibatnya, pedoman paparan untuk frekuensi radio dan gelombang mikro sudah hiap untuk mencegah efek kesehatan yang disebabkan oleh pemanasan seluruh tubuh. Sesuai dengan pedoman tersebut akan memastikan bahwa efek pemanasan yang cukup kecil tidak merugikan.

Tabel 2.2 Paparan Maksimum Medan Elektromagnetik

<i>Source</i>	<i>Typical maximum public exposure</i>	
	<i>Electric field (V/m)</i>	<i>Magnetic flux density (<math>\mu T</math>)</i>
<i>Natural fields</i>	200	70 ( <i>earth's magnetic field</i> )
<i>Mains power (in Homes not close To power lines)</i>	100	0.2
<i>Mains power (beneath large Power lines)</i>	10000	20
<i>Electric trains and trams</i>	<i>Typical maximum public exposure (<math>W/m^2</math>)</i>	
<i>TV and computer Screens (at Operator position)</i>		
<i>TV and radio transmitters</i>	0.1	
<i>Mobile phone base stations</i>	0.1	
<i>Radars</i>	0.2	
<i>Microwave ovens</i>	0.5	

Sumber: (Organization, 2007).

### 2.3 Batas Ambang Paparan Medan Listrik dan Medan Magnet terhadap Kesehatan

Badan kesehatan World Health Organization (WHO) merekomendasikan bahwa nilai ambang batas paparan medan listrik dan medan magnet 50/60 Hz disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 2.3 Batas Paparan Medan Listrik dan Medan Magnet 50/60 Hz

No	Paparan	Intensitas Medan Listrik (kV/m)	Intensitas Medan Magnet ( $\mu T$ )
1	Kelompok petugas:		
	- Sepanjang hari kerja .	10	500
	- Jangka pendek.	30	5000
2	Kelompok umum:		
	- Sampai 24 jam/hari.	5	100
	- Beberapa jam/hari.	10	1000

Sumber: (Organization, 2007).



Batas paparan tersebut berdampak pada efek klinis. Manusia yang secara klinis tampak sehat, belum tentu secara biologi sehat. Sehingga masih ada kekhawatiran tentang nilai ambang batas paparan medan magnet dan medan listrik yang direkomendasikan oleh WHO pada efek biologis. Oleh karena itu mekanisme efek biologis oleh paparan medan magnet ELF pada intensitas 500  $\mu\text{T}$  masih perlu dikaji. Selain itu standar internasional untuk batas keamanan sampai saat ini belum stabil, karena belum memperhitungkan berbagai perbedaan ras, negara dan lain-lainnya. Bagaimanapun paparan medan magnet ELF pada pekerja dan masyarakat perlu dilakukan pengukuran dan standarisasi untuk memastikan adanya faktorpatogen.

## 2.4 Hasil Pengukuran Medan Magnet ELF

### 2.4.1 Hasil Pengukuran Medan Magnet ELF di Peralatan Rumah Tangga

(Tri Tugaswati, Athena., Sukar., and Soesanto, 2000), melaporkan bahwa hasil pengukuran medan magnet di dalam rumah terhadap 207 rumah tangga, ditemukan 90% nilai induksi magnetik berada di bawah 0,182  $\mu\text{T}$  (Organization, 2007).

Tabel 2.4 Hasil Pengukuran Medan Magnet ELF di Sekitar Peralatan Rumah Tangga

No.	Nama Peralatan	Medan Magnet ( $\mu\text{T}$ ) pada jarak X		
		x = 3 cm	x = 30 cm	x = 100 cm
1.	Hair dryers	6 – 2000	< 0,01 – 7	0,01 - 0,3
2.	Televisi	2,5 – 130	0,04 – 2	< 0,01 - 0,15
3.	Vacum Cleaners	200 – 800	2 – 20	0,13 – 2
4.	Mixers	60 – 700	0,6 – 10	0,02 - 0,025
5.	Microwave Ovens	75 – 200	4 – 8	0,25 - 0,6
6.	Blenders	25 – 130	0,6 – 2	0,03 - 0,12
7.	Electric Ovens	2,5 – 50	0,15 - 0,5	0,01 - 0,04
8.	Fluorescent Lamps	40 – 400	0,5 – 2	0,01 – 3

Sumber: (Organization, 1987).

Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, bahwa intensitas medan magnet di sekitar peralatan listrik di dalam rumah masih berada jauh di bawah nilai ambang batas yang diperkenankan WHO, yaitu 100  $\mu\text{T}$  untuk pemaparan sepanjang hari. Namun Roland tetap menyarankan, bahwa untuk mengurangi paparan medan magnet maka jarak seseorang yang berada di depan layar *Vidio*

*Display Terminal* (VDT) hendaknya lebih dari 18 inchi, sementara bagian belakang monitor TV hendaknya berhadapan dengan sisi tembok.

#### 2.4.2 Hasil Pengukuran Medan Magnet ELF di Sekitar Peralatan Medis

Hasil pengukuran medan magnet di ambient sekitar peralatan medis telah dilakukan di Rumah Sakit Dr. Soetomo, di Laboratorium FKG Universitas Jember, dan di Laboratorium Patobiologi FK UNAIR Surabaya, yang hasilnya disajikan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 2.5 Hasil Pengukuran Medan Magnet ELF di Sekitar Peralatan Medis

No	Peralatan Medis	<u>Intensitas Medan Magnet Pada Jarak x</u> <u>(<math>\mu</math>T)</u>		
		x = 10-2- cm	x = 40-60 cm	x = 100-300 cm
1	Lampu baca film X-ray		0,190-0,200	0,040-0,090
2	Mesin operator CT-Scan	0,100-0,230		
3	Ruang CT-Scan	0,250-0,330	0,330-0,580	0,310-0,330
4	Infant warmer	0,088-0,090	0,034-0,035	0,020-0,021
5	Photo Terapy	1,450-1,500	0,018-0,023	0,015-0,016
6	Atom Infant Incubator	0,140-0,175	0,025-0,030	
7	Electro Miography	0,100-1,260	0,114-0,120	1,130-0,1250
8	Ultrasonic Diathermy	0,026-0,030		
9	Cervical Traction (Traccy)	8,900-10,400	0,052-0,065	0,018-0,020
10	Electrical Stimulation	0,88-0,115	0,045-0,046	
11	Embitron	3,130-8,300	0,100-0,102	
12	Short Wave Diathermy	2,200-2,900		0,014-0,016
13	Laser Therapy	0,365-0,450		0,075-0,106
14	Ultrasonography (USG)		0,215-0,221	
15	MRI		0,131-0,158	
16	Klinik Kedokteran Gigi	0,162 - 0,165		0,075-0,101
17	Lapangan Terbuka			0,049-0,050

Sumber: (Sudarti dan Hidayah, 2016).

Berdasarkan hasil pengukuran tersebut di atas, maka dapat disimpulkan bahwa intensitas medan magnet di lingkungan kerja dengan peralatan medis masih berada jauh di bawah nilai ambang batas yang diperkenankan WHO, yaitu di bawah 500  $\mu$ T untuk pemaparan sepanjang jam kerja. Terdapat intensitas medan magnet di sekitar beberapa alat mencapai intensitas lebih dari 10  $\mu$ T, hal ini kiranya perlu dicermati mengingat beberapa hasil penelitian melaporkan ada kemungkinan efek biologis oleh paparan medan magnet 10  $\mu$ T.

## 2.5 Hasil Penelitian Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF)

Adapun penelitian sebelumnya yang relevan sebagai berikut.

### 2.5.1 Hasil Penelitian ELF Terhadap Perubahan Fungsional pada Otak Manusia

Pengaruh ELF-MF terhadap aktivitas otak juga didukung oleh beberapa studi neurofisiologis yang menunjukkan perubahan aktivitas elektroensefalografik setelah paparan ELFMF dengan peningkatan ritme alfa. Namun, pentingnya data ini dan korelasinya dengan laporan klinis dan perilaku masih belum jelas. Studi *in vitro* menunjukkan bahwa ELF-MF memodifikasi ekspresi gen dalam sel mirip neuron (Pirozzoli *et al.*2003), mempromosikan pertumbuhan neurit, mengurangi apoptosis (Oda dan Koike.2004) dan memfasilitasi diferensiasi neuron sel punca/progenitor saraf dengan meningkatkan ekspresi dan fungsi saluran kalsium (Piacentini *et al.*2008). Baru-baru ini, Manikonda *et al.*2007 menunjukkan modifikasi dalam fungsi reseptor NMDA yang dimediasi oleh perubahan  $Ca^{2+}$  pensinyalan di hippocampus tikus yang terpapar medan magnet 50 Hz.

### 2.5.2 Hasil Penelitian ELF Alami dan EEG/Aktivitas Otak

Dr.Neil Cherry telah menyelidiki bahwa penyerapan resonansi sinyal SR di otak manusia secara klasik masuk akal karena pencocokan rentang frekuensi osilasi dari spektrum SR dan ritme EEG. Sinyal Resonansi Schumann dihasilkan oleh badai petir tropis dan merupakan seperangkat mode resonansi di dalam rongga resonansi yang terbentuk antara permukaan bumi dan wilayah Dionosfer. Ini terdiri dari spektrum puncak resonansi ULF / ELF dengan frekuensi dasar sekitar 7,8 Hz dan puncak resonansi luas biasanya pada 14, 20, 26, 33, 39, 45 dan 51 Hz.

Lima mode SR pertama (0-35 Hz) bertepatan dengan rentang frekuensi empat pita EEG pertama. Pita frekuensi EEG utama adalah: Delta, 0,5 hingga 4 Hz, Theta, 4-8 Hz, Alpha, 8-13 Hz dan 13 hingga 30 Hz. Oleh karena itu penyerapan dan reaksi resonansi secara biofisik masuk akal. Dr Cherry juga menunjukkan bahwa ada bukti hubungan homeostatic terhadap efek neurologis dari indeks S/GMA yang berubah yang sangat berkorelasi dengan intensitas sinyal SR. Irena Cosic menyelidiki respons sinyal elektrofisiologis manusia terhadap



sinyal ELF Schumann Resonance. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa frekuensi antara 8,8 dan 13,2 Hz, yang berada di antara puncak resonansi Schumann, terutama berkorelasi dengan sinyal elektrofisiologis manusia yang dianalisis. Studi ini juga menegaskan bahwa tubuh manusia menyerap, mendeteksi, dan merespons sinyal EMF lingkungan ELF (Kulkarni, Girish dan Gandhare, 2015).

#### 2.5.3 Hasil Penelitian Metastasis Kanker Otak oleh AM RF EMF

Menurut (Sharma, Sambad; Ying Wu, Shih; Jimenez, 2019) penyakit metastasis otak sangat terbatas terutama karena *Blood Brain Barrier (BBB)*, yang menghalangi masuknya obat terapeutik ke dalam otak, dan ironisnya, sel tumor menemukan otak sebagai tempat perlindungan. Pendekatan terapi radiasi adalah standar perawatan untuk metastasis otak. Efek penghambatan pertumbuhan yang kuat dari BCF yang diamati dalam penelitian ini telah menetapkan kemanjurannya dalam pengobatan tumor metastatik primer dan berulang di otak. Spesifisitas tumor dan jaringan BCF selanjutnya diilustrasikan dengan tidak adanya efek antiproliferatif pada HMEC dan MCF10A selain tidak adanya efek antiproliferatif pada dua garis sel karsinoma hepatoseluler.

#### 2.5.4 Hasil Penelitian Medan Elektromagnetik ( ELF-EMF) pada Pasien Stroke Iskemik

Menurut (Chicon, Natalia; Bijak, Michal; Miller, Elzbieta; and Saluk, 2017) efektivitas biologis medan elektromagnetik frekuensi rendah (ELF-EMF) telah diselidiki secara *in vivo* dan *in vitro*. Telah terbukti bahwa banyak sistem seluler, komponen, dan proses dapat dipengaruhi oleh paparan ELF-EMF, seperti genotoksisitas, proliferasi sel, apoptosis, regulasi dan diferensiasi siklus sel, metabolisme, dan berbagai karakteristik fisiologis lainnya. Saat ini, trombolisis adalah satu-satunya pengobatan efektif yang disetujui pada fase akut stroke. Oleh karena itu, ada kebutuhan untuk mengembangkan terapi baru untuk pasien stroke iskemik. Bukti baru menunjukkan bahwa ELF-EMF bisa menjadi terapi tambahan dalam rehabilitasi awal pasca stroke karena efeknya pada proses yang terlibat dalam kerusakan dan regenerasi iskemik otak (Cheng, B. Q., Dai, Y., Zhu, X., Xu, H., Cai, P., Mao, L. 2015). Efek terapeutik pada otak terutama terkait dengan

peningkatan neurotransmisi bidang ini meningkatkan aliran darah otak, yang berkontribusi pada peningkatan metabolisme jaringan saraf dan memiliki efek regenerasi yang menguntungkan. Stress oksidatif adalah salah satu utama yang bertanggung jawab atas kerusakan saraf pasca stroke. Selain itu, otak dicirikan oleh tingkat antioksidan yang relative rendah dan kandungan lipid yang tinggi, dan mengkonsumsi oksigen dalam jumlah besar.

#### 2.5.5 Hasil Penelitian Medan Elektromagnetik Terhadap Mekanisme Molekuler Apoptosis pada Pasien Pasca Stroke

Menurut (Chicon, Natalia; S, Ewelina; M, Elzbieta; S, Tomasz; C, Michal; S, Joana; and B, 2020) peningkatan proses apoptosis pada fase akut stroke terbukti, dan berhubungan dengan beratnya deficit neurologis. Masih sedikit informasi tentang apoptosis pada fase sub akut/ kronis stroke. Dalam beberapa menit setelah iskemia, sel-sel saraf di inti yang rusak mati. Sel-sel saraf mati perlahan dalam beberapa jam setelah kejadian. Dinamika proses apoptosis pada tikus yang telah mengalami stroke yang diinduksi. Apoptosis sebagai kematian sel terprogram, bertujuan untuk menghilangkan sel-sel yang rusak dan oleh karena itu, sel-sel yang dihasilkan dari hipoksis/reperfusi. Neurogenesis korteks serebral dewasa. Apoptosis yang diinduksi mendorong pembentukan neuron baru. Aktivasi neurogenesis pada tikus dengan menginduksi apoptosis pada neuron motoric kortikospinal.

#### 2.5.6 Hasil Penelitian Medan Magnet Terhadap Otak

Telah ditetapkan bahwa medan magnet terjadi di otak, menyebar di sekitar otak yang dapat dideteksi dengan metode magnetoencephalography. Faktor dalam menghasilkan medan elektromagnetik otak adalah potensial aksi, suatu fenomena yang terjadi pada neuron yang mengakibatkan depolarisasi membrane, dengan keluarnya ion melalui membrane sel menghasilkan arus ion yang selalui dikaitkan dengan medan magnet yang tegak lurus arahnya menurut aturan tangan kanan. Arus dendritik neuron pyramidal yang secara bersamaan menembak secara paralel adalah dasar dari medan magnet otak. Salah satu bentuk potensial aksi yang terjadi di otak adalah osilasi saraf. Osilasi saraf didefinisikan sebagai pola

berulang dari potensial aksi yang terjadi pada neuron di sistem saraf pusat. Sementara osilasi yang terkait dengan satu neuron tidak berwujud, aktivitas yang disinkronkan dari sejumlah besar neuron dapat menimbulkan osilasi besar, menghasilkan medan EM yang lebih kuat dapat diamati dengan MEG atau EEG. Untuk menghasilkan sinyal terukur, hampir 50.000 neuron diperlukan untuk menggerakkan potensial aksi bersama-sama. Dinyatakan bahwa potensial aksi biasanya tidak menghasilkan medan yang efektif, terutama karena aliran yang terkait dengan aliran potensial aksi dalam arah yang berlawanan dan medan magnet otak tidak melebihi kekuatan 1000 femtotesla (10-15Tesla). Unit pengukuran medan magnet adalah Tesla). Satu studi telah menunjukkan bahwa sumber utama medan magnet adalah di wilayah sistem limbik, termasuk dari septum ke otak depan, serta mencakup area dari hipotalamus ke otak tengah ventral dan mungkin juga termasuk hipokampus (Hosseini, 2021).

#### 2.5.7 Hasil penelitian Medan Magnet ELF Pada Sel

Beberapa penelitian telah membuktikan adanya pengaruh radiasi elektromagnetik telepon seluler terhadap kerusakan sel hepar. Paparan radiasi gelombang elektromagnetik telepon seluler dapat menyebabkan kerusakan pada jaringan hepar, ginjal dan spleen. Percobaan yang dilakukan dengan menggunakan tikus wistar albino, terjadi inflamasi pada sel hepar dan pankreas setelah terpapar radiasi telepon seluler jangka panjang. Gelombang elektromagnetik telepon seluler merupakan salah satu agen fisis yang dapat menyebabkan jejas pada sel, salah satunya adalah sel hepar. Efek non termal dari radiasi telepon seluler ini yaitu dapat mengganggu kelistrikan membran ganda dan memodifikasi komponen di dalam sel. Pada akhirnya, akibat pajanan yang berkepanjangan menyebabkan kematian pada sel. Secara patologis, kematian sel hepar akibat paparan radiasi gelombang elektromagnetik telepon seluler berupa degenerasi, nekrosis, apoptosis dan fibrosis (Iqlima, 2020).

#### 2.5.8 Hasil Penelitian Medan Magnet ELF Pada Pertumbuhan Otak Anak

Dampak yang dihasilkan oleh radiasi elektromagnet dari gadget dibagi menjadi 2 yaitu: a) Efek fisiologi merupakan pengaruh yang dapat menyebabkan

keluhan pada jaringan manusia seperti saluran pendengaran, tumor, gangguan pada jaringan mata sistem reproduksi, amnesia, kanker otak dan migraine (penyakit syaraf), dan b) Efek psikologi dapat menyebabkan munculnya stress dan ketaknyamanan karena penyinaran radiasi yang sering dan berulang (Berlianti et al., 2021).

Dampak subjektif lainnya yang sering dikeluhkan dalam penggunaan gadget ialah sakit kepala. Keluhan ini disebabkan karena kelainan mata atau lainnya. Seperti penyebab migrain yang di imbangi dengan keadaan posisi tubuh yang salah diduga menjadi salah satu penyebab ketegangan otot pada beberapa bagian tubuh seperti otot leher yang terhubung langsung ke bagian kepala sehingga ketegangan yang terjadi lama-kelamaan akan memicu migrain, disamping itu waktu yang lama ketika mengakses gadget dapat mengganggu sinyal di otak dan menyebabkan stress bahkan insomnia, hal ini disebabkan waktu kerja otak yang di paksa tetap aktif (Idayati, 2011).



Gambar 2.3 Gambaran Paparan Radiasi Gadget Pada Penderita Sakit Kepala

(Sumber: <https://unej.id/HDFe5bh> )

## 2.6 Mekanisme Interaksi Seluler Medan Magnet ELF

Sel dalam tubuh manusia terdiri dari sel genetik dan sel somatik. Sel genetik adalah sel telur pada perempuan dan sel sperma pada laki-laki, sedangkan sel somatik adalah sel-sel lainnya yang ada dalam tubuh. Berdasarkan jenis sel, maka efek radiasi dapat dibedakan atas efek genetik (non-somatik) atau efek pewarisan adalah efek yang dirasakan oleh keturunan dari individu yang terkena paparan radiasi. Dan efek somatik adalah efek radiasi yang dirasakan oleh individu yang terpapar radiasi.

Sel berinteraksi dengan lingkungannya melalui membran sel. Salah satu fungsi membran sel adalah deteksi dan transduksi signal biokimia eksternal atau signal lainnya ke dalam ruang sitoplasma. Membran sel yang menyelubungi sel, merupakan struktur elastik tipis, tebalnya hanya 7,5 sampai 10 nano meter. Perkiraan komposisi membran sel adalah protein 55%, fosfolipid 25%, kolesterol 13%, lipid lain 4% dan karbohidrat 3%. Oleh karena itu membran sel hampir seluruhnya terdiri dari lapisan lipid ganda dengan banyak sekali protein yang melayang-layang dalam lipid, banyak yang menembus lapisan lipid sampai ke dalam. Lapisan lipid ganda ini sukar sekali dilalui oleh cairan ekstraseluler maupun cairan intraseluler. Oleh karena itu lapisan ini berfungsi sebagai sawar bagi pergerakan sebagian besar molekul air dan zat terlarut air antar ruang cairan ekstraseluler dan intraseluler. Namun bagi zat terlarut lipid dapat menembus masuk ataupun keluar lapisan lipid ganda ini.

### **2.7 Mekanisme Interaksi Medan Magnet ELF Terhadap Sel**

Radiasi medan magnet ELF tidak menimbulkan efek negatif bagi kesehatan manusia karena radiasi medan magnet ELF bersifat non-ionizing, namun efek medan magnet akan berinteraksi dengan sel yang dapat merusak protein di dalamnya. Protein yang digunakan sebagai nutrisi sel atau sebagai zat gizi organik yang berperan dalam pertumbuhan dan proses metabolisme sel menjadi rusak dengan adanya pemberian medan magnet. Akibat dari rusaknya protein dalam sel ini mengakibatkan terhambatnya proses metabolisme sel sehingga aktivitas pada sel menjadi terganggu dan pada dosis tertentu medan magnet ELF dapat membunuh sel (Sudarti,2016).

Proses pemberian medan magnet juga dapat menyebabkan terjadinya ionisasi beberapa garam-garam seperti  $Mg^{2+}$  dan  $Ca^{2+}$  yang terikat pada dinding sel. Ion kalsium mempunyai peran yang sangat penting dalam proses reproduksi, pertumbuhan dan penyembuhan luka pada sel. Akibat kekurangan ion ini, akan menyebabkan terhambatnya fungsi-fungsi dalam sel dan pada akhirnya menyebabkan kerusakan sel (Sari et al., 2015). Medan magnet yang dihasilkan akan mengendalikan dan mengubah laju pergerakan elektron dalam sel secara



signifikan sehingga berbagai proses metabolisme dalam sel dapat dipengaruhi. Semakin besar intensitas medan magnet maka semakin besar pula medan magnetik yang dihasilkan untuk mengubah laju pergerakan elektron dalam sel (Sudarti, 2016). Medan magnet ELF dapat mempengaruhi arah migrasi mikroorganisme dan menghambat pertumbuhan dan reproduksi di dalam sel (Luzdemio et al., 2020).

#### 2.7.1 Membran Sel

Sel berinteraksi dengan lingkungannya melalui membran sel. Salah satu fungsi membran sel adalah deteksi dan transduksi signal biokimia eksternal atau signal lainnya ke dalam ruang sitoplasma. Membran sel hampir seluruhnya terdiri dari lapisan lipid ganda dimana lapisan lipid ganda ini sukar sekali dilalui oleh cairan ekstraseluler maupun cairan intraseluler. Mengingat medan magnet bersifat tak terhalangi, maka medan magnet ELF dapat mentransfer secara langsung energinya ke dalam membran sel, sehingga memungkinkan terjadinya modifikasi proses signal transduction membran. Oleh karena itu membran sel merupakan tempat awal perubahan seluler oleh induksi medan magnet ELF (Shimizu, 2006). Medan listrik dapat menghancurkan sel-sel tersebut dengan mengubah jalur ion untuk masuk ke sel membran dan melakukan denaturasi protein sehingga merusak aktivitas sel. perubahan kekuatan arus induksi dan peningkatan efek medan magnet dapat merusak morfologi normal serta fungsi sel dan menjadikan sel tidak aktif akibat sel yang tidak dapat menahan efek medan magnet (Guo et al., 2021).

#### 2.7.2 Potensial Membran Sel

Potensial membran merupakan perbedaan muatan antara sitoplasma dengan cairan ekstraseluler dalam suatu sel. Dalam potensial membrane, keadaan potensial membrane ada 3 yakni potensial istirahat, berjenjang dan aktif. (Neil, Jane, and Lawrence 2002). Proses terjadinya potensial membrane istirahat, memiliki sigat negative dan bermuatan dengan kisaran  $-70\text{mV}$  di dalam sel. Negativitas di dalam neuron terjadi dikarenakan tiga hal factor utama yakni ialah jumlah ion kalium yang keluar dari sel lebih banyak dibandingkan jumlah ion natrium yang masuk ke dalam sel, ketidakmampuan anion (fosfat dan asam amini)



untuk keluar dari sel, dan pompa Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> ATPase yang mentranspor 3 ion natrium keluar sebagai ganti dari 2 ion kalium ke dalam neuron (Diptayanusa et al. 2020).

## **2.8 Dampak Gelombang Elektromagnetik ELF Terhadap Massa Jenis dan Volume Otak**

Studi ini secara ekstensif menyelidiki efek ketidakpastian dalam konduktivitas listrik jaringan kepala pada kekuatan medan listrik yang diinduksi di otak dari dua puluh lima orang yang terpapar medan magnet seragam spasial pada 50 Hz. Bidang insiden ditetapkan sama dengan tingkat referensi ICNIRP untuk paparan pekerjaan (1 mT). Selain itu, organisasi kesehatan dunia lebih lanjut membagi interval LF menjadi rentang frekuensi sangat rendah (ELF, dari 0 Hz hingga 300 Hz), dan rentang frekuensi menengah (dari 300 Hz hingga 10 MHz). Dalam konteks ini, batas pemaparan dimaksudkan untuk membatasi kekuatan medan listrik yang diinduksi oleh medan elektromagnetik yang bervariasi waktu, yang dapat mengubah aktivitas sinaptik pada ELF atau mengeksitasi sel saraf dan otot (Soldati, Marco., dan Laakso, Ilkka. 2020).

Dalam penelitian sebelumnya, Lai dan Singh menemukan bahwa tikus yang secara akut 2 jam terpapar medan magnet sinusoidal 60 Hz pada intensitas 0,1–0,5 mT menunjukkan peningkatan kerusakan untai tunggal dan ganda DNA di sel otak. Dalam penelitian ini, efek paparan medan magnet pada DNA sel otak pada tikus diselidiki lebih lanjut. Paparan medan magnet 60 Hz pada 0,01 mT selama 24 jam menyebabkan peningkatan yang signifikan pada pemutusan untai tunggal dan ganda DNA. Memperpanjang paparan hingga 48 jam menyebabkan peningkatan yang lebih besar. Ini menunjukkan bahwa efeknya bersifat kumulatif. Dalam studi lain (Singh dan Lai 1998), kami menemukan bahwa paparan medan magnet akut menginduksi pembentukan ikatan silang DNA-protein dan DNA-DNA dalam sel-sel otak tikus, yang bisa jadi akibat kerusakan radikal bebas yang melibatkan kation besi (Lai, Henry., dan Narendra P. Singh. 2004).

Nanokristal magnetit biogenik yang ditemukan di otak manusia memiliki beberapa sifat yang relevan geometri euhedral (kuboktahedral atau prismatic)

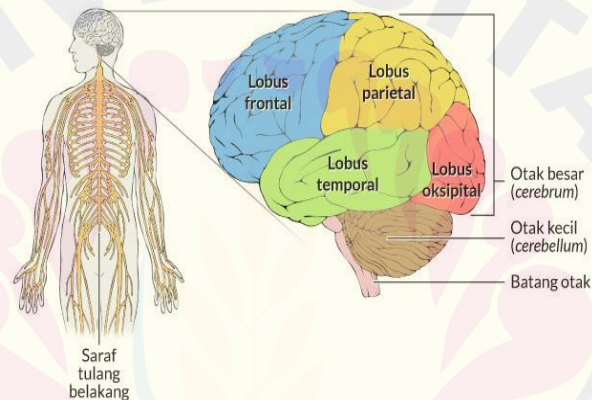
mewujudkan kesempurnaan kristalografi, kemurnian kimia, mereka dapat ditemui sebagai kristal domain tunggal superparamagnetik yang paling umum atau multi-domain, transisi dari fase superparamagnetik ke domain tunggal biasanya terjadi pada ukuran partikel sekitar 25-30 nm, sedangkan transisi domain tunggal ke multi domain terjadi pada ukuran sekitar 70 nm. Rasio berat antara magnetit biogenik dan jumlah total kristal di otak diperkirakan 1:500. Kristal magnetit biogenic di otak manusia cenderung menampilkan geometri bulat/bulat dan memiliki dimensi dalam kisaran 5–35 nm (diameter median dalam kisaran 14–10 nm), dengan sirkularitas rata-rata 0,92. Kristal eksogenik biasanya jatuh pada kisaran 10-150 nm, dengan beberapa kristal yang diamati melebihi 200 nm. Distribusi magnetit di seluruh volume otak manusia adalah seragam, kecuali meninges, konsentrasi rata-rata magnetit di jaringan otak adalah 4 ng/g, sedangkan di meninges rata-rata 70 ng/g. Dengan menerapkan anH-filapangan dengan kerapatan fluks  $200\mu\text{T}$  pada 60Hz dan menganalisis electroencephalograms (EEG) menggunakan metode nonlinear. Kelompok yang sama kemudian menguji kerapatan fluks magnet yang lebih kecil ( $1\mu\text{T}$  dan  $5\mu\text{T}$ ) pada 60Hz, dan dengan menganalisis aktivitas listrik otak sekali lagi, menyimpulkan bahwa medan terdeteksi dan bereaksi seperti stressor somatik biasa. Hal ini menimbulkan pertanyaan tentang risiko kontemporer yang disebabkan oleh kesehatan manusia dengan penggunaan peralatan yang beroperasi di dekat kepala atau, memang, organ lain dengan kandungan magnet yang signifikan (Miclous, Simona. *et al.* 2018).

## 2.9 Fisiologi Otak

Otak merupakan salah satu organ terpenting dalam tubuh manusia. Perasaan, pemikiran, perkataan, perbuatan, dan segala aktivitas tubuh yang bersifat rohani maupun jasmani, semuanya berpusat pada otak. Organ yang beratnya tak seberapa ini bisa menjelajah ke masa silam serta menembus batas masa depan. Ada ribuan bahkan miliaran informasi yang bisa disimpan dan dikeluarkan kembali jika sesekali dibutuhkan. Dari masalah yang paling ringan hingga yang paling rumit, semuanya dikonsolidasikan dari sel ke sel dalam otak

hingga melahirkan sebuah solusi (Husna, Ulliy; Sujuti, Hidayat; dan Dalhar, 2017).

Otak manusia terdiri atas tiga bagian, yaitu otak besar (cerebrum), otak kecil (cerebellum), dan otak tengah (midbrain). Pembagian otak tersebut nampak hanya selama perkembangan otak pada fase embrio. Sedangkan otak pada manusia dewasa terdiri atas beberapa bagian (lobus), yaitu otak besar (otak depan), otak belakang (otak kecil), dan otak tengah (midbrain). Otak kiri dan otak kanan termasuk bagian otak besar. Bagian otak besar yang terdapat di belahan kiri disebut otak kiri (left hemisphere), sedangkan bagian otak besar yang ada di belahan kanan dinamakan otak kanan (right hemisphere). Keduanya memiliki fungsi yang sangat penting dalam kehidupan manusia (Kusumaningtyas, 2017).



Gambar 2.4 Fisiologi Otak

(Sumber: <https://unej.id/YK2rnYu> )

### 2.9.1 Massa Jenis

Massa jenis (density) merupakan kuantitas konsentrasi zat yang dinyatakan dalam massa persatuan volume. Nilai massa suatu zat dipengaruhi oleh temperature. Semakin tinggi temperature maka kerapatan suatu zat akan semakin rendah karena molekul-molekul yang saling berikatan akan terlepas. Kenaikan temperature menyebabkan volume suatu zat bertambah, sehingga hubungan massa jenis dengan volume berbanding terbalik. Berikut ini persamaan massa jenis secara matematis:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.9)$$

Keterangan:

P = Massa jenis

m = Massa benda

v = Volume benda (Sumber: Tipler, 2001).

Satuan SI untuk sebuah densitas adalah kilo gram permeter kubik ( $1\text{kg}/\text{m}^3$ ). Sedangkan dalam satuan egs adalah gram percentrimeter kubik ( $1\text{g}/\text{cm}^3$ ). Salah satu variabel massa jenis adalah volume, apabila suatu benda memiliki massa yang tetap namun mengalami perubahan pada volume maka massa jenis pada benda tersebut akan berubah (H.D., Young dan R.A., 2002). Cara mengukur massa jenis ataupun rapat massa merupakan besaran yang diperoleh dengan membagi massa dengan volume bahan (Abdullah, 2016).

### 2.10 Sel Otak

Susunan saraf manusia merupakan sistem yang paling kompleks di dalam tubuh manusia dan dibentuk oleh jaring-jaring yang tersusun lebih dari 100 juta sel saraf (neuron) dan ditunjang oleh sel glia dengan jumlah yang lebih banyak. Apoptosis adalah suatu bentuk kematian sel yang terprogram. Apoptosis mempunyai dua program utama jalur kematian yaitu jalur caspase dan disfungsi organel, dengan disfungsi mitokondria sebagai tanda utama. Kematian neuronal apoptosis dan nekrotik terjadi setelah percobaan cedera otak traumatis (TBI). Penelitian oleh Rink et al menunjukkan bahwa terdapat daerah tertentu yang rentan mengalami kematian apoptosis neuron setelah cedera traumatik. Daerah tersebut yaitu korteks, hippocampus CA3, dan gyrus dentatus(A, Fathia; P, Hari ; dan B, 2017).

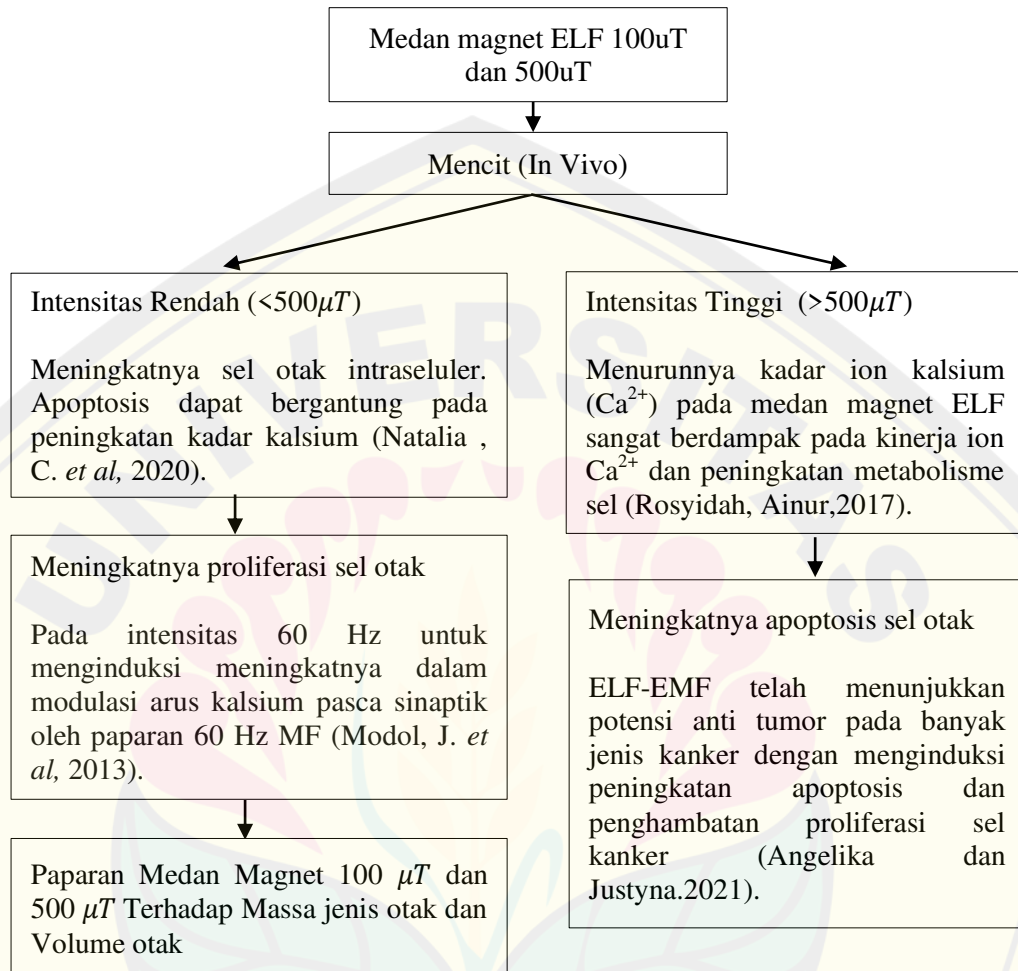


Gambar 2.5 Sel-sel Otak

(Sumber: <https://unej.id/hDCNgkA> )

## 2.11 Kerangka Konseptual

Berikut ini adalah mekanisme paparan medan magnet ELF terhadap Mencit Balb/C



Gambar 2.6 Kerangka Konseptual

## 2.12 Hipotesis Penelitian

Adapun hipotesis pada penelitian ini ialah sebagai berikut.

- 2.4.1 Paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) berpengaruh terhadap massa jenis otak mencit Balb/C.
- 2.4.2 Paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) berpengaruh terhadap volume otak mencit Balb/C.



## BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada beberapa tempat sebagai berikut:

- 3.1.1 Perlakuan untuk pemeliharaan mencit dilakukan pada ruang penyimpanan alat medan magnet ELF di Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember.
- 3.1.2 Pemeliharaan mencit untuk perlakuan dilakukan di Laboratorium Hewan Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Jember.
- 3.1.3 Penelitian untuk pemaparan medan magnet ELF terhadap mencit dilaksanakan di Laboratorium Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember.
- 3.1.4 Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Hewan Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Jember.
- 3.1.5 Pengukuran massa jenis dan volume otak dilakukan di laboratorium Hewan Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Jember.
- 3.1.6 Waktu penelitian dilaksanakan pada Tahun Ajaran 2022/2023.

### 3.2 Jenis dan Desain Penelitian

#### 3.2.1 Jenis Penelitian

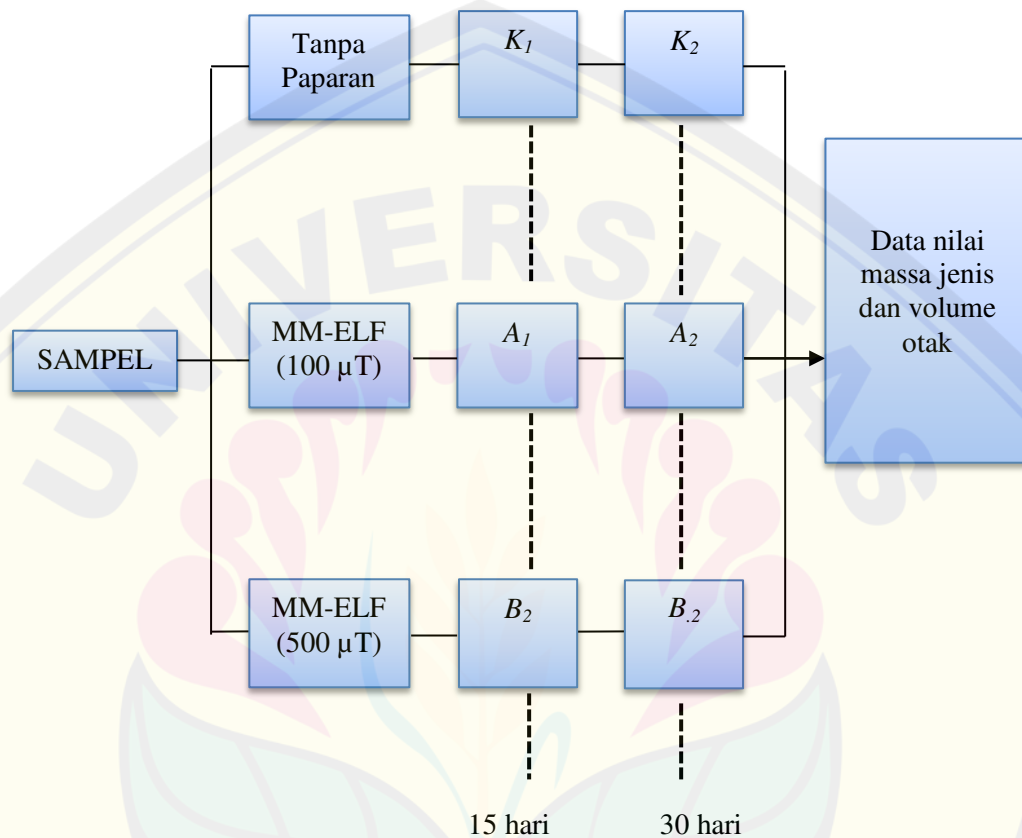
Adapun jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini merupakan true desain eksperimen. Dimana penelitian ini bertujuan untuk dapat mengetahui pengaruh yang timbul sebagai akibat adanya perlakuan tertentu. Penelitian yang dilakukan yaitu dengan membandingkan antara kelompok kontrol (tidak diberikan paparan medan magnet ELF) dengan kelompok eksperimen (diberikan paparan medan magnet ELF).

#### 3.2.2 Desain Penelitian

Desain yang dipakai untuk melaksanakan penelitian eksperimen dengan menggunakan desain *randomized subjects posttest only control group design* atau yang disebut Rancangan Acak Lengkap (RAL). Rancangan acak lengkap ini



digunakan untuk mengkaji pengaruh dari beberapa perlakuan yang diterapkan dengan beberapa percobaan. Adapun desain tersebut terdiri dari kelompok control yang tidak diberikan perlakuan serta kelompok eksperimen perlakuan. Intensitas paparan medan magnet ELF yang akan digunakan untuk penelitian ini sebesar  $100 \mu\text{T}$  dan  $500 \mu\text{T}$  dengan durasi lama pemaparan 2 jam selama 15 hari dan 30 hari.



Gambar 3.1 Desain Penelitian

Keterangan :

- S = Sampel hewan percobaan mencit balb/C
- $K_1$  = Pengambilan data sampel mencit kelompok kontrol hari ke-15
- $K_2$  = Pengambilan data sampel mencit kelompok kontrol hari ke-30
- $A_1$  = Pengambilan sampel kelompok eksperimen dipapar MM-ELF intensitas  $100\mu\text{T}$  selama 2 jam berturut-turut pada hari ke-15
- $A_2$  = Pengambilan sampel kelompok eksperimen dipapar MM-ELF intensitas  $100\mu\text{T}$  selama 2 jam berturut-turut pada hari ke-30
- $B_1$  = Pengambilan sampel kelompok eksperimen dipapar MM-ELF intensitas  $500\mu\text{T}$  selama 2 jam berturut-turut pada hari ke-15

B<sub>2</sub> = Pengambilan sampel kelompok eksperimen dipapar MM-ELF intensitas 500 $\mu$ T selama 2 jam berturut-turut pada hari ke-30

### 3.3 Variabel Penelitian

#### 3.3.1 Jenis Variabel Penelitian

##### a. Variabel Bebas

- 1) Intensitas paparan, adalah hasil pengukuran kerapatan medan magnet ELF di medium pemeliharaan mencit di dalam kandang paparan. Intensitas paparan medan magnet ELF untuk perlakuan adalah 100 - 500  $\mu$ T.
- 2) Lama paparan : selama 2 jam selama 15 hari dan 30 hari
- 3) Frekuensi paparan: secara intermiten 2 jam/hari

##### b. Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini terhadap mencit adalah massa jenis dan volume otak mencit balb/C yang telah dipaparkan medan magnet ELF 100  $\mu$ T dan 500  $\mu$ T selama 2 jam selama 15 hari dan 30 hari.

##### c. Variabel Kontrol

- 1) Hewan percobaan mencit
- 2) Jenis kelamin mencit, yaitu jantan
- 3) Berat badan mencit sekitar 15-20 gram
- 4) Umur mencit, 1 bulan
- 5) Kandang dengan bentuk dan ukuran yang sama
- 6) Makanan dan minuman, dengan cara pemberiannya sama
- 7) Suhu, tekanan udara dan kelembaban udara dalam kandang dan sekitarnya sama
- 8) Ruang gerak mencit dalam kandang dianggap sama, sehingga rerata intensitas paparan medan magnet ELF pada permukaan tubuh mencit sama, yaitu sekitar (100 – 500  $\mu$ T)

### 3.3.2 Definisi Operasional Variabel Penelitian

Dalam sebuah penelitian operasional variabel merupakan salah satu hal yang sangat penting dilakukan agar menghindari penyimpangan dan kesalahpahaman pada saat proses pengumpulan data. Secara operasional variabel dalam penelitian ini didefinisikan sebagai berikut.

- a. Lama paparan medan magnet ELF dalam penelitian ini yakni selama 2 jam selama 15 hari dan 30 hari. Lama paparan tersebut banyak sedikitnya waktu yang digunakan untuk memaparkan objek penelitian.
- b. Frekuensi paparan medan magnet ELF secara intermiten 2 jam/hari, hal ini diharapkan dapat mendekati kenyataan bahwa paparan medan magnet ELF pada pekerja dengan peralatan listrik sekitar 2 jam/hari.
- c. Intensitas medan magnet ELF dalam penelitian ini intensitas medan magnet ELF yang digunakan yaitu 100  $\mu$ T dan 500  $\mu$ T. Intensitas 100  $\mu$ T dan 500  $\mu$ T merupakan intensitas paparan medan magnet yang mengacu pada nilai ambang batas WHO yang ditetapkan International Non Ionizing Radiation Committee (INIR) dan International Radiation Protection Association (IRPA) untuk masyarakat umum.
- d. Massa jenis otak mencit dengan besaran yang didapatkan dengan cara membagikan massa mencit dengan volume mencit.
- e. Volume otak mencit dapat diketahui dengan cara menggunakan gelas beaker.

## 3.4 Bahan dan Alat Penelitian

### 3.4.1 Bahan Penelitian

- a. Mencit jantan
- b. Kawat
- c. Spidol Permanen
- d. Sekam
- e. Wadah minum mencit
- f. Wadah pakan mencit
- g. Formalin
- h. Pakan mencit

- i. Gunting
- j. Scalpel
- k. Kapas
- l. Jarum suntik

#### 3.4.2 Sampel Penelitian

Sampel dalam penelitian adalah mencit bulb/c yang dipilih dengan menggunakan teknik random sampling, jenis kelamin jantan, umur 1 bulan, berat badan 25-40 gram, yang secara seksual telah dapat dianggap matang, secara fisik tampak sehat, lincah serta tidak cacat.

#### 3.4.3 Alat Penelitian

- a. Current Transformeer (CT)



Gambar 3.2 Alat *Current Transformeer* (CT)

(Sumber: Peneliti)

- b. EMF Tester (Electromagnetic Field Tester)



Gambar 3.3 EMF Field Tester

(Sumber: Peneliti)

- c. Stopwatch

Digunakan untuk mengukur waktu pemaparan.

## d. Neraca digital

Digunakan untuk menimbang massa jenis otak.



Gambar 3.4 Neraca Digital

(Sumber: <https://unej.id/e0-uxQV> )

## e. Toples Kaca

Digunakan untuk meletakkan otak yang sudah dilakukan pengukuran massa jenis dan volume otak.



Gambar 3.5 Toples Kaca

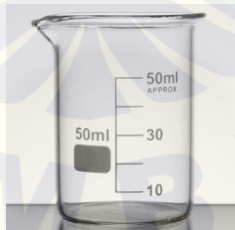
(Sumber : Peneliti)

## f. Latex

Digunakan untuk melindungi tangan ketika percobaan dilakukan.

## g. Gelas beaker

Digunakan untuk mengukur volume otak yang dimiliki hewan percobaan.



Gambar 3.6 Gelas Beaker

(Sumber: <https://unej.id/Oc5IZ0F> )

## h. Alat penanda mencit (Tagging)

Digunakan untuk memberi label pada setiap hewan percobaan berdasarkan kelompoknya.

i. Papan bedah

Terbuat dari bahan plastik dan mudah dibersihkan serta dapat digunakan secara berulang.



Gambar 3.7 Papan Bedah

(Sumber: <https://unej.id/4OEwPDK> )

### 3.5 Metode Pengumpulan Data

Pada pengumpulan data, ada beberapa data yang dibutuhkan diantaranya adalah volume otak dan massa jenis otak

#### 3.5.1 Metode Anestesi dan Pembedahan Mencit

##### a. Metode Anestesi

Sebelum dilakukan pengukuran volume otak, maka mencit akan diberikan anestesi atau dibius dengan metode berikut:

- 1) Siapkan toples beserta tutupnya
- 2) Ambil mencit dan letakkan ke dalam toples/wadah nampan
- 3) Ambil kapas dan meneteskan eter pada kapas
- 4) Masukkan kapas yang mengandung eter ke dalam toples
- 5) Tutup toples hingga rapat
- 6) Ulangi langkah a-e hingga hewan percobaan telah mendapatkan perlakuan anestesi secara keseluruhan
- 7) Tunggu beberapa detik, hingga mencit kehilangan kesadaran

##### b. Pembedahan Mencit

- 1) Siapkan alat bedah, kapas, alcohol 70%, nampan bedah serta gunakanlah sarung tangan serta tempat pembuangan



- 2) Mencit yang sudah diberikan anestesi dilentangkan pada meja operasi yang berupa nampan dan sudah diberi paraffin padat
- 3) Difiksasi telapak kaki depan serta belakang dengan menyematkan jarum pentul
- 4) Penyayatan dimulai dari dinding abdomen, memotong kulit serta muskulusnya, irisan dilanjutkan ke sisi kanan serta kiri, lalu ke arah cranial dan pemotongan costae sehingga rongga thorax terbuka
- 5) Di bawah leher digunting secara membujur sehingga mendekati anus. Pada daerah anus digunting secara melintang serta kulit dibuka secara perlahan
- 6) Organ yang diperlukan siap untuk diambil serta diidentifikasi
- 7) Organ secara hati-hati diambil dengan menggunakan scalpel
- 8) Setelah pembedahan selesai, mencit dibuang dalam kantong plastik serta alat bedah dibersihkan

#### 3.5.2 Metode Pengambilan Otak Mencit Balb/C

Adapun cara pengambilan otak menurut (Amelia, Agdes; Andriani Yuni; dan Andriani, 2020) sebagai berikut.

- 1) Mencit di dislokasi pada bagian leher
- 2) Mencit kemudian dilakukan pembedahan pada bagian kepala dan organ otak diangkat
- 3) Otak yang telah di isolasi direndam kedalam garam NaCl fisiologis sampai bersih
- 4) Setelah itu, otak dimasukkan kedalam larutan bouins dan larutan fiksatif NaCl.

#### 3.5.3 Metode Pengukuran Massa Jenis Otak Mencit Balb/C

Adapun cara pengukuran massa jenis otak mencit balb/C sebagai berikut.

- 1) Menyiapkan sampel otak yang akan diukur dan alat-alat yang akan digunakan
- 2) Mengukur massa dari sampel otak dengan menggunakan neraca digital
- 3) Mencatat hasil dari nilai massa sampel otak
- 4) Memasukkan sampel otak kedalam gelas ukur yang berisi cairan formalin agar otak tidak hancur
- 5) Ulangi langkah b dan c hingga seluruh massa jenis otak
- 6) Catatlah seluruh hasil massa jenis otak pada tabel pengamatan

#### 3.5.4 Metode Pengukuran Volume Otak Mencit Balb/C

Adapun cara pengukuran volume otak menurut (Yustisia, Anggia; Winaya, I Oka; Berata, 2020) sebagai berikut.

- 1) Mengambil sampel otak mencit yang sudah dipisahkan dari tubuhnya
- 2) Menyiapkan gelas beaker atau gelas ukur yang berisi 10 ml formalin
- 3) Setelah itu otak dimasukkan kedalam gelas beaker yang berisi 10 ml formalin
- 4) Dilihat dulu ketinggian volume air sebelum gelas beaker dimasukkan kedalam wadah besar
- 5) Setelah itu gelas beaker yang berisi sampel otak mencit dimasukkan dan mencatat nilai volume air yang diperoleh
- 6) Melakukan perhitungan massa jenis dengan rumus yaitu membagi massa dengan volume
- 7) Ulangi langkah-langkah tersebut hingga seluruh sampel otak mencit

### 3.6 Prosedur Penelitian

Tahapan prosedur penelitian ini menurut (Hastuti, 2006) sebagai berikut.

#### 3.6.1 Pemilihan Hewan Uji Coba

Sampel dalam penelitian ini adalah hewan mencit balb/C. penentuan sampel untuk kelompok control dan kelompok eksperimen dilakukan secara acak (random). Jumlah hewan uji coba sebanyak 56 ekor mencit balb/C dengan jenis kelamin jantan, berat badan 15-40 gram, mencit sehat (bergerak aktif) dan berusia 1 bulan.

#### 3.6.2 Adaptasi Hewan Coba

Sebelum penelitian dilakukan, mencit diadaptasikan terlebih dahulu selama 7 hari di Laboratorium ELF FKIP Universitas Jember untuk menyesuaikan diri terhadap lingkungan baru. Adapun kandang mencit yang harus memenuhi kriteria sebagai kenyamanan mencit sebagai berikut:



Gambar 3.8 Gambaran Kandang Mencit

(Sumber: <https://unej.id/qFYrIUu> )

- a. Mencit dipelihara secara indoor dan diberikan kandang berupa kotak dengan ukuran 40cm x lebar 30cm x tinggi 18 cm
- b. Setiap kandang berisi 1-6 ekor
- c. Bahan kandang terbuat dari plastik
- d. Wajib melakukan steril terhadap kandang mencit
- e. Pemberian alas kandang, diganti secara rutin 1 kali sehari

Pakan mencit pada dasarnya dibuat dengan memperhatikan zat serta gizi yang ada di dalamnya. Selain itu, pakan mencit dibuat harus mudah dicerna oleh mencit

- a. Pemberian pakan mencit kurang lebih 10% pakan kering
- b. Pemberian air 15-30mL air per hari
- c. Pakan mencit harus mengandung zat-zat gizi seperti karbohidrat, protein, lemak, dan mineral.
- d. Wadah pakan mencit terbuat dari bahan yang tidak mudah dikerat oleh mencit
- e. Tempat minum mencit sama dengan tempat minum hamster

### 3.6.3 Pembagian Kelompok Perlakuan

Persiapan sampel penelitian yang digunakan adalah mencit. Seluruh sampel yang digunakan adalah 3 kelompok sebagai berikut:

- a. Kelompok kontrol terdiri dari 6 ekor mencit tanpa mendapatkan perlakuan medan magnet ELF pada hari ke-15 dan 30. Pada hari ke-15 dan 30, mencit dibelah dan diambil otaknya untuk diamati massa jenis dan volume otaknya.

- b. Kelompok A  $100\mu\text{T}$  terdiri dari 6 ekor mencit mendapatkan perlakuan medan magnet ELF sebesar  $100\mu\text{T}$  selama 2 jam. Pada hari ke-15 dan 30, mencit dibelah dan diambil otaknya untuk diamati massa jenis dan volume otaknya.
- c. Kelompok B  $500\mu\text{T}$  terdiri dari 6 ekor mencit mendapatkan perlakuan medan magnet sebesar  $500\mu\text{T}$  selama 2 jam. Pada hari ke-15 dan 30, mencit dibelah dan diambil otaknya untuk diamati massa jenis dan volume otaknya.
- d. Pengukuran massa jenis dan volume otak dilakukan setelah hari ke-15 dan hari ke-30.

#### 3.6.4 Proses Pemaparan Medan Magnet ELF

Intensitas medan magnet ELF yang digunakan dalam pemberlakuan pada mencit kelompok eksperimen yakni sebesar  $100\mu\text{T}$  dan  $500\mu\text{T}$ . Berikut prosedur pengoperasian alat ELF Electromagnetik Field Sources.

- a. Menekan tombol ELF *magnetic source* telah terhubung dengan arus listrik. Jika telah terhubung biasanya *pilot lamp* akan menyala.
- b. Memastikan output tegangan slite voltage regulator harus dalam keadaan nol, dengan memutar knob ke kiri sehingga knob tidak dapat diputar kembali.
- c. Untuk menyalakan regulator arus maka tekan tombol push botton berwarna merah. Perlu diperhatikan jika langkah yang terdapat pada nomor 2 yakni ouput tegangan slite voltage regulator tidak dalam keadaan nol maka alat belum dapat digunakan.
- d. Memutar knob ke arah kana searah jarum jam untuk memperoleh besar intensitas medan magnet yang diinginkan menggunakan EMF tester
- e. Menekan tombol push button berwarna hijau untuk memaitikan regulator arus

Selanjutnya untuk pemaparan medan magnet ELF pada kelompok eksperimen dengan menggunakan alat ELF *Electromagnetic Fields Sources* adalah sebagai berikut:

- a. Dengan menggunakan masukkan sumber tegangan 220 Volt, kuat arus 5 Ampere, frekuensi 50 Hz dan tegangan 7 volt, kuat arus 125 dan 700 Ampere.

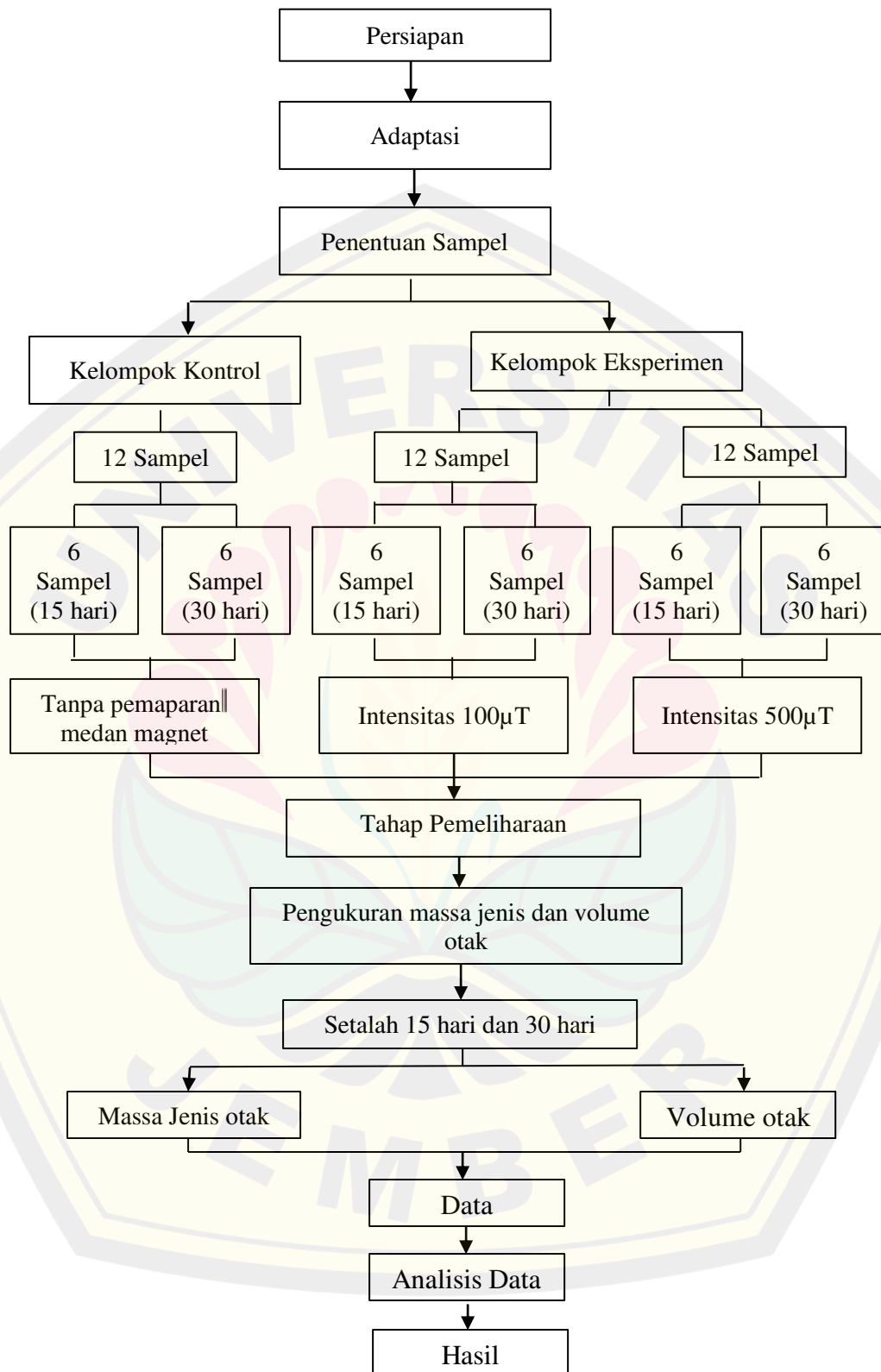
- b. Perlakuan pada kelompok eksperimen A menggunakan intensitas paparan medan magnet ELF sebesar  $100\mu\text{T}$  selama 2 jam berturut turut 15 hari dan 30 hari.
- c. Perlakuan pada kelompok eksperimen B menggunakan intensitas paparan medan magnet ELF sebesar  $500\mu\text{T}$  selama 2 jam berturut turut 15 hari dan 30 hari.

### 3.6.5 Bagan Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian menurut (Edi dan Librita, 2022) yang mana langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah:

- a. Menyiapkan mencit sebanyak 56 ekor.
- b. Menyiapkan kandang dan pakan mencit yang sesuai dengan protocol.
- c. Mengelompokkan mencit menjadi 2 kelompok yakni kelompok kontrol dan kelompok eksperimen. Sebanyak 6 ekor mencit dijadikan untuk kelompok kontrol, 6 ekor pertama dijadikan kelompok eksperimen paparan  $100\mu\text{T}$  dan 6 ekor kedua dijadikan kelompok eksperimen paparan  $500\mu\text{T}$  selama 2 jam/hari dalam 15 hari dan 30 hari berturut-turut.
- d. Melakukan anestesi pada mencit di hari ke- 15 dan 30 hari.
- e. Mengukur nilai massa jenis dan volume otak mencit pada kelompok kontrol.
- f. Mengukur nilai massa jenis dan volume otak mencit pada kelompok eksperimen.
- g. Kelompok eksperimen diberikan perlakuan yakni paparan medan magnet ELF sebesar  $100\mu\text{T}$  dengan lama paparan 2 jam, selama 15 hari berturut-turut sampai 30 hari dan intensitas  $500\mu\text{T}$  dengan lama paparan 2 jam, selama 15 hari dan 30 hari.
- h. Melakukan pengukuran massa jenis dan volume otak setiap hari setelah dilakukan pemaparan.
- i. Melakukan pengukuran massa jenis dan volume otak setelah dilakukan pemaparan selama 15 hari dan 30 hari.
- j. Membuat analisa data.
- k. Membahas analisa data.

## 1. Membuat kesimpulan dari hasil penelitian yang sudah dilakukan



Gambar 3.9 Bagan Prosedur Penelitian



### 3.7 Metode Analisis Data

#### 3.7.1 Tabel Hasil Pengukuran

Adapun tabel hasil pengukuran dan hasil pengamatan sebagai berikut.

##### a. Tabel Pengukuran Volume Otak Mencit

Tabel 3.1 Data Hasil Pengukuran Volume Otak Mencit Kelompok Kontrol Hari Ke-16

<b>Volume Otak Mencit Kelompok Kontrol Hari ke-16 (gr)</b>						
<b>No Sampel</b>	<b>K<sub>1</sub></b>	<b>K<sub>2</sub></b>	<b>K<sub>3</sub></b>	<b>K<sub>4</sub></b>	<b>K<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>6</sub></b>
1						
2						
3						

Tabel 3.2 Data Hasil Pengukuran Volume Otak Mencit Kelompok Eksperimen 100 $\mu$ T Hari Ke-16

<b>Volume Otak Mencit Kelompok Eksperimen 100<math>\mu</math>T Hari ke-16 (gr)</b>						
<b>No Sampel</b>	<b>A<sub>1</sub></b>	<b>A<sub>2</sub></b>	<b>A<sub>3</sub></b>	<b>A<sub>4</sub></b>	<b>A<sub>5</sub></b>	<b>A<sub>6</sub></b>
1						
2						
3						

Tabel 3.3 Data Hasil Pengukuran Volume Otak Mencit Kelompok Eksperimen 500 $\mu$ T Hari Ke-16

<b>Volume Otak Mencit Kelompok Eksperimen 500<math>\mu</math>T Hari ke-16 (gr)</b>						
<b>No Sampel</b>	<b>B<sub>1</sub></b>	<b>B<sub>2</sub></b>	<b>B<sub>3</sub></b>	<b>B<sub>4</sub></b>	<b>B<sub>5</sub></b>	<b>B<sub>6</sub></b>
1						
2						
3						

Tabel 3.4 Data Hasil Pengukuran Volume Otak Mencit Kelompok Kontrol Hari Ke-31

<b>Volume Otak Mencit Kelompok Kontrol Hari ke-31 (gr)</b>						
<b>No Sampel</b>	<b>K<sub>1</sub></b>	<b>K<sub>2</sub></b>	<b>K<sub>3</sub></b>	<b>K<sub>4</sub></b>	<b>K<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>6</sub></b>
1						
2						
3						

Tabel 3.5 Data Hasil Pengukuran Volume Otak Mencit Kelompok Eksperimen 100 $\mu$ T Hari Ke-31

<b>Volume Otak Mencit Kelompok Eksperimen 100<math>\mu</math>T Hari ke-31 (gr)</b>						
<b>No Sampel</b>	<b>A<sub>1</sub></b>	<b>A<sub>2</sub></b>	<b>A<sub>3</sub></b>	<b>A<sub>4</sub></b>	<b>A<sub>5</sub></b>	<b>A<sub>6</sub></b>
1						
2						
3						

Tabel 3.6 Data Hasil Pengukuran Volume Otak Mencit Kelompok Eksperimen 500 $\mu$ T Hari Ke-31

<b>Volume Otak Mencit Kelompok Eksperimen 500<math>\mu</math>T Hari ke-31 (gr)</b>						
<b>No Sampel</b>	<b>B<sub>1</sub></b>	<b>B<sub>2</sub></b>	<b>B<sub>3</sub></b>	<b>B<sub>4</sub></b>	<b>B<sub>5</sub></b>	<b>B<sub>6</sub></b>
1						
2						
3						

## b. Tabel Pengukuran Massa Otak Mencit

Tabel 3.7 Data Hasil Pengukuran Massa Otak Mencit Kelompok Kontrol Hari Ke-16

<b>Massa Otak Mencit Kelompok Kontrol Hari ke-16 (gr)</b>						
<b>No Sampel</b>	<b>K<sub>1</sub></b>	<b>K<sub>2</sub></b>	<b>K<sub>3</sub></b>	<b>K<sub>4</sub></b>	<b>K<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>6</sub></b>
1						
2						
3						

Tabel 3.8 Data Hasil Pengukuran Massa Otak Mencit Kelompok Eksperimen 100 $\mu$ T Hari Ke-16

<b>Massa Otak Mencit Kelompok Eksperimen 100 <math>\mu</math>T Hari ke-16 (gr)</b>						
<b>No Sampel</b>	<b>A<sub>1</sub></b>	<b>A<sub>2</sub></b>	<b>A<sub>3</sub></b>	<b>A<sub>4</sub></b>	<b>A<sub>5</sub></b>	<b>A<sub>6</sub></b>
1						
2						
3						

Tabel 3 9 Data Hasil Pengukuran Massa Otak Mencit Kelompok Eksperimen 500 $\mu$ T Hari Ke-16

<b>Massa Otak Mencit Kelompok Eksperimen 500 <math>\mu</math>T Hari ke-16 (gr)</b>						
<b>No Sampel</b>	<b>B<sub>1</sub></b>	<b>B<sub>2</sub></b>	<b>B<sub>3</sub></b>	<b>B<sub>4</sub></b>	<b>B<sub>5</sub></b>	<b>B<sub>6</sub></b>
1						
2						
3						

Tabel 3.10 Data Hasil Pengukuran Massa Otak Mencit Kelompok Kontrol Hari Ke-31

<b>Massa Otak Mencit Kelompok Kontrol Hari ke-31 (gr)</b>						
<b>No Sampel</b>	<b>K<sub>1</sub></b>	<b>K<sub>2</sub></b>	<b>K<sub>3</sub></b>	<b>K<sub>4</sub></b>	<b>K<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>6</sub></b>
1						
2						
3						

Tabel 3.11 Data Hasil Pengukuran Massa Otak Mencit Kelompok Eksperimen 100 $\mu$ T Hari Ke-31

<b>Massa Otak Mencit Kelompok Eksperimen 100 <math>\mu</math>T Hari ke-31 (gr)</b>						
<b>No Sampel</b>	<b>A<sub>1</sub></b>	<b>A<sub>2</sub></b>	<b>A<sub>3</sub></b>	<b>A<sub>4</sub></b>	<b>A<sub>5</sub></b>	<b>A<sub>6</sub></b>
1						
2						
3						

Tabel 3.12 Data Hasil Pengukuran Massa Otak Mencit Kelompok Eksperimen 500 $\mu$ T Hari Ke-31

<b>Massa Otak Mencit Kelompok Eksperimen 500 <math>\mu</math>T Hari ke-31 (gr)</b>						
<b>No Sampel</b>	<b>B<sub>1</sub></b>	<b>B<sub>2</sub></b>	<b>B<sub>3</sub></b>	<b>B<sub>4</sub></b>	<b>B<sub>5</sub></b>	<b>B<sub>6</sub></b>
1						
2						
3						

## c. Tabel Pengukuran Massa Jenis Otak Mencit Balb/C

Tabel 3.13 Data Hasil Pengukuran Massa Jenis Otak Mencit Kelompok Kontrol Hari Ke-16

<b>Massa Jenis Otak Mencit Kelompok Eksperimen 100 <math>\mu</math>T Hari ke-16 (gr)</b>						
<b>No Sampel</b>	<b>K<sub>1</sub></b>	<b>K<sub>2</sub></b>	<b>K<sub>3</sub></b>	<b>K<sub>4</sub></b>	<b>K<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>6</sub></b>
1						
2						
3						

Tabel 3.14 Data Hasil Pengukuran Massa Jenis Otak Mencit Kelompok Eksperimen 100 $\mu$ T Hari Ke-16

<b>Massa Jenis Otak Mencit Kelompok Eksperimen 100<math>\mu</math>T Hari ke-16 (gr)</b>						
<b>No Sampel</b>	<b>A<sub>1</sub></b>	<b>A<sub>2</sub></b>	<b>A<sub>3</sub></b>	<b>A<sub>4</sub></b>	<b>A<sub>5</sub></b>	<b>A<sub>6</sub></b>
1						
2						
3						

Tabel 3.15 Data Hasil Pengukuran Massa Jenis Otak Mencit Kelompok Eksperimen 500 $\mu$ T Hari Ke-16

<b>Massa Jenis Otak Mencit Kelompok Eksperimen 500<math>\mu</math>T Hari ke-16 (gr)</b>						
<b>No Sampel</b>	<b>B<sub>1</sub></b>	<b>B<sub>2</sub></b>	<b>B<sub>3</sub></b>	<b>B<sub>4</sub></b>	<b>B<sub>5</sub></b>	<b>B<sub>6</sub></b>
1						
2						
3						

Tabel 3.16 Data Hasil Pengukuran Massa Jenis Otak Mencit Kelompok Kontrol Hari Ke-31

<b>Massa Jenis Otak Mencit Kelompok Kontrol Hari ke-31 (gr)</b>						
<b>No Sampel</b>	<b>K<sub>1</sub></b>	<b>K<sub>2</sub></b>	<b>K<sub>3</sub></b>	<b>K<sub>4</sub></b>	<b>K<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>6</sub></b>
1						
2						
3						

Tabel 3.17 Data Hasil Pengukuran Massa Jenis Otak Mencit Kelompok Eksperimen 100 $\mu$ T Hari Ke-31

<b>Massa Jenis Otak Mencit Kelompok Eksperimen 100<math>\mu</math>T Hari ke-31 (gr)</b>						
<b>No Sampel</b>	<b>A<sub>1</sub></b>	<b>A<sub>2</sub></b>	<b>A<sub>3</sub></b>	<b>A<sub>4</sub></b>	<b>A<sub>5</sub></b>	<b>A<sub>6</sub></b>
1						
2						
3						

Tabel 3.18 Data Hasil Pengukuran Massa Jenis Otak Mencit Kelompok Eksperimen 500 $\mu$ T Hari Ke-31

<b>Massa Jenis Otak Mencit Kelompok Eksperimen 500<math>\mu</math>T Hari ke-31 (gr)</b>						
<b>No Sampel</b>	<b>B<sub>1</sub></b>	<b>B<sub>2</sub></b>	<b>B<sub>3</sub></b>	<b>B<sub>4</sub></b>	<b>B<sub>5</sub></b>	<b>B<sub>6</sub></b>
1						
2						
3						

Keterangan :

K<sub>1</sub> = Pengambilan data sampel mencit kelompok kontrol hari ke-15

K<sub>2</sub> = Pengambilan data sampel mencit kelompok kontrol hari ke-30

A<sub>1</sub> = Pengambilan sampel kelompok eksperimen dipapar MM-ELF intensitas 100 $\mu$ T selama 2 jam berturut-turut pada hari ke-15

A<sub>2</sub> = Pengambilan sampel kelompok eksperimen dipapar MM-ELF intensitas 100 $\mu$ T selama 2 jam berturut-turut pada hari ke-30

B<sub>1</sub> = Pengambilan sampel kelompok eksperimen dipapar MM-ELF intensitas 500 $\mu$ T selama 2 jam berturut-turut pada hari ke-15

B<sub>2</sub> = Pengambilan sampel kelompok eksperimen dipapar MM-ELF intensitas 500 $\mu$ T selama 2 jam berturut-turut pada hari ke-30

### 3.8 Teknik Analisis Data

Data hasil penelitian diolah menggunakan program komputer SPSS. Data yang dianalisis menggunakan analisis *One Way Anova*. Analisis *One Way Anova* analisis statistik yang digunakan apabila data penelitian memenuhi uji normalitas menggunakan uji *Kolmogrov-Smirnov*, dan apabila data memenuhi persyaratan normalitas atau berdistribusi normal maka dilanjutkan uji *One Way Anova* untuk menguji perbedaan rata-rata data lebih dari dua kelompok. Apabila data penelitian tidak memenuhi persyaratan normalitas atau tidak berdistribusi normal, maka dilanjutkan uji *Kruskal Wallis*. Uji *Kruskal Wallis* merupakan bagian dari uji statistik non parametrik yang digunakan sebagai alternatif uji *One Way Anova* jika salah satu atau seluruh data tidak berdistribusi normal. Penelitian ini menggunakan uji *Kruskal Wallis* yang digunakan untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan rata-rata data dua sampel yang tidak berpasangan (Hasan,2004). Hipotesis yang digunakan pada uji ini yaitu hipotesis nol ( $H_0$ ) dan hipotesis alternatif ( $H_a$ ) dengan kriteria pengujian yakni uji *Kruskal Wallis* menunjukkan nilai Asymp.sig. ( $p > 0,05$ ). Jika  $p$  (signifikansi)  $> 0,05$  maka hipotesis nihil ( $H_0$ ) ditolak dan hipotesis alternatif ( $H_a$ ) diterima. Jika  $p$  (signifikansi)  $< 0,05$  hipotesis alternatif ( $H_a$ ) ditolak dan maka hipotesis nihil ( $H_0$ ) diterima.

Pada penelitian volume otak mencit Balb/C menunjukkan hasil paparan medan magnet ELF ada pengaruh pada volume otak mencit Balb/C pada kelompok control dan kelompok eksperimen dengan intensitas 100 $\mu$ T dan 500 $\mu$ T, sehingga nilai Asymp.Sig.  $> 0,05$  maka  $H_a$  diterima dan  $H_0$  ditolak, berate ada perbedaan yang signifikan antara kelompok control dan kelompok eksperimen dengan intensitas 100 $\mu$ T dan 500 $\mu$ T. Sedangkan pada penelitian massa jenis otak mencit Balb/C menunjukkan hasil paparan medan magnet ELF ada pengaruh dengan nilai Asymp.Sig.  $> 0,05$  maka  $H_a$  diterima dan  $H_0$  ditolak, berate ada perbedaan yang signifikan antara kelompok control dan kelompok eksperimen dengan intensitas 100 $\mu$ T dan 500 $\mu$ T.

## BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Penelitian

Perlakuan dari penelitian paparan medan magnet ELF terhadap mencit Balb/C dilakukan di Laboratorium ELF Pendidikan Fisika, FKIP Universitas Jember pada bulan Desember 2022. Proses adaptasi dilakukan di laboratorium hewan Kedokteran Gigi, FKG Universitas Jember pada mencit Balb/C selama 7 hari. Sampel yang digunakan pada penelitian ini yaitu mencit Balb/C dengan jenis kelamin jantan yang berumur satu bulan. Pemberian paparan dilakukan selama 15 hari hingga 30 hari dengan lama paparan 2 jam per hari. Jumlah sampel pada penelitian ini dibagi menjadi 6 kelompok. Pada waktu 15 hari terdapat 3 kelompok, dengan satu kelompok control dan dua kelompok eksperimen. Sedangkan pada waktu 30 hari juga terdapat 3 kelompok, satu kelompok control dan dua kelompok eksperimen. Kelompok kontrol adalah kelompok yang tidak mendapatkan perlakuan berupa paparan medan magnet ELF sedangkan kelompok eksperimen mendapatkan perlakuan paparan medan magnet ELF dengan intensitas  $100\mu T$  dan  $500\mu T$ . Hewan coba dibedah dan diambil otaknya menggunakan alat pembedahan yang sudah tersedia. Pengukuran massa otak dilakukan dengan menggunakan neraca digital ketelitian 0,000gr yang sudah dikalibrasi. Sedangkan pengukuran volume dapat dilakukan dengan menggunakan tabung suntikan, hal ini dilakukan dikarenakan menggunakan gelas beaker ataupun tabung reaksi kurang akurat mengingat ukuran dari otak mencit Balb/C sangat kecil.

#### 4.1.1 Deskripsi Data dan Analisis Data Pengukuran Volume Otak Mencit Balb/C

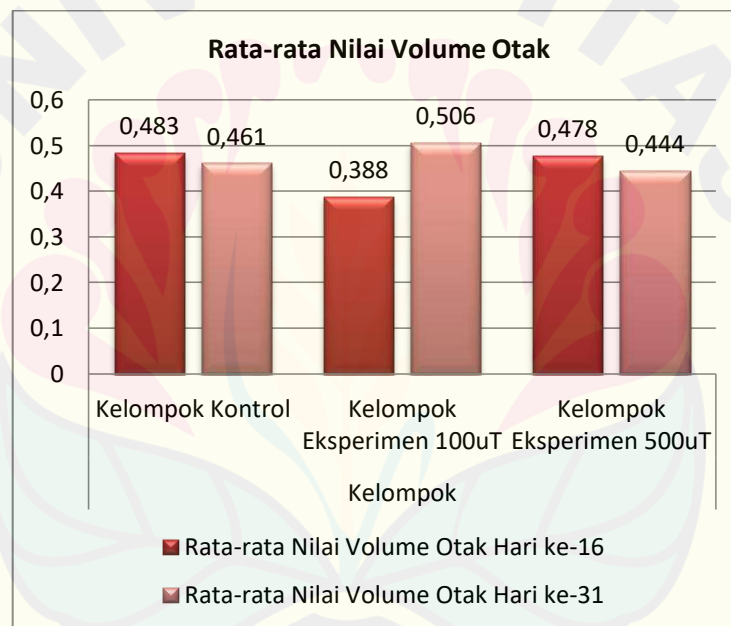
Dalam penelitian ini pengukuran nilai volume otak dilakukan untuk mengetahui adanya paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) pada ambang batas yang direkomendasikan WHO. Pengamatan volume otak pada mencit Balb/C yang diberikan paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) dengan waktu 2 jam selama 16 hari dan 31 hari secara berturut-turut diamati pada tabel berikut.



Tabel 4. 1 Data rata-rata volume otak mencit Balb/C

Hari ke-	Kelompok		
	Kontrol (ml)	Eksperimen $100\mu T$ (ml)	Eksperimen $500\mu T$ (ml)
Ke-16	0,483	0,388	0,478
Ke-31	0,461	0,506	0,444

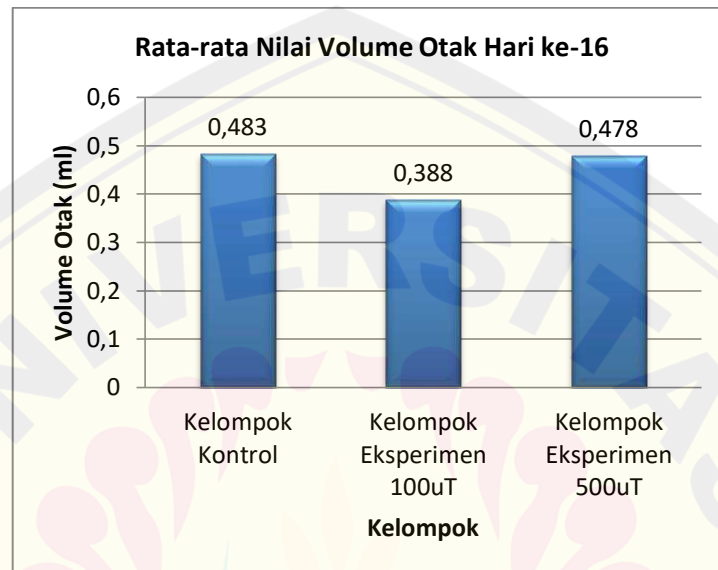
Berdasarkan data hasil penelitian tabel 4.1 dapat diketahui bahwa perbedaan nilai rata-rata volume otak antara kelompok kontrol dan 2 kelompok eksperimen dengan intensitas  $100\mu T$  dan  $500\mu T$  setelah mendapatkan paparan medan magnet ELF. Perbedaan nilai rata-rata volume otak disajikan dalam bentuk diagram bawah dibawah ini.



Gambar 4. 1 Diagram nilai rata-rata volume otak setiap pengukuran

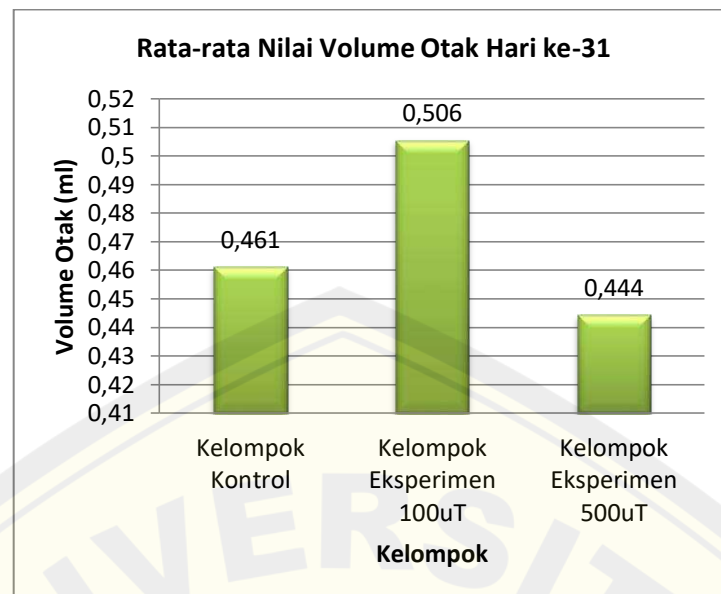
Berdasarkan gambar 4.1 dapat diketahui bahwa grafik nilai rata-rata volume otak mencit Balb/C pada kelompok kontrol dan kelompok eksperimen dengan intensitas  $100\mu T$  dan  $500\mu T$  setelah mendapatkan paparan medan magnet ELF. Pada gambar grafik diagram diatas terdapat perbedaan pada kelompok kontrol mengalami peningkatan dibandingkan kelompok eksperimen intensitas  $100\mu T$  yang mengalami penurunan pada hari ke-31. Pada kelompok kontrol mengalami peningkatan sebesar 0,022ml. Penurunan juga dialami pada kelompok

eksperimen  $500\mu T$  dibandingkan kelompok eksperimen  $100\mu T$ . Pada kelompok eksperimen  $500\mu T$  mengalami penurunan pada hari ke-31 sebesar  $0,062\text{ml}$ . pada kelompok eksperimen  $100\mu T$  mengalami peningkatan pada hari ke-31 sebesar  $0,506\text{ml}$ . Berikut merupakan nilai diagram rata-rata volume otak mencit Balb/C pada waktu 16 hari dan 31 hari.



Gambar 4. 2 Diagram nilai rata-rata volume otak hari ke-16

Gambar 4.2 menunjukkan nilai rata-rata volume otak pada setiap perlakuan memiliki nilai yang berbeda-beda setelah diberikan medan magnet ELF selama 15 hari. Pada gambar tersebut menunjukkan kelompok kontrol memiliki nilai yang paling tinggi dibandingkan dengan kelompok eksperimen intensitas  $100\mu T$  dan  $500\mu T$  yaitu sebesar  $0,483\text{ml}$ . Kelompok eksperimen  $100\mu T$  memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan intensitas  $500\mu T$  yaitu sebesar  $0,388\text{ml}$ . Berdasarkan gambar 4.2 dapat diketahui bahwa pada intensitas  $100\mu T$  dan intensitas  $500\mu T$  memiliki nilai yang berbeda, yang artinya pada hari ke-16 dapat mempercepat kinerja otak dengan intensitas  $500\mu T$  sedangkan intensitas  $100\mu T$  dapat memperlambat kinerja otak.



Gambar 4. 3 Diagram nilai rata-rata volume otak hari ke-31

Pada gambar 4.3 menunjukkan diagram nilai rata-rata volume otak hari ke-31 pada setiap perlakuan memiliki nilai yang berbeda-beda setelah diberikan paparan medan magnet ELF. Pada gambar tersebut menunjukkan kelompok eksperimen  $100\mu T$  memiliki nilai yang paling tinggi sebesar 0,506ml. Nilai kelompok kontrol lebih besar dengan kelompok eksperimen  $500\mu T$ . Kelompok kontrol memiliki nilai rata-rata sebesar 0,461ml. Berdasarkan gambar diatas menunjukkan bahwa paparan medan magnet ELF selama 30 hari berpengaruh terhadap volume otak.

Uji statistik pengaruh medan magnet ELF terhadap volume otak mencit Balb/C menggunakan SPSS 23 untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh antara kelompok kontrol yang tidak dipapar medan magnet ELF dan 2 kelompok eksperimen yang dipapar oleh medan magnet ELF dengan intensitas  $100\mu T$  dan  $500\mu T$  terhadap nilai volume otak mencit Balb/C. Analisis pengaruh medan magnet ELF terhadap volume otak mencit Balb/C menggunakan uji normalitas untuk mengetahui data volume otak berdistribusi normal atau tidak. Uji normalitas dilakukan dengan menggunakan *Kolmogrov-Smirnov* sebagai berikut.

Tabel 4. 2 Output Uji Normalitas Volume Otak Mencit Balb/C

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test			Populasi Volume Otak Hari Ke-16	Populasi Volume Otak Hari Ke-31
N			54	54
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean		.4496	.4704
	Std. Deviation		.07488	.06904
Most Extreme Differences	Absolute		.320	.272
	Positive		.320	.272
	Negative		-.180	-.240
Test Statistic			.320	.272
Asymp. Sig. (2-tailed)			.000 <sup>c</sup>	.000 <sup>c</sup>

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

c. Lilliefors Significance Correction.

Tabel diatas menunjukkan output hasil uji normalitas data pengukuran volume otak yang menunjukkan nilai Asym.Sig (2-tailed) 0,000 rata-rata untuk setiap pengukuran pada hari ke-16 dan hari ke-31. Nilai Asym. Sig. (2-tailed) menunjukkan bahwa kurang dari 0,05 atau <0,05 sehingga dapat dinyatakan bahwa data pengukuran volume otak mencit Balb/C tidak berdistribusi normal. Analisis data yang tidak berdistribusi normal akan dilanjutkan dengan menggunakan uji nonparametric yakni uji *Independent Sampel T Test-Uji Mann Whitney* dan dilanjutkan menggunakan uji *Kruskal Wallis*. Hasil uji *Independent Sampel T Test-uji Mann Whitney* volume otak mencit Balb/C disajikan pada tabel berikut:

Tabel 4. 3 Output Uji *Independent Sampel T Test-Uji Mann Whitney* Volume Otak Mencit Balb/C

Intensitas	Volume Otak hari ke-	Mann Whitney U	Wilcoxon W	Z	Asymp.Sig. (2-tailed)	Exact Sig [2*(1tailed Sig.)]
100 $\mu$ T	16	35.000	206.000	-4.425	0.000	0.000 <sup>b</sup>
500 $\mu$ T	16	151.000	322.000	-0.379	0.705	0.743 <sup>b</sup>
100 $\mu$ T	31	111.500	282.500	-1.724	0.085	0.111 <sup>b</sup>
500 $\mu$ T	31	140.000	311.000	-0.793	0.428	0.501 <sup>b</sup>

Tabel diatas menunjukkan outuput hasil uji *independent Sampel T Test* uji *Mann Whitney* data pengukuran volume otak mencit Balb/C antara kelompok kontrol dengan setiap kelompok eksperimen setelah pemaparan. Nilai Asymp. Sig. (2- tailed) sampel kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen pada hari ke-16 dengan intensitas 100 $\mu$ T memiliki nilai dibawah 0,05 atau Asymp. Sig. (2-tailed) <0,05 menyatakan bahwa  $H_a$  ditolak dan  $H_0$  diterima sedangkan 500 $\mu$ T memiliki nilai diatas 0,05 atau Asymp. Sig. (2-tailed) > 0,05. Nilai Asymp. Sig. (2-tailed) >0,05 menyatakan bahwa  $H_a$  diterima dan  $H_0$  ditolak, maknanya tidak terdapat volume otak yang signifikan antara kelompok kontrol, dengan kelompok eksperimen. Hal ini juga terjadi pada kelompok hari ke-31 baik kelompok eksperimen 100 $\mu$ T dan kelompok eksperimen 500 $\mu$ T memiliki nilai Asymp. sig (2-tailed) >0,05 yang mana  $H_a$  diterima dan  $H_0$  ditolak sehingga kelompok tersebut memiliki perbedaan yang signifikan.

Tabel 4. 4 Output Uji *Kruskall Wallis* Volume Otak Mencit Balb/C

Test Statistics <sup>a,b</sup>		
	Populasi Volume Otak Hari Ke-16	Populasi Volume Otak Hari Ke-31
Chi-Square	21.940	6.298
Df	2	2
Asymp. Sig.	.085	.043

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Kelompok Volume Otak

Berdasarkan tabel diatas menunjukkan output hasil uji *Kruskal Wallis* data pengukuran volume otak mencit Balb/C secara keseluruhan. Pada data volume otak pengukuran hari ke-16 menunjukkan nilai Asym. Sig. (2-tailed) 0,085. Nilai Asym. Sig. (2-tailed) tersebut menunjukkan nilai >0,05 dapat diartikan bahwa  $H_a$  diterima dan  $H_0$  ditolak, sehingga dapat dinyatakan bahwa terdapat perbedaan volume otak yang signifikan.

#### 4.1.2 Deskripsi Data dan Analisis Data Pengukuran Massa jenis Otak Mencit Balb/C

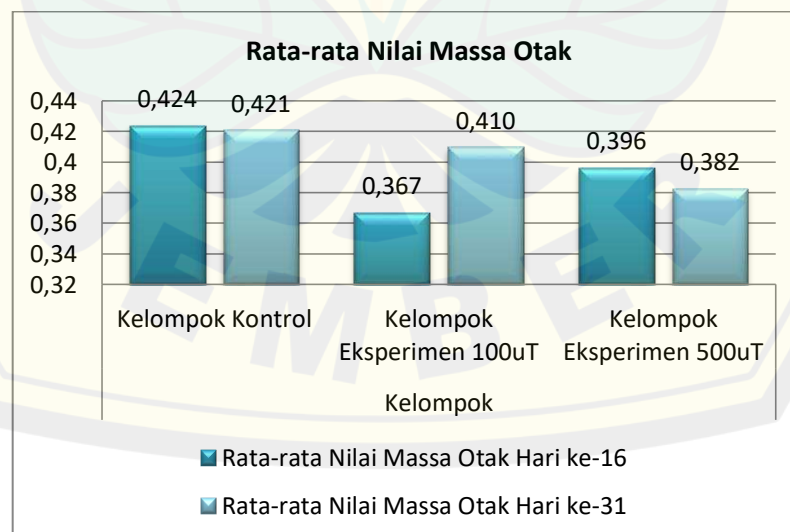
##### a. Data Pengukuran dan Analisis Data Massa Otak Mencit Balb/C

Otak merupakan pusat saraf utama yang berfungsi untuk pengaturan semua aktivitas tubuh, berkaitan dengan kepandaian (inteligensi), ingatan (memori), kesadaran, dan pertimbangan. Pengukuran massa otak dilakukan pembedahan pada kelompok kontrol dan kelompok eksperimen dengan intensitas  $100\mu T$  dan  $500\mu T$  pada hari ke-16 dan hari ke-31. Pengukuran massa otak dilakukan dengan menggunakan neraca digital dengan ketelitiannya mencapai 0,000gr. Hasil massa otak disajikan pada tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4. 5 Data Nilai Massa Otak Mencit Balb/C

Hari	Kelompok		
	Kontrol	$100\mu T$	$500\mu T$
Ke-16	0,424gr	0,367gr	0,396gr
Ke-31	0,421gr	0,410gr	0,382gr

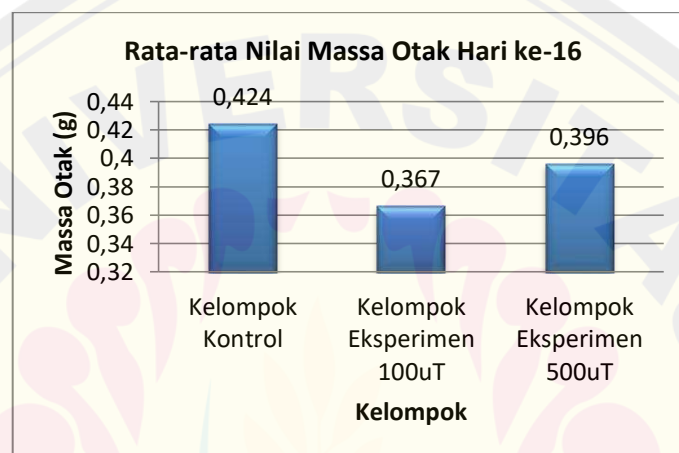
Berdasarkan Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan nilai rata-rata massa otak mencit Balb/C antara kelompok kontrol dan kelompok eksperimen. Perbedaan nilai massa otak dapat dilihat melalui diagram batang di bawah ini:



Gambar 4. 4 Diagram nilai rata-rata massa otak setiap pengukuran

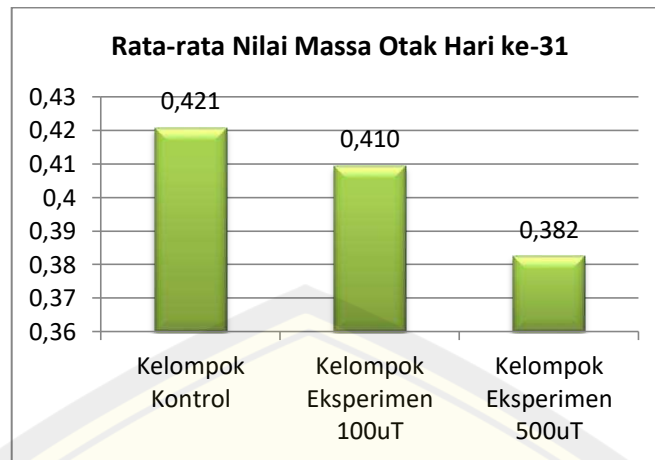


Berdasarkan gambar 4.4 pada diagram diatas dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan nilai rata-rata massa otak pada kelompok kontrol yang mengalami peningkatan jika dibandingkan dengan kelompok eksperimen  $100\mu T$  pada hari ke-16. Hal tersebut menunjukkan bahwa medan magnet ELF mempengaruhi perilaku hidup mencit Balb/C sehingga mempengaruhi cara kerja otak dan berdampak pada besar kecilnya massa otak pada mencit Balb/C. Berikut gambar diagram nilai rata-rata massa otak mencit Balb/C pada masing-masing waktu pengukuran:



Gambar 4. 5 Diagram nilai rata-rata massa otak mencit Balb/C hari ke-16

Gambar 4.5 menunjukkan diagram nilai rata-rata massa otak mencit Balb/C pada setiap perlakuannya menghasilkan nilai yang berbeda-beda. Nilai massa otak maksimum pada hari ke-16 yaitu pada kelompok control sebesar 0,424gr, sedangkan pada kelompok eksperimen  $100\mu T$  mengalami penurunan yang sangat drastic yakni sebesar 0,367gr. Pada kelompok eksperimen  $500\mu T$  memiliki nilai massa otak Adapun data hasil nilai rata-rata massa otak hari ke-31 yang disajikan pada bentuk diagram batang sebagai berikut.



Gambar 4. 6 Diagram nilai rata-rata massa otak hari ke-31

Gambar 4.6 menyajikan data hasil pengukuran nilai rata-rata massa otak mencit Balb/C dengan setiap kelompok memiliki perlakuan yang berbeda-beda antar kelompok kontrol dan 2 kelompok eksperimen. Kelompok eksperimen  $100\mu T$  memiliki nilai sebesar 0,406gr, sedangkan kelompok eksperimen  $500\mu T$  menghasilkan nilai yang sangat rendah yakni 0,381gr. Oleh karena itu, hasil tersebut menunjukkan bahwa medan magnet ELF pada kelompok control dapat mempercepat kerja otak sehingga massa otak yang dihasilkan semakin besar. Sedangkan kelompok eksperimen dengan intensitas  $500\mu T$  pada hari ke-31 mengalami penurunan massa otak yang disebabkan mencit Balb/C mengalami stress dan menyebabkan kerja otot yang semakin lemah.

Uji Statistik Pengaruh Medan Magnet ELF Terhadap Massa Otak Mencit Balb/C ini menggunakan SPSS 23 untuk mengetahui ada tidaknya terdapat pengaruh antar kelompok kontrol yang tidak dipapar medan magnet ELF dan 2 kelompok eksperimen yang dipapar oleh medan magnet ELF dengan intensitas  $100\mu T$  dan  $500\mu T$  terhadap nilai massa otak mencit Balb/C. Analisis pengaruh medan magnet ELF terhadap massa otak mencit Balb/C menggunakan uji normalitas untuk mengetahui data massa otak berdistribusi normal atau tidak. Uji normalitas dilakukan dengan menggunakan *Kolmogrov-Smirnov* sebagai berikut.

Tabel 4. 6 Uji Normalitas Massa Otak Mencit Balb/C

**One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test**

		Populasi Massa Otak Hari Ke-16	Populasi Massa Otak Hari Ke-31
N		54	54
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	.39569	.40804
	Std. Deviation	.033961	.023463
Most Extreme Differences	Absolute	.126	.222
	Positive	.073	.134
	Negative	-.126	-.222
Test Statistic		.126	.222
Asymp. Sig. (2-tailed)		.032 <sup>c</sup>	.000 <sup>c</sup>

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

c. Lilliefors Significance Correction.

Berdasarkan tabel 4.6 yang menyajikan data hasil output uji normalitas massa otak mencit Balb/C, didapatkan Asymp. Sig. (2-tailed) lebih dari 0,05 pada pengukuran hari ke-16 sehingga data dapat dinyatakan berdistribusi normal. Sedangkan pada data hari ke-31 memiliki nilai Asymp, sig, (2-tailed) sebesar 0,000 yang mana  $0,000 < 0,05$  sehingga data massa otak hari ke-31 dinyatakan sebagai data yang berdistribusi tidak normal. Dikarenakan data diatas termasuk dalam data yang tidak terdistribusi normal, maka dilakukan uji non parametris yakni uji *Mann whitney* dan dilanjutkan menggunakan uji Kruskal Wallis. Hasil uji data pada langkah selanjutnya sebagai berikut:

Tabel 4. 7 Output *Uji One Way Anova* Massa Otak Mencit Balb/C**ANOVA**

Populasi Massa Otak Hari Ke-16

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.030	2	.015	24.018	.000
Within Groups	.031	51	.001		
Total	.061	53			

Berdasarkan tabel diatas menunjukkan hasil uji Anova pada pengukuran massa otak mencit Balb/C hari ke-16 menyatakan nilai signifikansi (sig) sebesar 0,000. Nilai signifikansi tersebut menunjukkan bahwa lebih kecil dari 0,05, sehingga dinyatakan bahwa  $H_a$  ditolak sedangkan  $H_o$  diterima, maka dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan pada nilai massa otak yang signifikan antara kelompok kontrol, dengan kelompok eksperimen 100 $\mu$ T dan kelompok eksperimen 500 $\mu$ T selama 16 hari.

Tabel 4. 8 Output Uji Anova Multiple Comparison Post Hoc

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: Populasi Massa Otak Hari Ke-16

LSD

(I)Kelompok	(J) Kelompok	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Kelompok Kontrol	Kelompok Eksperimen 100 $\mu$ T	.057389*	.008281	.000	.04076	.07401
	Kelompok Eksperimen 500 $\mu$ T	.027889*	.008281	.001	.01126	.04451
Kelompok Eksperimen 100 $\mu$ T	Kelompok Kontrol	-.057389*	.008281	.000	-.07401	-.04076
	Kelompok Eksperimen 500 $\mu$ T	-.029500*	.008281	.001	-.04613	-.01287
Kelompok Eksperimen 500 $\mu$ T	Kelompok Kontrol	-.027889*	.008281	.001	-.04451	-.01126
	Kelompok Eksperimen 100 $\mu$ T	.029500*	.008281	.001	.01287	.04613

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Berdasarkan tabel diatas menunjukkan output hasil Uji Anova Multiple Comparisons Post Hoc massa otak mencit Balb/C antara kelompok kontrol dengan setiap kelompok eksperimen pada hari ke-16 setelah pemaparan 2 jam setiap hari. Nilai signifikansi antara kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen 100 $\mu$ T pada hari ke-16 menunjukkan (sig)  $0,000 < 0,05$ , hal ini menyatakan bahwa  $H_a$  diterima dan  $H_0$  ditolak sehingga terdapat perbedaan

signifikan antara kelompok control dengan kelompok eksperimen 100 $\mu$ T hari ke-16 setelah pemaparan. Selanjutnya pada kelompok control dengan kelompok eksperimen 500 $\mu$ T pada table Pos Hoc menunjukkan (sig) 0,001<0,05. Nilai signifikansi kurang dari 0,05 menyatakan bahwa Ha diterima sedangkan H0 ditolak. Hal ini menunjukkan bahwa antara kelompok control dengan kelompok eksperimen 500 $\mu$ T memiliki perbedaan yang signifikan. Hal ini juga terjadi pada hubungan antara kelompok eksperimen 100 $\mu$ T dengan kelompok eksperimen 500 $\mu$ T yang memiliki nilai signifikansi sebesar 0,001 atau 0,001<0,05 yang mengartikan bahwa Ha diterima dan H0 ditolak, maka dapat ditarik bahwa antara kelompok eksperimen 100 $\mu$ T dengan kelompok eksperimen 500 $\mu$ T memiliki perbedaan yang signifikan pada hari ke-16.

Tabel 4. 9 Output *Uji Independent Sampel T Test-Uji Mann Whitney* massa otak mencit Balb/C

Intensitas	Massa Otak hari ke-	Mann Whitney U	Wilcoxon W	Z	Asymp. Sig.(2-tailed)	Exact Sig [2*(1tailed Sig.)]
100 $\mu$ T	31	162.000	333.000	0.000	1.000	1.000 <sup>b</sup>
500 $\mu$ T	31	0.500	171.500	-5.116	0.000	0.000 <sup>b</sup>

Berdasarkan tabel diatas menunjukkan output hasil uji *Independent Sampel T Test-Uji Mann Whitney* hasil data pengukuran massa otak mencit Balb/C antara kelompok kontrol dengan kelompok eskperimen. Nilai Asymp. Sig. (2-tailed) sampel kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen hari ke-31 dengan intensitas 100 $\mu$ T menunjukkan nilai 1.000>0,05 dan intensitas 500 $\mu$ T menunjukkan nilai dibawah 0,05 atau Asymp. Sig (2-tailed) <0,05 menyatakan bahwa Ha ditolak dan H<sub>0</sub> diterima. Nilai Asymp >0,05 memiliki arti bahwa Ha diterima dan Ha ditolak, yang artinya tidak memiliki perbedaan massa otak yang signifikan antara kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen.



Tabel 4. 10 Ouput Uji *Kruskall Wallis* Massa Otak Mencit Balb/CTest Statistics<sup>a,b</sup>

	Populasi Massa Otak Hari Ke-16
Chi-Square	30.799
Df	2
Asymp. Sig.	.000

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable:

Kelompok

Berdasarkan tabel diatas menunjukkan hasil ouput uji *Kruskal Wallis* data massa otak secara keseluruhan antara kelompok control dengan kelompok eksperimen pada pengukuran hari ke-31 setelah pemaparan menunjukkan nilai Asym. Sig (2-tailed)  $0,000 < 0,05$ . Nilai Asymp Sig. (2-tailed)  $< 0,05$  menyatakan bahwa  $H_a$  diterima dan  $H_0$  ditolak, sehingga dapat diartikan bahwa terdapat perbedaan nilai massa jantung yang signifikan antara kelompok control dengan kelompok eksperimen pada hari ke-31.

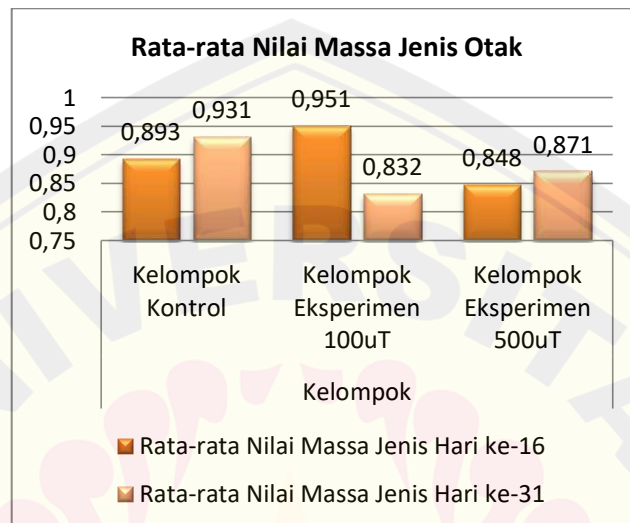
## b. Data Pengukuran dan Analisis Data Massa Jenis Otak Mencit Balb/C

Otak adalah salah satu organ vital bagi tubuh manusia, hal ini karena, sebagai bagian dari sistem saraf pusat. Pengamatan nilai massa jenis otak didapatkan dengan menggunakan rumus massa otak dibagi dengan volume otak, sebelumnya harus sudah mengetahui massa otak dan volume otak sehingga didapatkan nilai massa jenisnya. Kemudian setelah diperoleh nilai massa otak dan volume otak, langsung menghitung massa jenis menggunakan persamaan massa jenis. Hasil dan nilai massa jenis disajikan pada tabel 4.3 sebagai berikut.

Tabel 4. 11 Data Nilai Massa Jenis Otak Mencit Balb/C

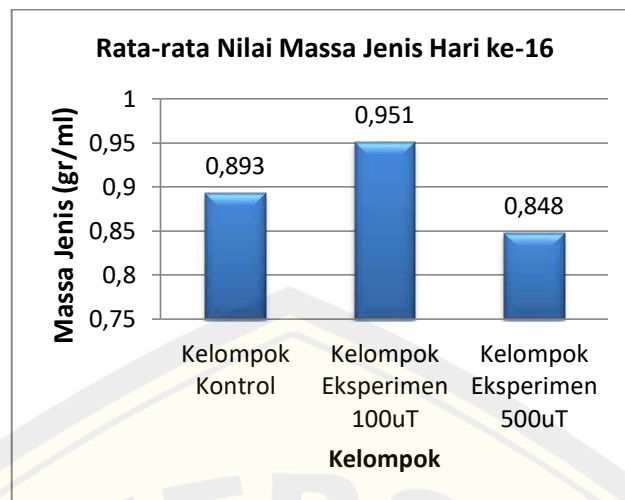
Hari ke-	Kelompok		
	Kontrol (gr/ml)	Eksperimen $100\mu T$ (gr/ml)	Eksperimen $500\mu T$ (gr/ml)
Ke-16	0,893	0,951	0,848
Ke-31	0,931	0,832	0,871

Berdasarkan tabel 4.11 dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan setiap perlakuannya dan memiliki nilai rata-rata yang berbeda-beda antar kelompok kontrol dan 2 kelompok eksperimen setelah diberikan paparan medan magnet ELF. Adapun data hasil pengukuran massa jenis otak yang disajikan pada bentuk diagram batang sebagai berikut.



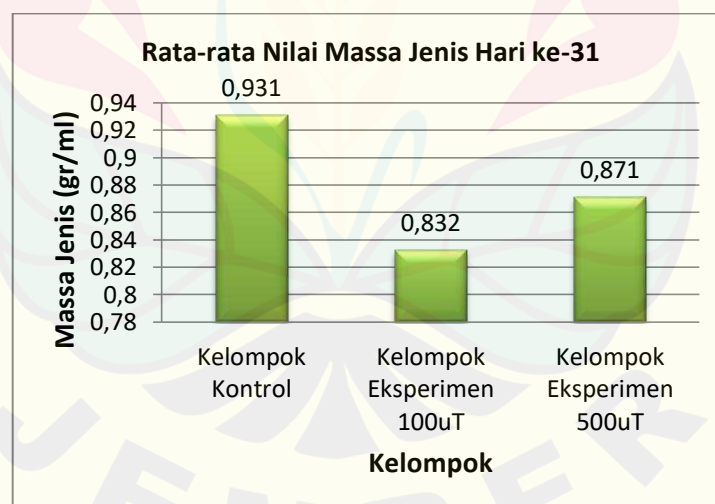
Gambar 4. 7 Diagram nilai rata-rata massa jenis otak mencit Balb/C

Gambar 4.7 menyajikan data hasil rata-rata massa jenis otak mencit Balb/C yang setiap perlakuannya memiliki nilai yang berbeda-beda setelah diberikan paparan medan magnet ELF. Pada kelompok kontrol di hari ke-16 sampai hari ke-31 mengalami peningkatan sebesar 0,038gr/ml. Kelompok eksperimen 100µT mengalami penurunan yang sangat drastis sebesar 0,12gr/ml sedangkan kelompok eksperimen 500µT mengalami peningkatan meskipun sedikit yaitu sebesar 0,023gr/ml. Kelompok control pada hari ke-16 memiliki nilai massa jenis 0,893gr/ml, sedangkan pada hari ke-31 sebesar 0,931gr/ml. Kelompok eksperimen 100µT pada hari ke-16 nilainya sebesar 0,951gr/ml, sedangkan pada hari ke-31 nilainya sebesar 0,832gr/ml. Kelompok eksperimen 500µT pada hari ke-16 memiliki nilai sebesar 0,848gr/ml, sedangkan hari ke-31 nilainya sebesar 0,871gr/ml. Berikut gambar diagram nilai rata-rata massa jenis masing-masing dalam waktu pengukuran.



Gambar 4. 8 Diagram nilai rata-rata massa jenis otak mencit Balb/C hari ke-16

Gambar 4.8 menunjukkan diagram nilai rata-rata massa jenis hari ke-16 pada setiap perlakuannya memiliki nilai yang berbeda-beda. Nilai massa jenis tertinggi pada kelompok eksperimen  $100\mu T$  nilainya sebesar  $0,951\text{gr/ml}$ . Sedangkan nilai massa jenis otak terendah pada kelompok eksperimen  $500\mu T$  sebesar  $0,848\text{gr/ml}$ .



Gambar 4. 9 Diagram nilai rata-rata massa jenis otak mencit Balb/C hari ke-16

Gambar 4.9 menyajikan data hasil pengukuran massa jenis otak mencit Balb/C hari ke-31. Kelompok control memiliki nilai yang tertinggi diantara kelompok eksperimen  $100\mu T$  dan kelompok eksperimen  $500\mu T$ . Pada kelompok control memiliki nilai sebesar  $0,931\text{gr/ml}$ . Kelompok eksperimen  $100\mu T$  memiliki

nilai yang sangat rendah bila dibandingkan dengan kelompok kontrol dan kelompok eksperimen  $500\mu T$  yakni  $0,832\text{gr/ml}$ . Kelompok eksperimen  $500\mu T$  memiliki nilai sebesar  $0.871\text{gr/ml}$ .

Uji Statistik Pengaruh Medan Magnet ELF Terhadap Massa Jenis Otak Mencit Balb/C ini menggunakan SPSS 23 untuk mengetahui ada tidaknya terdapat pengaruh antar kelompok kontrol yang tidak dipapar medan magnet ELF dan 2 kelompok eksperimen yang dipapar oleh medan magnet ELF dengan intensitas  $100\mu T$  dan  $500\mu T$  terhadap nilai volume otak mencit Balb/C. Analisis pengaruh medan magnet ELF terhadap massa otak mencit Balb/C menggunakan uji normalitas untuk mengetahui data volume otak berdistribusi normal atau tidak. Uji normalitas dilakukan dengan menggunakan *Kolmogrov-Smirnov* sebagai berikut.

Tabel 4. 12 Output Uji Normalitas Massa Jenis Otak Mencit Balb/C

#### One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Populasi Massa Jenis Otak Hari Ke-16	Populasi Massa Jenis Otak Hari Ke-31
N		54	54
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	.8972	.8615
	Std. Deviation	.12122	.16694
Most Extreme Differences	Absolute	.107	.104
	Positive	.088	.083
	Negative	-.107	-.104
Test Statistic		.107	.104
Asymp. Sig. (2-tailed)		.187 <sup>c</sup>	.200 <sup>c,d</sup>

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

c. Lilliefors Significance Correction.

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

Tabel diatas menyajikan data output uji normalitas massa jenis otak mencit Balb/C, didapatkan nilai Asymp. Sig (2-tailed)  $>0,05$  baik pada kelompok hari ke-16 ataupun hari ke-31. Nilai lebih dari  $0,05$  menunjukkan bahwa kedua kelompok diputuskan sebagai data yang normal. Langkah selanjutnya

menggunakan *Uji Anova* serta LSD karena data yang disajikan berdistribusi normal. Data output *Uji Anova* dapat disajikan sebagai berikut:

Tabel 4. 13 Ouput Uji One Way Anova Massa Jenis Otak Hari Ke-16

#### ANOVA

Populasi Massa Jenis Otak Hari Ke-16

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.313	19	.016	1.201	.312
Within Groups	.466	34	.014		
Total	.779	53			

Tabel diatas menunjukkan hasil uji Anova pengukuran massa jenis otak mencit Balb/C hari ke-16 menyatakan nilai signifikansi (sig) sebesar 0,312. Nilai signifikan tersebut menunjukkan bahwa  $>0,05$ , sehingga menyatakan bahwa  $H_a$  diterima sedangkan  $H_0$  ditolak, maka dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan pada nilai massa jenis otak yang signifikan antara kelompok kontrol, dengan kelompok eksperimen  $100\mu T$  dan kelompok eksperimen  $500\mu T$  selama 16 hari. Adapun hasil uji Anova pengukuran massa jenis otak Mencit Balb/C hari ke-31 sebagai berikut:

Tabel 4. 14 Ouput Uji One Way Anova Massa Jenis Otak Hari Ke-31

#### ANOVA

Populasi Massa Jenis Otak Hari Ke-31

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.342	19	.018	.538	.923
Within Groups	1.136	34	.033		
Total	1.477	53			

Tabel diatas menunjukkan hasil uji Anova pengukuran massa jenis otak mencit Balb/C hari ke-31 menyatakan nilai signifikansi (sig) sebesar 0,923. Nilai signifikan tersebut menunjukkan bahwa  $>0,05$ , sehingga menyatakan bahwa  $H_a$  diterima sedangkan  $H_0$  ditolak, maka dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan pada nilai massa jenis otak yang signifikan antara kelompok kontrol, dengan kelompok eksperimen  $100\mu T$  dan kelompok eksperimen  $500\mu T$  selama 31 hari.

## 4.2 Pembahasan

### 4.3.1 Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF Terhadap Volume Otak Mencit Balb/C

Penelitian ini mengkaji pengaruh paparan medan magnet ELF dengan intensitas dan lama paparan medan magnet ELF terhadap volume otak. Variasi intensitas yang digunakan yaitu  $100\mu T$  dan  $500\mu T$  dengan lama paparan 2 jam per hari selama 15 hari dan 30 hari terhadap mencit Balb/C. Sampel yang digunakan terbagi atas kelompok kontrol dan dua kelompok eksperimen yang dipapar medan magnet ELF dengan intensitas  $100\mu T$  dan  $500\mu T$ . Pengukuran volume otak dilakukan pada hari ke-16 dan hari ke-31 sebelumnya mencit Balb/C dipapar oleh medan magnet ELF selama 15 hari. Tahap pengukuran nilai volume otak dilakukan dengan beberapa tahapan yakni pemilihan mencit yang secara sehat dan aktif. Setelah pemilihan mencit dilakukan maka mencit diberikan anestesi berupa *xyla+ketamine* sebanyak 0,05ml untuk per mencitnya dengan durasi anestesi selama 10 menit setelah disuntik. Setelah mencit Balb/C tidak sadarkan diri atau anestesi, selanjutnya mencit Balb/C diletakkan pada papan bedah dan dilanjutkan pembedahan dibagian perutnya terlebih dahulu diambil darah, jantung setelah itu pengambilan otaknya. Pengambilan otak dilakukan pada tengkuk mencit Balb/C digunting dengan alat khusus pembedahan yakni gunting bedah dan mengambil otaknya menggunakan pinset, otak ditempatkan disebuah kertas. Pengukuran volume otak dilakukan dengan menggunakan tabung suntik, hal tersebut dikarenakan jika menggunakan gelas beaker atau tabung ukur nilai volume otak tidak dapat terlihat sehingga dibutuhkan tabung yang lebih kecil yang sesuai dengan ukuran otaknya yaitu tabung suntik. Pengukuran volume otak dilakukan menggunakan formalin. Oleh karena itu, untuk menghindari kerusakan pada organ otak. Tabung suntik dimasukkan formalin sebanyak 1ml, setelah itu otaknya dimasukkan kedalam tabung suntik yang sudah diberikan formalin sehingga dapat dibaca perubahan volume awal dengan volume akhir.

Berdasarkan hasil penelitian nilai rata-rata volume otak hari ke-16, kelompok kontrol memiliki nilai sebesar 0,483ml. Sedangkan pada kelompok



eksperimen 100 $\mu$ T mengalami penurunan yang cukup drastis yakni 0,388ml, dikarenakan mencit Balb/C memiliki beberapa luka di punggung yang mengakibatkan mencit Balb/C mengalami stress dan kurangnya nafsu makan dan berpengaruh terhadap volume otak. kelompok eksperimen 500 $\mu$ T nilai rata-rata volume otak tidak jauh lebih besar dengan kelompok kontrol yaitu 0,478ml. Nilai rata-rata volume otak hari ke-31, kelompok kontrol memiliki nilai sebesar 0,461ml. pada kelompok eksperimen 100 $\mu$ T mengalami peningkatan volume otak yang sangat drastis yakni 0,506ml, dikarenakan mencit Balb/C sangat aktif dan sehat sehingga berpengaruh terhadap volume otak. Sedangkan pada kelompok eksperimen 500 $\mu$ T mengalami penyusutan volume yaitu sebesar 0,444ml, dikarenakan mencit Balb/C mengalami stress sehingga nafsu makannya menjadi berkurang maka berpengaruh besar terhadap volume otak.

Hasil dari penelitian yang dilakukan pada volume otak yang diberikan paparan medan magnet ELF mengalami perubahan berupa penurunan dan peningkatan. Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian mengatakan bahwa pada intensitas rendah yang mengenai volume otak, dapat kembali pulih dengan cukup cepat, namun pada intensitas tinggi pada volume otak tidak mampu memperbaiki diri atau mengalami kerusakan permanen atau kematian jaringan sel. Sel otak yang rusak secara permanen dapat menghasilkan berbagai penyakit pada otak dan meningkatkan risiko kanker akibat radiasi yang diberikan. Hal ini menunjukkan bahwa efek radiasi pada tubuh manusia bergantung pada seberapa besar intensitas yang diberikan (Wulandari,2014). Peningkatan dan penurunan volume otak yang terjadi dapat berdampak positif dan negatif. Peningkatan atau proliferasi pada volume otak berlebihan dapat menyebabkan berbagai penyakit seperti kanker otak dan tumor otak. Selain itu, penurunan atau apoptosis pada volume otak dengan kondisi normal mudah menyebabkan terbentuknya antibodi.

#### 4.3.2 Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF Terhadap Massa Otak dan Massa Jenis Otak Mencit Balb/C

Penelitian ini mengkaji pengaruh paparan medan magnet ELF dengan intensitas dan lama paparan medan magnet ELF terhadap massa otak. Variasi

intensitas yang digunakan yaitu  $100\mu T$  dan  $500\mu T$  dengan lama paparan 2 jam per hari selama 15 hari dan 30 hari terhadap mencit Balb/C. Sampel yang digunakan terbagi atas kelompok control dan dua kelompok eksperimen yang dipapar medan magnet ELF. Pengukuran massa otak dilakukan pada hari ke-16 dan hari ke-31 sebelumnya mencit Balb/C dipapar oleh medan magnet ELF selama 15 hari. Tahap pengukuran nilai massa otak dilakukan dengan beberapa tahapan yakni pemilihan mencit yang secara sehat dan aktif. Setelah pemilihan mencit dilakukan maka mencit diberikan anestesi berupa *xyla+ketamine* sebanyak 0,05ml untuk per mencitnya dengan durasi anestesi selama 10 menit setelah disuntik. Setelah mencit Balb/C tidak sadarkan diri atau anestesi, selanjutnya mencit Balb/C diletakkan pada papan bedah dan dilanjutkan pembedahan dibagian perutnya terlebih dahulu diambil darah, jantung setelah itu pengambilan otaknya. Pengambilan otak dilakukan pada tengkuk mencit Balb/C digunting dengan alat khusus pembedahan yakni gunting bedah dan mengambil otaknya menggunakan pinset, otak ditempatkan disebuah kertas dan menyiapkan neraca analitik dengan ketelitian 0,000gr. Pengukuran massa otak dilakukan sebanyak 3 kali baik kelompok control maupun kelompok eksperimen.

a. Pengaruh paparan medan magnet ELF terhadap Massa Otak Mencit Balb/C

Berdasarkan hasil penelitian medan magnet ELF intensitas  $100\mu T$  dan  $500\mu T$  dengan lama paparan 2 jam per hari selama 15 hari dan 30 hari berpengaruh terhadap nilai massa otak mencit Balb/C namun hasilnya kurang signifikan. Nilai massa otak pada hari ke-16 pada kelompok control memiliki nilai rata-rata sebesar 0,424gr. Hasil pengukuran nilai massa otak seluruh sampel pada kelompok control hari ke-16 dan hari ke-31 cenderung mengalami sedikit penurunan sebesar 0,003gr. Sedangkan pada kelompok eksperimen  $100\mu T$  mengalami peningkatan yang sangat drastis yakni 0,043gr. Hal tersebut tidak terjadi pada intensitas  $500\mu T$  yang mengalami penurunan sebesar 0,014gr.

Pengaruh paparan medan magnet ELF yang diberikan pada mencit Balb/C dapat mempengaruhi tingkat stress yang dialami mencit Balb/C. Kenaikan tingkat stress pada mencit Balb/C tidak hanya disebabkan oleh paparan medan magnet ELF, namun juga pada perlakuan yang diberikan pada mencit Balb/C. Adanya

induksi medan magnet akan menyebabkan tersimpannya sejumlah electron dalam tubuh manusia merupakan suatu tidak normal. Adapun kelebihan electron di dalam tubuh akan mempengaruhi kerja susunan syaraf yang membuat kesehatan terganggu atau mengalami stress (Jono dan Furqon, 2017). Menurut Mutiarahmi, *et al*, (2021) tingkat stress yang dialami hewan percobaan dapat mempengaruhi makanan dan minuman yang dikonsumsi hewan percobaan.

Paparan medan magnet ELF terhadap perubahan massa otak mencit Balb/C dapat mempengaruhi sel-sel yang ada pada tubuh mencit Balb/C sehingga berpengaruh besar pada kinerja otak. Berdasarkan hasil nilai rata-rata massa otak hari ke-31 sangat berpengaruh terhadap paparan medan magnet ELF, dapat disimpulkan bahwa intensitas  $100\mu T$  dan  $500\mu T$  selama 31 hari dapat menyebabkan penurunan yang sangat drastis dan kurang signifikan bila dibandingkan dengan kelompok kontrol.

#### b. Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF Terhadap Massa Jenis Otak Mencit Balb/C

Penelitian ini mengkaji pengaruh paparan medan magnet ELF dengan intensitas dan lama paparan medan magnet ELF terhadap massa jenis otak. Variasi intensitas yang digunakan yaitu  $100\mu T$  dan  $500\mu T$  dengan lama paparan 2 jam per hari selama 15 hari dan 30 hari terhadap mencit Balb/C. Sampel yang digunakan terbagi atas kelompok control dan dua kelompok eksperimen yang dipapar medan magnet ELF. Pengukuran massa jenis otak dilakukan pada hari ke-16 dan hari ke-31 sebelumnya mencit Balb/C dipapar oleh medan magnet ELF selama 15 hari. Pengukuran massa jenis otak mencit Balb/C dilakukan dengan menghitung 6 ekor mencit per kelompok dengan menggunakan neraca analitik dengan ketelitiannya 0,000gr, kemudian memasukkan ke dalam tabung suntik berisi 1ml formalin, kemudian mencatat perubahan volumenya yaitu volume awal dikurangi volume akhir. Kemudian dilanjutkan dengan menghitung massa jenis mencit Balb/C dengan perhitungan rumus massa jenis.

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai massa jenis antara kelompok control dengan kelompok eksperimen memiliki perbedaan di setiap

waktu pengukuran. Pada kelompok kontrol hari ke-16 nilai rata-rata massa jenis otak yaitu sebesar 0,893gr/ml. pada kelompok eksperimen 100 $\mu$ T mengalami peningkatan yang cukup drastis yakni sebesar 0,951gr/ml. Sedangkan kelompok eksperimen 500 $\mu$ T mengalami penurunan yang cukup drastic bila dibandingkan dengan kelompok control dan kelompok eksperimen 100 $\mu$ T nilai rata-rata massa jenis yang dihasilkan sebesar 0,848gr/ml. Nilai rata-rata volume otak hari ke-31, kelompok control memiliki nilai paling tinggi bila dibandingkan dengan kelompok eksperimen 100 $\mu$ T dan kelompok eksperimen 500 $\mu$ T nilai dari kelompok control sebesar 0,931gr/ml. kelompok eksperimen 500 $\mu$ T nilainya tidak jauh besar dengan kelompok control yakni 0,871gr/ml. sedangkan kelompok eksperimen 100 $\mu$ T mengalami penurunan yang cukup drastis jika dibandingkan dengan kelompok yang lain yakni 0,832gr/ml.

Pada penelitian massa jenis otak ini menunjukkan jika paparan medan magnet ELF berpengaruh pada massa jenis otak mencit Balb/C. Pengaruh yang diberikan oleh paparan medan magnet ELF pada massa jenis berbanding terbalik dengan volume otak yang berarti bahwa peningkatan massa jenis akan mengalami proliferasi atau disebut dengan penambahan jaringan sel, sehingga kerusakan pada sel otak semakin kecil. Sedangkan pengaruh paparan medan magnet ELF pada massa jenis terjadi penurunan maka mengalami apoptosis (kerusakan jaringan sel) sehingga kerusakan jaringan sel yang dihasilkan semakin banyak dikarenakan massa jenis berbanding terbalik dengan volume mengacu pada rumus massa jenis yang mana massa jenis  $\rho = \frac{m}{v}$ .

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah disajikan, dapat diperoleh kesimpulan bahwa:

5.1.1 Paparan radiasi medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF)  $100\mu T$  dan  $500\mu T$  dapat mempengaruhi volume otak mencit Balb/C. Pengaruh paparan radiasi medan magnet ELF dapat disimpulkan bahwa kelompok eksperimen  $100\mu T$  sangat mempengaruhi proliferasi sel otak. Sedangkan kelompok eksperimen  $500\mu T$  cenderung mengalami apoptosis.

5.1.2 Paparan radiasi medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF)  $100\mu T$  dan  $500\mu T$  dapat mempengaruhi massa jenis otak mencit Balb/C. Pengaruh paparan radiasi medan magnet ELF lebih terlihat setelah 31 hari. Pengaruh yang dihasilkan oleh paparan radiasi medan magnet ELF berupa kelompok eksperimen  $100\mu T$  sangat mempengaruhi apoptosis. Sedangkan kelompok eksperimen  $500\mu T$  cenderung mengalami proliferasi.

### 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka saran yang diberikan adalah sebagai berikut:

- a. Perlu dilakukannya penelitian yang lebih lanjut mengenai paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) dengan intensitas yang lebih tinggi.
- b. Perlu dilakukannya penelitian yang lebih lanjut mengenai variasi lama paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF).
- c. Perlu dilakukannya penelitian yang lebih lanjut mengenai paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) pada variabel lain yang lebih bervariasi.
- d. Perlu dilakukannya penelitian yang lebih lanjut mengenai paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) pada sampel yang lain.
- e. Peneliti harus lebih hati-hati dan teliti dalam proses penelitian agar tidak terdapat kesalahan dalam penelitian.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. 2016. *Fisika Dasar I*. Institut Teknologi Bandung.
- Agdes, A., A. Yuni., dan L. Andriani. 2020. Gambaran Histopatologi Otak Mencit (Mus Musculus L) Setelah Pemberian Fraksi Daun Sembung Rambat (Mikania Micrantha Kunth) Sebagai Aktivitas Neuroprotektan. *Jurnal Farmamedika*. 5(1), 30–37.
- Agnati, LF, Guidolin, D., Maura, G., Marcoli, M. 2018. Peran Fungsional dari Tiga Isyarat Yang Menyediakan Non-Sinaptik di Otak: Medan Elektromagnetik, Oksigen, dan Karbon Dioksida. *Jurnal Neurofisiol*. 119(1), 356–368.
- Angelika, K. Dan Reni, J. 2021. Extremely Low-Frequency Magnetic Field as a Stress Factor—Really Detrimental?—Insight into Literature from the Last Decade. *Brain Sciences*. 11(174), 1–20.
- Angelo., E. Costantini., M. A. Kamal., Mufid, R. 2015. Experimental model for ELF-EMF exposure: Concern for human health. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 22, 75–84.
- Ariangga, F. D. 2015. *Analisis Dampak Paparan Medan Magnet Extremely Low Frequency (Elf) Intensitas 500  $\mu$ t Terhadap Jumlah Limfosit Mencit Balb-C Sebagai Karya Ilmiah Populer*. Jember: Universitas Jember.
- Baldi. I., G. Coureau, A. Jaffre, A. Gruber, dan S. Ducamp. 2011. Occupational And Residential Exposure to Electromagnetic Fields And Brain Tumor Risk In Adults: A Case-Control Study. *Jurnal Cancer*. 129(6), 1477–1484.
- Berlianti, N. A., Af'idah., N. Hayati., O. A. Manasikana., dan A. W. Wijayadi. 2021. Sosialisasi Resiko Paparan Radiasi Gelombang Elektromagnetik yang dihasilkan oleh Smartphone terhadap Pertumbuhan Otak Anak. *Jurnal Pemberdayaan Masyarakat*, 6(2), 663–670.
- Busman, H., & Muhartono. 2013. Peningkatan Ketebalan Miokardium Mencit (Mus musculus L.) Akibat Paparan Medan Listrik Tegangan Tinggi. *MKB*. 45(3), 155–160.
- Camille., E. Yolande., T. Maxime., P. Clement. 2020. Residential Proximity To Power Lines And Risk Of Brain Tumor In The General Population. *Jurnal Environmental Research*. 18(5), 1–11.
- Cheng, Y. Dai., X. Zhu., H. Xu., P. Cai., L. Mao. 2015. Frequency Electromagnetic Field Low Increases Cell Proliferation And Differentiation Neural Progenitors Cultured From Ischemic Brains. *Nerve Journal*. 26, 896–



902.

Chicon, Natalia., Bijak, Michal., Miller, Elzbieta., dan Saluk, J. (2017). Extremely Low Frequency Electromagnetic Field (ELF-EMF) Reduces Oxidative Stress and Improves Functional and Psychological Status in Ischemic Stroke Patients. *Jurnal Bio Electromagnetics*. 1–11.

Chicon, N., S, Ewelina., M. Elzbieta., S. Tomasz., C. Michal., S. Joana., and B, M. 2020. Effect of Rehabilitation with Extremely Low Frequency Electromagnetic Field on Molecular Mechanism of Apoptosis in Post-Stroke Patients. *Brain Sciences*. 10(266). 1–12.

Diptayanusa, Ajib, Mulyaningsih Budi, Cahyani Ratna Sari Dwi, Partadiredja Ginus, Yunus Junaedy, Arfian Nur, Sianipar Osman, Susilowati Rina, Tasmini, and Tunggul Satoto Tri, Baskoro. 2020. *Sistem Saraf*. edited by H. S. Ahmad, W. Widya, and F. Z. Alfia. Yogyakarta: UGM Gajah Mada University Press.

Fajri, M., Sudarti, dan Yushardi. 2015. Analisis Dampak Paparan Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF) Intensitas  $> 100 \mu\text{T}$  Terhadap Kelianan Kongenital Bayi Tikus Putih Stain Wistar. *Jurnal Pendidikan Fisika*. 4(1), 15–20.

Furqon, Muchammad Figur, and Jamaaludin, Jono. 2017. “Bahaya Medan Elektromagnetik Di Kehidupan Sehari-Hari.” *Journal of Industrial Hygiene and Occupational Health* 1(2):161.

Giancoli, Douglass. 2001. *Fisika Jilid 2 (Jilid 2)*. Jakarta: Erlangga.

Guenther, Robert D. 1990. *Modern Optics*. USA: John Wiley & Sons, Inc.

Guenther, B. 2015. *Modern Optics: Second Edition*. United States of America: Oxford University Press.

Gui, L., Azam. S. M. R., Guo, Y., Liu, D., dan H. Ma. 2021. Germicidal Efficacy of The Pulsed Magnetic Field Against Pathogens and Spoilage Microorganism in food Processing. *Food Control*. 2: 1-5.

Griffiths, David J. 1999. *Introduction to Electrodynamics*. New Jersey: Prentice-Hal, Inc.

Halliday, Resnick, dan Walker. 1997. *Fisika Dasar*. Jakarta: Erlangga.

Hastuti, U. S. 2006. Pengaruh Berbagai Dosis Citrinin Terhadap Kerusakan Struktur Hepatosit Mencit (*Mus Musculus*) pada Tiga Zona Lobulus Hepar. *Jurnal Kedokteran Brawijaya*. 22(3), 121–126.

- Hosseini, E. 2021. Brain-to-Brain Communication: The Possible Role Of Brain Electromagnetic Fields (As a Potential Hypothesis). *Jurnal Heliyon*. 7(1), 1–9.
- Hosseini, E. 2021. Brain-to-Brain Communication: The Possible Role Of Brain Electromagnetic Fields (As a Potential Hypothesis). *Jurnal Heliyon*. 7, 1–9.
- Husna, U., Sujuti, Hidayat., dan M. Dalhar. 2017. Pengaruh Pemberian Ekstrak Propolis terhadap Ekspresi Bcl2 dan Apoptosis pada Sel Otak Tikus Model Cedera Otak Traumatik. *Jurnal Kedokteran Brawijaya*. 29(3), 196–201.
- Idayati. 2011. Pengaruh Radiasi Handphone Terhadap Kesehatan. *Jurnal Kedokteran Syiah Kuala*. 11(2), 115–120.
- Impe, J.V., C. Smet, B. Tiwari, R. Grenier, S. Ojha, T. Vukusic, dan A. Rezek. 2018. State of The Art of Non-Thermal and Thermal Processing for Inactivation of Micro-Organismms. *Journal of Applied Microbiology*. 125(1): 16-35.
- Iqlima, M. N. 2020. Kerusakan Sel Hepar Akibat Paparan Radiasi Elektromagnetik Telepon Seluler. *Jurnal Kedokteran Dan Kesehatan-Fakultas Kedokteran Universitas Islam Sumatera Utara*. 19(1), 40–45.
- Khan, S., Cohen, D. 2019. Menggunakan Magnetoencephalogram Untuk Mengukur Secara Noninvasif Magnetit di Otak Manusia Yang Hidup. *Jurnal Peta Otak*. 40(5), 45–52.
- Kulkarni, G. dan W. Gandhare. 2015. Effect of Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields on Brain Activity. *Jurnal Internasional Ilmu Kedokteran Dan Kesehatan Masyarakat*. 3(1), 903–905.
- Kusumaningtyas, N. 2017. Uji Toksisitas Akut Ekstrak Valerian (Valeriana Officinalis) Terhadap Otak Mencit Balb/C. *Jurnal Kesehatan*. 2(1), 1–25.
- Lai, Henry., dan Narendra P.Singh. 2004. Magnetic-Field–Induced DNA Strand Breaks in Brain Cells of the Rat. *Environmental Health Perspectives*. 112(6):687-694.
- Luzdemio, H., A. Minano., A. Carolina., D.S. Silvia., S. Paulo., A. Souto., E. Jose., dan X. Costa. 2020. Magnetic Fields in Food Processing Perspectives, Applications and Acton Models.1-3.
- Malole, M. B., and C. S.Pramono. 1989. *Penggunaan Hewan-Hewan Percobaan Laboratorium*. Bogor: PAU Pangan dan Gizi, IPB.

- Manikonda P.K, Rajendra P, Devendranath D, Gunasekaran B, Channakeshava Aradhya. 2007. Pengaruh medan magnet frekuensi sangat rendah pada pensinyalan Ca<sup>2</sup> dan fungsi reseptor NMDA di hippocampus tikus. *Neurosci Lett.* 413:145–149.
- Marcilip, I, N. Gouvanna, dan M. L. P. Filho. 2011. Adult Mortality From Leukemia, Brain Cancer, Amyotrophic Lateral Sclerosis And Magnetic Fields Of Power Lines: a Case-Control Study. *Rev Bras Epidemiol Braz J Epidemiol.* 14(4):580–588.
- Miclaus, Simona., Iftode, Cora., Miclaus Antoniu. 2018. Would the Human Brain Be Able to Erect Specific Effects due to the Magnetic Field Component of an UHF Field via Magnetite Nanoparticles. *Progress In Electromagnetics Research.* 69(2):23-36.
- Mustafa, S., G. Kemal, A. Veysi, Z. Mehmet, N. Mustafa, dan C. Yusuf. 2013. Extremely Low-Frequency Magnetic Field Induces Manganese Accumulation in Brain, Kidney and Liver Of Rats. *Toxicology and Industrial Health Jurnal.* 28(2), 1–6.
- Mutiarahmi, Citra Nur., Tyagita Hartady., and Ronny Lesmana. 2021. "Use of Mice As Experimental Animals in Laboratories That Refer To the Principles of Animal Welfare: A Literature Review." *Indonesia Medicus Veterinus* 10(1):134–45. doi: 10.19087/imv.2020.10.1.134.
- Nazil, I., Muhammad, Y. 2020. *Elektromagnetik Plane Wave Teori dan Aplikasi.* Aceh: Syiah Kuala University Press.
- Neil, Campbell, Reece Jane, and Mitchell Lawrence. 2002. *Biologi Edisi Kelima-Jilid 1.* Edisi Keli. edited by Amalia. Jakarta: Airlangga.
- Nirnasari, M. 2018. Pengaruh Paparan Radiasi Gelombang Elektromagnetik Wi-Fi 4g Terhadap Berat Epididimis Dan Morfologi Sperma Tikus Jantan Wistar. *Jurnal Keperawatan Silampari.* 2(1), 285–299.
- Oda T, Koike T .2004. Paparan medan magnet menyelamatkan cerebellar tikus neuron granula dari apoptosis in vitro. *Neurosci Lett.* 365:83–86.
- Organization, W. H. 1987. *Environmental Health Criteria 238, Extremely Low Frequency Fields.* Geneva: WHO Press.
- Organization, W. H. 2007. *Environmental Health Criteria 238, Extremely Low Frequency Fields.* Geneva: WHO Press.
- Peter, S. 2018. *Azas-Azas Ilmu Fisika Jilid 2 Listrik-Magnet.* Yogyakarta: Gajah Mada University Press.

- Piacentini R, Ripoli C, Mezzogori D, Azzena GB, Grassi C. 2008. Medan elektromagnetik frekuensi sangat rendah mendorong neurogenesis in vitro melalui upregulasi aktivitas saluran Ca(v)1. *Jurnal Fisiol Sel*. 215:129–139.
- Pirozzoli MC, Marino C, Lovisolo GA, Laconi C, Mosiello L, Negroni A. 2003. Efek paparan medan elektromagnetik 50 Hz pada apoptosis dan diferensiasi dalam garis sel neuroblastoma. *Bio Elektromagnetik*. 24:510–516.
- Pramesti, F. A., H. Purnomo, dan F. Balafif. 2017. Pengaruh Ekstrak Propolis terhadap Apoptosis melalui Ekspresi Brain-Derived Neurotrophic Factor (BDNF) pada Sel Otak Tikus Model Cedera Otak Traumatik. *Jurnal Kedokteran Brawijaya*, 29(3), 209–215.
- Pratama, A. A. 2021. Pengukuran Radiasi Elektromagnetik Telepon Seluler Berdasarkan Tipe Telepon. *Jurnal Penelitian Fisika dan Terapannya*. 3(1), 19–23.
- Sagan, C. 2018. *The Demon-Haunted World Sains Penerang Kegelapan*. Jakarta: Gramedia.
- Sari, L. D. 2018. *Pengaruh Intensitas Medan Magnet Terhadap Massa Jenis Dan Derajat Keasaman Pada Daging Ayam*. Jember: Universitas Jember.
- Scholz, N. 2019. Mobile Phones and Health. *European Parliamentary Research Service*. 15–27.
- Sharma, S., Y. W. Shih, H. Jimenez. 2019. Ca<sup>2+</sup> and CACNA1H Mediate Targeted Suppression of Breast Cancer Brain Metastasis by AM RF EMF. *EbioMedicine*. 4(4), 194–208.
- Sing, S. 2014. Magnetoencephalography: Prinsip-Prinsip Dasar. *Jurnal Akademisi India Saraf*. 17(1), 60–68.
- Sudarti. 2016. Utilization of Extremely Low Frequency (ELF) Magnetic Field is as Alternative Sterilization of Salmonella Typhimurium in Gado-Gado. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 9: 317-322.
- Sudarti, S. Bektiarso, S. H. B. Prastowo, F. Fuad, dan I. Trisnawati. 2018. Radiation Potential of Extremely Low Frequency (ELF) Magnetic Field to Increase Tobacco Production. *International Jurnal OF Engineering and Technology (IJET)*. 10(6).
- Sudarti. 2002. Pengaruh Paparan Medan Magnet Elektromagnetik Extremely Low Frequency (ELF) Terhadap Morfologi Spermatozoa Tikus Putih. *Saintifika*. 3(2), 74–80.



- Sudarti. 2010. Mekanisme Peningkatan Kalsium Sel Germinal Pada Mencit Balb/C yang Dipapar Medan Magnet ELF 100-150 $\mu$ T. Jakarta: Universitas Jember.
- Sudarti. 2013. Analisis Faktor Penyebab Timbulnya Keluhan Kesehatan Masyarakat Di Sekitar SUTET-500kV. *Seminar Nasional MIPA dan FMIPA*. 1(2), 46–54.
- Sudarti dan N. Hidayah. 2016. *Analisis Intensitas Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF) di Ruang Kerja*. Universitas Jember.
- Suhatin, D., Sudarti, dan T. Prihandono. 2017. Analisis Intensitas Medan Magnet ELF (Extremely Low Frequency) di Sekitar Peralatan Elektronik dengan Daya 1000 W. *Jurnal Pembelajaran Fisika*. 6(2), 208–214.
- Soldati, Marco., dan Laakso, Ilkka. 2020. Effect of Electrical Conductivity Uncertainty in the Assessment of the Electric Fields Induced in the Brain by Exposure to Uniform Magnetic Fields at 50 Hz. *IEEE Acces*. 8(1):297-309.
- Swerdlow. 2006. *Power Frequency Electromagnetic Fields, Melatonin, and The Risk of Breast Cncer (Report Of an Independent Advisory Group on Non Ionizing Radiation) Series B: Radiation, Chemical, and Enviromental Hazards*. United Kingdom: Health Protection Agency.
- Tipler, P. 2001. *Fisika Untuk Sains dan Teknik*. Jakarta: Erlangga.
- Tipler, P. 2001. *Fisika Untuk Sains dan Teknik Terjemahan oleh Bambang Soegijono*. Jakarta: Erlangga.
- Tri, T., Athena, Sukar, dan S. Soesanto. 2000. Strong Electric and Magnetic Fields in Home and Office Appliances. *Buletin Penelitian Kesehatan*. 27(1), 170–178.
- Umar, E. D. 2018. *Buku Pintar Fisika*. Jakarta: Media Pusindo.
- William, H. H, dan A. John. 2006. *Elektromagnetika*. Jakarta: Erlangga.
- Yustisia, A., Winaya, I. Oka, I. K Berata. 2020. Perubahan Histopatologi Otak Tikus Putih Berupa Kongesti dan Edema Perivaskuler Akibat Pemberian Tambahan Ragi Tape dalam Pakan. *Jurnal Indonesia Medicus Veterinus*. 9(6), 910–919.
- Young, H. D. dan R.A., F. 2002. *Fisika Universitas Edisi Kesepuluh Jilid I*. Jakarta: Erlangga.

## Lampiran A. Matriks Penelitian

## Matriks Penelitian

Nama : Abniken Wahyu Puspitasari

NIM : 190210102008

RG : 2

Judul	Rumusan Masalah	Variabel	Data dan Teknik Pengambilan Data	Metode Penelitian	Prosedur Penelitian
Pengaruh Radiasi Medan Magnet ELF intensitas $100\mu\text{T}$ dan $500\mu\text{T}$ Terhadap Massa Jenis dan Volume Otak Mencit Balb/C	c. Apakah paparan medan magnet ELF $100\mu\text{T}$ dan $500\mu\text{T}$ berpengaruh terhadap Volume Otak mencit Balb/C? d. Apakah paparan	<b>Variabel Bebas:</b> ▪ Intensitas paparan medan magnet ELF yang digunakan kelompok eksperimen sebesar $100\mu\text{T}$ dan kelompok eksperimen $500\mu\text{T}$ ▪ Waktu lama	<b>a. Data Hasil Penelitian:</b> ▪ Volume otak didapatkan dengan mengukur volume awal dikurangi volume akhir dengan menggunakan tabung suntik yang diberikan formalin sebanyak 0,05ml. ▪ Massa otak diukur	<b>a. Jenis penelitian:</b> True Design Eksperimen <b>b. Desain penelitian:</b> Rancangan Acak Lengkap (RAL) <b>c. Tempat:</b> Laboratorium ELF dan Laboratorium fisika di gedung Program Studi Pendidikan Fisika,	<b>1. Tahap Persiapan</b> Pemilihan hewan percobaan dengan kriteria umur 1 bulan, sehat dan gesit serta berjenis kelamin jantan sebanyak 56 ekor dan menyiapkan kandang sesuai dengan aturan. <b>2. Tahap Adaptasi</b> Adaptasi dilakukan tanpa paparan medan magnet selama 7 hari.



## DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

<p>medan magnet ELF 100<math>\mu</math>T dan 500<math>\mu</math>T berpengaruh terhadap Massa jenis Otak mencit Balb/C?</p>	<p>pemaparan medan magnet ELF, yaitu 2 jam per hari 15 hari dan 30 hari</p> <p><b>Variabel Terikat:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Volume Otak</li> <li>▪ Massa jenis</li> </ul> <p><b>Variabel Kontrol</b></p> <p>:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sampel otak mencit</li> <li>▪ Perlakuan pada mencit</li> <li>▪ Pemberian pakan</li> <li>▪ Kandang</li> <li>▪ Jenis mencit</li> <li>▪ Usia mencit</li> </ul>	<p>dengan menggunakan neraca analitik dengan ketelitian 0,000gr. Setelah itu menghitung massa jenis otak mencit</p> <p><b>b. Teknik Pengambilan Data :</b></p> <p>Teknik eksperimen dilakukan pada dua sampel, yaitu kelompok kontrol dan kelompok eksperimen</p> <p><b>c. Teknik Analisis Data :</b></p> <p>Analisis data</p>	<p>Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember sebagai tempat paparan dan pemeliharaan. Laboratorium hewan percobaan Gedung Kedokteran Gigi, Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember sebagai tempat pembedahan hewan, pengukuran volume otak dan</p>	<p><b>3. Tahap Pengelompokkan Sampel</b></p> <p>Pemberian paparan dilakukan selama 15 hari hingga 30 hari dengan lama paparan 2 jam per hari. Mengelompokkan mencit menjadi 2 kelompok yaitu kelompok kontrol dan kelompok eksperimen. Kelompok kontrol dibagi menjadi 2 kelompok yakni pada hari ke-15 sebanyak 8 sampel dan hari ke-30 sebanyak 8 sampel. Kelompok eksperimen 100<math>\mu</math>T dibagi menjadi 2 kelompok yakni pada hari ke-15 sebanyak 8 sampel dan hari ke-30 sebanyak 8</p>
--	---	--	--	--

## DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

		<p>dilakukan menggunakan Statistik deskriptif dengan bantuan software pc <i>IBM SPSS Statistic 23</i> dan menggunakan <i>Microsoft Office Excel</i>.</p>	<p>massa jenis.</p> <p><b>d. Data yang diambil:</b> Otak mencit Balb/C</p> <p><b>e. Sampel yang digunakan:</b> Mencit Balb/C sebanyak: 56 sampel, (kelompok kontrol hari ke-15 sebanyak 8 sampel, sedangkan hari ke-30 sebanyak 8 sampel, kelompok eksperimen pada hari ke-15 sebanyak 16</p>	<p>sampel. Kelompok eksperimen 500<math>\mu</math>T dibagi menjadi 2 kelompok yakni pada hari ke-15 sebanyak 8 sampel dan hari ke-30 sebanyak 8 sampel.</p> <p><b>4. Tahap Pemaparan:</b> Pemaparan dilakukan dengan menggunakan 2 intensitas yakni 100<math>\mu</math>T dan 500<math>\mu</math>T selama 2 jam per hari dalam waktu 15 hari hingga 30 hari.</p> <p><b>5. Tahap Pemeliharaan :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Melakukan pemeliharaan yang baik dengan memberikan makan dan minum yang cukup, serta memberikan kandang yang bersih dan aman</li> </ul>
--	--	--	---	--

## DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

			<p>sampel dan hari ke-30 sebanyak 16 sampel)</p>	<p><b>6. Tahap Pengukuran:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Volume Otak :</b> Pengukuran volume otak dilakukan pada hari ke-16 dan hari ke-31 dengan menggunakan tabung suntik yang sudah diberikan formalin sebanyak 1ml.</li> <li>▪ <b>Massa Otak :</b> Pengukuran massa otak dilakukan pada hari ke-16 dan hari ke-31 menggunakan neraca analitik dengan ketelitian 0,000gr.</li> <li>▪ <b>Massa jenis otak :</b> Pengukuran massa jenis otak dilakukan pada hari ke-16 dan hari ke-31</li> </ul>
--	--	--	--	---

## DIGITAL REPOSITORY UNIVERSITAS JEMBER

					<p>dengan menggunakan rumus massa otak dibagi dengan volume otak yang sudah dihitung.</p> <p><b>7. Analisis data :</b> Analisis data dilakukan setelah seluruh rangkaian penelitian dilakukan dengan menggunakan metode <i>One Way ANOVA</i></p> <p><b>8. Membahas Analisa Data</b></p> <p><b>9. Membuat Kesimpulan</b></p>
--	--	--	--	--	---

## Lampiran B. Surat Izin Penelitian



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,  
RISET, DAN TEKNOLOGI  
**UNIVERSITAS JEMBER**  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
Jalan Kalimantan Nomor 37 Kampus Bumi Tegalboto Jember 68121  
Telepon: 0331-334988, 330738 Fax: 0331-332475  
Laman: <http://fkip.unej.ac.id> e-mail: [fkip@unej.ac.id](mailto:fkip@unej.ac.id)

Nomor : 542/UN25.1.5/SP/2023  
Lampiran :  
Perihal : Permohonan Izin Penelitian

Yth.

1. Ketua Laboratorium Pendidikan Fisika
2. Ketua Laboratorium *Extremely Low Frequency* (ELF) Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Jember di Jember

Dalam rangka memperoleh data-data yang diperlukan untuk penyusunan skripsi, mahasiswa FKIP Universitas Jember di bawah ini:

Nama : Abniken Wahyu Puspitasari  
NIM : 190210102008  
Jurusan : Pendidikan MIPA  
Program Studi : Pendidikan Fisika  
Rencana Penelitian : Desember 2022 sd, Januari 2023.

Bermaksud mengadakan penelitian tentang "Pengaruh Radiasi Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) Intensitas 100  $\mu$ T dan 500  $\mu$ T Terhadap Massa Jenis dan Volume Otak Mencit Balb/C". Sehubungan dengan hal tersebut, mohon saudara berkenan memberikan izin dan sekaligus memberikan bantuan informasi yang diperlukan.

Demikian permohonan ini kami sampaikan atas perhatian dan kerjasama yang baik kami sampaikan terimakasih.

Jember, 12 JAN 2023  
An. Dekan  
Wakil Dekan I  
  
Ts/Nuriman, Ph.D  
NIP.196506011993021001





**Lampiran C. Kegiatan Penelitian**



(Pengelompokkan)



(Adaptasi)



(Tempat tinggal)



(Pemberian tagging)



(Paparan 100 $\mu$ T)



(Paparan 500 $\mu$ T)

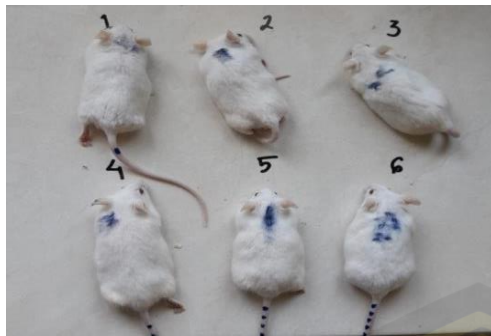


(Alat pembedahan)



(Anestesi)





(Keadaan mencit setelah di anestesi)



(Pengukuran massa tubuh)



(Pembedahan )



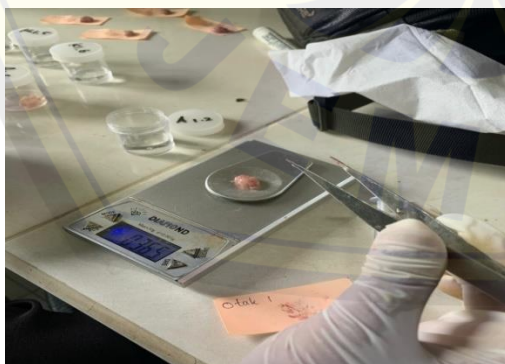
(Pembedahan otak)



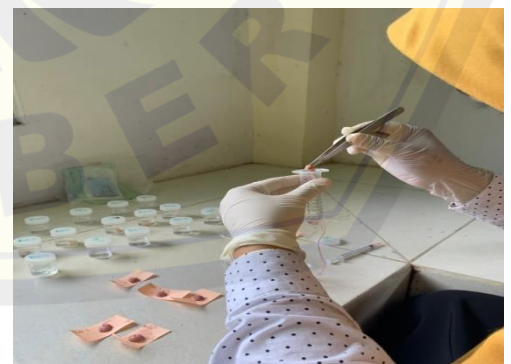
(Pengambilan otak)



(Otak siap ditimbang)



(Pengukuran massa otak)



(Pengukuran volume otak)

**Lampiran D. Data Hasil Penelitian**

## 1. Data Hasil Pengamatan Volume Otak Hari Ke-16

<b>Volume Otak Mencit Kelompok Kontrol Hari ke-16 (gr)</b>						
<b>No Sampel</b>	<b>K<sub>1</sub></b>	<b>K<sub>2</sub></b>	<b>K<sub>3</sub></b>	<b>K<sub>4</sub></b>	<b>K<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>6</sub></b>
1	0,6	0,4	0,6	0,5	0,4	0,5
2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4
3	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4

<b>Volume Otak Mencit Kelompok Eksperimen 100 <math>\mu</math>T Hari ke-16 (gr)</b>						
<b>No Sampel</b>	<b>A<sub>1</sub></b>	<b>A<sub>2</sub></b>	<b>A<sub>3</sub></b>	<b>A<sub>4</sub></b>	<b>A<sub>5</sub></b>	<b>A<sub>6</sub></b>
1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,39	0,3
2	0,4	0,4	0,39	0,4	0,4	0,4
3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4

<b>Volume Otak Mencit Kelompok Eksperimen 500 <math>\mu</math>T Hari ke-16 (gr)</b>						
<b>No Sampel</b>	<b>B<sub>1</sub></b>	<b>B<sub>2</sub></b>	<b>B<sub>3</sub></b>	<b>B<sub>4</sub></b>	<b>B<sub>5</sub></b>	<b>B<sub>6</sub></b>
1	0,6	0,5	0,4	0,6	0,5	0,5
2	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5
3	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5

## 2. Data Hasil Pengamatan Massa Otak Hari Ke-16

<b>Massa Otak Mencit Kelompok Kontrol Hari ke-16 (gr)</b>						
<b>No Sampel</b>	<b>K<sub>1</sub></b>	<b>K<sub>2</sub></b>	<b>K<sub>3</sub></b>	<b>K<sub>4</sub></b>	<b>K<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>6</sub></b>
1	0,439	0,422	0,433	0,422	0,419	0,416
2	0,439	0,423	0,431	0,415	0,420	0,417
3	0,437	0,420	0,429	0,417	0,419	0,416

<b>Massa Otak Mencit Kelompok Eksperimen 100 <math>\mu</math>T Hari ke-16 (gr)</b>						
<b>No Sampel</b>	<b>A<sub>1</sub></b>	<b>A<sub>2</sub></b>	<b>A<sub>3</sub></b>	<b>A<sub>4</sub></b>	<b>A<sub>5</sub></b>	<b>A<sub>6</sub></b>
1	0,383	0,374	0,377	0,389	0,384	0,333
2	0,382	0,376	0,368	0,390	0,375	0,298
3	0,377	0,372	0,369	0,386	0,372	0,296

<b>Massa Otak Mencit Kelompok Eksperimen 500 <math>\mu</math>T Hari ke-16 (gr)</b>						
<b>No Sampel</b>	<b>B<sub>1</sub></b>	<b>B<sub>2</sub></b>	<b>B<sub>3</sub></b>	<b>B<sub>4</sub></b>	<b>B<sub>5</sub></b>	<b>B<sub>6</sub></b>
1	0,440	0,376	0,410	0,415	0,343	0,399
2	0,447	0,379	0,412	0,399	0,346	0,401
3	0,441	0,373	0,410	0,396	0,345	0,400

## 3. Data Hasil Pengamatan Massa Jenis Otak Hari Ke-16

<b>Massa Jenis Otak Mencit Kelompok Kontrol Hari ke-16 (gr)</b>						
No Sampel	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>
1	0,732	1,100	0,722	0,844	1,048	0,832
2	0,878	0,846	0,862	0,830	0,840	1,043
3	0,874	1,055	0,858	0,834	0,838	1,040

<b>Massa Jenis Otak Mencit Kelompok Eksperimen 100 <math>\mu</math>T Hari ke-16 (gr)</b>						
No Sampel	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
1	0,958	0,935	0,943	0,973	0,960	1,110
2	0,955	0,940	0,944	0,975	0,938	0,745
3	0,943	0,930	1,230	0,965	0,930	0,740

<b>Massa Jenis Otak Mencit Kelompok Eksperimen 500 <math>\mu</math>T Hari ke-16 (gr)</b>						
No Sampel	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>
1	0,733	0,752	1,052	0,692	0,686	0,798
2	0,745	0,948	1,030	0,998	0,865	0,802
3	0,735	0,746	1,025	0,990	0,863	0,800

## 4. Data Hasil Pengamatan Volume Otak Hari Ke-31

<b>Volume Otak Mencit Kelompok Kontrol Hari ke-31 (gr)</b>						
No Sampel	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>
1	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
2	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
3	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4

<b>Volume Otak Mencit Kelompok Eksperimen 100 <math>\mu</math>T Hari ke-31 (gr)</b>						
No Sampel	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>
1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,5
2	0,5	0,4	0,6	0,6	0,6	0,5
3	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5

<b>Volume Otak Mencit Kelompok Eksperimen 500 <math>\mu</math>T Hari ke-31 (gr)</b>						
No Sampel	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>
1	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4
2	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4
3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4

## 5. Data Hasil Pengamatan Massa Otak Hari Ke-31

<b>Massa Otak Mencit Kelompok Kontrol Hari ke-31 (gr)</b>						
No Sampel	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>
1	0,420	0,434	0,424	0,420	0,412	0,410
2	0,425	0,432	0,424	0,423	0,412	0,411
3	0,425	0,434	0,425	0,420	0,413	0,411

<b>Massa Otak Mencit Kelompok Eksperimen 100 <math>\mu</math>T Hari ke-31 (gr)</b>						
<b>No Sampel</b>	<b>A<sub>1</sub></b>	<b>A<sub>2</sub></b>	<b>A<sub>3</sub></b>	<b>A<sub>4</sub></b>	<b>A<sub>5</sub></b>	<b>A<sub>6</sub></b>
1	0,412	0,451	0,416	0,402	0,400	0,369
2	0,412	0,451	0,416	0,404	0,401	0,376
3	0,410	0,452	0,420	0,404	0,399	0,377

<b>Massa Otak Mencit Kelompok Eksperimen 500 <math>\mu</math>T Hari ke-31 (gr)</b>						
<b>No Sampel</b>	<b>B<sub>1</sub></b>	<b>B<sub>2</sub></b>	<b>B<sub>3</sub></b>	<b>B<sub>4</sub></b>	<b>B<sub>5</sub></b>	<b>B<sub>6</sub></b>
1	0,361	0,405	0,409	0,400	0,365	0,353
2	0,362	0,402	0,408	0,401	0,366	0,353
3	0,362	0,405	0,410	0,403	0,366	0,353

6. Data Hasil Pengamatan Massa Jenis Otak Hari Ke-31

<b>Massa Jenis Otak Mencit Kelompok Kontrol Hari ke-31 (gr)</b>						
<b>No Sampel</b>	<b>K<sub>1</sub></b>	<b>K<sub>2</sub></b>	<b>K<sub>3</sub></b>	<b>K<sub>4</sub></b>	<b>K<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>6</sub></b>
1	0,700	0,900	0,848	0,840	1,03	1,025
2	1,063	0,900	0,848	0,846	1,03	1,028
3	0,85	1,10	0,850	0,840	1,033	1,028

<b>Massa Jenis Otak Mencit Kelompok Eksperimen 100 <math>\mu</math>T Hari ke-31 (gr)</b>						
<b>No Sampel</b>	<b>A<sub>1</sub></b>	<b>A<sub>2</sub></b>	<b>A<sub>3</sub></b>	<b>A<sub>4</sub></b>	<b>A<sub>5</sub></b>	<b>A<sub>6</sub></b>
1	1,03	1,128	1,040	1,005	0,667	0,738
2	0,824	1,128	0,693	0,673	0,668	0,752
3	0,820	0,753	0,840	0,673	0,798	0,754

<b>Massa Jenis Otak Mencit Kelompok Eksperimen 500 <math>\mu</math>T Hari ke-31 (gr)</b>						
<b>No Sampel</b>	<b>B<sub>1</sub></b>	<b>B<sub>2</sub></b>	<b>B<sub>3</sub></b>	<b>B<sub>4</sub></b>	<b>B<sub>5</sub></b>	<b>B<sub>6</sub></b>
1	0,930	1,013	1,023	0,800	0,913	0,883
2	0,905	1,005	0,816	1,003	0,732	0,883
3	0,724	0,810	0,820	0,806	0,732	0,883