



ANALISIS DAMPAK PAPARAN MEDAN MAGNET *EXTREMELY LOW FREQUENCY* (ELF) INTENSITAS 500 μ T TERHADAP JUMLAH LIMFOSIT MENCIT BALB-C SEBAGAI KARYA ILMIAH POPULER

SKRIPSI

Oleh:

**Fitra Dwi Ariangga
NIM 100210102027**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER
2015**



ANALISIS DAMPAK PAPARAN MEDAN MAGNET *EXTREMELY LOW FREQUENCY* (ELF) INTENSITAS 500 μ T TERHADAP JUMLAH LIMFOSIT MENCIT BALB-C SEBAGAI KARYA ILMIAH POPULER

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Pendidikan Fisika (S1) dan mencapai gelar Sarjana Pendidikan

Oleh:

**Fitra Dwi Ariangga
NIM 100210102027**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER
2015**

PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah SWT. serta shalawat dan salam kepada junjungan Nabi Besar Muhammad SAW., Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibunda Sri Wahyuni dan Almarhum Ayahanda Sudari, terima kasih atas do'a yang selalu tercurahkan dalam mengiringi setiap langkah saya, warisan Islam, kasih sayang, motivasi, kesabaran dalam mendidik saya, serta pengorbanan sampai saat ini demi tercapainya cita-cita di masa depan;
2. Kakak saya Erni Ardianti dan Rudianto, terima kasih atas dukungan dan motivasi selama ini;
3. Guru-guru dan dosen-dosen yang saya sayangi, terima kasih telah mengantarkan saya menuju masa depan yang lebih cerah atas ilmu yang telah diberikan, serta membimbing saya dengan penuh kesabaran dan keikhlasan;
4. Almamater Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember yang saya banggakan.

MOTTO

“Allah mengangkat orang-orang beriman di antara kamu dan juga orang-orang yang dikaruniai ilmu pengetahuan hingga beberapa derajat.”
(terjemahan Surat Al-Mujadalah ayat 11)*)

“Allah tidak mewajibkan orang-orang yang bodoh untuk menuntut ilmu kecuali terlebih dahulu mewajibkan orang-orang yang berilmu untuk mengajar.”
(Ali bin Abi Thalib)

“Mencari kebenaran lebih bernilai dibandingkan menguasainya.”
(Albert Einstein)

*⁾ Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. Al Qur'an dan Terjemahannya. Semarang: PT Kumudasmoro Grafindo.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Fitra Dwi Ariangga

NIM : 100210102027

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Analisis Dampak Paparan Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) Intensitas 500 μ T Terhadap Jumlah Limfosit Mencit Balb-C Sebagai Karya Ilmiah Populer” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 30 Juni 2015

Yang menyatakan,

Fitra Dwi Ariangga
NIM. 100210102027

SKRIPSI

**ANALISIS DAMPAK PAPARAN MEDAN MAGNET *EXTREMELY LOW*
FREQUENCY (ELF) INTENSITAS 500 μ T TERHADAP JUMLAH
LIMFOSIT MENCIT BALB-C SEBAGAI
KARYA ILMIAH POPULER**

Oleh

**Fitra Dwi Ariangga
NIM 100210102027**

Pembimbing

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

Dosen Pembimbing Anggota : Kamalia Fikri, S.Pd., M.Pd.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Dampak Paparan Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) Intensitas 500 μ T Terhadap Jumlah Limfosit Mencit Balb-C Sebagai Karya Ilmiah Populer” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember

Tim Penguji :

Ketua,

Sekretaris,

Dr. Sudarti, M.Kes.
NIP. 196201231988022001

Kamalia Fikri, S.Pd., M.Pd.
NIP. 198402232010122004

Anggota I,

Anggota II,

Drs. Trapsilo Prihandono, M.Si.
NIP. 196204011987021001

Drs. Bambang Supriadi, M.Sc.
NIP. 196807101993021001

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Jember,

Prof. Dr. Sunardi, M.Pd.
NIP. 195405011983031005

RINGKASAN

Analisis Dampak Paparan Medan Magnet Extremely Low Frequency Intensitas 500 μ t Terhadap Jumlah Limfosit Mencit BALB-C Sebagai Karya Ilmiah Populer; Fitra Dwi Ariangga; 100210102027; 62 halaman; Program Studi Pendidikan Fisika Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Peralatan listrik yang menghasilkan radiasi gelombang elektromagnetik di lingkungan semakin banyak dikembangkan. Hal ini mengakibatkan radiasi gelombang elektromagnetik di lingkungan juga meningkat. Terutama radiasi gelombang elektromagnetik pada frekuensi rendah. Usaha yang dapat dilakukan untuk upaya proteksi diri dari dampak paparan medan magnet ELF terhadap kesehatan salah satunya adalah melakukan penelitian yang memberikan informasi mengenai dosis paparan medan magnet yang aman terhadap kesehatan masyarakat. Hasil dari penelitian tersebut dapat diinformasikan kepada masyarakat umum melalui penyusunan karya ilmiah populer. Berdasarkan uraian di atas, dirasa perlu melakukan eksperimen untuk mengkaji dampak paparan medan magnet ELF pada beberapa intensitas terhadap jumlah limfosit dan data yang diperoleh dapat dijadikan acuan dalam upaya proteksi dampak medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap kesehatan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh biologis paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) intensitas 500 μ T terhadap jumlah limfosit mencit Balb-C, mengkaji pengaruh biologis lama paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) secara intermiten 30 menit, 60 menit, dan 90 menit terhadap jumlah limfosit mencit Balb-C, mengkaji lama paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) efektif terhadap jumlah limfosit mencit Balb-C, serta mengkaji apakah hasil dari penelitian “Analisis Dampak Paparan Medan Magnet

Extremely Low Frequency (ELF) Intensitas 500 μ T Terhadap Jumlah Limfosit Mencit Balb-C” dapat dijadikan sebagai karya ilmiah populer.

Penelitian untuk pemaparan dan pemeliharaan medan magnet ELF dilaksanakan di Laboratorium Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember dan penelitian untuk pengambilan sampel darah mencit Balb- C dilaksanakan di Laboratorium Biomedik Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember. Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen. Metode analisis data yang digunakan untuk menguji hipotesis penelitian adalah uji statistik *one-way anova* dilanjutkan dengan uji lanjut LSD dengan bantuan *software SPSS 16*.

Hasil analisis data jumlah limfosit mencit Balb-C dengan menggunakan uji *one-way anova* menunjukkan signifikansi (*2-tailed*) sebesar 0,000 atau kurang dari 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara kelompok eksperimen yang dipapar menggunakan medan magnet ELF intensitas 500 μ T dengan kelompok kontrol yang terpapar medan magnet alami. Peningkatan jumlah limfosit yang paling tinggi terjadi pada sampel kelompok eksperimen 3 yaitu kelompok yang dipapar medan magnet ELF selama 90 menit.

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada bab sebelumnya, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut: (1) Jumlah limfosit mencit Balb-C yang terpapar medan magnet ELF intensitas 500 μ T lebih banyak dibandingkan jumlah limfosit mencit Balb-C yang terpapar medan magnet alami (2) Semakin lama waktu paparan medan magnet ELF maka semakin banyak jumlah limfosit mencit Balb-C (3) Lama paparan 90 menit medan magnet ELF intensitas 500 μ T dominan berpengaruh terhadap meningkatnya jumlah limfosit mencit Balb-C (4) Karya ilmiah populer dengan judul “Efek Biologis Paparan Medan Magnet ELF Intensitas 500 μ T” layak untuk dijadikan sebagai bacaan bagi masyarakat umum dengan rata-rata skor validasi sebesar 3,23 dan rerata nilai validasi sebesar 80,68%.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT. atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Dampak Paparan Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) Intensitas 500 μ T Terhadap Jumlah Limfosit Mencit Balb-C Sebagai Karya Ilmiah Populer”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Pendidikan Fisika, Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember.

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

1. Bapak Prof. Dr. Sunardi, M.Pd., selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember yang telah menerbitkan surat permohonan ijin penelitian;
2. Ibu Dr. Sudarti, M. Kes., selaku Dosen Pembimbing Utama, Ibu Kamalia Fikri, S.Pd., M.Pd., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatiannya guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesainya penulisan skripsi ini;
3. Ibu Prof. Dr. Indrawati, M. Pd., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing dan memberikan pengarahan selama menjadi mahasiswa;
4. Bapak Dr. Yushardi, S.Si., M.Si., dan Bapak Mochammad Iqbal, S.Pd., M.Pd., selaku Validator produk hasil penelitian yang telah memvalidasi produk setelah penelitian dilakukan;
5. Seluruh Bapak dan Ibu dosen yang telah memberikan bekal ilmu selama menyelesaikan studi di Pendidikan Fisika;
6. Bapak Agusmurdojohadi Putradjaka, A.Md., Bapak Yohanes Erwan Sarosa, A.Md. Ak., dan Ibu Indria Cahyani, A.Md., selaku Laboran yang telah membantu dan membimbing dalam pelaksanaan penelitian;

7. Teman-teman Program Studi Pendidikan Fisika Angkatan 2010 yang selalu memberikan dukungan dan saran selama penulisan skripsi ini;
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Jember, Agustus 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Gelombang Elektromagnetik	6
2.1.1 Sumber Paparan GEM	7
2.1.2 Spektrum GEM	8
2.1.3 Teori Maxwell	10
2.2 Pengenalan Radiasi Elektromagnetik	12
2.2.1 Pengertian Radiasi	12
2.2.2 Radiasi Elektromagnetik Non-pengion	13
2.2.3 Radiasi Elektromagnetik Pengion	14

2.2.4 Radiasi Partikel Atom Pengion	14
2.3 Gelombang Elektromagnetik <i>Extremely Low Frequency</i>	15
2.4 Medan Magnet	16
2.4.1 Karakteristik Medan Magnet ELF	17
2.4.2 Intensitas Medan Magnet ELF	17
2.4.3 Sumber Paparan Medan Magnet ELF	19
2.5 Batas Paparan Medan Listrik dan Medan Magnet Terhadap Kesehatan	23
2.6 Hasil Penelitian Medan Magnet ELF	24
2.6.1 Hasil Penelitian Medan Magnet ELF pada Sel	24
2.6.2 Hasil Penelitian Medan Magnet ELF pada Hewan	24
2.6.3 Hasil Penelitian Medan Magnet ELF pada Manusia	25
2.7 Mekanisme Interaksi Seluler Medan Magnet ELF	26
2.8 Limfosit	28
2.9 Karya Ilmiah Populer.....	30
2.10 Hipotesis Penelitian	31
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	32
3.2 Variabel Penelitian	32
3.2.1 Variabel Bebas	32
3.2.2 Variabel Terikat	32
3.2.3 Variabel Kontrol	33
3.3 Definisi Operasional	33
3.4 Alat dan Bahan	34
3.4.1 Alat-alat	34
3.4.2 Bahan	36
3.5 Sampel dan Besar Sampel	36
3.5.1 Sampel	36
3.5.2 Besar Sampel	37
3.6 Jenis dan Desain Penelitian	37
3.6.1 Jenis Penelitian	37

3.6.2 Desain Penelitian	38
3.7 Prosedur Penelitian	39
3.7.1 Tahap Persiapan	39
3.7.2 Tahap Pemaparan	40
3.7.3 Tahap Pengambilan Sampel Darah	41
3.7.4 Tahap Pembuatan Hapusan Darah	41
3.7.5 Tahap Pewarnaan	41
3.7.6 Tahap Penghitungan Jumlah Limfosit	42
3.8 Penelitian Pengembangan Karya Ilmiah Populer	42
3.8.1 Prosedur Penyusunan Karya Ilmiah	42
3.8.2 Tahap Uji Validasi Produk Karya Ilmiah	43
3.9 Analisa Data	44
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	45
4.1 Hasil Penelitian	45
4.1.1 Data Intensitas Medan Magnet Dan Medan Listrik ELF ...	45
4.1.2 Data Hasil Pengamatan Jumlah Limfosit Mencit Balb-C ...	45
4.1.3 Analisa Data	46
4.1.4 Hasil Uji Validasi Karya Ilmiah Populer	51
4.2 Pembahasan	52
4.2.1 Pembahasan Pengaruh Paparan Medan Magnet terhadap Jumlah Limfosit Mencit Balb-C	52
4.2.2 Pembahasan Pengaruh Lama Paparan Medan Magnet terhadap Jumlah Limfosit Mencit Balb-C	54
4.2.3 Karya Ilmiah Populer	55
BAB 5. PENUTUP	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	58

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Hasil Pengukuran Medan Magnet ELF di Sekitar Peralatan Rumah Tangga	20
2.2 Hasil Pengukuran Medan Magnet ELF di Sekitar Peralatan Medis	21
2.3 Batas Paparan Medan Listrik dan Medan Magnet 50/60 Hz	23
3.1 Kriteria Validasi Karya Ilmiah Populer	44
4.1 Hasil Pengukuran Intensitas Medan Magnet ELF.....	45
4.2 Hasil Penghitungan Jumlah Limfosit Mencit Balb-C	45
4.3 Uji normalitas data jumlah limfosit pengamatan minggu ke-1	47
4.4 Uji <i>one-way anova</i> data jumlah limfosit pengamatan minggu ke-1.....	48
4.5 Uji <i>LSD</i> data jumlah limfosit pengamatan minggu ke-1.....	48
4.6 Uji normalitas data jumlah limfosit pengamatan minggu ke-2	50
4.7 Uji <i>one-way anova</i> data jumlah limfosit pengamatan minggu ke-2	50
4.8 Uji <i>LSD</i> data jumlah limfosit pengamatan minggu ke-2.....	51
4.9 Hasil Uji Validasi Karya Ilmiah	52

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Perambatan Gelombang Elektromagnetik	6
2.2 Spektrum GEM	10
2.3 Limfosit	29
3.1 Current Transformer (CT)	35
3.2 Desain Penelitian	38
4.1 Grafik Hasil Penghitungan Rata-rata Jumlah Limfosit	46
4.2 Mekanisme Medan Magnet Mempengaruhi Jumlah Limfosit	54

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Perhitungan Jumlah Replikasi Sampel	63
B. Instrumen Validasi Uji Produk Karya Ilmiah Populer	64
C. Penjelasan Butir Instrumen Praseleksi Karya Ilmiah Populer	68
D. Analisis Data Jumlah Limfosit Mencit Balb-C	75
E. Foto Kegiatan	82
F. Lembar Validasi Uji Produk	88
G. Surat Izin Penelitian	92

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan peralatan listrik dalam kehidupan manusia semakin meningkat. Seakan manusia sudah dapat dihindarkan lagi oleh kebutuhan yang harus dipenuhi oleh peralatan listrik tersebut. Menurut teori Maxwel, bahwa di sekitar arus listrik timbul radiasi gelombang elektromagnetik. Oleh karena itu, pemanfaatan peralatan listrik berdampak pada peningkatan intensitas paparan medan magnet dan medan listrik di lingkungan. (Sudarti, 2012). Radiasi gelombang elektromagnetik mempunyai spektrum yang luas dimulai dari elektromagnetik dengan frekuensi ekstrim rendah (*Extremely Low Frequency*) sampai pada elektromagnetik berfrekuensi sangat tinggi (Sinar Gamma). Gelombang elektromagnetik *Extremely Low Frequency* yaitu spektrum gelombang elektromagnetik dengan frekuensi berkisar antara 0-300 Hz (Soesanto, 1996). Ketika listrik dialirkan melalui jaringan transmisi, distribusi, atau digunakan dalam berbagai peralatan, saat itu juga muncul medan magnet dan medan listrik di sekitar saluran dan peralatan (WHO, 2000). Medan ini kemudian menyebar ke lingkungan dan menyebabkan polusi. Seberapa jauh merugikannya, itulah yang masih diperdebatkan, terutama pada frekuensi rendah atau disebut *Extremely Low Frekuensi* (ELF) (Susilo, 2009).

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 μ T untuk kelompok umum, 10kV/M dan 500 μ 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 μT 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 (Fedorowski A, 1998).

Medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) merupakan jenis radiasi non-ionizing dan non-termal, yang mampu meningkatkan proliferasi sel (Sudarti *et al*, 2012). Banyak peneliti yang tertarik dengan aplikasi radiasi medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF). Hasil Studi Cohort tahun 1972-1993, melaporkan bahwa pekerja yang terpapar medan magnet ELF rata-rata 25,9 μT , menunjukkan bahwa paparan medan magnet $\geq 10 \mu\text{T}$ berpengaruh terhadap tingkat kematian yang disebabkan oleh leukemia (Minder, 2001).

Leukemia merupakan penyakit keganasan sel darah yang berasal dari sumsum tulang ditandai oleh proliferasi sel-sel darah putih, dengan manifestasi adanya sel-sel abnormal dalam darah tepi. Secara umum leukemia kronik diklasifikasikan atas Leukemia Granulositik Kronik (LGK) dan Leukemia Limfositik Kronik (LLK). LGK merupakan suatu penyakit mieloproliferatif ditandai dengan adanya peningkatan proliferasi sel induk hematopoetik seri mieloid pada berbagai tingkat diferensiasi. LLK adalah keganasan hematologis yang ditandai dengan akumulasi limfosit B neoplastik dalam darah, limfonodi, limpa, hepar, dan sumsum tulang. Seluruh pasien leukemia limfositik kronik menunjukkan gambaran eritrosit normokrom anisositosis, peningkatan jumlah leukosit, peningkatan jumlah limfosit, presentasi *smudge cell*, penurunan jumlah trombosit, dan ditemukan presentasi blast pada darah tepi (Rendra, 2013).

Usaha yang dapat dilakukan untuk upaya proteksi diri dari dampak paparan medan magnet ELF terhadap kesehatan salah satunya adalah melakukan penelitian yang memberikan informasi mengenai dosis paparan medan magnet yang aman

terhadap kesehatan masyarakat. Hasil dari penelitian tersebut dapat diinformasikan kepada masyarakat umum melalui penyusunan karya ilmiah populer. Karya ilmiah populer merupakan suatu karya ilmiah yang ditulis menggunakan bahasa yang mudah untuk dipahami bagi masyarakat, sehingga menarik untuk dibaca (Niwanggalih, 2014). Karya ilmiah populer dapat memuat informasi tentang berbagai macam pengetahuan, misalnya tentang dampak paparan medan magnet ELF terhadap tubuh kita. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu pedoman yang dapat memberikan informasi tentang dampak klinis maupun biologis paparan medan magnet terhadap tubuh kita.

Berdasarkan uraian di atas, dirasa perlu melakukan eksperimen untuk mengkaji dampak paparan medan magnet ELF pada beberapa intensitas terhadap jumlah limfosit dan data yang diperoleh dapat dijadikan acuan dalam upaya proteksi dampak medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap kesehatan. Maka, peneliti bermaksud melakukan penelitian dengan judul **“Analisis Dampak Paparan Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) Intensitas 500 μ T Terhadap Jumlah Limfosit Mencit Balb-C dan Pemanfaatannya Sebagai Karya Ilmiah Populer”**.

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 paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) intensitas 500 μ T berpengaruh terhadap jumlah limfosit mencit Balb-C?
- b. Apakah lama paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) secara intermiten 30 menit, 60 menit, dan 90 menit berpengaruh terhadap jumlah limfosit mencit Balb-C?
- c. Pada lama paparan berapakah medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) dominan berpengaruh terhadap jumlah limfosit mencit Balb-C?

- d. Apakah hasil dari penelitian “Analisis Dampak Paparan Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF) Intensitas 500 μ T Terhadap Jumlah Limfosit Mencit Balb-C” dapat dijadikan sebagai karya ilmiah populer?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan pembahasan dan permasalahan yang ada dalam penelitian ini, maka dalam penelitian ini perlu diberikan suatu batasan masalah. Adapun batasan adalah sebagai berikut:

- a. Intensitas medan magnet yang digunakan adalah 500 μ T
- b. Berat badan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 20-25 gram
- c. Jenis kelamin mencit yang digunakan dalam penelitian ini adalah jantan
- d. Usia mencit yang digunakan dalam penelitian ini adalah 2-3 bulan
- e. Karya ilmiah populer yang disusun adalah berupa buku nonteks dengan menggunakan bahasa yang mudah untuk dimengerti oleh masyarakat awam.

1.4 Tujuan Penelitian

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

- a. Mengkaji pengaruh biologis paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) intensitas 500 μ T terhadap jumlah limfosit mencit Balb-C
- b. Mengkaji pengaruh biologis lama paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) secara intermiten 30 menit, 60 menit, dan 90 menit terhadap jumlah limfosit mencit Balb-C
- c. Mengkaji lama paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) efektif terhadap jumlah limfosit mencit Balb-C
- d. Mengkaji apakah hasil dari penelitian “Analisis Dampak Paparan Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF) Intensitas 500 μ T Terhadap Jumlah Limfosit Mencit Balb-C” dapat dijadikan sebagai karya ilmiah populer

1.5 Manfaat Penelitian

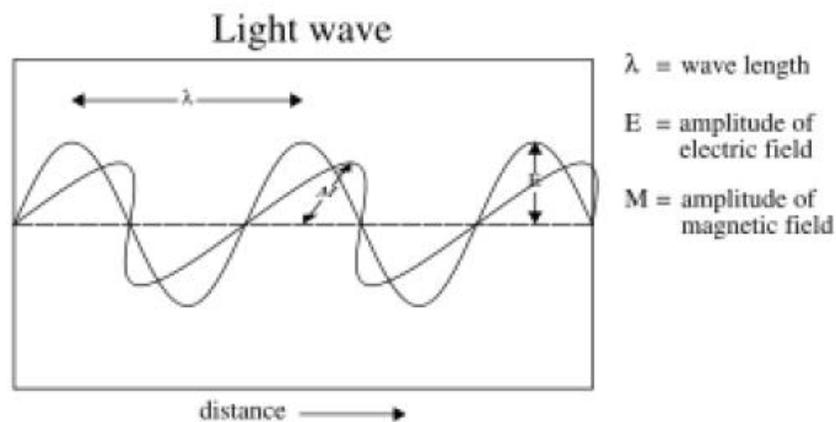
Adapun manfaat yang diharapkan dari peneliti adalah:

- a. Memberikan penjelasan secara empiris mengenai dampak paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap peningkatan jumlah limfosit
- b. Sebagai acuan dalam upaya proteksi dampak medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) terhadap kesehatan
- c. Semoga hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai acuan dan bahan pertimbangan untuk melakukan penelitian selanjutnya
- d. 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

Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang terbentuk dari usikan medan magnet dan medan listrik. Kedua medan ini bergetar dalam arah yang saling tegak lurus. Setiap muatan listrik yang memiliki percepatan memancarkan radiasi elektromagnetik. Ketika kawat penghantar menghantarkan arus bolak-balik (AC), radiasi elektromagnetik dirambatkan pada frekuensi yang sama dengan arus listrik. Medan magnet dan medan listrik pembentuk gelombang elektromagnetik adalah gelombang transversal, yang arah rambatnya tegak lurus dengan arah getarnya (Mahardika, 2010). Jika kita gambarkan arah getar dan arah rambatnya adalah sebagai berikut:



Gambar 2.1 Perambatan gelombang elektromagnetik

Sumber: Mahardika, 2010

Dalam perambatannya gelombang elektromagnetik merambat dengan kecepatan yang nilainya ditentukan oleh dua besaran yaitu permitivitas listrik dan permeabilitas magnetik. Untuk ruang hampa dan udara, maka nilai kecepatan gelombang elektromagnetik akan mendekati 3×10^8 m/s.

Besar energi yang diradiasikan oleh suatu spektrum gelombang elektromagnetik, menurut Planck akan memenuhi persamaan:

$$E = hv \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana h adalah konstanta Planck yang besarnya $6,62 \times 10^{-34}$ Js, dan v adalah frekuensi dari gelombang elektromagnetik. Energi yang diradiasikan oleh gelombang elektromagnetik akan diterima oleh benda-benda di sekitarnya. Intensitas radiasi yang diterima oleh benda-benda tersebut bervariasi tergantung posisi benda tersebut dari sumber radiasi. Secara matematis, intensitas radiasinya dirumuskan sebagai:

$$I = PA \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana I adalah besar intensitas radiasi (W/m²), P adalah besar daya yang diterima (Watt) dan A adalah luas permukaan yang ditembus oleh suatu radiasi (m²). Jika radiasi tersebut bersifat *omnidirectional*, maka intensitas radiasi yang diterima akan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara benda yang menerima radiasi dengan sumber radiasi.

$$I \sim R^{-2} \dots\dots\dots (2.3)$$

Semakin besar jarak dengan sumber, maka intensitas radiasi akan semakin berkurang, semakin dekat dengan sumber radiasi maka intensitas yang diterima akan semakin besar (Mahardika, 2010).

2.1.1 Sumber Paparan Gelombang Elektromagnetik

a. Sumber paparan medan magnet *ELF* alamiah

Bumi merupakan sumber paparan medan magnet alamiah. Pada dasarnya kita telah terpapar medan elektromagnetik *ELF* secara alamiah. Intensitas paparan medan magnet *ELF* alamiah yang dihasilkan oleh bumi rata-rata 10^{-4} V/m untuk medan listrik dan 10^{-6} mikro tesla (μ T) untuk medan magnet. Pada intensitas medan magnet alamiah tersebut, proses kehidupan berlangsung secara alamiah dan tidak meninggalkan gangguan (WHO, 1984).

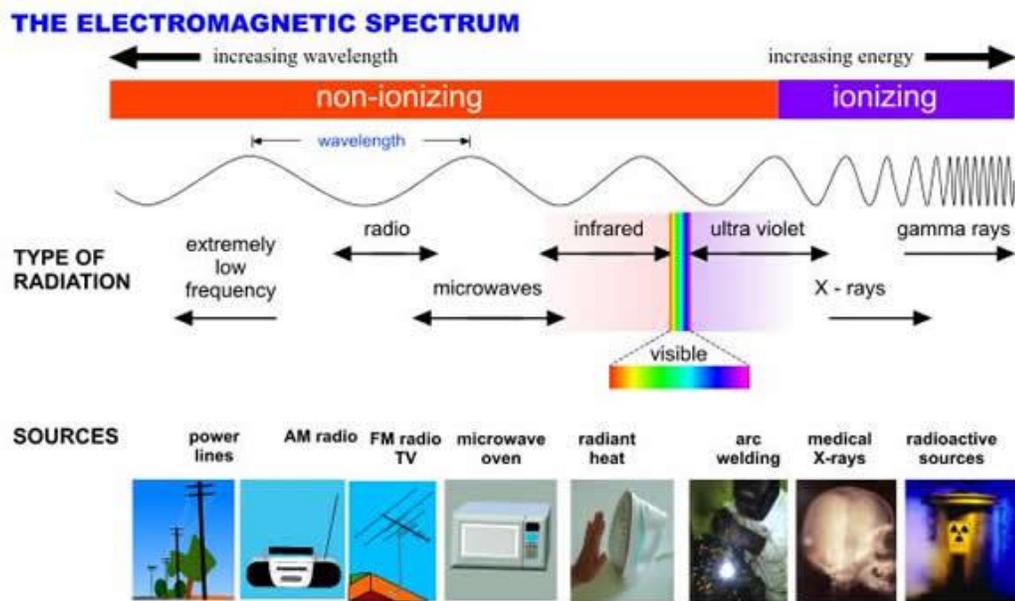
b. Sumber paparan medan magnet *ELF* buatan

Seiring dengan perkembangan teknologi pemanfaatan peralatan berenergi listrik dalam kehidupan tentunya paparan medan elektromagnetik *ELF* di lingkungan semakin meningkat. Dalam kehidupan sehari-hari, selain terpapar oleh medan magnet alamiah, kita juga terpapar oleh medan magnet buatan. Peralatan elektronik yang ada di dalam rumah tangga (perkabelan) merupakan paparan medan elektromagnetik buatan. Pengukuran intensitas medan listrik *ELF* yang dilakukan pada jarak 30 cm dari beberapa peralatan rumah tangga, didapatkan nilai yang bervariasi antara 2 V/m sampai 5 V/m, sedangkan intensitas medan listrik di dalam rumah tangga (orang Amerika) berkisar antara 1-10 V/m (WHO, 1984).

2.1.2 Spektrum Gelombang Elektromagnetik Berdasarkan Frekuensinya

- a. Sinar gamma (*gamma rays*) memiliki panjang gelombang 10^{-12} meter dengan frekuensi $3 \cdot 10^{20}$ hertz. Salah satu manfaat dari sinar gamma yaitu dapat digunakan dalam kedokteran sebagai pembunuh sel kanker dan sterilisasi alat-alat kedokteran.
- b. Sinar X (*X-rays*) memiliki panjang gelombang 10^{-10} meter dan memiliki frekuensi $3 \cdot 10^{18}$ hertz. Gelombang ini banyak digunakan untuk kegiatan rontgen di rumah sakit.
- c. Sinar ultra violet (*ultraviolet*) memiliki panjang 10^{-8} meter dengan frekuensi $3 \cdot 10^{16}$ hertz. Fungsi UV dapat bermanfaat dan berbahaya bagi manusia. Salah satu manfaatnya adalah sebagai detektor untuk membedakan uang asli atau palsu. Dan yang berbahaya yaitu dapat merusak sel kulit.
- d. Cahaya tampak (*visible light*) yaitu berupa cahaya yang dapat ditangkap langsung oleh mata manusia. Gelombang ini memiliki panjang 0.5×10^{-6} meter dengan frekuensi $6 \cdot 10^{14}$ hertz. Cahaya tampak terdiri dari 7 macam warna. Jika diurutkan dari yang paling besar frekuensinya yaitu merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila, dan ungu.

- e. Infra merah (*infrared*) memiliki panjang gelombang sekitar 10^{-5} meter dengan frekuensi sekitar $3 \cdot 10^{13}$ hertz. Gelombang infra merah dimanfaatkan sebagai remot TV dan transfer data pada ponsel.
- f. Gelombang radio memiliki panjang gelombang sekitar 10^{-3} meter dengan frekuensi sekitar $3 \cdot 10^{11}$ hertz. Sumber gelombang ini berasal dari rangkaian *oscillator* elektronik yang bergetar. Rangkaian *oscillator* tersebut terdiri dari komponen resistor, induktor, dan kapasitor. Spektrum gelombang radio dimanfaatkan manusia sebagai teknologi radio, televisi, dan telepon.
- g. Gelombang *Low Frequency* (LF) memiliki frekuensi dalam kisaran 30 kHz sampai 300 kHz. Gelombang ini juga dikenal sebagai panjang gelombang kilometer karena panjang gelombangnya berkisar antara satu hingga sepuluh kilometer. Di Eropa dan bagian dari Afrika Utara, serta Asia spektrum gelombang LF digunakan untuk penyiaran gelombang siaran AM. Di belahan Bumi barat, penggunaannya utamanya adalah untuk sinyal pesawat, navigasi (LORAN), informasi, dan sistem cuaca.
- h. Gelombang Elektromagnetik *Extremely Low Frequency* (ELF) memiliki frekuensi sangat rendah. Instansi Pemerintahan Amerika seperti NASA menggambarkan ELF dengan frekuensi 0-300 Hz. WHO menyatakan bahwa pada frekuensi antara 0-300 Hz, adalah panjang gelombang di udara yang sangat lama (6000 km pada 50 Hz dan 5000 km pada 60 Hz). Dalam situasi praktis, medan listrik dan medan magnet bertindak independen satu sama lain dan diukur secara terpisah. Gelombang ELF digunakan Angkatan Laut Amerika Serikat untuk berkomunikasi dengan kapal selam di bawah permukaan air. Karena konduktivitas listrik air garam, kapal selam dilindungi dari sebagian besar komunikasi elektromagnetik. Namun sinyal pada ELF bisa menembus lebih dalam (Grotel, 1992).



Gambar 2.2 Spektrum Gelombang Elektromagnetik
Sumber: Grotel, 1992

2.1.3 Teori Maxwell

Persamaan Maxwell adalah himpunan empat persamaan diferensial parsial yang mendeskripsikan sifat-sifat medan listrik dan medan magnet dan hubungannya dengan sumber-sumbernya, muatan listrik dan arus listrik menurut teori elektrodinamika klasik. Maxwell menunjukkan bahwa gelombang elektromagnetik adalah konsekuensi alami dari hukum dasar yang dinyatakan dalam empat persamaan berikut:

1. Persamaan I Maxwell (Hukum Gauss tentang medan listrik) menerangkan bagaimana muatan listrik dapat menciptakan dan mengubah medan listrik. Muatan listrik cenderung bergerak dari muatan positif ke muatan negatif. Muatan-muatan tersebut menciptakan medan listrik yang ditanggapi oleh muatan lain melalui gaya listrik.

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \frac{Q}{\epsilon_0} \dots \dots \dots (2.4)$$

$$\nabla \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \dots \dots \dots (2.5)$$

2. Persamaan II Maxwell (Hukum Gauss tentang magnetik) menyatakan bahwa kutub-kutub utara dan selatan magnet selalu berpasangan atau muatan magnet itu tidak pernah ada.

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0 \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\nabla \mathbf{B} = 0 \dots\dots\dots (2.7)$$

3. Persamaan III Maxwell (Hukum Faraday tentang Induksi Magnetik) mendeskripsikan bagaimana perubahan medan magnet dapat menciptakan medan listrik. Hal ini merupakan prinsip kerja banyak generator listrik. Gaya mekanik (seperti air pada bendungan) memutar sebuah magnet besar, dan perubahan medan magnet ini menciptakan medan listrik yang kemudian disalurkan melalui jala-jala listrik.

$$\oint_{\partial S} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \frac{\partial(\mathbf{B} \cdot \mathbf{A})}{\partial t} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\nabla \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \dots\dots\dots (2.9)$$

4. Persamaan IV Maxwell (Hukum Ampere dan Koreksi Maxwell terhadap Hukum Ampere) medan magnet dapat ditimbulkan melalui dua cara:

- a. Lewat arus listrik (perumusan awal hukum Ampere)
- b. Dengan mengubah medan listrik (tambahan Maxwell)

Perubahan medan listrik dapat menimbulkan medan magnet dan begitu pula sebaliknya. Dengan demikian, meskipun tidak ada muatan listrik atau arus listrik, masih dimungkinkan adanya gelombang osilasi medan magnet dan medan listrik yang stabil dan dapat merambat terus-menerus.

$$\oint_{\partial S} \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \Phi_{E,S}}{\partial t} \dots\dots\dots (2.10)$$

(Loeksmanto, 1993)

2.2 Pengenalan Radiasi Elektromagnetik

2.2.1 Pengertian Radiasi

Radiasi dideskripsikan setiap proses di mana energi bergerak melalui media atau melalui ruang, dan akhirnya diserap oleh benda lain. Penyebab terjadinya radiasi adalah pancaran energi yang bergerak ke luar dalam garis lurus ke segala arah dari suatu sumber. Ditinjau dari massanya, radiasi dapat dibagi menjadi radiasi elektromagnetik dan radiasi partikel. Radiasi elektromagnetik adalah radiasi yang tidak memiliki massa. Radiasi ini terdiri dari gelombang radio, gelombang mikro, inframerah, cahaya tampak, ultraviolet, dan sinar-X. Radiasi partikel adalah radiasi berupa partikel yang memiliki massa, misalnya partikel beta (β), partikel alfa (α), dan sinar gamma (γ).

Jika ditinjau dari muatan listriknya, radiasi dapat dibagi menjadi radiasi pengion dan radiasi non-pengion. Radiasi pengion adalah radiasi yang apabila menumbuk atau menabrak sesuatu, akan muncul partikel bermuatan listrik yang disebut ion. Peristiwa terjadinya ion ini disebut ionisasi. Ion ini kemudian akan menimbulkan efek atau pengaruh pada bahan, termasuk benda hidup. Yang termasuk radiasi pengion adalah sinar-X, partikel alfa (α), partikel beta (β), sinar gamma (γ), partikel neutron. Partikel beta (β), partikel alfa (α), dan neutron dapat menimbulkan ionisasi secara langsung. Meskipun tidak memiliki massa dan muatan listrik, sinar-X, sinar gamma dan sinar kosmik juga termasuk ke dalam radiasi pengion karena dapat menimbulkan ionisasi secara tidak langsung. Radiasi non-pengion adalah radiasi yang tidak dapat menimbulkan ionisasi. Termasuk ke dalam radiasi non-pengion adalah gelombang radio, gelombang mikro, inframerah, cahaya tampak dan ultraviolet (Foster, 2003).

Sedangkan dilihat dari jenis radiasi terdiri dari radiasi elektromagnetik, radiasi pengion, radiasi thermal, radiasi cerenkov, radiasi sel hidup, radiasi matahari, radiasi nuklir, radiasi benda hitam, radiasi non-ionisasi, dan radiasi kosmik. Beberapa bahan kimia yang terdiri dari unsur-unsur kimia inti yang tidak stabil. Sebagai akibat dari ketidakstabilan ini, atom memancarkan partikel

subatomik dan aleatoria. Tanpa kita sadari, sebenarnya kita hidup dalam lingkungan yang penuh dengan radiasi. Radiasi telah menjadi bagian dari lingkungan kita semenjak dunia ini diciptakan, bukan hanya sejak ditemukan tenaga nuklir setengah abad yang lalu, yang mana terdapat lebih dari 60 radionuklida. Berdasarkan asalnya radiasi yang dapat dibedakan pada dua garis besar, radiasi alam dan radiasi buatan. Radiasi alam dapat berasal dari sinar kosmos, sinar gamma dari kulit bumi, hasil peluruhan radon dan thorium di udara, serta berbagai radionuklida alamiah (radionuklida yang terbentuk secara alami), terbagi menjadi dua yaitu primordial (radionuklida ini telah ada sejak bumi diciptakan) dan kosmogenik (radionuklida ini terbentuk sebagai akibat dari interaksi sinar kosmik). Radiasi buatan (radionuklida) adalah radiasi yang timbul karena atau berhubungan dengan kegiatan manusia seperti penyinaran di bidang medis, jatuhnya radioaktif, radiasi yang diperoleh pekerja radiasi di fasilitas nuklir, radiasi yang berasal dari kegiatan di bidang industri: radiografi, logging, dan pabrik lampu (Seftyas, 2012).

2.2.2 Radiasi Elektromagnetik Non-pengion

Radiasi elektromagnetik non pengion yaitu gelombang radio, gelombang mikro, inframerah, cahaya tampak, dan ultraviolet. Radiasi elektromagnetik memiliki komponen medan listrik dan medan magnet yang berosilasi pada fase saling tegak lurus dan ke arah propagasi energi. Radiasi elektromagnetik membawa energi dan momentum, yang dapat disampaikan ketika berinteraksi dengan materi. Gelombang Elektromagnetik adalah gelombang yang dapat merambat walau tidak ada medium, yang dirumuskan oleh Maxwell ternyata terbentang dalam rentang frekuensi yang luas. Sebagai sebuah gejala gelombang, gelombang elektromagnetik dapat diidentifikasi berdasarkan frekuensi dan panjang gelombangnya. Cahaya merupakan gelombang elektromagnetik sebagaimana gelombang radio. Masing-masing memiliki penggunaan yang berbeda meskipun mereka secara fisika menggambarkan gejala yang serupa. Mereka dibedakan berdasarkan frekuensi dan panjang gelombangnya (Seftyas, 2012).

2.2.3 Radiasi Elektromagnetik Pengion

Jenis sumber radiasi alam yang banyak dikenal antara lain U-238 dan Th-232, masing-masing sebagai inti induk, sedang deret peluruhannya dikenal sebagai deret uranium dan deret thorium. Radiasi pengion yang dihasilkan oleh transisi elektron dalam kulit atom akibat tumbukan elektron berkecepatan tinggi dengan atom logam berat, misalnya Pb atau Cu, disebut sinar-X. Sinar-X adalah radiasi dalam bentuk gelombang elektromagnetik yang mempunyai daya tembus tinggi. Ion dari atom helium, hidrogen, deuterium, tritium, dan lain-lain, yang dipercepat juga bersifat pengion. Sumber pemaparan radiasi mengion: Industri tabung sinar katoda, Pembangkit Tenaga Nuklir, pertambangan, rumah sakit (kedokteran gigi, radiologi), laboratorium, lembaga penelitian, dan pertanian (Seftyas, 2012).

2.2.4 Radiasi Partikel Atom Pengion

Tiga jenis utama radiasi ditemukan oleh Ernest Rutherford, Alfa, Beta, dan Gamma. Radiasi tersebut ditemukan melalui percobaan sederhana, Rutherford menggunakan sumber radioaktif dan menemukan bahwa sinar menghasilkan memukul tiga daerah yang berbeda. Salah satu dari mereka menjadi positif, salah satu dari mereka bersikap netral, dan salah satu dari mereka yang negatif. Dengan data ini, Rutherford menyimpulkan radiasi yang terdiri dari tiga sinar. Beliau memberi nama yang diambil dari tiga huruf pertama dari abjad Yunani yaitu alfa (α), beta (β), dan gamma (γ). Radiasi elektromagnetik atau partikel yang mampu mengionisasi, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam lintasannya menembus materi disebut radiasi pengion. Ionisasi adalah proses terjadinya ion (ion positif dan elektron bebas) dari suatu atom netral dalam materi yang dikenai energi.

Radiasi ionisasi langsung bisa berupa partikel bermuatan listrik, (misalnya sinar; alfa (α), sinar beta (β), dan sinar gamma), yang dapat mengakibatkan ionisasi dengan memberikan energinya kepada elektron orbital

dalam suatu atom atau molekul. Sedang gelombang elektromagnetik pengion misalnya sinar-X, sinar gamma γ , (yang juga bersifat partikel, yaitu foton), dan partikel tak bermuatan listrik (misalnya neutron) menghasilkan partikel bermuatan listrik pada saat berinteraksi dengan atom dalam materi. Misalnya neutron mengeluarkan proton. Neutrino (ν) dikeluarkan pada saat partikel beta (β), dipancarkan dengan muatan berlawanan dengan elektron. Partikel-partikel ini, karena massanya kecil dan tidak bermuatan listrik, sulit berinteraksi dengan materi tetapi karena dapat mengionisasi disebut radiasi pengion tak langsung (Seftyas, 2012).

2.3 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*) (Grotel, 1992).

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-ionising*.

2.4 Medan Magnet

Sifat magnet telah dikenal sejak bahan magnet alami yaitu magnetik (Fe_3O_4) pertama kali ditemukan. Sifat magnet yang selalu menunjuk arah utara dan selatan mempunyai pengaruh besar pada masa awal navigasi dan eksplorasi. Selanjutnya pada awal abad ke-19, Oersted menemukan bahwa arus listrik menghasilkan medan magnet dan pada saat itu kemagnetan masih belum banyak digunakan dan masih merupakan gejala yang kurang dimengerti. Menyusul temuan Oersted, Gauss, Henry dan Faraday menemukan bahwa medan magnet merupakan sekutu medan listrik. Selanjutnya Maxwell juga mendukung bahwa persekutuan medan listrik dan medan magnet adalah nyata, dan merupakan jalinan yang tak terpisahkan.

Medan magnet bersifat tak terhalangi, terbukti bahwa medan magnet mampu menembus benda-benda penghalang seperti tembok bangunan, pepohonan, dan tubuh manusia. Melindungi manusia dari paparan medan magnet sama sekali tidak mungkin bisa dilakukan (Gordon Hester, 1992). Selain itu, jika intensitas medan listrik mengalami penurunan sebanding dengan kuadrat jarak terhadap konduktor, maka intensitas medan magnet akan mengalami penurunan secara linier terhadap jarak dari konduktor transmisi (Grotel, 1992). Hal ini telah dibuktikan, bahwa hasil pengukuran medan listrik di bawah jaringan SUTET-500 kV mencapai 21 kali lebih besar dibandingkan dengan intensitas medan listrik daerah kontrol yang berada pada jarak 200 m terhadap jaringan. Sementara medan magnet hanya mencapai 8-9 kali lebih besar dibandingkan daerah kontrol. Penghalang atap rumah rata-rata menurunkan medan listrik sampai 0,01 kali, sementara medan magnet di bawah atap hanya mengalami penurunan sampai 0,6 kali saja (Sudarti, 1998).

Secara kuantitas, medan magnet dibedakan menjadi kerapatan fluks magnetik (**B**), dan kuat medan magnet (**H**). Selanjutnya dalam penelitian ini yang dimaksud dengan intensitas medan magnet adalah kerapatan fluks magnetik (**B**). **B** mempunyai

satuan tesla (T), sedangkan \mathbf{H} mempunyai satuan ampere/meter (A/m). Hubungan antara \mathbf{B} dan \mathbf{H} dinyatakan dengan rumus:

$$\frac{\mathbf{B}}{\mathbf{H}} = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A} \dots\dots\dots (2.11)$$

Berdasarkan rumus di atas, maka ada beberapa satuan yang dapat digunakan untuk intensitas medan magnet, antara lain:

- a. Tesla (T), militesla (mT), atau mikrottesla (μT)
- b. Gauss (G), miligauss (mG), atau mikrogauss (μG)

Dalam penelitian ini digunakan satuan mT, μT , atau mG. Kesetaraan antara satuan tersebut adalah $1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$

2.4.1 Karakteristik Medan Magnet ELF

Medan magnet adalah daerah di sekitar magnet yang masih dipengaruhi oleh magnet (Giancoli, 1998). Medan magnet terjadi karena adanya kutub-kutub magnet yang memiliki gaya tarik-menarik dan tolak menolak yang besar. Medan magnet bersifat tidak menghalangi dan mampu menembus benda penghalang seperti genting, tembok bangunan, pepohonan, maupun tubuh manusia dan akan mengalami penurunan secara linier terhadap jarak dari sumber paparan (Grotel, 1992).

2.4.2 Intensitas Paparan Medan Magnet ELF

Energi rata-rata per satuan luas yang dirambatkan oleh gelombang elektromagnetik disebut dengan intensitas gelombang elektromagnetik. Intensitas gelombang elektromagnetik atau laju energi yang dipindahkan melalui gelombang elektromagnetik disebut vektor Poynting. Vektor Poynting dengan simbol besaran \mathbf{S} atau \mathbf{P} , didefinisikan sebagai produk vektor dari vektor intensitas medan listrik \mathbf{E} dengan vektor medan magnet \mathbf{H} pada suatu gelombang elektromagnetik, yaitu:

$$\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H} \dots\dots\dots (2.12)$$

Pengertian fisik dari vektor Poynting yaitu menggambarkan laju energi per satuan waktu per satuan luas penampang medium yang dilalui oleh gelombang, baik

harga sesaat atau harga rata-rata. Nilai vektor Poynting yang besar berarti menggambarkan intensitas gelombang elektromagnetik yang besar juga. Perbedaan antara intensitas gelombang dengan vektor Poynting yaitu intensitas gelombang merupakan besaran skalar sedangkan vektor Poynting merupakan besaran vektor yang menggambarkan arah perambatan gelombang dan besarnya kerapatan energi gelombang per satuan waktu atau laju energi gelombang dalam satuan Joule per sekon per meter persegi ($J/s.m^2$). Teorema tentang vektor poynting dikembangkan oleh ilmuwan Inggris yang bernama John H. Poynting yang pada awalnya adalah postulat pada tahun 1884. Vektor intensitas medan magnetik dan intensitas medan listrik itu saling tegak lurus satu sama lainnya. Maka besarnya arah gelombang elektromagnetik yaitu:

$$\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \frac{\mathbf{B}}{\mu_0} = \frac{1}{\mu_0} \mathbf{E} \times \mathbf{B} \dots\dots\dots (2.13)$$

Sedangkan besarnya intensitas gelombang elektromagnetik adalah:

$$I = \frac{P}{A} = \frac{E}{t} \cdot \frac{1}{A} = \frac{E}{A t} J/m^2 s \dots\dots\dots (2.14)$$

Untuk gelombang yang terpolarisasi linier arah sumbu-x, merambat di udara pada arah sumbu-z positif maka:

$$\mathbf{E}_x = \mathbf{E}_{0x} \sin(\omega t - kz) \dots\dots\dots (2.15)$$

dan

$$\mathbf{B}_y = \mathbf{B}_{0y} \sin(\omega t - kz) \dots\dots\dots (2.16)$$

maka

$$\frac{d\mathbf{E}}{dx} = -k\mathbf{E}_{0x} \cos(\omega t - kz) \dots\dots\dots (2.17)$$

$$\frac{d\mathbf{B}}{dt} = \omega\mathbf{B}_{0y} \cos(\omega t - kz) \dots\dots\dots (2.18)$$

$$\frac{d\mathbf{E}}{dx} = -\frac{d\mathbf{B}}{dt} \text{ (persamaan III Maxwell)} \dots\dots\dots (2.19)$$

Sehingga

$$k\mathbf{E}_{0x} \cos(\omega t - kz) = \omega\mathbf{B}_{0y} \cos(\omega t - kz) \dots\dots\dots (2.20)$$

$$\frac{E_{0x}}{B_{0y}} = \frac{\omega}{k} \dots\dots\dots (2.21)$$

$$\frac{E_0}{B_0} = v \dots\dots\dots (2.22)$$

$$\frac{E}{B} = c \dots\dots\dots (2.23)$$

Untuk memenuhi harga rata-rata vektor poyting yaitu:

$$\langle \mathbf{S} \rangle = \frac{cB^2}{2\mu_0 T} \int_0^T 1 + \cos 2(\omega t - kz) dt \dots\dots\dots (2.24)$$

$$\langle \mathbf{S} \rangle = \frac{cB^2}{2\mu_0 T} \int_0^T 1 dt + \int_0^T \cos 2(\omega t - kz) dt \dots\dots\dots (2.25)$$

$$\langle \mathbf{S} \rangle = \frac{cB^2}{2\mu_0 T} [T]_0^T + \left[\frac{1}{2\omega} \sin(2\omega t - 2kz) \right]_0^T \dots\dots\dots (2.26)$$

$$\langle \mathbf{S} \rangle = \frac{cB^2}{2\mu_0 T} \left(T + \frac{1}{2\omega} \sin(2\omega t - 2kz) + \frac{1}{2\omega} \sin 2kz \dots\dots (2.27) \right)$$

$$\langle \mathbf{S} \rangle = \frac{cB^2}{2\mu_0 T} \left(T + \frac{1}{\omega} \sin \omega T \cos(\omega T - 2kz) \dots\dots\dots (2.28) \right)$$

$$\langle \mathbf{S} \rangle = \frac{cB^2}{2\mu_0} \dots\dots\dots (2.29)$$

Apabila laju energi diartikan daya (*power*), maka daya yang keluar dari suatu permukaan tertutup S adalah:

$$P = \oint \mathbf{S} \cdot d\mathbf{S} \text{ Watt} \dots\dots\dots (2.30)$$

Dalam bentuk bilangan kompleks, vektor poyting kompleks adalah setengah dari produk E kompleks dan B kompleks.

$$\mathbf{S} = \frac{1}{2} \mathbf{E} \times \mathbf{B} \dots\dots\dots (2.31)$$

Vektor poyting kompleks hanya dapat terjadi pada medium konduktor karena medium konduktor ini mempunyai impedansi intrinsik kompleks sebagai akibat dari konduktivitas listrik yang cukup besar. Hal yang harus diperhatikan juga yaitu sudut fase antara medan E dan B berbeda (Effendi *et al.*,2007:131).

2.4.3 Sumber Paparan Medan Magnet ELF

Tanpa disadari bahwa manusia hidup di dalam medan magnet, baik yang alamiah maupun buatan manusia sendiri. Paparan medan magnet buatan sangat berpengaruh pada peningkatan intensitas medan magnet alamiah, baik di dalam rumah tangga, tempat kerja, maupun lingkungan di sekitar jaringan transmisi tegangan tinggi.

a. Sumber Alamiah

Pada dasarnya kita telah terpapar medan magnet ELF secara alamiah, mengingat bumi adalah magnet alamiah. Medan listrik dan medan magnet bumi lebih dominan berupa komponen medan listrik dan medan magnet statis. Intensitas paparan medan listrik ELF alamiah yang dihasilkan oleh bumi rata-rata 10^{-4} V/m, dan intensitas medan magnet rata-rata 10^{-6} mikrottesla (μ T). Pada intensitas medan elektromagnetik ELF alamiah proses kehidupan berlangsung secara alamiah dan tidak menimbulkan gangguan (WHO, 1984).

b. Sumber Buatan

Manusia lebih banyak terpapar medan magnet dari pemakaian tenaga listrik buatan manusia misalnya dalam bentuk kabel bertegangan tinggi sampai perkabelan pada peralatan rumah tangga, industri, maupun perkantoran.

1. Medan Magnet oleh Peralatan Rumah Tangga

Roland J, *et al* (1992), melaporkan bahwa hasil pengukuran medan magnet di dalam rumah terhadap 207 rumah tangga, ditemukan 90% nilai induksi magnetik berada di bawah $0,182 \mu$ T (WHO, 1987).

Tabel 2.1 Hasil Pengukuran Medan Magnet ELF di Sekitar Peralatan Rumah Tangga

No.	Nama Peralatan	Medan Magnet (μ 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: WHO (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 μT 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. 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 2.2 Hasil Pengukuran Medan Magnet ELF di Sekitar Peralatan Medis

No.	Ruang dari Peralatan Medis	Intensitas Medan Magnet Pada Jarak x (μT)		
		x = 10-20 cm	x = 40-60 cm	x = 100-300 cm (Ambient)
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
15	Ultrasonography (USG)		0,215-0,221	
16	MRI		0,131-0,158	
19	Klinik Kedokteran Gigi	0,162 - 0,165		0,075-0,101
20	Lapangan Terbuka			0,049-0,050

Sumber: Syariffuddin dan Sudarti (2001)

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 μT untuk pemaparan sepanjang jam kerja. Terdapat intensitas medan magnet di sekitar beberapa alat mencapai intensitas lebih dari 10 μT , hal ini kiranya perlu dicermati mengingat beberapa hasil penelitian melaporkan ada kemungkinan efek biologis oleh paparan medan magnet 10 μT (Valberg PA, Kevet R, Rafferty CN, 1997).

3. Medan Magnet di Sekitar Kabel Bertegangan Tinggi

Seiring dengan perkembangan teknologi pemanfaatan peralatan berenergi listrik dalam kehidupan tentunya paparan medan elektromagnetik *ELF* di lingkungan semakin meningkat. Salah satu sumber medan magnet buatan yang perlu diperhatikan berkenaan dengan pemaparan di lingkungan adalah saluran transmisi tegangan tinggi, khususnya saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) 500 kV.

Hasil pengukuran intensitas medan magnet di pemukiman penduduk yang bertempat tinggal di bawah jaringan SUTET (saluran udara tegangan ekstra tinggi) 500 kV di Kecamatan Tulangan Kabupaten Sidoarjo Jawa Timur, diperoleh bahwa intensitas paparan medan magnet mencapai 8-9 kali lebih tinggi dibandingkan di daerah kontrol. Di halaman rumah pada ketinggian 1,5 m dari tanah intensitas maksimum medan magnet adalah sekitar 2-3 μT (Sudarti, 1998).

Sementara Lee *et al* (1982), melakukan pengukuran kuat medan magnet di dekat saluran udara tegangan ekstra tinggi 500 kV, pada jarak 1 m di atas tanah di bawah saluran udara tegangan ekstra tinggi 500 kV sebesar 35 μT dan pada jarak 60 m arah lateral terhadap kabel 500 kV kurang dari 5 μT . Sedangkan WHO (1984) melaporkan hasil pengukuran medan magnet pada jarak 60 m arah lateral terhadap kabel saluran udara tegangan ekstra tinggi 765 kV adalah kurang dari 2 μT . Sementara Gorgon L Hester, 1992, melaporkan bahwa medan listrik di bawah jaringan transmisi 500 kV pada jarak horizontal 0-10 m adalah 5-10 kV/m dan medan magnet 60-800 mG (6-80 μT). Rata-rata kerapatan medan listrik dan medan magnet dipermukaan tubuh adalah 1-10 kV/m dan 40-800 mG (4-80 μT). Intensitas medan magnet di permukaan tanah di bawah saluran udara tegangan ekstra tinggi

ditentukan oleh ketinggian konduktor dan besar tegangan yang ditransmisikan (WHO, 1984).

Berdasarkan uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa walaupun intensitas paparan medan magnet ELF di sekitar SUTET-500 kV masih berada jauh di bawah nilai ambang batas yang diperkenankan WHO, yaitu 100 μT untuk pemaparan sepanjang hari (hunian), namun mampu memberikan peningkatan intensitas medan magnet di sekitarnya. Oleh karena itu penduduk yang bertempat tinggal di bawah SUTET akan terpapar medan magnet *ELF* pada intensitas lebih tinggi dari pada masyarakat umumnya.

2.5 Batas 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 Untuk	Intensitas Medan Listrik (kV/m)	Intensitas Medan Magnet (μT)
Kelompok Petugas:			
1.	- sepanjang hari kerja	10	500
	- jangka pendek	30	5000
Kelompok Umum:			
2.	- sampai 24 jam/hari	5	100
	- beberapa jam/hari	10	1000

Sumber: WHO (1990)

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 μT 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 (Fedorowski A, 1998).

2.6 Hasil Penelitian Medan Magnet *Extremely Low Frequency* (ELF)

2.6.1 Hasil Penelitian Medan Magnet ELF pada Sel

Jandova et al. (1999;2001) menemukan bahwa jumlah leukosit yang diambil dari pasien kanker meningkat setelah 1 jam paparan 50 Hz sinusoidal magnetik (1 mT dan 10 mT), sementara itu menurun pada limfosit T yang diambil dari donor yang sehat. Sifat permukaan leukosit nyata diperantarai sel kekebalan karena adanya antigen. Leukosit diambil dari pasien kanker menunjukkan kekurangan leukosit daripada manusia sehat. Penulis menyimpulkan bahwa respon imunitas seluler telah diubah oleh paparan medan magnet luar dan hipotesis tentang biofisik yang berbeda mekanisme, di antaranya adalah reaksi radikal bebas.

2.6.2 Hasil Penelitian Medan Magnet ELF pada Hewan

Kelompok Löscher (Mevisen et al, 1996) telah melaporkan penurunan proliferasi limfosit T pada tikus terpapar medan magnet 50 Hz 50 μ T. Dalam sebuah studi tindak lanjut, penulis yang sama (Mevisen et al, 1998) menemukan bahwa proliferasi ini awalnya meningkat setelah 2 minggu, tetapi kemudian menurun setelah 13 minggu pada tikus setelah dipapar medan magnet 50 Hz intensitas 100 T.

Thun-Battersby, Westermann dan Löscher (1999) memapar tikus betina Sprague Dawley dengan medan magnet 50 Hz 100 μ T untuk periode 3-14 hari dan 13 minggu. Mereka melakukan analisis dari subset limfosit T dan sel-sel kekebalan lainnya: sel NK, limfosit B, makrofag, granulosit dalam darah, limpa, dan kelenjar getah bening. Tidak ada efek ditemukan pada berbagai jenis leukosit, termasuk limfosit subset untuk setiap durasi paparan. Para penulis menyimpulkan paparan yang tidak mempengaruhi homeostasis limfosit, tetapi tidak mengecualikan bahwa perubahan fungsional dalam respon sel T mitogens dan aktivitas sel NK, seperti yang dijelaskan dalam beberapa studi tikus terpapar, mungkin salah satu mekanisme

terlibat dalam efek karsinogenik paparan medan magnet diamati pada beberapa model co-karsinogenesis, seperti model DMBA digunakan oleh kelompok ini.

Sejumlah tes aktivitas sel NK telah dilakukan, terutama pada tikus yang terpapar. House et al. (1996) melaporkan bahwa aktivitas sel NK tikus betina berkurang dalam beberapa percobaan setelah paparan untuk bidang terus menerus atau intermiten medan magnet ELF 60 Hz 2-1000 μ T, tetapi tidak pada tikus jantan. Para penulis kemudian melakukan percobaan dengan tikus betina yang lebih tua, dan mengamati penurunan serupa aktivitas sel NK pada 1000 μ T tetapi tidak pada intensitas yang lebih rendah (House dan McCormick, 2000). Mereka menyimpulkan bahwa penghambatan aktivitas sel NK yang disebabkan oleh paparan konsisten di percobaan mereka tetapi memiliki signifikansi biologis kecil, seperti itu tidak terkait dengan peningkatan neoplasma di terpisah investigasi dengan jenis yang sama.

Arafa et al. (2003) meneliti efek biologis dari paparan berulang 50 Hz kekuatan tinggi (20 mT) medan magnet pada beberapa parameter kekebalan pada tikus. Hewan-hewan yang terkena setiap hari selama 30 menit tiga kali per minggu selama 2 minggu. Kekebalan termasuk limpa atau perbandingan berat badan, splenocytes viabilitas, dan jumlah sel darah putih, serta proliferasi limfosit menurun 20% disebabkan oleh phytohaemagglutinin, concanavalin-A dan lipopolysaccharide.

Ushiyama dan Ohkubo (2004) mempelajari Efek akut dan subkronis paparan seluruh tubuh untuk medan magnet 50 Hz interaksi leukosit-endotelium menggunakan teknik lipatan kulit punggung tikus BALB/c. Mereka melakukan percobaan akut dengan memapar selama 30 menit pada 3, 10, dan 30 mT. Sedangkan percobaan subkronis dengan paparan terus-menerus selama 17 hari pada 0,3, 1 dan 3 mT. Intra-mikrovaskuler leukosit terhadap sel endotel secara signifikan meningkat pada 30 mT dalam akut dan pada 3 mT dalam subkronis yang kondisi terpapar.

2.6.3 Hasil Penelitian Medan Magnet ELF pada Manusia

Baru-baru ini, kelompok Mandeville telah melaporkan paparan medan magnet 60 Hz pada 60 pekerja umum listrik. Mereka memantau aktivitas dekarboksilase

ornithine (ODC) dalam sel darah putih, aktivitas sel NK dan penurunan jumlah limfosit. Mereka memantau paparan selama tiga hari berturut-turut sebelum mengumpulkan darah perifer. Tidak ada perubahan aktivitas sel NK atau nomor sirkulasi neutrofil, eosinofil, basofil, atau limfosit T. Namun, ada hubungan antara intensitas paparan dengan penurunan aktivitas ODC dan jumlah sel limfosit (Ichinose et al, 2004).

Zhu et al, (2002) secara sistematis dieksplorasi dampaknya pada sel darah merah, trombosit dan sel darah putih darah perifer diambil dari orang-orang yang bekerja dengan sistem kereta api listrik. Mereka melaporkan bahwa paparan medan magnet 50 Hz, 0.01-0,938 mT, atau 0-12 kV-m 1 menyebabkan penurunan jumlah sel darah putih dan tingkat Immunoglobulin A, G, dan antibodi. Mereka juga menemukan bahwa persentase limfosit menunjukkan penurunan akibat kerusakan DNA lebih tinggi pada kelompok terpapar dibandingkan pada kelompok kontrol. Para penulis menyimpulkan bahwa paparan medan magnet ELF mungkin menyebabkan kerusakan DNA dalam limfosit, kemudian menyebabkan apoptosis sel-sel ini, dan hasilnya lebih lanjut dalam penurunan jumlah sel darah putih dan tingkat immunoglobulin dalam darah.

2.7 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.

Waktu yang dibutuhkan sampai terlihatnya gejala efek somatik sangat bervariasi sehingga dapat dibedakan atas efek segera dan efek tertunda. Efek segera adalah kerusakan yang secara klinik sudah dapat teramati pada individu

dalam waktu singkat setelah individu tersebut terpapar radiasi, seperti epilasi (rontoknya rambut), eritema (memerahnya kulit), luka bakar dan penurunan jumlah sel darah. Kerusakan tersebut terlihat dalam waktu hari sampai mingguan pasca iradiasi. Efek tertunda merupakan efek radiasi yang baru timbul setelah waktu yang lama (bulanan/tahunan) setelah terpapar radiasi, seperti katarak dan kanker.

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.

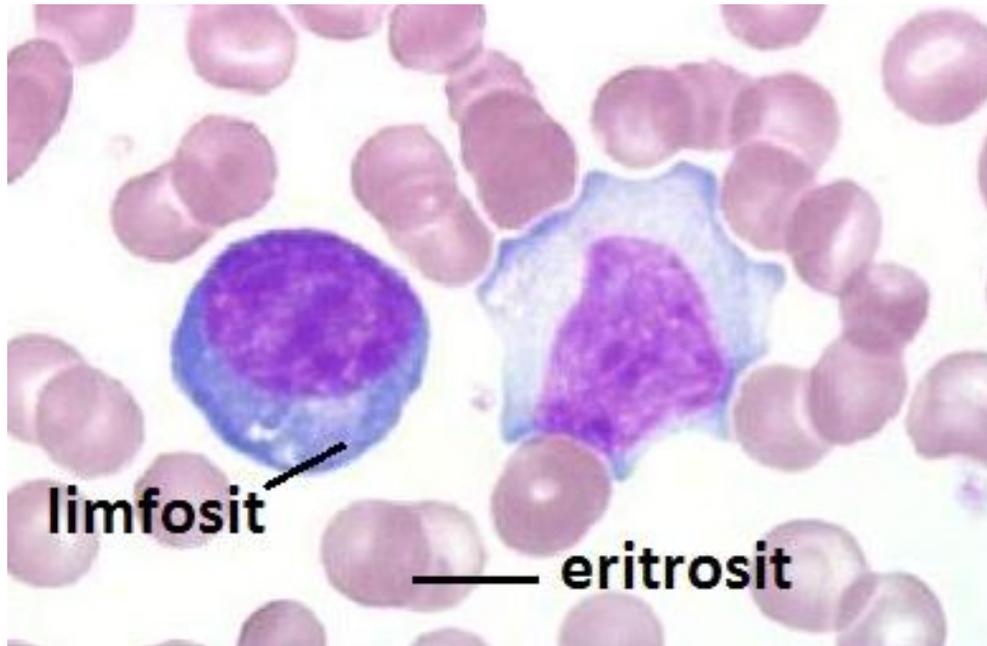
Molekul protein mempunyai sifat yang berbeda dalam mentranspor zat melalui membran. Struktur molekul ini menyelip diantara susunan lapisan lipid ganda, sehingga menimbulkan jalur alternatif, dan protein yang menembus lapisan ini berfungsi sebagai protein transpor. Protein yang berbeda akan mempunyai fungsi yang berbeda pula. Protein kanal (*channel protein*), yaitu protein yang mempunyai ruang licin yang dapat dilalui molekul dan memungkinkan ion atau molekul tertentu untuk bergerak bebas. Protein pembawa (*carrier protein*), berikatan dengan zat yang akan ditranspor kemudian akan memindahkan zat ke sisi lain dari membran melalui celah molekul ini. Protein kanal dan pembawa seringkali selektif, sehingga ion atau molekul tertentu saja yang dapat ditranspor.

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 H, 1995).

2.8 Limfosit

Limfosit merupakan sel limfoid pada sistem imunitas spesifik. Limfosit yang tersensitisasi antigen akan menjadi imunosit yaitu seri sel yang merespons stimulasi antigen dan bertindak sebagai sel mediator imunitas spesifik (Roeslan, 2002). Limfosit semula berasal dari sel *precursor* di sumsum tulang, tetapi sebagian besar limfosit baru sebenarnya dihasilkan oleh limfosit yang sudah ada yang berdiam di jaringan limfoid (jaringan yang mengandung limfosit) misalnya kelenjar limfe dan tonsil (Sherwood, 2001). Di dalam darah manusia, limfosit merupakan sel-sel bulat dengan diameter yang bervariasi antara 6-8 μm , walaupun beberapa diantaranya mungkin lebih besar. Jumlah limfosit adalah 20-35% dari leukosit darah normal (Leeson, 1996).

Secara morfologis, limfosit termasuk di antara sel-sel tubuh yang paling deskriptif. Umumnya mempunyai inti besar, kasar, sferis, berwarna sangat gelap dan memiliki sitoplasma yang relatif sedikit. Sel-sel limfosit berbeda satu dengan yang lainnya dalam hal (1) Perjalanan proses perkembangannya, (2) Siklus hidupnya, (3) Masing-masing mengalir melalui jalur yang berlainan dalam tubuh, (4) memiliki sifat permukaan yang berlainan, dan yang paling penting, (5) fungsinya yang berlainan (Price, 1994).



Gambar 2.3 Limfosit
Sumber: Astuti, 2012

Limfosit memasuki sistem peredaran darah terus menerus bersama dengan drainase getah bening dari kelenjar getah bening. Kemudian beberapa jam mereka kembali ke dalam jaringan dengan diapedesis, kemudian masuk kembali ke getah bening dan kembali ke darah lagi. Dengan demikian, ada sirkulasi terus-menerus limfosit pada jaringan. Limfosit memiliki masa hidup berbulan-bulan atau bahkan bertahun-tahun, tapi ini tergantung pada kebutuhan tubuh untuk sel-sel ini (Guyton, 1992).

Berdasarkan ekspresi pertanda pada permukaan selnya, limfosit teridentifikasi dalam tiga populasi, yaitu limfosit T, limfosit B, dan sel NK (*Natural Killer Cell*) (Roeslan, 2002). Sel-sel limfosit T bertanggung jawab terhadap reaksi imun seluler dan mempunyai reseptor permukaan yang spesifik untuk mengenal antigen asing (Price, 1994). Menurut Sherwood (2001), terdapat tiga subpopulasi sel T bergantung pada peran mereka setelah diaktifkan dengan antigen:

- a. Sel T sitotoksik, yang menghancurkan sel penjamu yang memiliki antigen asing, misalnya sel tubuh yang dimasuki oleh virus, sel kanker, dan sel cangkakan.

- b. Sel T penolong, yang meningkatkan perkembangan sel B aktif menjadi sel plasma, memperkuat aktivasi sel T sitotoksik dan sel T penekan (supresor) yang sesuai, dan mengaktifkan makrofag.
- c. Sel T penekan, yang menekan produksi antibodi sel B dan aktivitas sel T sitotoksik dan penolong.

Sel limfosit B bertugas untuk memproduksi antibodi yang beredar dalam peredaran darah dan berikatan secara khusus dengan antigen asing yang menyebabkan terbentuknya antigen asing tersulut antibodi (Leeson, 1996).

2.9 Karya Ilmiah Populer

Karya ilmiah merupakan suatu istilah untuk suatu tulisan yang mendalam sebagai hasil kajian dengan metode ilmiah. Ciri khas dari sebuah karya tulis yang disusun berdasarkan metode ilmiah adalah keobyektifan pandangan yang dikemukakan dan kedalaman makna yang disajikan. Kedua hal tersebut sangat penting dalam penulisan karya yang bersifat ilmiah. Sebuah tulisan dikatakan ilmiah apabila tulisan tersebut mengandung kebenaran secara obyektif, karena didukung oleh informasi yang sudah teruji kebenarannya (dengan data pengamatan yang tidak subyektif) dan disajikan secara mendalam dengan penalaran serta analisa hingga ke dasar masalah. Suatu tulisan ilmiah akan kehilangan keilmiahannya apabila dalam tulisan tersebut yang dikemukakan hanya ilmu (teori dan fakta) pengetahuan yang sudah diketahui oleh umum dan berulang kali dikemukakan. Penulis dituntut untuk memiliki keterampilan khusus dalam penulisan ilmiah, karena di samping harus mengumpulkan data dan menganalisa data menggunakan metode ilmiah juga menyajikan dalam bentuk tulisan. Bahasa yang digunakan dalam karya ilmiah harus memiliki makna kata-kata yang lugas/harfiah, sehingga tidak terjadi kesalahan penafsiran oleh pembacanya (Lubis, 2004).

Karya tulis ilmiah pada mulanya adalah tulisan yang didasarkan atas penelitian ilmiah. Namun saat ini mulai berkembang suatu paradigma baru bahwa suatu karya tulis ilmiah tidak harus didasarkan atas penelitaian ilmiah saja,

melainkan juga suatu kajian terhadap suatu masalah yang dianalisis oleh ahlinya secara professional. Definisi ilmiah tersebut akan mengalami pengurangan makna apabila digandengkan dengan kata populer. Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (2015) kata populer memiliki arti yaitu sesuai dengan kebutuhan masyarakat pada umumnya, atau mudah dipahami orang banyak. Istilah populer merujuk kepada penggunaan bahasa yang relatif lebih santai, padat, serta mudah dipahami oleh pembacanya yang berasal dari semua kalangan, dan tampilan atau *layout* disajikan dengan menarik supaya masyarakat tertarik untuk membacanya.

2.10 Hipotesis Penelitian

Dalam penelitian ini hipotesis berfungsi sebagai jawaban sementara terhadap masalah yang akan diteliti. Berdasarkan latar belakang dan tinjauan pustaka di atas, maka hipotesis pada penelitian ini adalah :

- a. Intensitas paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) berpengaruh terhadap jumlah limfosit mencit Balb-C.
- b. Lama paparan medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) berpengaruh terhadap jumlah limfosit mencit Balb-C.
- c. Lama paparan maksimal medan magnet *Extremely Low Frequency* (ELF) dominan berpengaruh terhadap jumlah limfosit mencit Balb-C

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian analisis dampak medan magnet *Ekstremely Low Frequency* (ELF) 500 μT terhadap jumlah limfosit pada mencit Balb-C ini dilakukan di dua tempat. Penelitian untuk pemaparan dan pemeliharaan medan magnet ELF dilaksanakan di Laboratorium Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember dan penelitian untuk pengambilan sampel darah mencit Balb-C dilaksanakan di Laboratorium Biomedik Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember. Tempat pemaparan, pemeliharaan dan pengambilan sampel darah dilaksanakan di dua tempat yang berbeda karena menyesuaikan berdasarkan alat dan bahan yang tersedia di masing-masing laboratorium. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Juni-Juli 2015.

3.2 Variabel Penelitian

3.2.1. Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah lama paparan medan magnet ELF. Lama paparan medan magnet ELF secara intermiten yaitu 30 menit, 60 menit, dan 90 menit dua kali pemaparan dalam satu hari dengan selisih waktu 7 jam dan berkelanjutan hingga 14 hari.

3.2.2. Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah jumlah limfosit pada mencit Balb-C. Limfosit merupakan bagian dari sel darah putih yang terdapat dalam darah mencit Balb-C, sehingga limfosit yang akan diamati diambil dari darah mencit Balb-C.

3.2.3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol dalam penelitian ini meliputi jenis kelamin mencit Balb-C, pemeliharaan mencit Balb-C, usia mencit Balb-C, dan berat badan mencit Balb-C, serta intensitas medan magnet ELF. Jenis kelamin mencit Balb-C yang digunakan dalam penelitian ini adalah berjenis kelamin jantan. Pemeliharaan mencit Balb-C meliputi pemberian kandang, makan dan minum, serta cahaya yang cukup. Usia mencit Balb-C yang digunakan dalam penelitian ini rata-rata sama yaitu pada rentan 2-3 bulan. Massa mencit Balb-C yang digunakan dalam penelitian ini relatif sama yaitu pada rentan 20-25 gram. Intensitas paparan medan magnet ELF yang digunakan yakni untuk kelompok eksperimen menggunakan intensitas 500 μT .

3.3 Definisi Operasional

Secara operasional variabel dalam penelitian ini didefinisikan sebagai berikut:

1. Lama paparan medan magnet ELF

Lama paparan medan magnet ELF yaitu 2 x 30 menit/hari, 2 x 60 menit/hari, dan 2 x 90 menit/hari selama 14 hari.

2. Intensitas medan magnet ELF

Intensitas medan magnet ELF yang digunakan yaitu 500 μT . Intensitas 500 μT merupakan intensitas paparan medan magnet yang mengacu pada nilai ambang batas WHO yang ditetapkan *International Non Ionizing Radiation Comitte* (INIR) dan *International Radiation Protection Association* (IRPA) untuk masyarakat umum (WHO, 1990).

3. Jumlah limfosit mencit Balb-C

Di dalam darah, limfosit merupakan sel-sel bulat dengan diameter yang bervariasi antara 6-8 μm , walaupun beberapa diantaranya mungkin lebih besar. Jumlah limfosit adalah 20-35% dari leukosit darah normal. Jumlah limfosit yang akan diamati yaitu pada mencit Balb-C yang telah dipapar medan magnet ELF

dengan intensitas 500 μT , dan pada mencit Balb-C yang telah dipapar medan magnet ELF alami.

3.4 Alat dan Bahan

3.4.1 Alat-alat

a. Kandang plastik

Merupakan tempat untuk pemeliharaan mencit Balb-C

b. Neraca OHAUSS

Digunakan untuk menimbang berat badan mencit Balb-C

c. Sarung tangan laboratorium dan masker

Digunakan untuk menjaga keselamatan kerja pada laboratorium

d. Skapel

Digunakan pada saat pengambilan sampel darah pada ekor mencit Balb-C

e. Kaca preparat dan kaca penghapus

Merupakan alat untuk membuat apusan darah

f. Mikroskop

Merupakan alat yang digunakan untuk mengamati jumlah limfosit mencit Balb-C

g. EMF 827

Merupakan alat untuk mengukur besarnya intensitas medan magnet ELF.

h. *Current Transformer* (CT)

Merupakan alat untuk menghasilkan medan magnet ELF dengan sumber arus pada frekuensi 50 Hz.

1) Komponen alat CT adalah sebagai berikut:

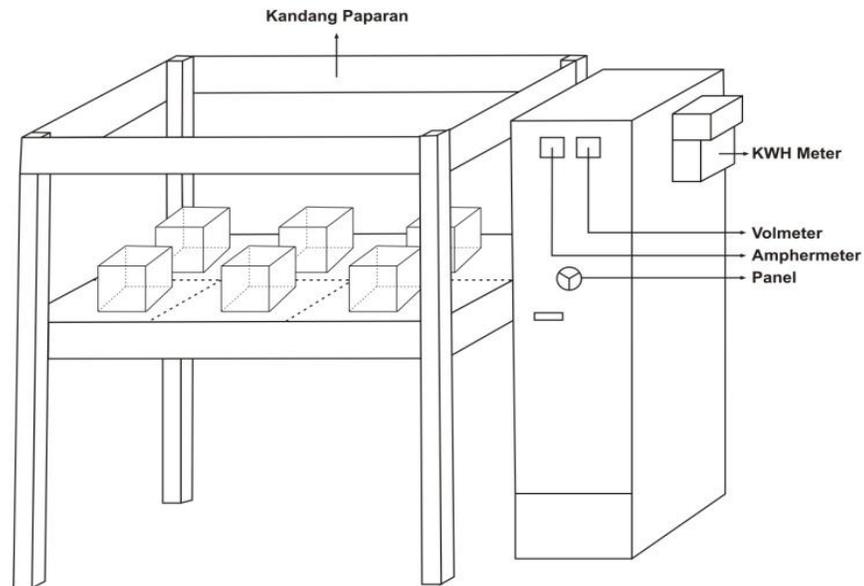
a) Transformer tegangan

b) Tiga buah *transformer* arus CT 100/50 A, 300/A, dan 600/5 A.

c) Pengatur tegangan (*voltage regulator*).

d) Amperemeter.

e) Batang konduktor dari tembaga dengan diameter 3 cm.



Gambar 3.1 *Current Transformer (CT)*

- 2) Cara kerja alat ini adalah sebagai berikut:
- a) Tegangan satu fasa dari PLN 220 Volt dengan frekuensi 50 Hz masuk ke pengaturan tegangan (*voltage regulator*).
 - b) Selanjutnya keluaran dari *voltage regulator* ini masuk ke transformator tegangan sebagai sisi primer dan transformator.
 - c) *Output* dari transformator (sisi sekunder) menghasilkan tenaga lebih rendah, namun arus listriknya menjadi lebih tinggi.
 - d) Konduktor tembaga dihubungkan daerah output transformator, sehingga dapat menghasilkan paparan medan magnet lebih dominan daripada medan listrik di medium sekitarnya.
 - e) Sebelum CT ini digunakan dalam penelitian, menetapkan kuat arus listrik yang digunakan untuk mendapatkan intensitas medan magnet.

3) Prosedur penggunaan CT

- a) Menyalakan saklar. Bila tegangan telah terhubung maka *pilot lamp* akan menyala.
- b) Memastikan tegangan keluaran *slide* pengatur tegangan bernilai nol dengan memutar *knob* berlawanan arah jarum jam (ke kiri) sampai *knob* tak dapat diputar lagi.
- c) Menekan tombol warna merah untuk menyalakan regulator arus. Bila *knob* belum diputar sampai posisi nol maka alat belum dapat digunakan.
- d) Memutar *knob* searah jarum jam (ke kanan) sampai didapatkan besar arus yang diinginkan.
- e) Tekan tombol warna hijau untuk mematikan regulator arus setelah alat selesai digunakan.

3.4.2 Bahan

- a. 21 ekor mencit Balb-C jantan yang akan dipapar medan magnet ELF (sebagai perlakuan), dan 7 ekor mencit Balb-C jantan tanpa pemaparan (sebagai kontrol).
- b. Pakan tikus, yaitu pelet butiran.
- c. Sampel darah yang diambil dari ekor mencit Balb-C.
- d. Larutan fiksatif (methanol 89%) digunakan untuk fiksasi preparat hapus pada saat pembuatan hapusan darah.
- e. Larutan geimsa digunakan sebagai pewarna hapusan darah.
- f. Aquades digunakan untuk membilas hapusan darah.

3.5 Sampel dan Besar Sampel

3.5.1 Sampel

Sampel dalam penelitian ini adalah mencit Balb-C. Jenis kelamin jantan berusia 2-3 bulan, berat badan 20-25 gram, secara fisik tampak sehat, lincah dan tidak cacat..

3.5.2 Besar Sampel

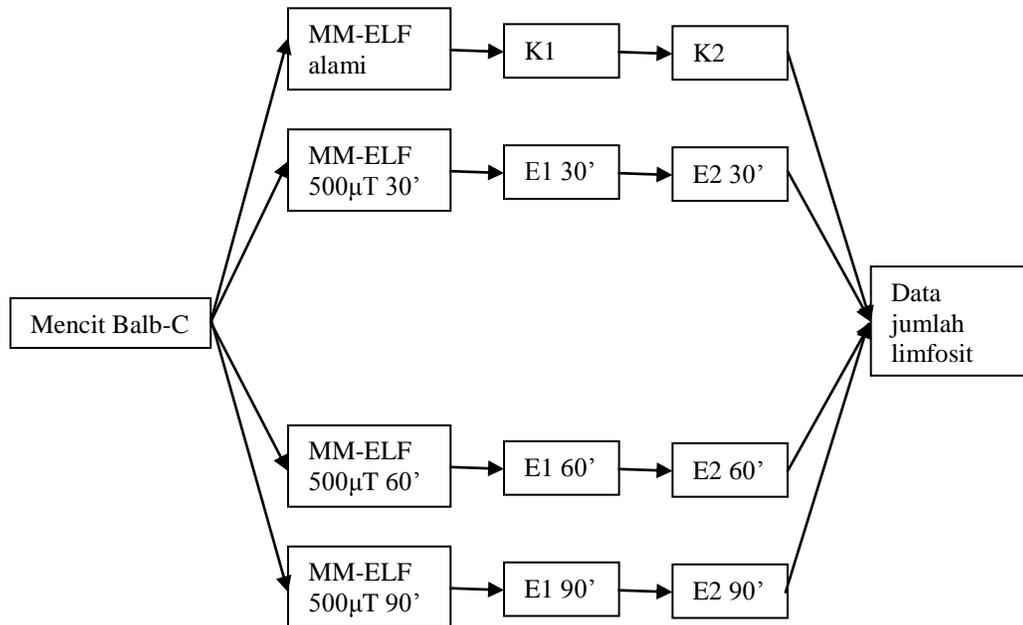
Besar sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah 24 ekor mencit Balb-C jantan. Mencit didapatkan dari Laboratorium Biomedik Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember. Sampel tersebut kemudian dibagi menjadi empat kelompok, yaitu 6 ekor untuk kelompok kontrol, 6 ekor untuk kelompok eksperimen 500 μ T 30 menit, 6 ekor untuk kelompok eksperimen 500 μ T 60 menit, dan 6 ekor untuk kelompok eksperimen 500 μ T 90 menit. Setiap ekor mencit akan dihitung jumlah limfositnya melalui pengambilan darah secara bergantian.

3.6 Jenis dan Desain Penelitian

3.6.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini adalah penelitian eksperimen laboratorium, yaitu jenis penelitian membandingkan kelompok eksperimen atau kelompok yang diberi perlakuan dengan kelompok kontrol atau kelompok yang tidak diberi perlakuan dan dilaksanakan di laboratorium. Penelitian eksperimen adalah jenis penelitian yang dianggap sudah baik karena sudah memenuhi prasyarat yaitu dengan adanya kelompok lain yang tidak dikenai eksperimen tetapi ikut mendapatkan pengamatan, yaitu biasa disebut dengan kelompok kontrol (Arikunto, 2006).

3.6.2 Desain Penelitian



Gambar 3.2 Desain Penelitian

Keterangan :

K1 = Pengambilan data sampel darah kelompok kontrol pada hari ke-7.

K2 = Pengambilan data sampel darah kelompok kontrol pada hari ke-14.

E1 30' = Pengambilan data sampel darah kelompok eksperimen yang dipapar MM-ELF intensitas 500 μ T selama 2x30 menit/hari pada hari ke-7.

E2 30' = Pengambilan data sampel darah kelompok eksperimen yang dipapar MM-ELF intensitas 500 μ T selama 2x30 menit/hari pada hari ke-14.

E1 60' = Pengambilan data sampel darah kelompok eksperimen yang dipapar MM-ELF intensitas 500 μ T selama 2x60 menit/hari pada hari ke-7.

E2 60' = Pengambilan data sampel darah kelompok eksperimen yang dipapar MM-ELF intensitas 500 μ T selama 2x60 menit/hari pada hari ke-14.

E1 90' = Pengambilan data sampel darah kelompok eksperimen yang dipapar MM-ELF intensitas 500 μ T selama 2x90 menit/hari pada hari ke-7.

E2 90' = Pengambilan data sampel darah kelompok eksperimen yang dipapar MM-ELF intensitas 500 μ T selama 2x90 menit/hari pada hari ke-14.

3.7 Prosedur Penelitian

3.7.1 Tahap Persiapan

Tahap persiapan merupakan tahap awal dalam menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian. Langkah-langkah pada tahap persiapan ini adalah sebagai berikut.

- a. Penentuan sampel, adapun kriteria dan besar sampel telah dijelaskan pada sub subbab 3.5.1
- b. Tahap pengelompokan subyek
 - 1) Kelompok K1 terdiri dari 6 ekor mencit jantan tanpa melalui pemaparan medan magnet ELF dari alat dan diamati jumlah limfosit pada hari ke-7. Kelompok K1 terdiri dari 6 ekor mencit jantan tanpa melalui pemaparan medan magnet ELF dari alat dan diamati jumlah limfosit pada hari ke-14.
 - 2) Kelompok E1 30' terdiri dari 6 ekor mencit jantan yang dipapar menggunakan medan magnet ELF intensitas 500 μ T selama 2x30 menit/hari selama 7 hari dan diamati jumlah limfosit pada hari ke-7. Kelompok E2 30' terdiri dari 6 ekor mencit jantan yang dipapar menggunakan medan magnet ELF intensitas 500 μ T selama 2x30 menit/hari selama 14 hari dan diamati jumlah limfosit pada hari ke-14.
 - 3) Kelompok E1 60' terdiri dari 6 ekor mencit jantan yang dipapar menggunakan medan magnet ELF intensitas 500 μ T selama 2x30 menit/hari selama 7 hari dan diamati jumlah limfosit pada hari ke-7. Kelompok E2 60' terdiri dari 6 ekor mencit jantan yang dipapar menggunakan medan magnet ELF intensitas 500 μ T selama 2x30 menit/hari selama 14 hari dan diamati jumlah limfosit pada hari ke-14.
 - 4) Kelompok E1 90' terdiri dari 6 ekor mencit jantan yang dipapar menggunakan medan magnet ELF intensitas 500 μ T selama 2x30 menit/hari selama 7 hari dan diamati jumlah limfosit pada hari ke-7. Kelompok E2 90' terdiri dari 6 ekor mencit jantan yang dipapar menggunakan medan magnet ELF intensitas 500 μ T

selama 2x30 menit/hari selama 14 hari dan diamati jumlah limfosit pada hari ke-14.

c. Tahap adaptasi subyek

Sebelum dilakukan pemaparan mencit telah diadaptasikan dengan lingkungan yang baru selama 1 minggu.

3.7.2 Tahap Pemaparan

Tahap pemaparan mencit dilakukan sesuai dengan prosedur berikut:

- a. Menyalakan saklar, bila tegangan telah terhubung maka pilot lamp akan menyala.
- b. Memastikan tegangan keluaran slide pengatur tegangan bernilai nol dengan memutar knob berlawanan arah jarum jam (ke kiri) sampai knob tak dapat diputar lagi.
- c. Menekan tombol warna merah untuk menyalakan regulator arus. Bila knob belum diputar sampai posisi nol maka alat belum dapat digunakan.
- d. Memutar knob searah jarum jam (ke kanan) sampai didapatkan besar arus yang diinginkan.
- e. Mengukur besarnya intensitas medan magnet ELF yang dihasilkan pada sangkar medan magnet menggunakan EMF 827 sampai mencapai intensitas rata-rata 500 μT
- f. Meletakkan kelompok hewan coba mencit E1 30', E1 60' dan E1 90' pada sangkar medan magnet sesuai dengan lama paparan yang telah ditentukan.
- g. Setelah pemaparan selama 30 menit, kelompok E1 30' diambil dari sangkar pemaparan, kemudian setelah 60 menit, kelompok E2 60' juga diambil dari sangkar pemaparan. Terakhir setelah 90 menit, kelompok E3 90' diambil dari sangkar pemaparan.
- h. Tekan tombol warna hijau untuk mematikan regulator arus setelah alat selesai digunakan.
- i. Pemaparan ini dilakukan 2 kali sehari dengan selisih waktu 8 jam. Pemaparan ini dilakukan selama 7 hari dan dilanjutkan selama 14 hari.

3.7.3 Tahap Pengambilan Sampel Darah

Pengambilan sampel darah dilakukan oleh peneliti dengan didampingi oleh teknisi Laboratorium Biomedik Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember.

- a. Sampel darah diambil dari ekor mencit menggunakan skapel.
- b. Satu tetes dari darah dari ekor mencit diletakkan pada kaca obyek.
- c. Selanjutnya dibuat hapusan darah untuk diamati di bawah mikroskop.

3.7.4 Tahap Pembuatan Hapusan Darah

Pembuatan hapusan darah dilakukan oleh peneliti dengan didampingi oleh teknisi Laboratorium Biomedik Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember.

- a. Kaca obyek dipilih dengan permukaan yang rata untuk digunakan sebagai “kaca penghapus”
- b. Satu tetes darah diletakkan pada $\pm 2-3$ mm dari ujung kaca obyek. Kaca penghapus diletakkan dengan sudut 30-45 derajat terhadap kaca obyek di depan tetes darah
- c. Kaca penghapus ditarik kebelakang sehingga menyentuh tetes darah, ditunggu sampai tetes darah menyebar pada sudut tersebut
- d. Dengan gerak yang mantab kaca penghapus didorong sehingga terbentuk hapusan darah sepanjang $\pm 3-4$ cm pada kaca obyek. Hapusan darah tidak terlalu tipis atau terlalu tebal, ketebalan ini dapat diatur dengan mengubah sudut antara kedua kaca obyek dan kecepatan menggeser. Makin besar sudut atau kecepatan menggeser, makin tipis hapusan darah yang dihasilkan
- e. Hapusan darah dibiarkan mengering di udara dan diberi tanda sesuai perlakuan (Eveline, 1999).

3.7.5 Tahap Pewarnaan

Pewarnaan hapusan darah dilakukan oleh peneliti dengan didampingi oleh teknisi Laboratorium Biomedik Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember.

- a. Melakukan prosedur fiksasi pada preparat apus yang hendak diperiksa dengan mencelupkan ke dalam larutan fiksatif (methanol 98%) selama 60-90 detik

- b. Setelah kering preparat apus dicelupkan ke dalam larutan geimsa selama 10 menit
- c. Membilas dengan aquades dan dikeringkan
- d. Memeriksa sediaan apus tersebut menggunakan mikroskop.

3.7.6 Tahap Penghitungan Jumlah Limfosit

Pengamatan dan penghitungan jumlah leukosit dilakukan sesuai dengan kelompok subyek.

- a. Dengan menggunakan mikroskop binokuler dengan pembesaran 1000 kali
- b. Kemudian dilakukan penghitungan jumlah limfosit tiap 100 leukosit (Eveline, 1999).

3.8 Penyusunan Karya Ilmiah Populer

Penyusunan karya ilmiah populer ini ditujukan kepada masyarakat luas dari seluruh jenjang pendidikan sebagai bahan bacaan agar mereka dapat memperoleh informasi mengenai dampak paparan medan magnet ELF terhadap kesehatan.

3.8.1 Penyusunan Karya Ilmiah

Penyusunan karya ilmiah populer ini dilakukan sesuai dengan *outline* sebagai berikut:

- 1) Sampul buku
- 2) Halaman Judul
- 3) Halaman persembahan
- 4) Kata pengantar
- 5) Daftar isi
- 6) Bagian 1. Pendahuluan
- 7) Bagian 2. Isi
- 8) Bagian 3. Penutup
- 9) Glosarium
- 10) Daftar Bacaan
- 11) Riwayat penulis

3.8.2 Tahap Uji Validasi Produk Karya Ilmiah

Penyusunan Karya Ilmiah Populer memiliki tujuan untuk dijadikan sebagai buku bacaan bagi masyarakat awam, sehingga akan divalidasi oleh orang-orang yang mewakili keberagaman masyarakat yang ada. Uji validasi ini bertujuan untuk menilai kelayakan produk Karya Ilmiah Populer yang akan digunakan sebagai buku bacaan masyarakat awam. Pada uji validasi Karya Ilmiah Populer ini akan dilakukan oleh 1 dosen Program Studi Pendidikan Fisika sebagai ahli materi dan 1 dosen Program Studi Pendidikan Biologi sebagai ahli media – FKIP UNEJ.

Analisa data yang diperoleh dari validator berupa data kuantitatif hasil perkalian antara skor dan bobot yang ada pada setiap aspek namun sebagian kecil bersifat deskriptif yang berupa saran dan komentar tentang kelemahan dan keunggulan buku. Data yang dipakai dalam uji validasi produk Karya Ilmiah Populer ini merupakan data kuantitatif dengan menggunakan 4 tingkatan penilaian, dengan kriteria sebagai berikut:

- a. Skor 4, apabila validator memberikan nilai sangat baik
- b. Skor 3, apabila validator memberikan nilai baik
- c. Skor 2, apabila validator memberikan nilai kurang
- d. Skor 1, apabila validator memberikan nilai kurang sekali

Data yang diperoleh pada tahap pengumpulan data dengan instrumen pengumpulan data, dianalisis dengan menggunakan teknik analisis data persentase. Rumus untuk pengolahan data secara keseluruhan sebagai berikut:

$$P = \frac{\text{skor yang didapat}}{\text{skor maksimal}} \times 100\% \dots\dots\dots (3.1)$$

Data persentase penilaian yang telah diperoleh kemudian diubah menjadi data kuantitatif deskriptif dengan menggunakan kriteria validasi seperti pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Kriteria validasi karya ilmiah populer

No.	Nilai (%)	Kualifikasi	Keputusan
1	81-100	Sangat layak	Produk baru siap dimanfaatkan di lapangan sebenarnya untuk kegiatan pembelajaran
2	61-80	Layak	Produk dapat dilanjutkan dengan menambah sesuatu yang kurang, melakukan beberapa pertimbangan tertentu, penambahan yang dilakukan tidak terlalu besar dan tidak mendasar
3	41-60	Kurang layak	Merevisi dengan meneliti kembali secara seksama dan mencari kelemahan-kelemahan produk untuk disempurnakan
4	20-40	Tidak layak	Merevisi secara besar-besaran dan mendasar tentang isi produk

Sumber: Sudjana dalam Hakim (2012).

3.9 Analisis Data

Analisis data merupakan cara yang paling menentukan untuk menyusun dan mengolah data yang terkumpul, sehingga dapat menghasilkan suatu kesimpulan yang dapat dipertanggungjawabkan. Analisis yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. Hipotesis statistik

H_0 : Jumlah limfosit sampel eksperimen tidak berbeda dengan jumlah limfosit sampel kontrol

H_a : Jumlah limfosit sampel eksperimen berbeda dengan jumlah limfosit sampel kontrol.

b. Metode analisis data

Data hasil penelitian diolah menggunakan program komputer SPSS versi 16. Data dianalisis menggunakan analisis *one-way anova*. Taraf uji/signifikansi yang digunakan adalah 5% ($p < 0,05$). Jika p (signifikansi) $> 0,05$ maka hipotesis nihil (H_0) diterima dan hipotesis alternatif (H_a) ditolak. Jika p (signifikansi) $\leq 0,05$ hipotesis alternatif (H_a) diterima dan maka hipotesis nihil (H_0) ditolak.